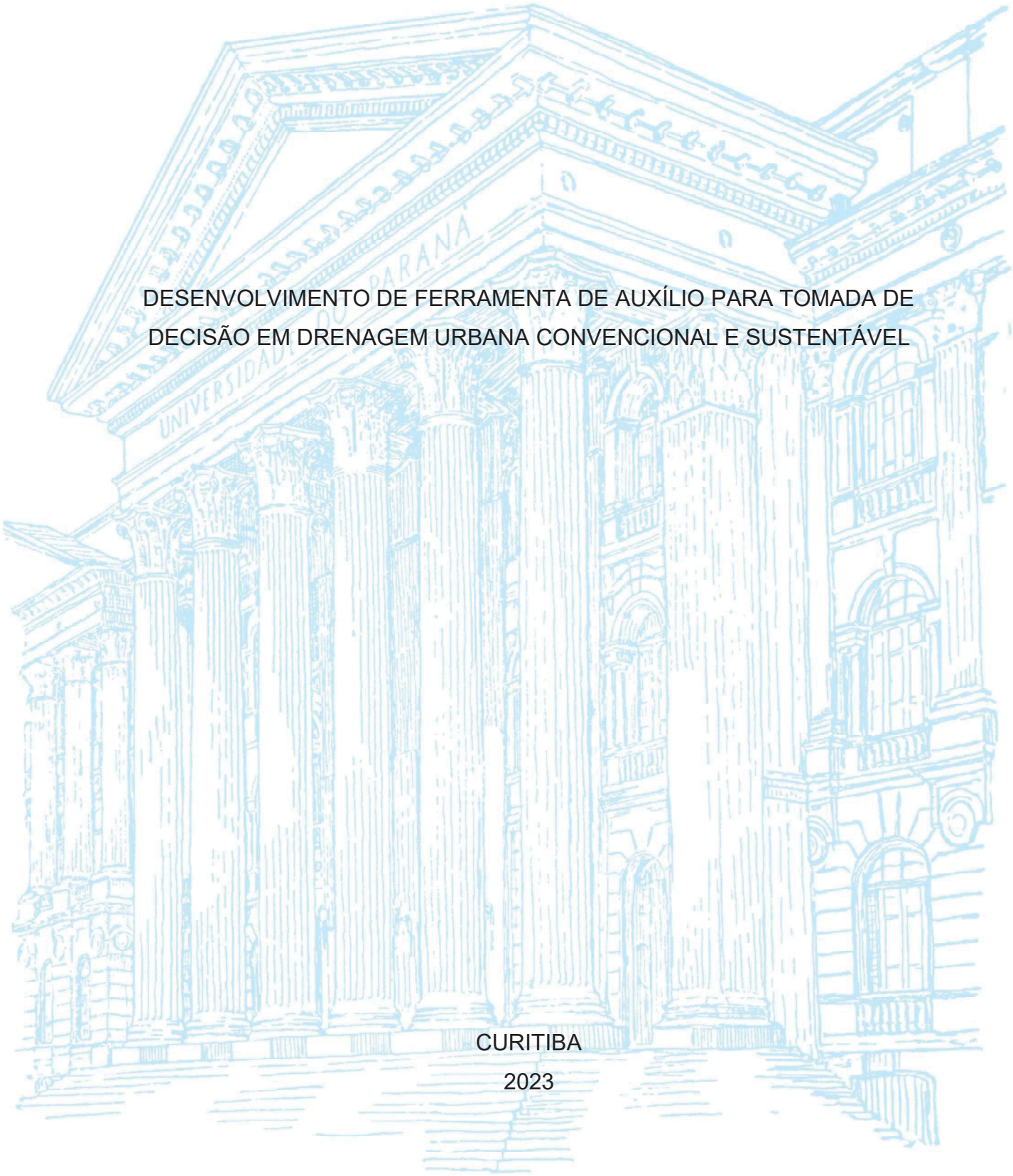
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARIANA BORGES ALBUQUERQUE PENTEADO



DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE AUXÍLIO PARA TOMADA DE DECISÃO EM DRENAGEM URBANA CONVENCIONAL E SUSTENTÁVEL

CURITIBA

2023

MARIANA BORGES ALBUQUERQUE PENTEADO

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE AUXÍLIO PARA TOMADA DE DECISÃO EM DRENAGEM URBANA CONVENCIONAL E SUSTENTÁVEL

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Costa dos Santos

Coorientadora: Profª. Drª. Cristhiane Michiko Passos Okawa

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Penteado, Mariana Borges Albuquerque
Desenvolvimento de ferramenta de auxílio para tomada de decisão em drenagem urbana convencional e sustentável / Mariana Borges Albuquerque Penteado. – Curitiba, 2023.
1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Daniel Costa dos Santos
Coorientador: Cristhiane Michiko Passos Okawa

1. Planejamento urbano. 2. Águas pluviais. 3. Águas residuais. 4. Drenagem. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. III. Santos, Daniel Costa dos. IV. Okawa, Cristhiane Michiko Passos. V. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **MARIANA BORGES ALBUQUERQUE PENTEADO** intitulada: **Desenvolvimento de ferramenta de auxílio para tomada de decisão em drenagem urbana convencional e sustentável.**, sob orientação do Prof. Dr. DANIEL COSTA DOS SANTOS, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 06 de Setembro de 2023.

Assinatura Eletrônica
19/09/2023 15:58:49.0
DANIEL COSTA DOS SANTOS
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
20/09/2023 20:17:03.0
ANTÔNIO CARLOS ZUFFO
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS)

Assinatura Eletrônica
18/09/2023 16:24:08.0
REGINA TIEMY KISHI
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.
Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 316194
Para autenticar este documento/assinatura, acesse https://siga.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp
e insira o codigo 316194

Dedico esta dissertação ao meu marido Vinicius Penteado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua graça, misericórdia e presença constante, concedendo-me saúde, sabedoria, energia e alegria para completar esta longa jornada.

Ao meu esposo, Vinicius Penteado, Engenheiro Químico, que ofereceu todo o suporte emocional, logístico e financeiro de que necessitei nos últimos dois anos. Caminhar ao lado de alguém que é um exemplo de perseverança e alegria torna todos os desafios da vida mais fáceis. Nossa família é o meu combustível diário.

A mim pela dedicação, perseverança e por tudo que abdiquei nos últimos anos para me dedicar aos estudos.

A minha coorientadora, Cristiane Michiko Passos Okawa, que desde 2016 me guiou na jornada acadêmica. Agradeço por todas as horas que dedicou a mim nos últimos anos, dando orientação acadêmica, suporte emocional e o prazer de ter uma mulher e profissional tão incrível ao meu lado.

Aos meus pais, Marcia Regina Borges Albuquerque e Pedro Ferreira Albuquerque, que trabalharam arduamente até a conclusão da minha graduação, permitindo-me dedicar exclusivamente aos estudos e me formar como Engenheira Civil.

A minha irmã, Amanda Borges Albuquerque, também Engenheira Civil, que além de ser minha maior inspiração na área, colaborou na distribuição dos questionários da pesquisa ao corpo técnico da Prefeitura Municipal de Maringá.

A Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de realizar o mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Agradeço à universidade por todos os recursos fornecidos que foram essenciais para o desenvolvimento das etapas do mestrado e da presente pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido por meio das bolsas de estudo.

A meu orientador Daniel Costa dos Santos pela orientação e suporte dado ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Antônio Carlos Zuffo e Profª. Drª. Regina Tiemy Kishi, pela disponibilidade de avaliar e colaborar para o aprimoramento desta pesquisa.

Aos participantes da pesquisa, corpo técnico da Prefeitura Municipal de Maringá, que por meio de suas participações, permitiram que o estudo de caso fosse realizado no município de Maringá-PR.

À Divisão de Licenciamento de Atividades Poluidoras e Controle da Poluição (DLP) do Instituto Água e Terra, principalmente ao meu supervisor Alyson Konell e minha chefe Rossana Baldanzi, que permitiram que eu flexibilizasse meu horário de trabalho para assistir aulas e participar de reuniões no mestrado.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis”.

José de Alencar

RESUMO

A falta de planejamento e ineficácia dos sistemas de drenagem urbana nas cidades brasileiras têm levado a um aumento dos alagamentos urbanos ao longo do tempo. Para mitigar esses episódios, adotam-se medidas alternativas de drenagem urbana sustentável e medidas convencionais. No entanto, a tomada de decisão em projetos de drenagem urbana que envolvem essas técnicas pode ser desafiadora para os técnicos que atuam na área. Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é desenvolver uma ferramenta que auxilie na tomada de decisão em drenagem urbana, abrangendo tanto as técnicas convencionais quanto as sustentáveis. Para isso, foram selecionados indicadores com base em revisão de literatura, e um roteiro de aplicação detalhado foi elaborado. A fim de validar a hipótese de que a ferramenta conseguiria colaborar com o corpo técnico atuante na área, realizou-se a aplicação desta em um estudo de caso no município de Maringá-PR. Como resultado, a pesquisa produziu a ferramenta de auxílio na tomada de decisão em drenagem urbana e selecionou a alternativa mais viável para a área de estudo selecionada, que seria a utilização de nove poços de infiltração em série, localizados no canteiro central da Avenida São Paulo (local CC05). Conclui-se, portanto, que a ferramenta está apta a colaborar com os técnicos em drenagem urbana.

Palavras-chave: Análise Multicritério e planejamento urbano. Técnicas compensatórias em drenagem urbana. Sustentabilidade na infraestrutura urbana.

ABSTRACT

The lack of planning and inefficiency of urban drainage systems in Brazilian cities has led to an increase in urban flooding over time. To mitigate these episodes, alternative sustainable urban drainage measures and conventional measures are adopted. However, decision-making in urban drainage projects involving these techniques can be challenging for professionals in the field. In this context, the objective of this research is to develop a tool that assists in decision-making in urban drainage, encompassing both conventional and sustainable techniques. To achieve this, indicators were selected based on a literature review, and a detailed application roadmap was developed. In order to validate the hypothesis that the tool could collaborate with the technical workforce in the field, it was applied in a case study in the municipality of Maringá, PR. As a result, the research produced the decision-support tool in urban drainage and selected the most viable alternative for the selected study area, which would be the use of nine infiltration wells in series, located in the central median of São Paulo Avenue (site CC05). It is concluded, therefore, that the tool is capable of collaborating with professionals in urban drainage.

Keywords: Multicriteria analysis and urban planning. Compensatory techniques in urban drainage. Sustainability in urban infrastructure.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – LOCAÇÃO DOS ELEMENTOS DE DRENAGEM URBANA 23
FIGURA 2.2 - RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO APÓS EPISÓDIO DE CHUVA....32
FIGURA 2.3 - RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO SUBTERRÂNEO E COBERTO ..33
FIGURA 2.4 - RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO A CÉU ABERTO.....33
FIGURA 2.5 - VISTA SUPERIOR E LATERAL DE UM PROJETO DE BACIA DE DETENÇÃO 34
FIGURA 2.6 - ESQUEMATIZAÇÃO DE RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO ABERTO 35
FIGURA 2.7 – VISTA LATERAL DE UMA BACIA DE RETENÇÃO CONSTRUÍDA..37
FIGURA 2.8 – VISTA SUPERIOR DE UMA BACIA DE RETENÇÃO CONSTRUÍDA 38
FIGURA 2.9 – ESQUEMATIZAÇÃO COM VISTA SUPERIOR E LATERAL DE UMA BACIA DE RETENÇÃO 39
FIGURA 2.10 - PAVIMENTO INTERTRAVADO PERMEÁVEL.....41
FIGURA 2.11 – ESQUEMATIZAÇÃO DAS CAMADAS DO PAVIMENTO PERMEÁVEL COM BLOCO INTERTRAVADO 42
FIGURA 2.12 - PEÇAS DE CONCRETO COM ABERTURAS ESPECÍFICAS PARA INFILTRAÇÃO DE ÁGUA 43
FIGURA 2.13 – PEÇAS DE CONCRETO COM INFILTRAÇÃO PELAS JUNTAS DE ASSENTAMENTO 43
FIGURA 2.14 - PEÇAS DE CONCRETO COM PEÇAS DE CONCRETO POROSO44
FIGURA 2.15 – DIFERENÇA ENTRE CONCRETO POROSO E CONCRETO CONVENCIONAL 44
FIGURA 2.16 – ESQUEMATIZAÇÃO DAS CAMADAS DE UM PAVIMENTO POROSO 45
FIGURA 2.17 – MODELO DE POÇO DE INFILTRAÇÃO PREENCHIDO COM BRITA 49
FIGURA 2.18 – POÇO DE INFILTRAÇÃO COM REVESTIMENTO EM TIJOLOS ...49
FIGURA 2.19 – POÇO DE INFILTRAÇÃO COM CONCRETO PERFURADO.....49
FIGURA 2.20 – POÇO DE INFILTRAÇÃO FINALIZADO.....50
FIGURA 2.21 – TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO COM INSTALAÇÃO FINALIZADA 53

FIGURA 2.22 – ESQUEMATIZAÇÃO DA ESTRUTURA DE UMA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO 54
FIGURA 3.1 – PROPOSTA DE ESTRUTURAÇÃO DA FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO 108
FIGURA 4.1 - PONTO DE ALAGAMENTO DO ESTUDO DE CASO 112
FIGURA 4.2 – ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO DO PONTO DE ALAGAMENTO EM ESTUDO 113
FIGURA 4.3 – IMÓVEIS DA PREFEITURA DENTRO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO 128
FIGURA 4.4 – ÁREAS POTENCIAIS PARA UTILIZAÇÃO NO ESTUDO 129
FIGURA 4.5 – LOCAIS SELECIONADOS PARA A APLICAÇÃO DA FERRAMENTA 130
FIGURA 4.6 – DETALHAMENTO DA ÁREA DA PRAÇA PÚBLICA 01 (PP01) 131
FIGURA 4.7 – DETALHAMENTO DA ÁREA DA PRAÇA PÚBLICA 02 (PP02) 131
FIGURA 4.8 – DETALHAMENTO DA ÁREA DO IMÓVEL DA PREFEITURA 01 (IP01) 132
FIGURA 4.9 – DETALHAMENTO DA ÁREA DO IMÓVEL DA PREFEITURA 02 (IP02) 132
FIGURA 4.10 – DETALHAMENTO DA ÁREA DO CANTEIRO CENTRAL 01 (CC01) 133
FIGURA 4.11 – DETALHAMENTO DA ÁREA DO CANTEIRO CENTRAL 02 (CC02) 133
FIGURA 4.12 – DETALHAMENTO DA ÁREA DO CANTEIRO CENTRAL 03 (CC03) 134
FIGURA 4.13 – DETALHAMENTO DA ÁREA DO CANTEIRO CENTRAL 04 (CC04) 134
FIGURA 4.14 – DETALHAMENTO DA ÁREA DO CANTEIRO CENTRAL 05 (CC05) 135
FIGURA 4.15 – DETALHAMENTO DA ÁREA DO CANTEIRO CENTRAL 06 (CC06) 135
FIGURA 4.16 – BASE DE DRENAGEM ATUALIZADA POR MEIO DE AS BUILT E MAPA FÍSICO PERTENCENTE À PREFEITURA MUNICIPAL DE MARINGÁ 136
FIGURA 4.17 – ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO DAS PRAÇAS PÚBLICAS 137

FIGURA 4.18 – ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO DOS IMÓVEIS DA PREFEITURA ..138
FIGURA 4.19 – ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO DOS CANTEIROS CENTRAIS.....139
FIGURA 4.20 - LOCAIS PARA UTILIZAÇÃO DE POÇOS DE INFILTRAÇÃO NA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO DO PONTO DE ALAGAMENTO EM ANÁLISE.....153
FIGURA 4.21 - DISPOSIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA CC05.....173
FIGURA 4.22 - DISPOSIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA CC06.....174
FIGURA 4.23 - DETALHAMENTO DA ALTERNATIVA MAIS VIÁVEL: 9 POÇOS DE INFILTRAÇÃO NO LOCAL CC05.....183
FIGURA C.1 – TERMO DE CIÊNCIA.....202
FIGURA D.2 - SEÇÃO 1 DO QUESTIONÁRIO APLICADO.....203
FIGURA D.3 - PARTE 1 DA SEÇÃO 2 DO QUESTIONÁRIO APLICADO.....203
FIGURA D.4 - PARTE 2 DA SEÇÃO 2 DO QUESTIONÁRIO APLICADO.....204
FIGURA D.5 - PARTE 3 DA SEÇÃO 2 DO QUESTIONÁRIO APLICADO.....204
FIGURA D.6 - PARTE 4 DA SEÇÃO 2 DO QUESTIONÁRIO APLICADO.....205
FIGURA D.7 - SEÇÃO DO QUESTIONÁRIO APLICADO COM EXPLICAÇÃO SOBRE COMO SERÃO ATRIBUIDOS OS PESOS DOS INDICADORES.....205
FIGURA D.8 - SEÇÃO 4 DO PRIMEIRO INDICADOR (ESTA SEÇÃO SE REPETE ATÉ A SEÇÃO 38 COM OS OUTROS 34 INDICADORES SELECIONADOS).....206
FIGURA D.9 - SEÇÃO 39 DO QUESTIONÁRIO APLICADO.....206
FIGURA D.10 - SEÇÃO 40 FINALIZAÇÃO E AGRADECIMENTOS DO QUESTIONÁRIO.....207
FIGURA E.1 - FLUXOGRAMA COM PROPOSTA DE ESTRUTURAÇÃO DA FERRAMENTA.....208
FIGURA E.2 - EXEMPLO DE DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO DO LOTE DO EMPREENDIMENTO.....213
FIGURA E.3 - EXEMPLO DE DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO PARA UM LOTEAMENTO.....214
FIGURA E.4 - EXEMPLO DE ORGANIZAÇÃO DE MEDIDAS PRÉ-SELECIONADAS POR LOCALIDADE E CARACTERÍSTICAS.....233

FIGURA E.5 - EXEMPLO DE PLANTA BAIXA DE LOCALIZAÇÃO DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS 244

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 - VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA BACIA DE DETENÇÃO 36
QUADRO 2.2 - VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA BACIA DE RETENÇÃO 40
QUADRO 2.3 - VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS E POROSOS 46
QUADRO 2.4 - VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE POÇO DE INFILTRAÇÃO 51
QUADRO 2.5 - VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO 55
QUADRO 2.6 - INDICAÇÕES DE MEDIDAS DE CONTROLE NA MICRODRENAGEM DE ESTACIONAMENTOS.....58
QUADRO 2.7 - INDICAÇÕES DE MEDIDAS DE CONTROLE PARA MICRODRENAGEM EM RUAS E VIAS.....59
QUADRO 2.8 - INDICAÇÕES DE MEDIDAS DE CONTROLE A SEREM UTILIZADAS NA MICRODRENAGEM EM ÁREAS PÚBLICAS E DE RECREAÇÃO 60
QUADRO 2.9 - INDICAÇÕES DE MEDIDAS DE CONTROLE A SEREM UTILIZADAS NA MACRODRENAGEM 60
QUADRO 2.10 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS À ÁREA CONTRIBUINTE ADEQUADA 61
QUADRO 2.11 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS À PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO ADEQUADO 62
QUADRO 2.12 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS À DECLIVIDADE ADEQUADA.....62
QUADRO 2.13 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS AOS USOS PRÓXIMOS PROIBIDOS 63
QUADRO 2.14 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS À CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO ADEQUADA.....63
QUADRO 2.15 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS AOS SOLOS FRÁGEIS À ÁGUA 64
QUADRO 2.16 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS À IMPERMEABILIDADE DO SUBSOLO.....64
QUADRO 2.17 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS À PRESENÇA OU NÃO DE EXUTÓRIO 65

QUADRO 2.18 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS AOS ESFORÇOS E TRÁFEGOS INTENSOS 65
QUADRO 2.19 - INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO AMBIENTAL 77
QUADRO 2.20 - INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO ECONÔMICO 78
QUADRO 2.21 - INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO FÍSICO 79
QUADRO 2.22 - INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO GOVERNANÇA.....80
QUADRO 2.23 - PRIMEIRA PARTE DOS INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO HIDROLOGIA E/OU HIDRÁULICA 81
QUADRO 2.24 - INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO OPERACIONAL 82
QUADRO 2.25 - INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO QUALIDADE DAS ÁGUAS 83
QUADRO 2.26 - INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO SANEAMENTO 83
QUADRO 2.27 - PRIMEIRA PARTE DOS INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO SOCIAL.....84
QUADRO 2.28 - RESUMO GERAL DOS INDICADORES MAIS FREQUENTES 85
QUADRO 2.29 – PARTE 1 DO QUADRO DOS INDICADORES RECOMENDADOS A SEREM SELECIONADOS PELA EQUIPE TÉCNICA DE TOMADA DE DECISÃO 86
QUADRO 2.30 – PARTE 2 DO QUADRO DOS INDICADORES RECOMENDADOS A SEREM SELECIONADOS PELA EQUIPE TÉCNICA DE TOMADA DE DECISÃO 87
QUADRO 2.31 – PARTE 3 DO QUADRO DOS INDICADORES RECOMENDADOS A SEREM SELECIONADOS PELA EQUIPE TÉCNICA DE TOMADA DE DECISÃO 87
QUADRO 2.32 – PARTE 4 DO QUADRO DOS INDICADORES RECOMENDADOS A SEREM SELECIONADOS PELA EQUIPE TÉCNICA DE TOMADA DE DECISÃO 88

QUADRO 2.33 – PARTE 5 DO QUADRO DOS INDICADORES RECOMENDADOS A SEREM SELECIONADOS PELA EQUIPE TÉCNICA DE TOMADA DE DECISÃO 88
QUADRO 2.34 – PARTE 6 DO QUADRO DOS INDICADORES RECOMENDADOS A SEREM SELECIONADOS PELA EQUIPE TÉCNICA DE TOMADA DE DECISÃO 89
QUADRO 2.35 – PARTE 7 DO QUADRO DOS INDICADORES RECOMENDADOS A SEREM SELECIONADOS PELA EQUIPE TÉCNICA DE TOMADA DE DECISÃO 89
QUADRO 4.1 - CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO ENCONTRADAS NO SGA GEO 114
QUADRO 4.2 - ALTERNATIVAS VIÁVEIS APÓS APLICAÇÃO DA PRIMEIRA ETAPA DE PRÉ-SELEÇÃO 149
QUADRO 4.3 - ALTERNATIVAS VIÁVEIS APÓS APLICAÇÃO DA SEGUNDA ETAPA DE PRÉ-SELEÇÃO PARA AS PRAÇAS PÚBLICAS 150
QUADRO 4.4 - ALTERNATIVAS VIÁVEIS APÓS APLICAÇÃO DA SEGUNDA ETAPA DE PRÉ-SELEÇÃO PARA OS IMÓVEIS DA PREFEITURA 150
QUADRO 4.5 - ALTERNATIVAS VIÁVEIS APÓS APLICAÇÃO DA SEGUNDA ETAPA DE PRÉ-SELEÇÃO PARA OS CANTEIROS CENTRAIS ... 151
QUADRO A.1 – PRIMEIRA PARTE DA RELAÇÃO DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA UM DOS INDICADORES 193
QUADRO A.2 – SEGUNDA PARTE DA RELAÇÃO DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA UM DOS INDICADORES 194
QUADRO A.3 – TERCEIRA PARTE DA RELAÇÃO DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA UM DOS INDICADORES 195
QUADRO A.4 – QUARTA PARTE DA RELAÇÃO DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA UM DOS INDICADORES 196
QUADRO A.5 – QUINTA PARTE DA RELAÇÃO DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA UM DOS INDICADORES 197
QUADRO A.6 – SEXTA PARTE DA RELAÇÃO DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA UM DOS INDICADORES 198
QUADRO A.7 – SÉTIMA PARTE DA RELAÇÃO DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA UM DOS INDICADORES 199

QUADRO E.1 – PARTE 1 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR 216
QUADRO E.2 – PARTE 2 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR 217
QUADRO E.3 – PARTE 3 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR 218
QUADRO E.4 – PARTE 4 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR 219
QUADRO E.5 – PARTE 5 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR 220
QUADRO E.6 – PARTE 6 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR 221
QUADRO E.7 – PARTE 7 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR 222
QUADRO E.8 – PARTE 8 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR 223
QUADRO E.9 – PARTE 9 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR 224
QUADRO E.10 – PARTE 10 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR 225
QUADRO E.11 - RECOMENDAÇÕES DE APLICAÇÃO DE ALTERNATIVAS 232
QUADRO E.12 – EQUAÇÃO DO TEMPO DE RETORNO 235
QUADRO E.13 – EQUAÇÃO DA INTENSIDADE MÉDIA DA PRECIPITAÇÃO INTENSA 235
QUADRO E.14 – EQUAÇÃO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO 236
QUADRO E.15 – EQUAÇÃO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO NO TRECHO 236
QUADRO E.16 – EQUAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA 236
QUADRO E.17 – EQUAÇÃO DA VELOCIDADE MÉDIA DO ESCOAMENTO 237
QUADRO E.18 – EQUAÇÃO DA VAZÃO 237
QUADRO E.19 – EQUAÇÃO DO VOLUME DE ACUMULAÇÃO 238
QUADRO E.20 – EQUAÇÃO DO VOLUME DE RESERVATÓRIO 238
QUADRO E.21 – EQUAÇÃO DO VOLUME DE ACUMULAÇÃO 238
QUADRO E.22 – EQUAÇÃO DO VOLUME DE ACUMULAÇÃO 239
QUADRO E.23 – EQUAÇÃO DO CÁLCULO DO β 239

QUADRO E.24 – EQUAÇÃO DA VAZÃO DE SAÍDA.....239
QUADRO E.25 – EQUAÇÃO DA ESPESSURA DA CAMADA POROSA DO PAVIMENTO.....240
QUADRO E.26 – EQUAÇÃO DO VOLUME DE ACUMULAÇÃO.....240
QUADRO E.27 – EQUAÇÃO DO CÁLCULO DO β.....241
QUADRO E.28 – EQUAÇÃO DO CÁLCULO DO COEFICIENTE ADIMENSIONAL 241
QUADRO E.29 – EQUAÇÃO DA VAZÃO DE SAÍDA.....241
QUADRO E.30 – EQUAÇÃO DO CÁLCULO DA ALTURA DO POÇO DE INFILTRAÇÃO 241
QUADRO E.31 – EQUAÇÃO DO VOLUME DE ACUMULAÇÃO DA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO 242
QUADRO E.32 – EQUAÇÃO DO CÁLCULO DO β.....242
QUADRO E.33 – EQUAÇÃO DO COEFICIENTE ADIMENSIONAL γ 243
QUADRO E.34 – EQUAÇÃO DA VAZÃO DE SAÍDA.....243
QUADRO E.35 – EQUAÇÃO DA ESPESSURA DA ALTURA DA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO 243

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - TEMPO DE RETORNO PARA SISTEMAS URBANOS 24
TABELA 2.2 - VALORES DE COEFICIENTE DE ESCOAMENTO PARA SUPERFÍCIES URBANAS.....26
TABELA 2.3 - VALORES DO COEFICIENTE DE RUGOSIDADE DE MANNING RECOMENDADOS PARA ALGUNS CASOS 28
TABELA 2.4 - VALORES RECOMENDADOS PARA O COEFICIENTE DE ESCOAMENTO (C).....47
TABELA 4.1 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR DE VULNERABILIDADE ECONÔMICA.....117
TABELA 4.2 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR DE CUSTOS.....117
TABELA 4.3 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR TOPOGRÁFICO POR INCLINAÇÃO 117
TABELA 4.4 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR TOPOGRÁFICO POR ELEVAÇÃO.....117
TABELA 4.5 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR ALTERAÇÕES NO MEIO FÍSICO.....117
TABELA 4.6 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE.....117
TABELA 4.7 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR ASPECTOS LEGAIS 118
TABELA 4.8 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR POLÍTICAS DOS GESTORES 118
TABELA 4.9 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR CUMPRIMENTO DOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEIS 118
TABELA 4.10 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....118
TABELA 4.11 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR PRECIPITAÇÃO 118
TABELA 4.12 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR INUNDAÇÃO 118
TABELA 4.13 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR REDE FLUVIAL 119
TABELA 4.14 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR CAPACIDADE DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES 119

TABELA 4.15 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR TEMPO AO PICO 119
TABELA 4.16 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR VAZÃO DE PICO 119
TABELA 4.17 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR RISCO DE OBRA 119
TABELA 4.18 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR SEPARAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUAIS E DAS ÁGUAS PLUVIAIS 119
TABELA 4.19 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR MULTIFUNCIONALIDADE 120
TABELA 4.20 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR VULNERABILIDADE DO EDIFÍCIO 120
TABELA 4.21 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR SIMPLICIDADE DE TREINAMENTO 120
TABELA 4.22 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR FACILIDADE DE CONEXÃO 120
TABELA 4.23 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR FACILIDADE DE MANUTENÇÃO 120
TABELA 4.24 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR TEMPO DE VIDA 120
TABELA 4.25 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR CARGA POLUENTES 121
TABELA 4.26 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR QUALIDADE DE ÁGUA 121
TABELA 4.27 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 121
TABELA 4.28 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR MELHORAMENTO VISUAL/HISTÓRICO 121
TABELA 4.29 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR ESPAÇOS APROPRIADOS PARA A POPULAÇÃO 121
TABELA 4.30 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR ESPAÇOS APROPRIADOS PARA A NATUREZA 121
TABELA 4.31 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR VULNERABILIDADE DA POPULAÇÃO 122

TABELA 4.32 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR CRIAÇÃO OU SUPRESSÃO DE ÁREAS DE LAZER 122
TABELA 4.33 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR AUMENTO OU REDUÇÃO DO NÚMERO DE DOENTES 122
TABELA 4.34 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR ACEITABILIDADE DOS MORADORES 122
TABELA 4.35 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR DURAÇÃO DA RECUPERAÇÃO DE INUNDAÇÕES 122
TABELA 4.36 – VALORES DE MÉDIA, MEDIANA E MODA PARA OS DADOS OBTIDOS 124
TABELA 4.37 – VALORES DE DESVIO PADRÃO E AMPLITUDE PARA OS DADOS OBTIDOS 126
TABELA 4.38 – INDICADORES QUE RECEBERAM OS MAIORES PESOS NO QUESTIONÁRIO 127
TABELA 4.39 – ÁREAS CONTRIBUINTES DOS LOCAIS EM ESTUDO 140
TABELA 4.40 – PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO PARA OS LOCAIS EM ANÁLISE 140
TABELA 4.41 – DECLIVIDADE MÉDIA DOS LOCAIS EM ANÁLISE 141
TABELA 4.42 – CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DOS LOCAIS EM ANÁLISE 142
TABELA 4.43 – CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS FRÁGEIS Á ÁGUA DOS LOCAIS EM ESTUDO 142
TABELA 4.44 – CLASSIFICAÇÃO DE SUBSOLOS IMPERMEÁVEIS PARA OS LOCAIS EM ESTUDO 143
TABELA 4.45 – CLASSIFICAÇÃO DO TRÁFEGO DA VIA PARA OS LOCAIS EM ESTUDO 143
TABELA 4.46 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O PP01 144
TABELA 4.47 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O PP02 145
TABELA 4.48 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O IP01 145
TABELA 4.49 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O IP02 146

TABELA 4.50 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O CC01 146
TABELA 4.51 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O CC02 147
TABELA 4.52 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O CC03 147
TABELA 4.53 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O CC04 148
TABELA 4.54 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O CC05 148
TABELA 4.55 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O CC06 149
TABELA 4.56 – INDICADORES SELECIONADOS PELOS PARTICIPANTES DA PESQUISA 155
TABELA 4.57 – INDICADORES SELECIONADOS PELOS PARTICIPANTES DA PESQUISA COM PESOS NORMALIZADOS 155
TABELA 4.58 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O PP01 156
TABELA 4.59 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O PP01 157
TABELA 4.60 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O PP02 158
TABELA 4.61 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O PP02 158
TABELA 4.62 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O IP01 159
TABELA 4.63 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O IP01 160

TABELA 4.64 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O IP02 161
TABELA 4.65 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O IP02 161
TABELA 4.66 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC01 162
TABELA 4.67 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC01 163
TABELA 4.68 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC02 164
TABELA 4.69 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC02 164
TABELA 4.70 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC03 165
TABELA 4.71 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC03 166
TABELA 4.72 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC04 167
TABELA 4.73 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC04 167
TABELA 4.74 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC05 168

TABELA 4.75 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC05 169
TABELA 4.76 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC06 170
TABELA 4.77 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC06 170
TABELA 4.78 – CONCLUSÃO SOBRE AS MEDIDAS APÓS PRÉ-DIMENSIONAMENTO 171
TABELA 4.79 – CONCLUSÃO SOBRE ALTERNATIVAS VIÁVEIS 172
TABELA 4.80 – CÁLCULO DO INDICADOR DE ALTERAÇÕES NO MEIO FÍSICO 175
TABELA 4.81 – CÁLCULO DO INDICADOR TOPOGRÁFICO DE ELEVAÇÃO 175
TABELA 4.82 – CÁLCULO DO INDICADOR DE ALTERAÇÕES NO MEIO AMBIENTE 176
TABELA 4.83 – DADOS NECESSÁRIOS PARA O CÁLCULO DO INDICADOR DE VAZÃO DE PICO 177
TABELA 4.84 – CÁLCULO DO INDICADOR DE VAZÃO DE PICO 177
TABELA 4.85 – CÁLCULO DO INDICADOR DE ESPAÇOS APROPRIADOS PARA A POPULAÇÃO 178
TABELA 4.86 – CÁLCULO DO INDICADOR DE ESPAÇOS APROPRIADOS PARA A NATUREZA 178
TABELA 4.87 – NORMALIZAÇÃO DO INDICADOR DE ALTERAÇÕES NO MEIO FÍSICO 179
TABELA 4.88 – NORMALIZAÇÃO DO INDICADOR TOPOGRÁFICO DE ELEVAÇÃO 180
TABELA 4.89 – NORMALIZAÇÃO DO INDICADOR DE IMPACTO NO MEIO AMBIENTE 180
TABELA 4.90 – NORMALIZAÇÃO DO INDICADOR DE VAZÃO DE PICO 180
TABELA 4.91 – NORMALIZAÇÃO DO INDICADOR DE ESPAÇOS APROPRIADOS PARA A POPULAÇÃO 180

TABELA 4.92 – NORMALIZAÇÃO DO INDICADOR DE ESPAÇOS APROPRIADOS PARA A NATUREZA.....181
TABELA 4.93 – VALORES OBTIDOS APÓS A NORMALIZAÇÃO PARA CADA INDICADOR.....181
TABELA 4.94 – CÁLCULO DO LP PARA O LOCAL CC05.....182
TABELA 4.95 – CÁLCULO DO LP PARA O LOCAL CC06.....183
TABELA E.1 - PRIMEIRA PARTE DOS CRITÉRIOS DE PRÉ-SELEÇÃO 230
TABELA E.2 - SEGUNDA PARTE DOS CRITÉRIOS DE PRÉ-SELEÇÃO.....231
TABELA E.3 - CÁLCULO DA SOLUÇÃO MAIS VIÁVEL POR PROGRAMAÇÃO POR COMPROMISSO 246

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

BD	- Bacia de Detenção
BL	- Boca de Lobo
BMPs	- *Best Management Pratices*
BR	- Bacia de Retenção
CC	- Canteiros Centrais
CL	- Caixa de Ligação
CP	- Programação por Compromisso
DBO	- Demanda Bioquímica de Oxigênio
ELECTRE	- *ELimination Et Choix Traduisant la REalité*
IP	- Imóveis da Prefeitura Municipal de Maringá/PR
LID	- *Low Impact Development*
LIUDD	- *Low Impact Urban Design and Development*
PI	- Poço de Infiltração
PIB	- Produto Interno Bruto
PP	- Pavimento Poroso ou Permeável
PP	- Praça Pública
PV	- Poço de Visita
SNIS	- Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento
SNIS	- Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento
SUDERHSA	- Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
SUDs	- *Sustainable Drainage System*
TI	- Trincheira de Infiltração
TOPSIS	-*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*
TR	- Tempo de Retorno
TWI	- *Topographic Wetness Index*
UWU	- Urban Water Use
WSSM	- *Water Supply Systems Management*
WSUD	- *Water Sensitive Urban Design*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16
1.1 JUSTIFICATIVA 18
1.2 OBJETIVOS 18
1.2.1 Objetivo geral 18
1.2.2 Objetivos específicos 18
2 REVISÃO DE LITERATURA 20
2.1 INTRODUÇÃO À DRENAGEM URBANA 20
2.2 ABORDAGENS SOBRE A DRENAGEM URBANA 22
2.2.1 Drenagem Urbana Convencional 22
2.2.1.1 Parâmetros e critérios de concepção, projeto e dimensionamento 23
2.2.2 Drenagem Urbana Sustentável 29
2.2.2.1 Bacia de detenção 32
2.2.2.2 Bacia de retenção 37
2.2.2.3 Pavimento poroso ou permeável 41
2.2.2.4 Poço de infiltração 48
2.2.2.5 Trincheira de infiltração 53
2.2.2.6 Indicações de aplicações das medidas alternativas sustentáveis 57
2.2.2.7 Pré-seleção de medidas alternativas de drenagem urbana sustentável 60
2.3 INDICADORES E ÍNDICES ASSOCIADOS À SUSTENTABILIDADE DAS INTERVENÇÕES DE DRENAGEM URBANA 66
2.3.1 Revisão dos indicadores 77
2.3.2 Seleção de Indicadores 86
2.3.3 Cálculo dos indicadores 90
2.4 SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO 90
2.5 MÉTODOS DE HIERARQUIZAÇÃO 91
2.5.1 Método da Programação por Compromisso (CP) 91
2.5.2 Método AHP 92
2.5.3 Método ELECTRE 95
2.5.4 TOPSIS 97
2.6 MÉTODO DE SELEÇÃO DOS INDICADORES 97
2.7 PESQUISA SOCIAL 98
2.7.1 Classificação dos tipos de entrevistas 99

2.7.2 Orientações sobre a realização de uma entrevista conforme os princípios da pesquisa social 100
2.7.3 Análise dos dados da entrevista 102
2.7.4 Utilização de formulários para coleta de dados 102
3 MATERIAL E MÉTODOS 104
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA 104
3.1.1 Classificação quanto à natureza 104
3.1.2 Classificação quanto à abordagem 104
3.1.3 Classificação quanto aos objetivos 104
3.1.4 Classificação quanto aos procedimentos técnicos 105
3.2 PROCEDIMENTO PARA COLETA DE DADOS 105
3.2.1 Trabalhos científicos, manuais, resoluções e legislações brasileiras 105
3.2.2 Dados de plataformas e sites oficiais dos governos estaduais e federal 106
3.3 MÉTODOS DE ANÁLISE DE DADOS 106
3.4 PROPOSTA DA ESTRUTURA DA FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO 107
3.5 ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DA FERRAMENTA PROPOSTA 109
4 RESULTADOS 110
4.1 FERRAMENTA DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO 110
4.2 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA EM ESTUDO DE CASO 111
4.2.1 Seleção da área de estudo 111
4.2.2 Delimitação da área de contribuição 112
4.2.3 Pré-seleção dos indicadores 114
4.2.3.1 Aplicação de formulário a técnicos da Prefeitura Municipal de Maringá 114
4.2.3.2 Análise estatística descritiva 122
4.2.3.3 Indicadores pré-selecionados 127
4.2.4 Escolha da abordagem que será utilizada 127
4.2.5 Levantamento de espaços disponíveis 128
4.2.6 Levantamento de dados para a pré-seleção de medidas 136
4.2.7 Pré-seleção de medidas 144
4.2.8 Organização das medidas pré-selecionadas por localidade e características 152
4.2.9 Seleção dos indicadores 153
4.2.10 Pré-dimensionamento das alternativas 155
4.2.10.1 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para PP01 156
4.2.10.2 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para PP02 157

4.2.10.3 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para IP01 159
4.2.10.4 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para IP02 160
4.2.10.5 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para CC01 162
4.2.10.6 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para CC02 163
4.2.10.7 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para CC03 165
4.2.10.8 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para CC04 166
4.2.10.9 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para CC05 168
4.2.10.10 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para CC06 169
4.2.10.11 Conclusão do pré-dimensionamento 171
4.2.11 Concepção do projeto de medidas 172
4.2.12 Levantamento de dados e cálculo dos indicadores 174
4.2.12.1 Alterações no meio físico (I_F) 174
4.2.12.2 Topográfico de elevação (I_{TE}) 175
4.2.12.3 Alterações no meio ambiente (I_{MA}) 176
4.2.12.4 Vazão de pico (I_{VP}) 176
4.2.12.5 Espaços apropriados para a população 177
4.2.12.6 Espaços apropriados para a natureza 178
4.2.13 Normalização dos indicadores 179
4.2.14 Aplicação do método de hierarquização 181
4.2.15 Resultados finais para a área de estudo 183
5 CONCLUSÃO 185
REFERÊNCIAS 186
ANEXO A – DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR 193
ANEXO B – MODELO DO E-MAIL ENVIADO SOLICITANDO PARTICIPAÇÃO NA PESQUISA 200
ANEXO C – TERMO DE CIÊNCIA 202
ANEXO D – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ENTREVISTADOS 203
ANEXO E – CARTILHA DA FERRAMENTA DE AUXÍLIO PARA TOMADA DE DECISÃO EM DRENAGEM URBANA CONVENCIONAL E SUSTENTÁVEL 208
E.1 SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 208
E.2 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO 213
E.3 PRÉ-SELEÇÃO DOS INDICADORES 215
E.4 ESCOLHA DA ABORDAGEM QUE SERÁ UTILIZADA 225

E.5 LEVANTAMENTO DE ESPAÇOS A SEREM UTILIZADOS NA ÁREA DE ESTUDO 227

1 INTRODUÇÃO

Por mais que seja necessário, o desenvolvimento urbano não tem ocorrido de maneira ambientalmente adequada e não tem sido acompanhado pela infraestrutura urbana e pelo saneamento básico adequados (SILVA *et al*., 2017).

Os impactos ambientais gerados pela urbanização apresentam-se diretamente proporcionais ao nível de adensamento urbano da localidade; assim, cidades mais adensadas geralmente apresentam desequilíbrios ambientais maiores. Práticas como a construção de edificações, a impermeabilização do solo, o aumento da população, a canalização dos cursos d'água e a retirada da cobertura vegetal alteram o clima local, sendo capazes de desorganizar a vida social (DUARTE; SANTOS; CASTELHANO, 2021).

Tratando dos alagamentos urbanos, especificamente, de acordo com Nylander *et al*. (2021), estes ocorrem correntemente devido à obstrução de condutos, ao subdimensionamento ou à ausência de manutenção dos dispositivos hidráulicos, o que impede que a água pluvial escoe de maneira apropriada e, consequentemente, resulta em pontos de acúmulo no meio urbano.

Além desses agravantes para a ocorrência de alagamentos urbanos, entende-se que o processo de urbanização também contribui para os alagamentos, enchentes e inundações urbanas, pois aumenta o número de áreas impermeabilizadas, resultando na diminuição da infiltração e no aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial. Como consequência dessas alterações, há um aumento nos valores das vazões de cheia e na frequência de ocorrência. Além dessa contribuição, o processo de urbanização favorece o aumento na produção de sedimentos e de resíduos sólidos que escoam nas estruturas de drenagem. Essa obstrução impede o transporte de água, agravando os problemas de enchentes, alagamentos e inundações (TUCCI, 2012).

Uma das possibilidades existentes de mitigação da ocorrência de alagamentos urbanos trata-se da adoção de sistemas de drenagem sustentáveis associados ao sistema de drenagem convencional.

Para todos os sistemas de drenagem urbana sustentáveis existentes, tem-se um conceito em comum: buscar reduzir o escoamento superficial, realizando a integração de estruturas hidráulicas de unidades de controle, retenção e infiltração das águas pluviais com o sistema convencional de drenagem urbana. Esse

procedimento ocorre em toda a extensão planejada por meio de elementos similares à paisagem natural. Quanto aos objetivos, estes são caracterizados pela confluência da necessidade de reduzir os efeitos da urbanização, melhorando a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, e otimizando a oferta de amenidades e biodiversidade (GONÇALVES; NUCCI, 2017).

Existem diversas estruturas de drenagem urbana sustentável e algumas delas serão abordadas no presente trabalho: bacia de detenção, bacia de retenção, pavimento poroso ou permeável, poço de infiltração, trincheira de infiltração e vala de infiltração.

Com o surgimento de muitas técnicas compensatórias de drenagem urbana, a tomada de decisão tornou-se bastante complexa de ser desenvolvida. Para auxiliar esse processo de tomada de decisão, pode-se utilizar métodos de análise multicritério que facilitam esse procedimento.

Para utilizar métodos de análise multicritério, é necessário ter indicadores, tais como indicadores físicos, hidráulicos, hidrológicos, ambientais e sociais. No presente estudo, foi realizado um levantamento de indicadores em sete referências bibliográficas, que são as seguintes: Tripathy *et al*. (2020), Kelleher e Phillips (2020), Fontaneda e Ramírez (2019), Shi *et al*. (2019), Albuquerque (2021), Birgani e Yazdandoost (2018) e Leeuwen e Chandy (2013).

Ahammed (2017) destaca, em seu estudo, a necessidade do desenvolvimento dessas ferramentas que auxiliam os profissionais relacionados à drenagem urbana a definir quais dispositivos sustentáveis serão dimensionados. Além disso, conforme Lerer (2019), ferramentas mais simples e de utilização descomplicada contribuem para a disseminação do uso de dispositivos sustentáveis.

Deste modo, o problema da presente pesquisa trata-se da escassez de métodos e de materiais sinópticos de tomadas de decisão relacionados à escolha de medidas alternativas de drenagem urbana convencional e sustentável.

Quanto à hipótese, a principal desta pesquisa diz respeito ao desenvolvimento de um método de análise multicritério que apresente os indicadores e um roteiro de como realizar a tomada de decisão. Essa hipótese sugere que esse método irá suprir, em certa medida, a escassez dessas ferramentas, além de facilitar o processo de tomada de decisão dos gestores.

Portanto, a presente pesquisa busca desenvolver uma ferramenta de tomada de decisão que auxilie técnicos que atuam na drenagem urbana a selecionar sistemas

convencionais e sustentáveis para essa finalidade, bem como um roteiro de aplicação da ferramenta.

1.1 JUSTIFICATIVA

Compreendendo que os desastres decorrentes de inundações e alagamentos urbanos têm se agravado nos últimos anos, resultando em restrições significativas ao desenvolvimento social e econômico, bem como representando ameaças à segurança das vidas e propriedades da população, torna-se evidente a importância de realizar pesquisas como a presente, que possui alta relevância social.

Além disso, espera-se que a pesquisa a ser desenvolvida contribua com benefícios diretos para os técnicos que atuam em drenagem urbana, para o meio científico e indiretos para a população. Outra questão a ser apresentada, segundo Lerer (2019), é que ferramentas simples e de utilização descomplicada contribuem para a disseminação do uso de dispositivos sustentáveis.

Ademais, em relação à motivação pessoal para a condução da pesquisa, salienta-se o interesse da autora em contribuir com a tomada de decisão em drenagem urbana, além do envolvimento, comprometimento e colaboração com a conservação ambiental.

1.2 OBJETIVOS

Em sequência, serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa.

1.2.1 Objetivo geral

Elaborar uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão em drenagem urbana, abordando tanto as técnicas convencionais quanto as sustentáveis, e elaborar um roteiro para a aplicação da ferramenta.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da presente pesquisa são os seguintes:

– Apresentar orientações sobre a concepção, o projeto e o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana convencional e sustentável;

– apresentar o roteiro de um plano de implementação e gestão de intervenções de drenagem urbana convencional e sustentável;

– apresentar estudo de caso no município de Maringá-PR aplicando a ferramenta.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para melhor descrever o problema, as possíveis soluções e outros aspectos, serão apresentados em sequência os seguintes tópicos relevantes: introdução à drenagem urbana; abordagens sobre a drenagem urbana; indicadores e índices associados à sustentabilidade das intervenções de drenagem urbana; sistemas de apoio à decisão; métodos de hierarquização; método de seleção dos indicadores; e pesquisa social.

2.1 INTRODUÇÃO À DRENAGEM URBANA

A drenagem urbana pode ser descrita em três dimensões: a primeira é a drenagem urbana tradicional, a segunda é a drenagem urbana sustentável e a terceira é a consciência do conhecimento e cuidado das águas. Na primeira dimensão, busca-se o afastamento do excesso de água, considerando-o danoso e prejudicial. Na segunda dimensão, referente à drenagem urbana sustentável, busca-se incentivar a infiltração da água no solo, a fim de evitar picos de cheia e mitigar possíveis impactos. Na descrição da terceira dimensão, que envolve a consciência do conhecimento e cuidado das águas, apresenta-se o gerenciamento desse volume em harmonia com o ambiente e a sociedade (CHRISTOFIDIS; ASSUMPÇÃO; KLIGERMAN, 2020).

Dentro desta primeira dimensão, apresenta-se o conceito higienista. Esse conceito tinha como objetivo a rápida drenagem das águas pluviais dos centros urbanos. O conceito envolve a canalização das águas pluviais, preferencialmente subterraneamente e por gravidade, para permitir a circulação nas vias, o desenvolvimento urbano e evitar a presença de água nas vias (BRASIL, 2007).

Este conceito se tornou padrão no século XIX no continente europeu. A canalização ocorreu principalmente como consequência da percepção que estudiosos tiveram sobre a relação direta entre a saúde pública e a construção dos sistemas de drenagem (ASHLEY *et al*., 2015). No Brasil, a aplicação efetiva do conceito higienista começou após a proclamação da república, no final do século XIX (BRASIL, 2007).

O modelo tradicional, que utiliza canalizações, apenas transfere a vazão do centro urbano para a jusante, além de não se preocupar com a qualidade das águas (GONÇALVES, 2022). A gestão dos recursos hídricos, quando se utilizava a canalização, não deixava claro que o meio ambiente necessita de conservação, uma

vez que o objetivo naquela época era simplesmente suprir a demanda gerada (BENEDINI; TSAKIRIS, 2013).

Este conceito foi mantido em utilização até a década de 1970, quando notaram que essa aplicação era insustentável e não estava apta a conter os alagamentos e as inundações decorrentes do processo de urbanização. Ao revisar esse sistema tradicional, que sobrecarregava a infraestrutura, percebeu-se que seria necessário atuar na fonte do problema, em vez de apenas conduzir o escoamento. Como resultado, foram criadas medidas que promovem a infiltração e o armazenamento do volume de escoamento urbano (MIGUEZ *et al*., 2015).

Conforme Gonçalves (2022), essas técnicas visam restabelecer as condições do ciclo hidrológico que existiam antes do processo de urbanização. De acordo com o autor, a adoção de técnicas alternativas na drenagem urbana apresenta vantagens em relação ao sistema clássico de canalização.

Resumidamente, a drenagem urbana passou por mudanças significativas nos últimos anos, saindo do modelo tradicional focado na redução de inundações e proteção da saúde humana. Agora, a drenagem urbana considera uma variedade de aspectos, como ambientais, sociais, sanitários, econômicos, entre outros (GONÇALVES, 2022).

Atualmente, nota-se a existência de algumas barreiras que impedem a implantação das medidas alternativas da drenagem urbana sustentável, como questões políticas, financeiras, regulatórias e educacionais. Essas barreiras só poderão ser superadas quando a comunidade reconhecer os benefícios reais da drenagem sustentável (KIM *et al*., 2017; DHAKAL; CHAVALIER, 2017).

De acordo com o Painel de Informações de Saneamento do Brasil do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), a situação da drenagem urbana no Brasil atualmente é preocupante. Apenas 45,3% dos municípios possuem um sistema exclusivo para drenagem de águas urbanas, enquanto 12,0% dos municípios possuem um sistema unitário, que combina drenagem com esgotamento sanitário. Além disso, apenas 4,6% dos municípios possuem algum tipo de tratamento para as águas pluviais e 15,7% dos municípios não têm sistemas de drenagem (SNIS, ano a ser referenciado). Esses dados revelam a necessidade de avanços significativos na infraestrutura de drenagem urbana no país.

No Sul do Brasil, ainda conforme o SNIS, 55,2% dos municípios possuem sistema exclusivo para drenagem; 16,0% possuem sistema unitário (misto com

esgotamento sanitário); 21,7% dos municípios possuem sistema combinado para drenagem e apenas 2,4% não possuem sistema de drenagem.

Nesta mesma plataforma, observa-se a discrepância entre as regiões do Brasil. Por exemplo, na região Norte do Brasil, 36,7% dos municípios não possuem sistema de drenagem, enquanto que no Sul, como supracitado, apenas 2,4% dos municípios não são atendidos pela rede de drenagem.

Com essas práticas trazendo inúmeros prejuízos sociais, econômicos, ambientais, entre outros, surgiram, no final dos anos 80, de acordo com Gonçalves (2022), a inserção de abordagens alternativas sobre drenagem urbana no mundo. Conforme mencionado pelo autor, citam-se as seguintes abordagens: *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), *Best Management Practices* (BMP), *Low Impact Development* (LID), *Sustainable Urban Drainage System* (SUDS), Técnicas Compensatórias, Infraestrutura Verde, Cidades Esponja, entre outras.

2.2 ABORDAGENS SOBRE A DRENAGEM URBANA

Em sequência, será abordado sobre drenagem urbana convencional e drenagem urbana sustentável, visto que o presente trabalho visa a utilização integrada dos dois sistemas.

2.2.1 Drenagem Urbana Convencional

O sistema de drenagem convencional conta com três principais componentes: a estrutura de entrada, a tubulação e o muro de contenção. Projeta-se a estrutura de entrada de modo que seja permitida a afluência das águas pluviais no sistema de coleta; a tubulação realiza o transporte das águas pluviais em direção ao corpo receptor; e o muro de contenção é a estrutura que permite que o volume de água pluvial saia do sistema (GRIBBIN, 2015).

Conforme o Manual de Drenagem Urbana da SUDERSHA (2002), o sistema de drenagem convencional conta com os seguintes componentes:

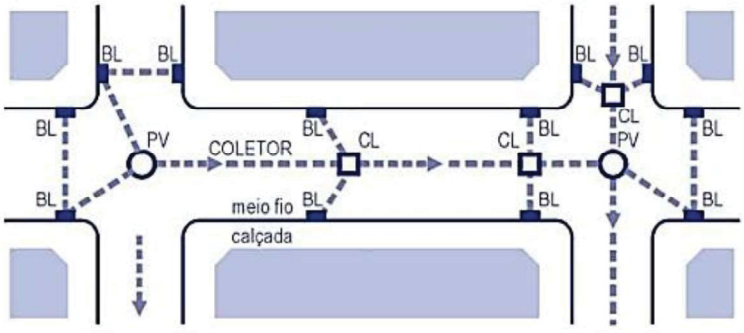
> – Bocas de Lobo (BL): elementos que realizam a captação das vazões superficiais e encaminham para as galerias (tubulações);

– Poços de Visita (PV): componentes que têm como objetivo o acesso e a inspeção das canalizações, visando manter o funcionamento adequado;

– Caixas de Ligação (CL): elementos utilizados quando há a necessidade de ligação entre duas bocas de lobo ou para evitar a interseção de mais de quatro tubulações em um mesmo poço de visita.

Resumidamente, é apresentado o exemplo de localização dos elementos, conforme a FIGURA 2.1.

FIGURA 2.1 – LOCAÇÃO DOS ELEMENTOS DE DRENAGEM URBANA



FONTE: Manual de Drenagem Urbana da SUDERSHA (2002).

2.2.1.1 Parâmetros e critérios de concepção, projeto e dimensionamento

Os parâmetros que precisam ser definidos para o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana convencional estão presentes no Manual de Drenagem Urbana da SUDERSHA (2002), que é o manual indicado para o Estado do Paraná. Os parâmetros são descritos da seguinte forma no manual:

– Probabilidade (P_n): o risco, ou a probabilidade de ocorrência, de uma precipitação ou vazão igual ou superior em um período de "n" anos, pode ser calculado por meio da Equação 2.1;

$$P_n = 1 - (1 - p)^n \qquad (2.1)$$

– Tempo de Retorno (TR): este parâmetro trata-se do inverso do risco de ocorrência de uma vazão ou precipitação (denominado de probabilidade), sendo calculado pela Equação 2.2.

$$TR = \frac{1}{p} \qquad (2.2)$$

Sendo que:

– TR: tempo de retorno (anos);

– P: probabilidade de ocorrência (anos^{-1}).

Existem recomendações para a adoção de tempos de retorno. Para sistemas urbanos, recomenda-se a utilização de tempos de retorno conforme a TABELA 2.1. Salienta-se que diferentes TRs são recomendados em conformidade com a legislação municipal de cada cidade, seguindo as particularidades de cada município.

TABELA 2.1 - TEMPO DE RETORNO PARA SISTEMAS URBANOS

Sistema	Característica	TR - Valor Recomendado
Microdrenagem	Residencial	2
Microdrenagem	Comercial	2
Microdrenagem	Áreas de prédios públicos	2
Microdrenagem	Áreas comerciais e avenidas	2
Microdrenagem	Aeroporto	5
Macrodrenagem		10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		50

FONTE: Manual de Drenagem Urbana da SUDERSHA (2002).

– Intensidade de Precipitação (i): este parâmetro pode ser determinado por meio das curvas IDF. Essas curvas relacionam o tempo de retorno, em anos, com a duração da precipitação, em minutos, para obter a intensidade máxima

da precipitação, em $mm.h^{-1}$. Os técnicos de drenagem urbana precisam encontrar, no momento do dimensionamento do sistema, qual curva IDF consegue descrever o comportamento aproximado da região de estudo, uma vez que cada região possui diferentes equações. O equacionamento básico pode ser visto na Equação 2.3, onde as constantes "k, a, b e c" são constantes de ajuste locais.

$$i = \frac{k.T^a}{(t+b)^c} \qquad (2.3)$$

Sendo que:

– i: intensidade média da precipitação intensa ($mm.h^{-1}$);

– t: duração da precipitação (min);

– T: tempo de retorno (anos);

– K, a, b, c: constantes de ajuste locais.

– Coeficiente de Escoamento (C): este coeficiente possui valores recomendados conforme a TABELA 2.2. O valor do coeficiente de escoamento depende das características do solo, cobertura, tipo de ocupação, tempo de retorno e intensidade da precipitação. No entanto, assim como o Tempo de Retorno (TR) e as curvas IDF, o valor do Coeficiente de Escoamento recomendado pode variar de acordo com o município, pois cada legislação municipal pode estabelecer uma recomendação diferente.

TABELA 2.2 - VALORES DE COEFICIENTE DE ESCOAMENTO PARA SUPERFÍCIES URBANAS

Tipo de Superfície	C - Valor Recomendado
Concreto, asfalto e telhado	0,95
Paralelepípedo	0,70
Blockets	0,78
Concreto e asfalto poroso	0,03
Solo compactado	0,66
Matas, parques e campos de esporte	0,10
Grama solo arenoso	0,10
Grama solo argiloso	0,20

FONTE: Manual de Drenagem Urbana da SUDERSHA (2002).

– Tempo de Concentração (t_c): também denominado de tempo de duração da chuva, o tempo de concentração pode ser determinado pela Equação 2.4, conhecida como a fórmula de Kirpich. Em legislações municipais, outras equações ou valores fixos de tempo de concentração podem ser sugeridos, sendo importante consultar as diretrizes municipais para drenagem urbana;

$$t_C = 57\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} \qquad (2.4)$$

Sendo que:

– t_c: tempo de concentração (min);

– L: comprimento do curso d'água principal da bacia (km);

– H: diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório (m).

Para bacias urbanas, o tempo de concentração no momento do projeto de drenagem é calculado pela soma dos tempos de concentração dos trechos anteriores. Isso é determinado conforme a Equação 2.5.

$$tc\ (i) = tc(i-1) + tp(i) \qquad (2.5)$$

Sendo que:

– tc(i-1): tempo de concentração do trecho anterior;

– tp(i): tempo de concentração do trecho i.

– Vazão máxima ($Q_{máx}$): utilizando o Método Racional, determina-se a Equação 2.6 para calcular o valor da vazão máxima. Salienta-se que, para a utilização deste método, devem ser observadas as seguintes condições: a área da bacia de contribuição deve ser, no máximo, 2 km²; a duração da precipitação máxima de projeto deve ser igual ao tempo de concentração da bacia; deve ser utilizado um único Coeficiente de Escoamento (C); não é avaliado o volume de cheia e a distribuição temporal das vazões;

$$Q_{máx} = 0{,}278.\ C.\ i_{máx}.\ A \qquad (2.6)$$

Sendo que:

– Qmáx: vazão máxima ($m^3.s^{-1}$);

– C: coeficiente de escoamento médio superficial ponderado (adimensional);

– imáx: máxima intensidade da precipitação ($mm.h^{-1}$);

– A: área da bacia contribuinte não controlada por MCs (km^2).

– Equação de Manning: para calcular as tubulações da rede de drenagem convencional, utiliza-se a equação de Manning, conforme a Equação 2.7, que estabelece uma relação entre o raio hidráulico, a declividade da tubulação e o coeficiente de rugosidade (valores recomendados na TABELA 2.3).

$$V = \frac{R^{2/3}.S^{1/2}}{n} \qquad (2.7)$$

Sendo que:

– V: velocidade média do escoamento ($m.s^{-1}$);

– R: raio hidráulico (m);

– A: área da seção do escoamento (m^2);

– P: perímetro (m);

– S: declividade ($m.m^{-1}$);

– n: coeficiente de Manning (adimensional).

TABELA 2.3 - VALORES DO COEFICIENTE DE RUGOSIDADE DE MANNING RECOMENDADOS PARA ALGUNS CASOS

Características	n
Canais retilíneos com grama de até 15 cm de altura	0,30 - 0,40
Canais retilíneos com capins de até 30 cm de altura	0,30 - 0,060
Galerias de concreto pré-moldado com bom acabamento	0,011 - 0,014
Moldado no local com formas metálicas simples	0,012 - 0,014
Moldado no local com formas de madeira	0,015 - 0,020
Asfalto suave	0,013
Asfalto rugoso	0,016
Concreto Suave com pavimento de asfalto	0,014
Concreto Rugoso com pavimento de asfalto	0,015
Pavimento de concreto	0,014 - 0,016
Pedras	0,016

FONTE: Manual de Drenagem Urbana da SUDERSHA (2002).

– Diâmetro das tubulações: o dimensionamento das tubulações pode ser determinado por meio de uma adaptação da equação de Manning, conforme a Equação 2.8;

$$Q = \frac{A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n} \qquad (2.8)$$

Sendo que:

– Q: vazão ($m^3.s^{-1}$);

– A: área de drenagem (m^2);

– R: raio hidráulico;

– S: declividade do fundo ($m.m^{-1}$);

– n: coeficiente de rugosidade (adimensional).

2.2.2 Drenagem Urbana Sustentável

Os sistemas de drenagem urbana sustentável podem proporcionar diversos benefícios para os moradores do local onde são aplicados, além de fornecer inúmeras soluções para problemas na gestão de águas pluviais. As medidas de drenagem urbana sustentável estimulam que as águas pluviais sejam gerenciadas o mais próximo possível do modo natural (FLETCHER *et al*., 2015).

Essas medidas podem permitir que o ciclo da água ocorra de modo mais próximo ao natural, por meio do aumento da retenção de águas pluviais na fonte, infiltração e evaporação. Essas práticas reduzem, consequentemente, o escoamento de águas pluviais, além de melhorar a qualidade da água a jusante (CHINI *et al*., 2017).

Esse modo de gerenciamento do escoamento superficial de águas urbanas, utilizando as diversas abordagens de utilização de sistema de drenagem urbana sustentável, ganhou significativo reconhecimento devido aos impactos positivos que provoca no meio ambiente (KUMAR *et al*., 2022).

Como objetivo básico, as medidas alternativas de drenagem urbana sustentável buscam reter e infiltrar as águas pluviais, a fim de promover a distribuição temporal das vazões e reduzir seus picos, quando comparadas com o sistema clássico. Por possuir esse objetivo básico, consequentemente, essas medidas promovem a diminuição ou a não ocorrência dos alagamentos e das inundações (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

De acordo com Ballard *et al*. (2015), os sistemas de drenagem urbana sustentáveis são fundamentados em quatro pilares, que são os seguintes:

– Controle de vazões: visando gerir o risco de ocorrência de alagamentos e inundações, além de manter e proteger o ciclo natural da água;

– qualidade da água: empenhando-se na prevenção da poluição e gerenciando a qualidade do escoamento;

– biodiversidade: criando e mantendo ambientes propícios para a natureza;

– amenidade: buscando criar e manter ambientes agradáveis para as pessoas.

As medidas de controle de inundações podem ser classificadas em estruturais e não estruturais. As medidas estruturais envolvem a implantação de obras que visam conter, reter ou melhorar a condução dos escoamentos, buscando assim reduzir o risco de alagamentos e inundações por meio de modificações no sistema. Já as medidas não estruturais são aquelas que não envolvem obras hidráulicas, como ações de convivência, legislação específica, planejamento de ações de educação ambiental contínua, ou diretrizes para a reversão ou minimização do problema (SUDERSHA, 2002).

Essas medidas podem ser classificadas de diversas formas, conforme sua ação na bacia hidrográfica, segundo os estudos de Tucci (2003):

– Técnicas de controle na fonte: medidas aplicadas sobre o lote, praça e passeios;

– técnicas de controle na microdrenagem: técnicas utilizadas para atuar em um ou mais loteamentos;

– técnicas de controle na macrodrenagem: medidas aplicadas para agir em cursos hídricos.

Além da classificação quanto à ação na bacia hidrográfica, essas medidas podem ser classificadas quanto à sua posição de implantação, de acordo com Baptista, Nascimento e Barraud (2011):

– Técnicas de controle na fonte: para essas técnicas, são utilizadas, por exemplo, valas de infiltração, poços de infiltração e reservatórios individuais;

– técnicas lineares: nesse tipo de técnica, são utilizadas, por exemplo, trincheiras de infiltração e pavimentos porosos, que podem ser implementados em pátios, estacionamentos e vias urbanas;

– técnicas de controle centralizado: nessas técnicas, são utilizadas, por exemplo, bacias de detenção, retenção ou infiltração (áreas de drenagem de grande porte).

Além das duas classificações mencionadas anteriormente, de acordo com o Manual de Drenagem Urbana da SUDERSHA (2002), as medidas alternativas podem ser classificadas de acordo com sua ação sobre o hidrograma da seguinte forma:

– Infiltração e percolação: utilizam o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial, visando aumentar a percolação e infiltração do volume pluvial no solo;

– armazenamento: por meio de reservatórios (em nível residencial ou em escala de macrodrenagem), ocorre a detenção de parte do volume do escoamento superficial, resultando na redução do pico do hidrograma e na distribuição da vazão ao longo do tempo;

– aumento da eficiência do escoamento: utilizam canais e condutos para drenar as áreas inundadas. no entanto, essa solução pode transferir o volume para uma região a jusante, geralmente com velocidades maiores do que o escoamento natural. porém, pode trazer benefícios quando combinada com reservatórios de detenção;

– diques e estações de bombeamento: empregados em áreas urbanas com pouco espaço para a implementação de estruturas de amortecimento da inundação, representando uma solução tradicional.

2.2.2.1 Bacia de detenção

Estruturas conhecidas como bacias de detenção podem ser empregadas em várias áreas urbanas. Elas operam para mitigar os impactos das inundações causadas pelas águas pluviais, retendo o volume escoado por um período específico, restringindo o fluxo da água e reduzindo enchentes e desequilíbrios hidrológicos a jusante (ASSAAD; ASSAF; BOUDAFEL, 2023; ROY *et al*., 2008).

Na FIGURA 2.2, apresenta-se um exemplo de reservatório de detenção após um episódio de chuva, para melhor visualização desta estrutura.

FIGURA 2.2 - RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO APÓS EPISÓDIO DE CHUVA



FONTE: Soluções para Cidades (s/d).

Existem diversas maneiras de utilizar o reservatório de detenção, sendo duas delas o reservatório de detenção subterrâneo e coberto (FIGURA 2.3), e o reservatório de detenção a céu aberto (FIGURA 2.4).

FIGURA 2.3 - RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO SUBTERRÂNEO E COBERTO



FONTE: Soluções para Cidades (s/d).

FIGURA 2.4 - RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO A CÉU ABERTO

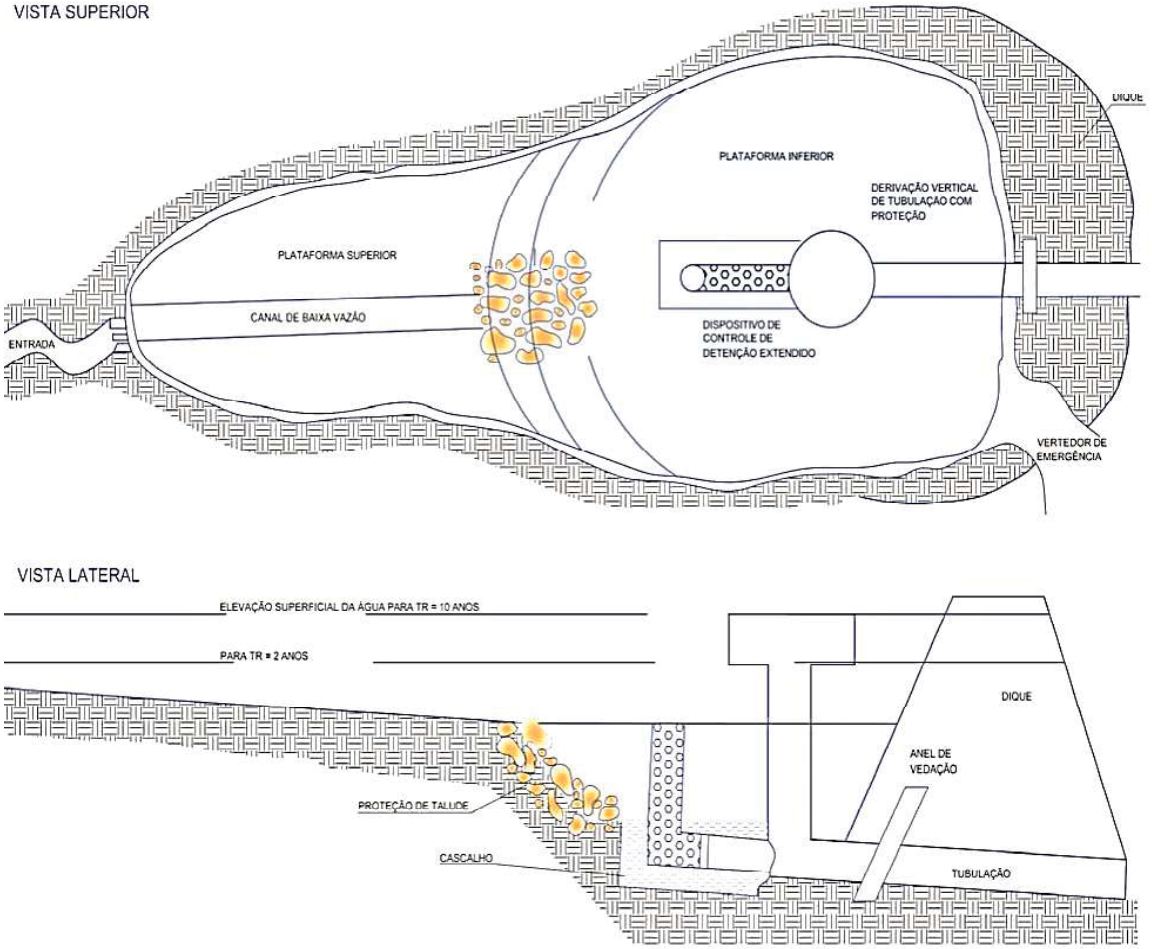


FONTE: Soluções para Cidades (s/d).

Na FIGURA 2.5, representa-se a planta com vista superior e vista lateral de uma bacia de detenção. Como pode ser observado, neste modelo de bacia de

detenção, o volume de contribuição entra pelo canal de entrada localizado na plataforma superior e segue até o canal de baixa vazão. No final deste canal, encontram-se os fragmentos de rocha que protegem o talude. Após passar pela proteção do talude, localizada entre a plataforma superior e inferior, o volume entra nesta última. Na plataforma inferior, o volume de água é armazenado e gradualmente o fluxo passa pela tubulação. Além desses elementos, pode-se observar a presença do vertedor de emergência, que é acionado quando o volume ultrapassa o projetado para uma chuva com tempo de retorno de dez anos, permitindo que o excesso de água seja liberado por esse vertedor.

FIGURA 2.5 - VISTA SUPERIOR E LATERAL DE UM PROJETO DE BACIA DE DETENÇÃO

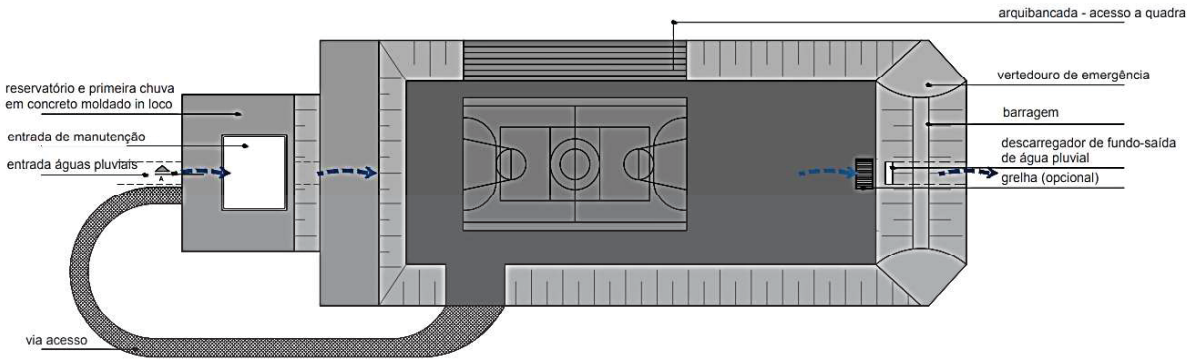


FONTE: Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba (s/d).

Na FIGURA 2.6, representa-se a esquematização de um reservatório de detenção a céu aberto. Nesse caso, o reservatório pode ser utilizado para fins recreativos quando não está chovendo. Assim como o reservatório de detenção

mostrado na FIGURA 2.5, este também possui tubulações de entrada e saída, além do vertedouro de emergência.

FIGURA 2.6 - ESQUEMATIZAÇÃO DE RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO ABERTO



FONTE: Soluções para Cidades (s/d).

Conforme o Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002), essas estruturas podem ser utilizadas em estacionamentos de veículos leves e pesados, em locais próximos a ruas e vias com tráfego leve, em praças e caminhos de pedestres, em parques e áreas esportivas em terreno natural e em áreas de lazer ou esportivas construídas.

No tocante à viabilidade de sua aplicação, ainda de acordo com o Manual, este tipo de estrutura se limita às seguintes condições:

– Não deve colocar em risco a vida de pedestres durante episódios de chuva;

– deve possuir harmonia urbanística, paisagística e estética.

– deve haver um exutório definido;

– não pode haver aporte excessivo de sedimentos e lixo.

– não pode haver aporte de esgoto cloacal;

– não pode haver perigo de veiculação de doenças por contato hídrico;

– deve ser verificado se o solo é propício à presença de água;

– deve ser verificado se a bacia de detenção não será localizada dentro de uma área proibida em relação ao risco de poluição do solo e do lençol freático.

Ainda em relação à viabilidade, de acordo com o Manual de Drenagem de São Paulo (2012), apresenta-se o QUADRO 2.1.

QUADRO 2.1 - VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA BACIA DE DETENÇÃO

Área contribuinte adequada	> 2 ha
Capacidade de infiltração do solo adequada (mmh-1)	1 a 200
Aquífero em risco	Varia cada caso
Solo frágil à água	Não pode ser frágil
Exutório	Deve haver
Restrição de área disponível	Não pode haver
Presença de instalações subterrâneas	Não pode haver
Esforço e tráfego intensos	Pode haver
Áreas que não podem ser aplicados(as)	Nenhuma
Solo permeável/impermeável	Permitido nos dois
Declividade (%)	Sem restrição
Profundidade do lençol adequada (m)	> 1 metro

FONTE: Adaptado do Manual de Drenagem de São Paulo (2012).

No que diz respeito ao dimensionamento dessa estrutura, ele será apresentado de acordo com a SUDERSHA (2002), que se refere ao manual de drenagem indicado pelo Governo do Estado do Paraná.

Inicialmente, determina-se o volume máximo de acumulação necessário, de forma aproximada, para uma bacia de detenção (Equação 2.9).

$$V = (22{,}48 \cdot \sqrt{C} \cdot T^{0{,}129} - 1{,}21 \cdot \sqrt{q_s})^2 \qquad (2.9)$$

Sendo que:

– V: volume de acumulação ($m^3.ha^{-1}$);

– C: coeficiente de escoamento (adimensional);

– T: período de retorno (anos);

– q_s: vazão de saída ($L.s^{-1}.ha^{-1}$).

Com a obtenção do volume, que é dado por unidade de área da bacia hidrográfica, pode-se prosseguir com o pré-dimensionamento. Considerando que a bacia de detenção possui o leito impermeável, dimensiona-se o tubo de saída levando

em conta a vazão específica de q_S=27L/(s.ha). Com estas considerações, utiliza-se a Equação 2.10.

$$V = 2{,}456 \cdot T^{0{,}332} \cdot A_{imp} \cdot A \qquad (2.10)$$

Sendo que:

– V: volume do reservatório (m³);

– T: período de retorno (anos);

– A_{imp}: porcentagem de área impermeável da área contribuinte (entre 0 e 100);

– A: área contribuinte (ha).

2.2.2.2 Bacia de retenção

As bacias de retenção são utilizadas como estruturas de controle hidráulico para amortecimento de cargas hidráulicas, atenuando os picos de escoamento (BADIOU; PAGE; ROSS, 2018).

Na FIGURA 2.7 e FIGURA 2.8, apresentam-se a vista lateral e superior, respectivamente, de uma bacia de retenção, para uma melhor visualização da utilização dessa estrutura.

FIGURA 2.7 – VISTA LATERAL DE UMA BACIA DE RETENÇÃO CONSTRUÍDA



FONTE: Caminha Município (2018).

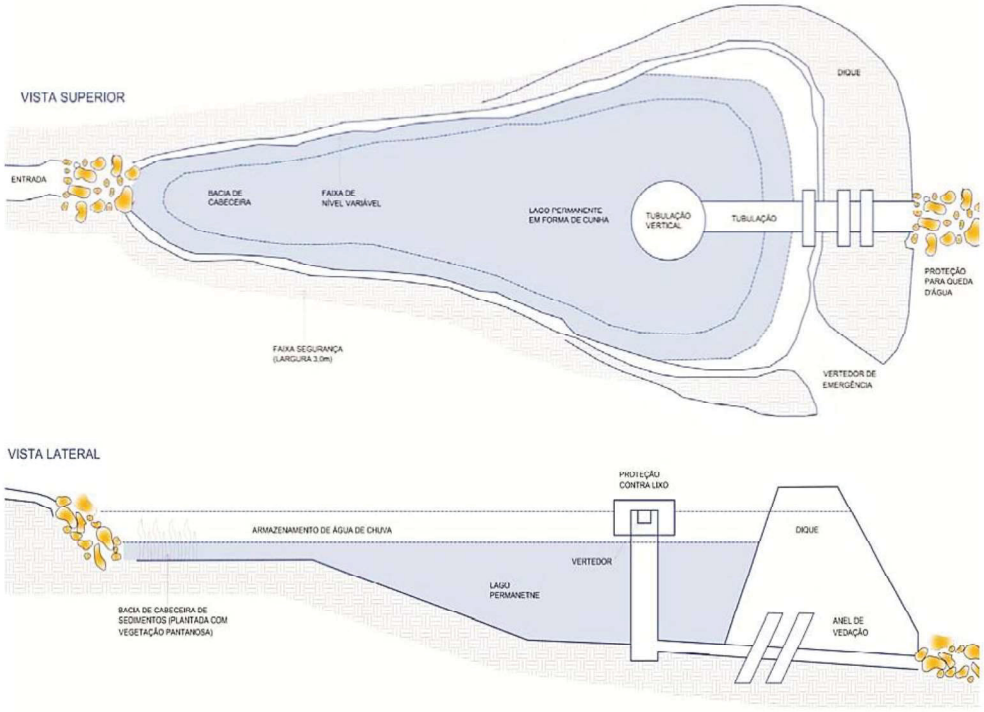
FIGURA 2.8 – VISTA SUPERIOR DE UMA BACIA DE RETENÇÃO CONSTRUÍDA



FONTE: Caminha Município (2018).

Na FIGURA 2.9, representa-se a esquematização com vista superior e lateral de uma bacia de retenção. Nessa figura, observa-se que a principal diferença entre a bacia de detenção e a bacia de retenção é que esta última, abordada neste capítulo, possui um lago permanente, ou seja, a estrutura sempre estará com volume de água, mesmo quando não ocorrerem episódios de chuva. Por outro lado, as bacias de detenção apenas ficam com volume de água após os episódios de chuva.

FIGURA 2.9 – ESQUEMATIZAÇÃO COM VISTA SUPERIOR E LATERAL DE UMA BACIA DE RETENÇÃO



FONTE: Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba (S/D).

Segundo o Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002), estas estruturas podem ser utilizadas em estacionamentos de veículos leves, em praças e caminhos de pedestres, em parques e áreas esportivas em terreno natural e em áreas de lazer ou esportivas construídas.

Quanto à viabilidade de sua aplicação, ainda de acordo com o Manual, este tipo de estrutura está sujeito às seguintes condições:

– Não deve colocar em risco a vida humana;

– deve haver escoamento permanente alimentando a bacia de contribuição;

– deve haver harmonia urbanística, paisagística e estética;

– deve propiciar a criação de um habitat aquático;

– não pode haver aporte excessivo de sedimentos e lixo;

– não pode haver aporte de esgoto cloacal;

– não pode haver o perigo de veiculação de doenças hídricas;

– deve haver exutório definido;

– o solo do leito deve manter sua estrutura na presença de água;

– não deve haver permeabilidade excessiva no solo;

– deve ser conferido se a bacia de retenção não será localizada dentro de uma área proibida quanto ao risco de poluição do solo e do lençol freático;

– não pode haver o risco de poluição crônica ou acidental significativa, caso não se enquadre no caso acima.

Ainda tocante à viabilidade, agora em conformidade com o Manual de Drenagem de São Paulo (2012), apresenta-se o QUADRO 2.2.

QUADRO 2.2 - VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA BACIA DE RETENÇÃO

Área contribuinte adequada	> 6 ha
Capacidade de infiltração do solo adequada (mmh-1)	0,5 a 60,0
Aquífero em risco	Não pode estar
Solo frágil à água	Não pode ser frágil
Exutório	Deve haver
Restrição de área disponível	Não pode haver
Presença de instalações subterrâneas	Não pode haver
Esforço e tráfego intensos	Pode haver
Áreas que não podem ser aplicados(as)	Nenhuma
Solo permeável/impermeável	Permitido nos dois
Declividade (%)	Sem restrição
Profundidade do lençol adequada (m)	Sem restrição

FONTE: Adaptado do Manual de Drenagem de São Paulo (2012).

No tocante ao dimensionamento desta estrutura, este será apresentado conforme a SUDERSHA (2002), que se refere ao manual de drenagem indicado pelo Governo do Estado do Paraná.

Para realizar o pré-dimensionamento, recomenda-se a utilização da mesma equação proposta para a bacia de detenção (Equação 2.11).

$$V = (22{,}48 \,.\, \sqrt{C} \,.\, T^{0{,}129} - 1{,}21 \,.\, \sqrt{q_s})^2 \qquad (2.11)$$

Sendo que:

– V: volume de acumulação ($m^3.ha^{-1}$);

– C: coeficiente de escoamento (adimensional);

– T: período de retorno (anos);

– q_s: vazão de saída ($L.s^{-1}. ha^{-1}$).

2.2.2.3 Pavimento poroso ou permeável

Os pavimentos porosos e permeáveis são estruturas compostas por uma superfície permeável que permite a infiltração da água pluvial no solo. Esses pavimentos normalmente possuem uma sub-base composta por pedras ou cascalhos, que realizam o armazenamento temporário da água, além da manta geotêxtil que, dependendo da especificação, pode filtrar e/ou conduzir o volume pluvial (ROJAS et al., 2018).

Existem diversos tipos de pavimentos permeáveis e porosos. Neste trabalho, serão abordados o pavimento intertravado permeável e o concreto poroso. Na FIGURA 2.10, apresenta-se um caso de aplicação de pavimento intertravado permeável em um estacionamento com fluxo leve.

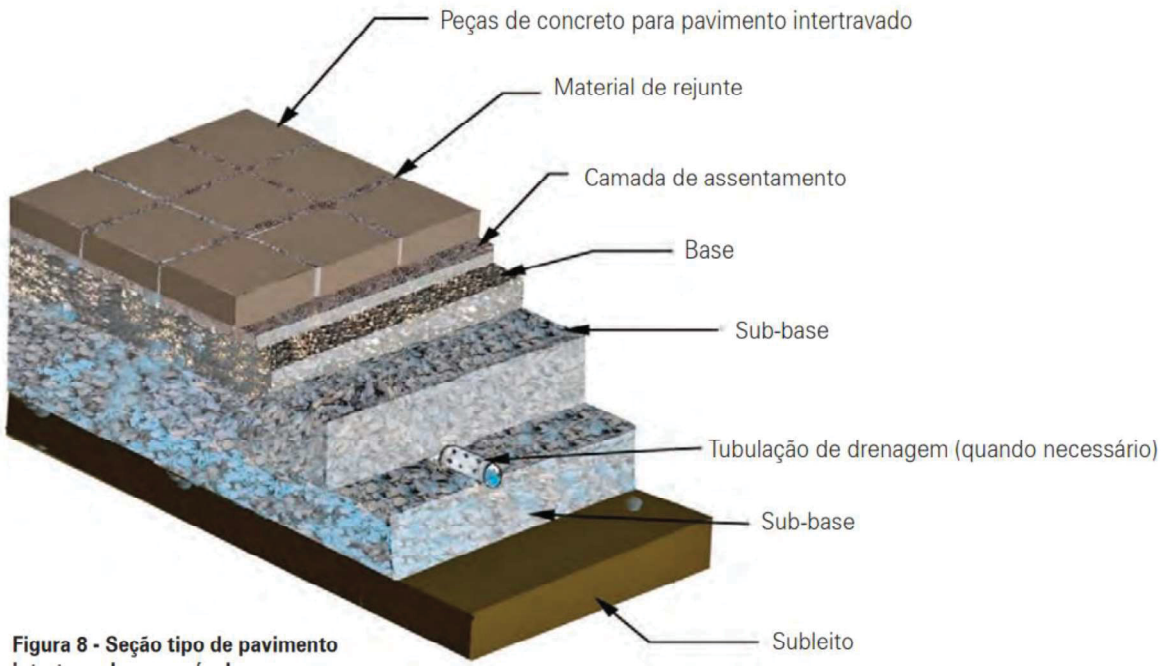
FIGURA 2.10 - PAVIMENTO INTERTRAVADO PERMEÁVEL



FONTE: Solução para cidades (2012).

Este tipo de pavimento é constituído por seis camadas, com dois elementos inseridos entre elas, conforme pode ser observado na FIGURA 2.11. As seis camadas são: peças de concreto para pavimento intertravado, camada de assentamento, base, sub-base (primeira parte), sub-base (segunda parte) e subleito. Os dois elementos são: o rejunte colocado entre as peças de concreto e a tubulação de drenagem, que é utilizada quando necessário, entre a primeira e a segunda parte da sub-base.

FIGURA 2.11 – ESQUEMATIZAÇÃO DAS CAMADAS DO PAVIMENTO PERMEÁVEL COM BLOCO INTERTRAVADO



FONTE: Soluções para cidades (2012).

O rejunte apresentado na FIGURA 2.11 pode ou não ser utilizado. Para uma melhor compreensão das possibilidades em relação ao rejunte, apresenta-se a FIGURA 2.12 a FIGURA 2.14. Na FIGURA 2.12, mostra-se a utilização de peças de concreto com aberturas específicas para a infiltração de água. Nesse caso, os blocos intertravados podem ou não ser porosos.

FIGURA 2.12 - PEÇAS DE CONCRETO COM ABERTURAS ESPECÍFICAS PARA INFILTRAÇÃO DE ÁGUA



FONTE: Soluções para cidades (2012).

Na FIGURA 2.13, apresentam-se peças de concreto com material infiltrante nas juntas de assentamento. Nesse caso, o bloco intertravado pode ou não ser poroso.

FIGURA 2.13 – PEÇAS DE CONCRETO COM INFILTRAÇÃO PELAS JUNTAS DE ASSENTAMENTO



FONTE: Soluções para cidades (2012).

Na FIGURA 2.14, apresentam-se as peças de concreto sem espaçamento entre os rejuntes, apenas encaixadas. Nesse caso, os blocos intertravados de concreto precisam ser porosos para permitir o fluxo de água para o subleito.

FIGURA 2.14 - PEÇAS DE CONCRETO COM PEÇAS DE CONCRETO POROSO



FONTE: Soluções para cidades (2012).

Na FIGURA 2.15, pode-se perceber a diferença entre o concreto poroso (bloco da esquerda) e o concreto convencional (bloco da direita).

FIGURA 2.15 – DIFERENÇA ENTRE CONCRETO POROSO E CONCRETO CONVENCIONAL



FONTE: UFES (2019).

Na FIGURA 2.16, representa-se a esquematização das camadas de um pavimento poroso. Nesta, estão sendo utilizadas quatro camadas (não contando com o solo existente no local), sendo estas, representadas nesta ordem, do nível do terreno até o solo existente: concreto ou asfalto poroso com 5 a 10 cm de espessura; filtro granular com 2,5 cm de espessura e agregado de ½ polegada; reservatório de pedra com agregado de 1 a 3 polegadas; e filtro geotêxtil.

FIGURA 2.16 – ESQUEMATIZAÇÃO DAS CAMADAS DE UM PAVIMENTO POROSO



FONTE: Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba (s/d).

Segundo o Manual de Drenagem Urbana da SUDERSHA (2002), estas estruturas podem ser utilizadas em estacionamentos de veículos leves e em praças e caminhos de pedestres.

Quanto à viabilidade de sua aplicação, ainda de acordo com o Manual, este tipo de estrutura se limita às seguintes condições:

– O solo deve ter permeabilidade compatível com o desejado;

– o nível freático máximo deve ficar pelo menos 1 metro abaixo da base do pavimento;

– o pavimento não pode estar localizado em área proibida quanto ao risco de poluição do solo ou do lençol freático;

– não pode haver risco de poluição crônica ou acidental significativa, caso não se enquadre no item acima.

Ainda em relação à viabilidade, agora em conformidade com o Manual de Drenagem de São Paulo (2012), apresenta-se o QUADRO 2.3.

QUADRO 2.3 - VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS E POROSOS

Área contribuinte adequada	< 10 ha
Capacidade de infiltração do solo adequada (mmh-1)	7,0 a 200
Aquífero em risco	Não pode estar
Solo frágil à água	Não pode ser frágil
Exutório	Varia cada caso
Restrição de área disponível	Varia cada caso
Presença de instalações subterrâneas	Não pode haver
Esforço e tráfego intensos	Não pode haver
Áreas que não podem ser aplicados(as)	Ruas e construções
Solo permeável/impermeável	Permitido nos dois
Declividade (%)	< 5%
Profundidade do lençol adequada (m)	> 1 metro

FONTE: Adaptado do Manual de Drenagem de São Paulo (2012).

No tocante ao dimensionamento desta estrutura, este será apresentado conforme a SUDERSHA (2002), que se refere ao manual de drenagem indicado pelo Governo do Estado do Paraná.

O pré-dimensionamento desta estrutura utiliza, inicialmente, a equação de volume de acumulação em mm sobre a área em planta do dispositivo (Equação 2.12).

$$V = (22{,}48 \cdot \sqrt{C} \cdot T^{0{,}129} - 1{,}21 \cdot \sqrt{q_s})^2 \qquad (2.12)$$

Sendo que:

– V: volume de acumulação ($m^3 . ha^{-1}$);

– C: coeficiente de escoamento (adimensional);

– T: período de retorno (anos);

– q_s: vazão de saída ($L . s^{-1} . ha^{-1}$).

O coeficiente beta (β) pode ser calculado pela razão entre a soma da área do pavimento e a multiplicação entre a área de contribuição ao pavimento e o coeficiente de escoamento, dividida pela área do pavimento, conforme a Equação 2.13.

$$\beta = \frac{A_{pav} + C \cdot A}{A_{pav}} \qquad (2.13)$$

Sendo que:

– A_{pav}: área do pavimento (m²);

– A: área de contribuição ao pavimento (m²);

– C: coeficiente de escoamento da área de contribuição (adimensional).

Para determinar o Coeficiente de Escoamento, pode-se utilizar a TABELA 2.4.

TABELA 2.4 - VALORES RECOMENDADOS PARA O COEFICIENTE DE ESCOAMENTO (C)

Tipo de Superfície	Valor Recomendado
Concreto, asfalto e telhado	0,95
Paralelepípedo	0,70
Blockets	0,78
Concreto e asfalto poroso	0,03
Solo compactado	0,66
Matas, parques e campos de esporte	0,10
Grama solo arenoso	0,10
Grama solo argiloso	0,20

FONTE: Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

Considerando o coeficiente de escoamento e beta ambos iguais a um, ou seja, toda chuva penetra no dispositivo, calcula-se a vazão de saída (q_S) por meio da Equação 2.14.

$$q_s = \alpha \,.\, K_{sat} \qquad (2.14)$$

Sendo que:

– q_s: vazão de saída ($mm.h^{-1}$);

– α: valores entre 0,1 e 0,5 (adimensional);

– K_{sat}: condutividade hidráulica saturada ($mm.h^{-1}$).

O valor da condutividade hidráulica saturada é obtido por meio de ensaios de infiltração no solo. Para pavimentos porosos que não realizem a infiltração e direcionem o volume para a rede pluvial, o valor de q_S é fixado pela administração municipal. Na Região Metropolitana de Curitiba, fixou-se este valor como 27 L/(s.ha).

A espessura da camada porosa do pavimento (H) pode ser calculada por meio da Equação 2.15. Salienta-se que normalmente, quando se utiliza brita, os valores de H ficam em torno de 50 a 80 cm.

$$H = \frac{V}{10 . \eta} \qquad (2.15)$$

Sendo que:

– V: volume (mm);

– H: espessura da camada porosa do pavimento (cm);

– η: porosidade do material estruturante da camada reservatório.

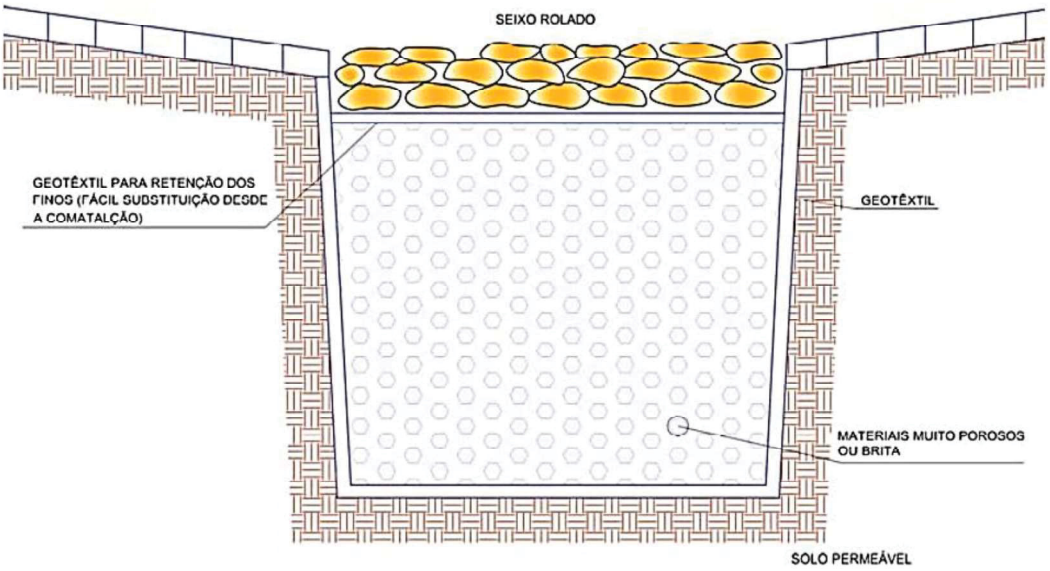
2.2.2.4 Poço de infiltração

Os poços de infiltração, de acordo com a definição de sistemas de infiltração de águas pluviais, são projetados com o intuito de realizar a coleta e a infiltração do escoamento de águas pluviais por meio do solo, com o objetivo de mitigar os riscos de inundações e recarregar os aquíferos subterrâneos (LEBON *et al*., 2023).

Na FIGURA 2.17, é representado o modelo de um poço de infiltração que utiliza a brita como material de preenchimento. Observa-se que o poço de infiltração é colocado sobre um solo permeável e protegido nas laterais por uma manta geotêxtil. Em seu interior, é utilizado material altamente poroso, como a brita. Na parte superior, há a presença de um material geotêxtil para retenção de partículas finas, que evita o entupimento e permite fácil substituição. Por cima desse material, são colocados seixos rolados.

Existem diversas formas de realizar a proteção lateral nos poços de infiltração. Uma delas é utilizando tijolos, como ilustrado na FIGURA 2.18, e outra é utilizando concreto perfurado, como mostrado na FIGURA 2.19.

FIGURA 2.17 – MODELO DE POÇO DE INFILTRAÇÃO PREENCHIDO COM BRITA



FONTE: Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba (s/d).

FIGURA 2.18 – POÇO DE INFILTRAÇÃO COM REVESTIMENTO EM TIJOLOS



FONTE: Barbassa *et al*. (2014).

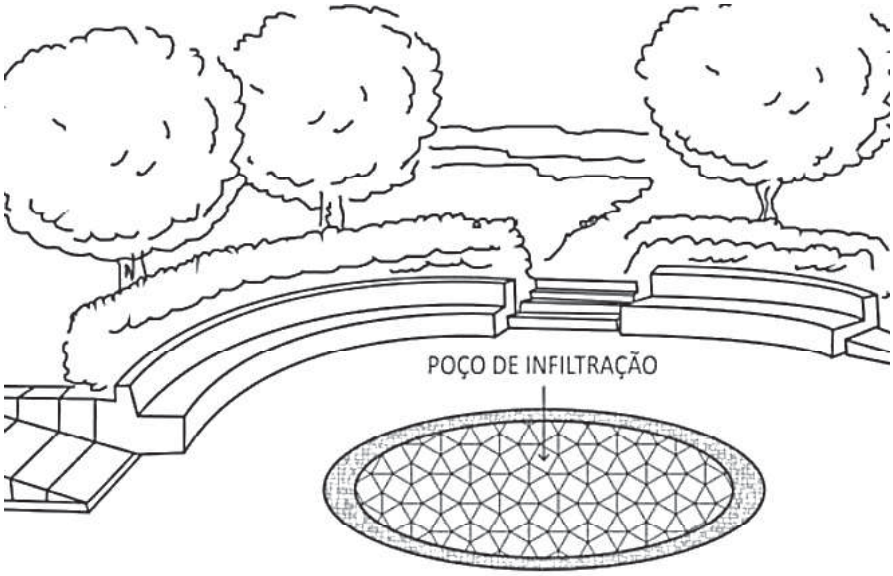
FIGURA 2.19 – POÇO DE INFILTRAÇÃO COM CONCRETO PERFURADO



FONTE: Bauen Construtora (2019).

Finalizado, o poço de infiltração fica no nível do solo, podendo ser utilizado em locais públicos, como praças, estacionamentos, entre outros (FIGURA 2.20).

FIGURA 2.20 – POÇO DE INFILTRAÇÃO FINALIZADO



FONTE: Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba (s/d).

Conforme o Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002), essas estruturas podem ser utilizadas em estacionamentos de veículos leves e pesados, acostamentos, calçadas e canteiros próximos às ruas e vias de tráfego leve e intenso, além de praças e caminhos de pedestres.

Quanto à viabilidade de sua aplicação, de acordo com o mesmo manual, esse tipo de estrutura está limitado às seguintes condições:

– O subsolo deve possuir permeabilidade suficiente;

– o poço não pode estar situado dentro de área proibida quanto ao risco de poluição de solo ou do lençol freático;

– deve ser verificado se o subsolo suporta a presenta de água sem que ocorra a desestruturação;

– deve ser verificado se o aporte de sedimentos finos e poluição não é excessivo.

Ainda em relação à viabilidade, de acordo com o Manual de Drenagem de São Paulo (2012), apresenta-se o QUADRO 2.4.

QUADRO 2.4 - VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE POÇO DE INFILTRAÇÃO

Área contribuinte adequada	< 6 ha
Capacidade de infiltração do solo adequada (mmh-1)	4,0 a 200,0
Aquífero em risco	Não pode estar
Solo frágil a água	Não pode ser frágil
Exutório	Varia cada caso
Restrição de área disponível	Pode ter restrição
Presença de instalações subterrâneas	Não pode haver
Esforço e tráfego intensos	Não pode haver
Áreas que não podem ser aplicados(as)	Indústria e Construção
Solo permeável/impermeável	Deve ser permeável
Declividade (%)	Não há restrição
Profundidade do lençol adequada (m)	> 1 metro

FONTE: Adaptado do Manual de Drenagem de São Paulo (2012).

No que diz respeito ao dimensionamento dessa estrutura, o mesmo será apresentado de acordo com a SUDERSHA (2002), que se refere ao manual de drenagem indicado pelo Governo do Estado do Paraná.

Inicialmente, para realizar o pré-dimensionamento de um poço de infiltração, determina-se o valor do volume de acumulação (V) por meio da Equação 2.16.

$$V = (7{,}11 \cdot \sqrt{\beta} \cdot T^{0{,}129} - 0{,}64 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{H} \cdot \sqrt{q_s})^2$$

Sendo que:

– V: volume de acumulação sobre a área em planta do poço (mm);

– β: coeficiente adimensional (Equação 2.17);

– T: período de retorno (anos);

– H: profundidade média da camada de armazenamento do dispositivo (mm);

– γ: coeficiente adimensional (Equação 2.18);

– q_s: vazão de saída constante do dispositivo ($mm.h^{-1}$).

Para os poços de infiltração, o valor de β é determinado conforme a Equação 2.17.

$$\beta = \frac{4 . C . A}{\pi . D^2} \qquad (2.17)$$

Sendo que:

– A: área contribuinte ao poço (m²);

– C: coeficiente de escoamento da área contribuinte (TABELA 2.4);

– D: diâmetro do poço (m).

Dado o valor de β, calcula-se o valor de γ por meio da Equação 2.18.

$$\gamma = \frac{4 . \pi . D}{\pi . D^2} \qquad (2.18)$$

– γ: coeficiente adimensional;

– D: diâmetro do poço (m).

A vazão de saída (q_S) pode ser determinada pela Equação 2.19. Recomenda-se, para α, valores entre 0,1 e 0,5.

$$q_s = \alpha . K_{sat} \qquad (2.19)$$

Sendo que:

– α: valores entre 0,1 e 0,5;

– K_{sat}: condutividade hidráulica saturada.

Por fim, para obter a altura necessária para o poço de infiltração, utiliza-se a Equação 2.20. É importante ressaltar que essa altura (H) se refere apenas à camada permeável da estrutura.

$$H = \frac{1}{10} \cdot \left[\frac{k_1 \cdot (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta \cdot k_2^2}\right]^2 \qquad (2.20)$$

Sendo que:

– η.H=V;

– η: porosidade do material de enchimento do poço;

– k_1: 7,11. $\beta^{1/2}$. $T^{0,129}$;

– k_2: 0,64. $\gamma^{1/2}$. $q_s^{1/2}$.

2.2.2.5 Trincheira de infiltração

As trincheiras de infiltração são estruturas comumente utilizadas em infraestruturas sustentáveis de águas pluviais em áreas urbanas de alta densidade (EBRAHIMIAN; SOKOLOVSKAYA; WADZUK, 2021).

Para melhor visualizar, apresenta-se a FIGURA 2.21, que ilustra por meio de uma fotografia um exemplo de trincheira de infiltração concluída.

FIGURA 2.21 – TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO COM INSTALAÇÃO FINALIZADA

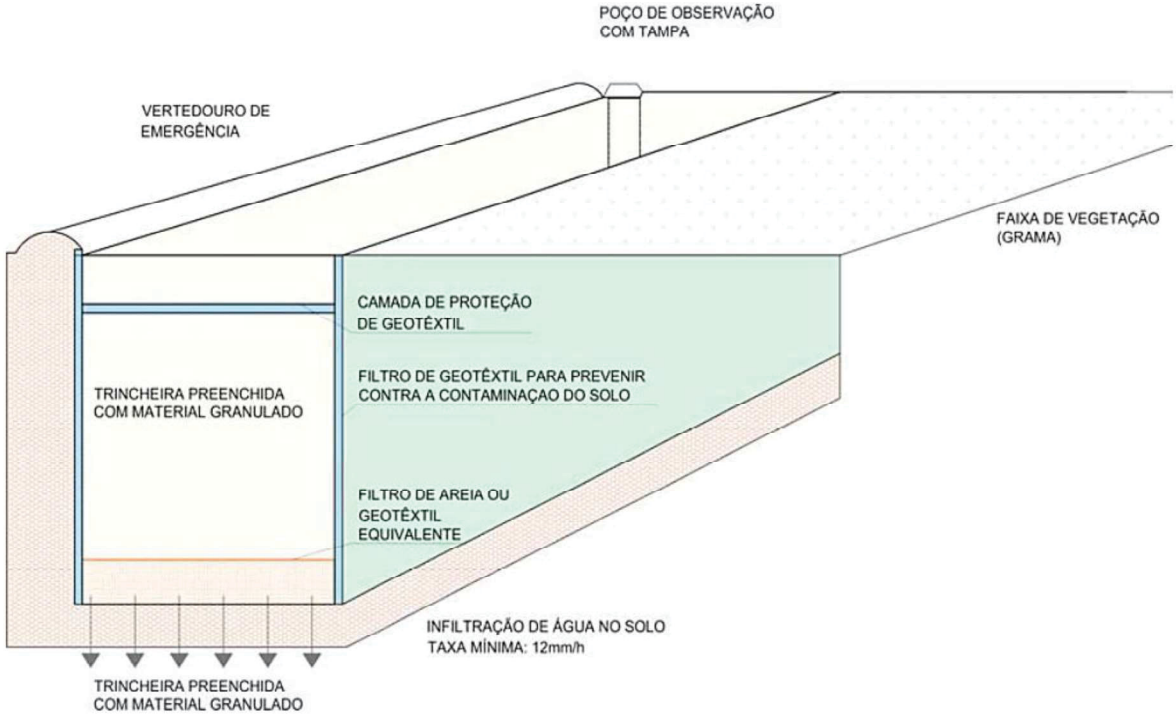


FONTE: Aquafluxus (2012).

Na FIGURA 2.22, é possível observar a representação esquemática da estrutura de uma trincheira de infiltração. Como pode ser visto, a trincheira de infiltração é preenchida com material granular e protegida em suas laterais e camada

superior com uma manta de proteção geotêxtil. Em sua camada inferior, a trincheira de infiltração conta com uma camada de filtro de areia ou um material equivalente de geotêxtil.

FIGURA 2.22 – ESQUEMATIZAÇÃO DA ESTRUTURA DE UMA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO



FONTE: Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba (s/d).

Conforme o Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002), essas estruturas podem ser utilizadas em estacionamentos de veículos leves e pesados, acostamentos, calçadas e canteiros próximos às ruas e vias com tráfego leve, além de praças e caminhos de pedestres.

Quanto à viabilidade de sua aplicação, de acordo com o mesmo manual, esse tipo de estrutura está limitado às seguintes condições:

O solo deve possuir permeabilidade suficiente;

– o nível freático deve se localizar a pelo menos 1 metro abaixo da base da trincheira;

– a trincheira não pode estar localizada em área proibida quanto ao risco de poluição do solo ou do lençol freático;

– não pode haver risco de poluição crônica ou acidental significativa, caso não se enquadre no item acima;

– o solo deve ser adequado para a infiltração, sem que ocorra a desestruturação;

– o aporte de sedimentos finos e de poluição não pode ser excessivo.

Ainda em relação à viabilidade, de acordo com o Manual de Drenagem de São Paulo (2012), apresenta-se o QUADRO 2.5.

QUADRO 2.5 - VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO

Área contribuinte adequada	2 ha < A < 6 ha
Capacidade de infiltração do solo adequada (mmh-1)	7,0 a 200,0
Aquífero em risco	Não pode estar
Solo frágil a água	Não pode ser frágil
Exutório	Varia cada caso
Restrição de área disponível	Pode ter restrição
Presença de instalações subterrâneas	Não pode haver
Esforço e tráfego intensos	Não pode haver
Áreas que não podem ser aplicados(as)	Indústria e Construção
Solo permeável/impermeável	Permitido nos dois
Declividade (%)	Não há restrição
Profundidade do lençol adequada (m)	> 1 metro

FONTE: Adaptado do Manual de Drenagem de São Paulo (2012).

Para o dimensionamento da trincheira de infiltração, utiliza-se o Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002), que é recomendado pelo Governo do Estado do Paraná.

O comprimento da trincheira de infiltração é determinado com base no traçado arquitetônico, enquanto a largura é geralmente escolhida entre 80 cm e 1 m. Com a largura e comprimento definidos, é possível determinar a profundidade adequada.

O pré-dimensionamento da trincheira de infiltração é iniciado com a equação do volume de acumulação (Equação 2.21).

$$V = (7{,}11 \cdot \sqrt{\beta} \cdot T^{0{,}129} - 0{,}64 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{H} \cdot \sqrt{q_s})^2$$

Sendo que:

– V: volume de acumulação sobre a área em planta do poço (mm);

– β: coeficiente adimensional (Equação 2.22);

– T: período de retorno em anos;

– H: profundidade média da camada de armazenamento do dispositivo (mm);

– γ: coeficiente adimensional (Equação 2.23);

– q_s: vazão de saída constante do dispositivo (mm.h^{-1}).

Admitindo que os valores de comprimento (L) e largura (B) já estão definidos de acordo com as dimensões disponíveis no local, é possível calcular o valor de β utilizando a Equação 2.22.

$$\beta = \frac{C \,.\, A}{B \,.L} \qquad (2.22)$$

Sendo que:

– A: área contribuinte à trincheira (m²);

– C: coeficiente de escoamento da área contribuinte (TABELA 2.4);

– B: largura da trincheira (m);

– L: comprimento da trincheira (m).

Para determinar o valor de γ, utiliza-se a Equação 2.23.

$$\gamma = \frac{2 \,.L}{L \,.\, B} = \frac{2}{B} \qquad (2.23)$$

Sendo que:

– B: largura da trincheira de infiltração (mm);

– γ: coeficiente adimensional;

A vazão de saída (q_s) pode ser calculada multiplicando a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) por um coeficiente redutor (α), conforme indicado na Equação 2.24.

$$q_s = \alpha \,.\, K_{sat} \qquad (2.24)$$

A determinação da profundidade da trincheira (H), expressa em centímetros, é fornecida pela Equação 2.25.

$$H = \frac{1}{10} \,.\, \left[\frac{k_1 \,.\, (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta \,.\, k_2^2}\right]^2 \qquad (2.25)$$

Sendo que:

– η.H=V;

– η: porosidade do material de enchimento do poço;

– k_1: 7,11. $\beta^{1/2}$. $T^{0,129}$;

– k_2: 0,64. $\gamma^{1/2}$. $q_s{}^{1/2}$.

Como valor de referência para H, o Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002) indica 100 cm, sendo este um valor de referência e não um limite.

2.2.2.6 Indicações de aplicações das medidas alternativas sustentáveis

Recomenda-se a utilização dessas medidas de controle estruturais, que visam manter o equilíbrio hídrico, conservar a quantidade e qualidade da água, além de promover a preservação e recuperação do meio ambiente, em projetos como: espaços públicos integrados, rodovias municipais, loteamentos, sistema viário urbano, entre outros.

Com base nas orientações do Manual de Drenagem Urbana da SUDERHSA (2002), foram elaborados o QUADRO 2.6 a QUADRO 2.8, com indicações de medidas de controle para locais que influem na microdrenagem e o QUADRO 2.9, com indicações de medidas de controle para locais que influem na macrodrenagem.

QUADRO 2.6 - INDICAÇÕES DE MEDIDAS DE CONTROLE NA MICRODRENAGEM DE ESTACIONAMENTOS

Atuação na Microdrenagem - Estacionamentos	
Estacionamento para Veículos Leves	1. Pavimentos porosos 2. Trincheira de infiltração 3. Vala de infiltração 4. Poço de infiltração 5. Bacia de detenção 6. Bacia de retenção 7. Bacia subterrânea 8. Condutos de armazenamento 9. Faixas gramadas
Estacionamento para Veículos Pesados	1. Pavimentos porosos com revestimento impermeável e exutório na rede pluvial 2. Trincheira de retenção (saída não infiltra no solo e vai para um exutório) 3. Poço de infiltração 4. Bacia de detenção 5. Bacia subterrânea 6. Condutos de armazenamento

FONTE: Adaptado do Manual de Drenagem da SUDERHSA (2002).

QUADRO 2.7 - INDICAÇÕES DE MEDIDAS DE CONTROLE PARA MICRODRENAGEM EM RUAS E VIAS

Atuação na Microdrenagem - Ruas e Vias	
Ruas e vias com tráfego leve	1. Pavimentos porosos 2. Trincheira de infiltração em acostamentos, calçadas e canteiros 3. Vala de infiltração em acostamentos e canteiros 4. Poço de infiltração em acostamentos, calçadas e canteiros 5. Bacia de detenção em local próximo 6. Bacia subterrânea em local próximo 7. Condutos de armazenamento 8. Faixas gramadas em acostamentos, calçadas e canteiros
Vias com tráfego intenso	1. Vala de retenção 2. Poço de infiltração 3. Bacia de detenção 4. Bacia subterrânea 5. Condutos de armazenamento

FONTE: Adaptado do Manual de Drenagem da SUDERHSA (2002).

QUADRO 2.8 - INDICAÇÕES DE MEDIDAS DE CONTROLE A SEREM UTILIZADAS NA MICRODRENAGEM EM ÁREAS PÚBLICAS E DE RECREAÇÃO

Atuação na Microdrenagem - Áreas públicas e de recreação	
Praças e caminhos de pedestres	1. Pavimentos porosos 2. Trincheira de infiltração 3. Vala de infiltração 4. Poço de infiltração 5. Bacia de detenção 6. Bacia de retenção 7. Bacia subterrânea 8. Condutos de armazenamento 9. Faixas gramadas
Parques e áreas esportivas em terreno natural	1. Vala de infiltração 2. Bacia de detenção 3. Bacia de retenção 4. Faixas gramadas
Áreas de lazer ou esportivas construídas	1. Vala de infiltração 2. Bacia de detenção 3. Bacia de retenção 4. Faixas gramadas

FONTE: Adaptado do Manual de Drenagem da SUDERHSA (2002).

QUADRO 2.9 - INDICAÇÕES DE MEDIDAS DE CONTROLE A SEREM UTILIZADAS NA MACRODRENAGEM

Atuação na Macrodrenagem
1. Bacia de detenção 2. Bacia de retenção 3. Faixas gramadas 4. Faixas arborizadas

FONTE: Adaptado do Manual de Drenagem da SUDERHSA (2002).

2.2.2.7 Pré-seleção de medidas alternativas de drenagem urbana sustentável

Antes de aplicar o método de análise multicritério escolhido pelo tomador de decisão, é importante realizar uma cuidadosa pré-seleção das medidas alternativas com base em aspectos relevantes, como a localização e parâmetros específicos relacionados à área em estudo. A etapa de pré-seleção desempenha um papel fundamental na identificação e filtragem das alternativas mais adequadas,

considerando critérios específicos relacionados à localização e ao problema em questão. Essa abordagem permite reduzir o número de alternativas a serem analisadas em detalhes, otimizando o tempo e os recursos dedicados à análise posterior.

Recomenda-se consultar referências e manuais consolidados para verificar os aspectos locacionais e parâmetros relevantes. A seguir, serão apresentados critérios para a pré-seleção de Trincheiras de Infiltração, Bacias de Retenção, Bacias de Detenção, Pavimentos Permeáveis e Poços de Infiltração, conforme apresentado no Manual de Drenagem Urbana da Prefeitura de São Paulo (2012).

Dando início à apresentação das restrições utilizadas para a pré-seleção das medidas alternativas, é apresentado o QUADRO 2.10, com restrições relacionadas à área contribuinte adequada. Observa-se que as trincheiras de infiltração e as bacias de detenção possuem menores áreas contribuintes adequadas, enquanto os pavimentos permeáveis podem abranger uma área de contribuição maior.

QUADRO 2.10 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS À ÁREA CONTRIBUINTE ADEQUADA

Área contribuinte adequada	
Trincheira de Infiltração	0 a 2 ha
Bacia de Retenção	0 a 6 ha
Bacia de Detenção	0 a 2 ha
Pavimentos Permeáveis	0 a 10 ha
Poços de Infiltração	0 a 6 ha

FONTE: Manual de Drenagem Urbana da Prefeitura de São Paulo

No QUADRO 2.11, estão listadas as restrições relacionadas à profundidade adequada do lençol freático para cada medida. Observa-se que, para todas as estruturas, exceto a bacia de retenção, é necessário que o lençol freático esteja localizado a mais de 1 metro de profundidade.

QUADRO 2.11 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS À PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO ADEQUADO

Profundidade do lençol freático adequada	
Trincheira de Infiltração	> 1 metro
Bacia de Retenção	Sem restrição
Bacia de Detenção	> 1 metro
Pavimentos Permeáveis	> 1 metro
Poços de Infiltração	> 1 metro

FONTE: Manual de Drenagem Urbana da Prefeitura de São Paulo

Dando continuidade, apresenta-se agora no QUADRO 2.12 as restrições relacionadas à declividade adequada. Observa-se que apenas o pavimento permeável possui restrição de declividade, a qual não pode ser inferior a 5%.

QUADRO 2.12 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS À DECLIVIDADE ADEQUADA

Declividade adequada	
Trincheira de Infiltração	Sem restrição
Bacia de Retenção	Sem restrição
Bacia de Detenção	Sem restrição
Pavimentos Permeáveis	> 5%
Poços de Infiltração	Sem restrição

FONTE: Manual de Drenagem Urbana da Prefeitura de São Paulo

No QUADRO 2.13, são apresentadas as restrições referentes aos usos próximos proibidos. Neste quadro, apenas as trincheiras de infiltração, os pavimentos permeáveis e os poços de infiltração possuem restrições relacionadas aos usos próximos proibidos.

QUADRO 2.13 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS AOS USOS PRÓXIMOS PROIBIDOS

Usos próximos proibidos	
Trincheira de Infiltração	Construções
Bacia de Retenção	Sem restrição
Bacia de Detenção	Sem restrição
Pavimentos Permeáveis	Vias e construções
Poços de Infiltração	Indústrias e construções

FONTE: Manual de Drenagem Urbana da Prefeitura de São Paulo

Quanto às restrições relacionadas à capacidade de infiltração adequada, observa-se, no QUADRO 2.14, que apenas a bacia de retenção não requer uma capacidade de infiltração elevada.

QUADRO 2.14 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS À CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO ADEQUADA

Capacidade de infiltração adequada	
Trincheira de Infiltração	7 a 200 $mm.h^{-1}$
Bacia de Retenção	0,5 a 60 $mm.h^{-1}$
Bacia de Detenção	1 a 200 $mm.h^{-1}$
Pavimentos Permeáveis	7 a 200 $mm.h^{-1}$
Poços de Infiltração	4 a 200 $mm.h^{-1}$

FONTE: Manual de Drenagem Urbana da Prefeitura de São Paulo

No QUADRO 2.15, pode-se observar que todas as medidas analisadas são inviáveis em locais onde o solo apresenta fragilidade na presença de água.

QUADRO 2.15 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS AOS SOLOS FRÁGEIS À ÁGUA

Solos frágeis à água	
Trincheira de Infiltração	Inviável
Bacia de Retenção	Inviável
Bacia de Detenção	Inviável
Pavimentos Permeáveis	Inviável
Poços de Infiltração	Inviável

FONTE: Manual de Drenagem Urbana da Prefeitura de São Paulo

Em relação às restrições relacionadas à impermeabilidade do subsolo, observa-se no QUADRO 2.16 que apenas a bacia de detenção pode ser utilizada em locais com subsolo impermeável.

QUADRO 2.16 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS À IMPERMEABILIDADE DO SUBSOLO

Subsolo impermeável	
Trincheira de Infiltração	Inviável
Bacia de Retenção	Inviável
Bacia de Detenção	Possível
Pavimentos Permeáveis	Inviável
Poços de Infiltração	Inviável

FONTE: Manual de Drenagem Urbana da Prefeitura de São Paulo

No que diz respeito à presença ou ausência de exutório, de acordo com o QUADRO 2.17, apenas as bacias de retenção e de detenção requerem a presença de um exutório na estrutura.

QUADRO 2.17 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS À PRESENÇA OU NÃO DE EXUTÓRIO

Exutório	
Trincheira de Infiltração	Não precisa
Bacia de Retenção	Precisa
Bacia de Detenção	Precisa
Pavimentos Permeáveis	Não precisa
Poços de Infiltração	Não precisa

FONTE: Manual de Drenagem Urbana da Prefeitura de São Paulo

No QUADRO 2.18, observam-se as restrições relacionadas a esforços e tráfego intenso. Conforme pode ser observado, é inviável utilizar trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis e bacias de detenção em locais com tráfego intenso.

QUADRO 2.18 – RESTRIÇÕES DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS RELACIONADAS AOS ESFORÇOS E TRÁFEGOS INTENSOS

Esforços e tráfegos intensos	
Trincheira de Infiltração	Inviável
Bacia de Retenção	Sem restrição
Bacia de Detenção	Sem restrição
Pavimentos Permeáveis	Inviável
Poços de Infiltração	Inviável

FONTE: Manual de Drenagem Urbana da Prefeitura de São Paulo

Além disso, para a pré-seleção, é possível observar nos locais indicados pelo Manual de Drenagem Urbana da SUDERSHA (2002) para cada estrutura, conforme segue: para trincheiras de infiltração, estacionamentos para veículos leves, ruas e vias com tráfego leve, praças e caminhos de pedestres, parques, áreas esportivas e áreas de lazer. Para as bacias de retenção, o manual indica estacionamentos para veículos leves, praças e caminhos de pedestres, parques, áreas esportivas e áreas de lazer. Além disso, para as bacias de detenção, é recomendada a utilização em estacionamentos para veículos leves, estacionamentos para veículos pesados, ruas e vias com tráfego leve, vias com tráfego intenso, praças e caminhos de pedestres, parques, áreas esportivas e áreas de lazer.

Quanto aos pavimentos permeáveis, o Manual de Drenagem Urbana da SUDERSHA (2002) indica sua utilização em estacionamentos para veículos leves, estacionamentos para veículos pesados, ruas e vias com tráfego leve, praças e caminhos de pedestres. Já os poços de infiltração têm sua utilização recomendada em estacionamentos para veículos leves, estacionamentos para veículos pesados, ruas e vias com tráfego leve, vias com tráfego intenso, praças e caminhos de pedestres.

2.3 INDICADORES E ÍNDICES ASSOCIADOS À SUSTENTABILIDADE DAS INTERVENÇÕES DE DRENAGEM URBANA

Nesta pesquisa, foi realizado um levantamento de indicadores em referências bibliográficas dos últimos cinco anos, sendo a maioria dessas referências dos últimos três anos.

Foram levantados um total de 81 indicadores, presentes nas sete referências bibliográficas a seguir:

– Tripathy *et al*. (2020);
– Kelleher e Phillips (2020);
– Fontaneda e Ramírez (2019);
– Shi *et al*. (2019);
– Albuquerque (2021);
– Birgani e Yazdandoost (2018);
– Leeuwen e Chandy (2013).

É importante ressaltar que o conteúdo apresentado abaixo é apenas um levantamento inicial, sem a exclusão de indicadores com base em critérios como a repetibilidade. Posteriormente, esses indicadores foram filtrados para selecionar apenas aqueles que não se repetem e que são relevantes no contexto da aplicação.

Iniciando a apresentação da revisão de literatura destes indicadores, Tripathy *et al*. (2020), em seus estudos, apresentaram dois indicadores relacionados à vulnerabilidade, sendo estes:

– Indicador Socioeconômico: este indicador mede a susceptibilidade de uma região a danos decorrentes de

episódios de inundação. Ele abrange a parte da população que é vulnerável a danos físicos, emocionais ou mentais. Segundo os autores, o indicador socioeconômico é influenciado pela gravidade da situação atual e por eventos passados de desastres. Um valor positivo desse indicador aumenta a vulnerabilidade e, consequentemente, o risco de inundação. Já um valor negativo indica redução da vulnerabilidade e do risco de inundação;

– Indicador Topográfico: de acordo com os estudos dos autores, o indicador de vulnerabilidade topográfica quantifica o risco de inundação durante eventos extremos de chuva com base na elevação do terreno. A elevação da região de estudo desempenha um papel importante no risco de inundação. Para calcular esse indicador, é utilizado um modelo chamado de *Height Above Nearest Drainage* (HAND), que normaliza os valores do Modelo Digital de Elevação (MDE). O HAND agrupa as elevações em relação ao nível do mar e à drenagem mais próxima. A aplicação do HAND pode ser realizada por meio de ferramentas automatizadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Nos estudos de Kelleher and Phillips (2020), foi apresentado o indicador topográfico chamado de Índice de Umidade Topográfico (*Topographic Wetness Index* - TWI), que indica os locais propensos a inundações pluviais. Para o cálculo do TWI, os autores utilizaram ferramentas do software TauDEM para calcular a inclinação local e a direção do fluxo. A área de inclinação ascendente é determinada a partir da direção do fluxo. O TWI é calculado célula por célula, utilizando a equação do logaritmo neperiano da razão entre a inclinação ascendente e a inclinação local.

Em Fontaneda e Ramírez (2019), foram apresentados 15 indicadores, os quais estão relacionados em sequência:

– Ambiental: as SUDs acarretam em gestão segura de águas superficiais;

– socioeconômico: acréscimo do investimento em relação aos sistemas convencionais de drenagem urbana, além de economia de água e valor socioeconômico;

– desenvolvimento de resiliência/adaptabilidade a mudanças futuras: SUDs escolhidos de modo a considerar as mudanças climáticas, e considerando os impactos para a resiliência e adaptação da comunidade;

– vegetação: utilização, por exemplo, de áreas de biorretenção, zonas úmidas, lagoas e jardins de chuva;

– soluções projetadas e robustas: utilização, por exemplo, de pavimentos permeáveis;

– tratamento da água no local adequado: realização do tratamento da água perto do ponto onde ela cai;

– melhoramento do caráter visual/histórico: integração na área envolvente, medidas SUDSs sendo utilizadas para serem visualmente atrativas, fornecendo nível de apoio ao património local e à paisagem;

– segurança: proporcionar o aumento da segurança no local;

– multifuncionalidade: maximizar o número de funções;

– aspectos legais: presença de regulamentações locais, barreiras legais, considerando o contexto nacional e internacional;

– educação da população: sensibilização da comunidade e utilização de estratégias de educação;

– escoamento superficial: utilização de métodos de controle de escoamento superficial;

– prevenção da poluição: realização da gestão da qualidade do escoamento superficial para controle da poluição;

– espaços apropriados para a população: criar e manter espaços mais adequados para os moradores viverem;

– espaços apropriados para a natureza: criar e manter melhores espaços para a natureza trazendo a biodiversidade de volta à cidade.

Nos estudos de Shi *et al*. (2019), foram apresentados dez indicadores relacionados diretamente com inundações urbanas. Estes foram separados em categorias: fatores de risco de desastre, sensibilidade ao meio ambiente, vulnerabilidade do corpo em caso de catástrofe, vulnerabilidade do corpo portador de desastres e prevenção de catástrofes e resiliência. Esses indicadores foram subdivididos em 10 subcategorias, que são os seguintes indicadores:

– Fator de precipitação: classificado na categoria de fatores de risco de desastre, trata-se da precipitação média anual e durante a estação de inundação (unidade: mm). Indicador positivo, de peso 0,1786.

– fator de inundação: classificado na categoria de fatores de risco de desastre, refere-se a distância até o rio (unidade: m) e capacidade de armazenamento do reservatório (unidade: m^3). Indicador positivo, de peso 0,0815;

– fator de terreno: classificado na categoria de sensibilidade ao meio ambiente, refere-se à elevação (unidade: m) e inclinação (unidade: grau). Indicador positivo, de peso 0,1538;

– fator solo: classificado na categoria de sensibilidade ao meio ambiente, trata-se da proporção de solos cultivados (unidade: %). Indicador negativo, de peso 0,0393;

– fator da rede fluvial: classificado na categoria de sensibilidade ao meio ambiente, o indicador é calculado pela densidade da rede fluvial (unidade: %). Indicador positivo, de peso 0,0949;

– vulnerabilidade da população: classificado na categoria de vulnerabilidade do corpo em caso de catástrofe, o indicador trata do valor da densidade populacional (%). Indicador positivo, de peso 0,0387;

– vulnerabilidade econômica: Classificado na categoria de vulnerabilidade do corpo portador de desastres, este

indicador utiliza o PIB per capita (unidade: $R\$.hab^{-1}$). Indicador positivo, de peso 0,0274;

– vulnerabilidade do edifício: Classificado na categoria de vulnerabilidade do corpo portador de desastres, este indicador se refere à qualidade do edifício (unidade: -) e idade arquitetônica (unidade: ano). Indicador positivo, de peso 0,0531;

– capacidade de controle de inundações: Classificado na categoria de prevenção de catástrofes e resiliência, este indicador pode ser calculado pela densidade da rede de condutas de águas pluviais (unidade: %). Indicador negativo, de peso 0,1762;

– capacidade de resposta abrangente: Classificado na categoria de prevenção de desastres e resiliência, trata-se do nível de urbanização (unidade: %) e densidade da rede rodoviária (unidade: %). Indicador negativo, de peso 0,1564.

Em estudos anteriores ao presente, Albuquerque (2021), autora da presente pesquisa, utilizou em seu estudo 10 indicadores. Sendo estes, conforme as definições apresentadas pela autora:

– Alterações no meio físico: observa-se, para este, se houve acréscimo ou decréscimo nas áreas impermeáveis após a utilização da alternativa de drenagem;

– tempo ao pico: para este, avalia-se o desempenho hidrológico quando utilizada a alternativa escolhida para a drenagem, de tal maneira que possa ser possível informar se o sistema está retardando ou favorecendo a formação de enchentes;

– vazão de pico: como no indicador de tempo ao pico, o indicador de vazão de pico também realiza a avaliação do desempenho hidrológico quando utilizada a alternativa escolhida para a drenagem;

– indicador de risco da obra: considera a relação entre o tempo de retorno que irá ser adotado no projeto da alternativa de drenagem e qual o tempo de retorno recomendado pelas literaturas;

– custos: para este indicador, considera-se a razão entre o custo médio de todas as alternativas que estão sendo estudas na análise multicritério pelo custo da alternativa para qual está querendo determinar o indicador;

– impactos no meio ambiente: para este indicador, calcula-se a razão entre o aumento (ou redução) da área verde com a implementação da alternativa de drenagem em análise, pela área verde antes da implementação;

– indicador de qualidade de água: neste indicador, calcula-se o IQA (Índice de Qualidade Ambiental), que considera a remoção que a alternativa promove de sólidos sedimentáveis, fósforo, nitrogênio, zinco e chumbo, totais, e a demanda bioquímica;

– criação ou supressão de áreas de lazer: este indicador é determinado pela razão entre o aumento (ou redução) das áreas de lazer com a implementação do sistema alternativo de drenagem;

– aumento ou redução do número de doentes: o indicador de aumento ou redução do número de doentes faz a relação entre o aumento (ou redução) do número de doentes com a utilização do sistema, pelo número de doentes antes da implementação;

– aproveitamento de águas pluviais: o indicador de aproveitamento de águas pluviais é determinado pela razão entre o volume armazenado pelo sistema a ser implantado pelo volume da demanda da cidade ou região de estudo.

Conforme os estudos de Bigarni e Yazdandoost (2018), apresentam-se 19 indicadores, os quais são separados em 5 critérios. Seguem abaixo os indicadores, segundo os autores:

– Cargas poluentes: o peso do volume de carga poluente lançada na água receptora (unidade: kg). Critério planejamento e categoria sustentabilidade. Indicador negativo;

– conformidade com as políticas dos gestores: execução dos planos consoantes às políticas dos gestores (unidade: $L.m^{-1}.h^{-1}$). Critério de planejamento e categoria sustentabilidade. Indicador positivo;

– cumprimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável: utilização de planos que obedeçam aos objetivos de desenvolvimento sustentável (unidade: $L.m^{-1}.h^{-1}$). Critério planejamento e categoria sustentabilidade. Indicador positivo;

– aceitabilidade dos moradores: o nível de satisfação dos moradores com a implementação dos planos (unidade: $L.m^{-1}.h^{-1}$). Critério planejamento e categoria sustentabilidade. Indicador positivo;

– perspectivas de desenvolvimento: quanto a implementação dos planos irá resultar em perspectivas positivas (unidade: $L.m^{-1}.h^{-1}$). Critério planejamento e categoria sustentabilidade. Indicador positivo;

– simplicidade de treinamento: o nível de simplicidade de treinar as partes interessadas e os moradores para os diversos planos (unidade: $L.m^{-1}.h^{-1}$). Critério planejamento e categoria sustentabilidade. Indicador positivo;

– facilidade de conexão: quão simples é a utilização do plano escolhido com os outros UDSs (unidade: $L.m^{-1}.h^{-1}$). Critério técnico e categoria sustentabilidade. Indicador positivo;

– facilidade de renovação: quão simples é a atualização do sistema utilizado de UDSs (unidade: $L.m^{-1}.h^{-1}$). Critério técnico e categoria sustentabilidade. Indicador positivo;

– facilidade de manutenção: quão simples é a manutenção da UDSs o tempo total que o plano irá funcionar devidamente sem necessitar de manutenção (unidade: $L.m^{-1}.h^{-1}$). Critério técnico e categoria sustentabilidade. Indicador positivo;

– tempo de vida: o tempo total que o plano irá funcionar devidamente sem necessitar de manutenção. Critério técnico e categoria sustentabilidade. Indicador positivo;

– multifuncionalidade: a quantidade de outras funcionalidades (como entretenimento da população, além de outros) que o plano pode ter (unidade: $L.m^{-1}.h^{-1}$). Critério técnico e categoria sustentabilidade. Indicador positivo;

– duração da recuperação: o tempo de subsidência das inundações (unidade: %). Critério econômico e categoria resiliência. Indicador positivo;

– custo de construção: os custos que a implantação do plano de drenagem urbana terá (unidade: R$). Critério econômico e categoria sustentabilidade. Indicador negativo;

– bem-estar dos moradores: quanto de recreação e entretenimento será gerada para a população. Critério social e categoria sustentabilidade. Indicador positivo;

– beleza da paisagem urbana: à beleza paisagem da cidade (unidade: $L.m^{-1}.h^{-1}$). Critério social e categoria sustentabilidade. Indicador positivo;

– Resposta anual esperada: a média da resposta social esperada devido a diferentes períodos de precipitação do período de retorno (unidade: %). Critério social e categoria resiliência. Indicador negativo;

– capacidade de recuperação: a capacidade do município se recuperar após um episódio de inundação pluvial (unidade: %). Critério social e categoria resiliência. Indicador positivo;

– ponto resistente: a precipitação máxima na qual a resposta social na área inundada é igual a zero (unidade: mm de chuva). Critério social e categoria resiliência. Indicador positivo;

– ponto de aquecimento: a precipitação que geraria mais desordem para a área inundada em relação ao domínio da resposta sobre a capacidade de recuperação (unidade: mm de chuva). Critério ambiental e categoria sustentabilidade. Indicador positivo.

Nos estudos de Leeuwen e Chandy (2013), foram apresentados 24 indicadores de sustentabilidade relacionados ao saneamento. Estes foram relacionados com o saneamento de forma geral, sendo em seguida separados os indicadores que podem ser utilizados para tomada de decisão em drenagem urbana. Os 24 indicadores apresentados nos estudos dos autores supracitados são os seguintes:

– Pegada hídrica total (área: segurança hídrica): o volume de água doce, em sua totalidade, utilizado para a produção dos serviços que são consumidos pela comunidade;

– escassez de água (área: segurança hídrica): relação entre a pegada hídrica total e os recursos hídricos renováveis totais;

– autossuficiência hídrica (área: segurança hídrica): razão entre a pegada hídrica interna e a total. No caso de toda a água necessária estar disponível e ser retirada do próprio território, a autossuficiência é de 100%.

– qualidade das águas superficiais (área: qualidade da água): realização da avaliação da qualidade da água superficial, utilizando padrões, de preferência, internacionais. Estes podem ser, por exemplo, valores de nutrientes, DBO, microcontaminantes orgânicos e inorgânicos, além de outros;

– qualidade das águas subterrâneas (área: qualidade da água): realização da avaliação da qualidade da água subterrânea, utilizando padrões, de preferência, internacionais. Estes podem ser, por exemplo, valores de nutrientes, DBO, microcontaminantes orgânicos e inorgânicos, além de outros;

– água suficiente para beber (área: água potável): A porcentagem da população total do município que possui acesso ao serviço de abastecimento de água potável;

– vazamentos do sistema de água (área: água potável): porcentagem de água perdida por meio de vazamentos no sistema de distribuição;

– eficiência hídrica (área: água potável): avaliação da amplitude das medidas para melhorar a eficiência do uso da água;

– consumo (área: água potável): consumo (em domicílios) de água doce per capta ($L.dia^{-1}.hab^{-1}$);

– saneamento seguro (área: saneamento): porcentagem da população total do município que é atendido pelo serviço de saneamento de esgotamento sanitário;

– qualidade do lodo de esgoto (área: saneamento): porcentagem do total de lodo de esgoto que pode ser utilizado, sem maiores prejuízos, com segurança na agricultura, levando em consideração os microcontaminantes orgânicos e inorgânicos;

– eficiência energética (área: saneamento): ponderação da cobertura das medidas destinadas a melhorar a eficiência do tratamento de águas residuais;

– recuperação de energia (área: saneamento): porcentagem de efluentes tratados com técnicas de recuperação e geração de energia;

– recuperação de nutrientes (área: saneamento): porcentagem de águas residuais que foram tratadas com técnicas para recuperar nutrientes, principalmente o fosfato;
– manutenção (área: infraestrutura): percentagem de infraestruturas para a recolha, distribuição e tratamento de águas residuais com menos de 40 anos;
– separação das águas residuais e das águas pluviais (área: infraestrutura): percentagem de separação das infraestruturas de recolha de águas residuais e pluviais;
– compromissos das autoridades locais em matéria de alterações climáticas (área: clima): avaliação da abrangência dos compromissos e estratégias em relação às alterações climáticas;
– medidas de adaptação às alterações climáticas (área: clima): avaliação das medidas utilizadas para a proteção dos cidadãos contra inundações e escassez de água, incluindo a drenagem sustentável;
– edifícios apropriados para o clima (área: clima): avaliação da eficiência energética para aquecimento e arrefecimento, incluindo a energia geotérmica de edifícios;
– biodiversidade (área: biodiversidade e atratividade): biodiversidade dos ecossistemas aquáticos, em conformidade com a DQA;
– atratividade (área: biodiversidade e atratividade): aferida pelo sentimento da comunidade dentro da cidade em relação à água na paisagem urbana;
– gestão e planos de ação (área: governança): medida dos compromissos regionais, e também locais, em questão das infraestruturas adaptativas, multifuncionais, e de concepção;
– participação pública (área: governança): porcentagem da população que fazem trabalhos voluntários e que se envolvem em atividade pelas quais não são remunerados.

2.3.1 Revisão dos indicadores

Realizando a seleção dos indicadores que podem ser utilizados para a tomada de decisão em drenagem urbana, dos 81 indicadores apresentados, foram selecionados 65. Esses foram separados em nove grupos de critérios: ambiental, econômico, físico, governança, hidrologia e/ou hidráulica, operacional, qualidade das águas, saneamento e social. É importante ressaltar que a classificação em grupos de critérios foi feita novamente pela autora, uma vez que alguns estudos não separavam os indicadores em critérios e não havia padronização entre eles.

O primeiro grupo de indicadores separados trata-se dos indicadores de critério ambiental. Nesse grupo, foram identificados três indicadores, provenientes dos estudos de Fontaneda e Ramírez (2019), Albuquerque (2021) e Bigarni e Yazdandoost (2018), conforme pode ser visto no QUADRO 2.19.

QUADRO 2.19 - INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO AMBIENTAL

Indicador	Explicação	Fonte
Ambiental	As SUDs que acarretam em gestão segura de águas superficiais	Fontaneda e Ramírez (2019)
Aproveitamento de águas pluviais	Determinado pela razão entre o volume armazenado e a demanda da região	Albuquerque (2021)
Perspectivas de desenvolvimento	Quanto a implementação dos planos irá resultar em perspectivas positivas	Bigarni e Yazdandoost (2018)

No segundo grupo de indicadores, referente ao critério econômico, foram identificados três indicadores presentes nos estudos de Shi et al. (2019), Albuquerque (2021) e Bigarni e Yazdandoost (2018). Conforme pode ser observado no QUADRO 2.20, o indicador mais frequentemente utilizado é o custo de implantação do sistema, presente nos estudos de Albuquerque (2021) e Bigarni e Yazdandoost (2018).

QUADRO 2.20 - INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO ECONÔMICO

Indicador	Explicação	Fonte
Vulnerabilidade econômica	Utiliza o PIB per capita	Shi *et al*. (2019)
Custos	Relação entre a média do custo dos sistemas e do que está em análise	Albuquerque (2021)
Custo de construção	Os custos que a implantação do plano de drenagem urbana terá	Bigarni e Yazdandoost (2018)

O terceiro grupo de indicadores refere-se aos indicadores de critério físico. Neste grupo, foram selecionados seis indicadores provenientes dos estudos de Tripathy *et al*. (2020), Fontaneda e Ramírez (2019), Shi *et al*. (2019) e Albuquerque (2021). Dentro desse grupo, destacam-se dois indicadores que foram mencionados com maior frequência. O primeiro é o indicador de aumento ou redução de áreas verdes, citado por Fontaneda e Ramírez (2019) e Albuquerque (2021). O segundo é o indicador que considera os fatores topográficos do terreno, apresentado por Kelleher e Phillips (2020), Tripathy *et al*. (2020) e Shi *et al*. (2019), conforme demonstrado no QUADRO 2.21.

QUADRO 2.21 - INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO FÍSICO

Indicador	Explicação	Fonte
Topográfico	Utiliza-se ferramentas de taudem para calcular a inclinação local e a direção do fluxo	Kelleher e Phillips (2020)
Topográfico	Quantifica o risco de ocorrer inundação durante os eventos considerados extremos de chuva em relação à elevação	Tripathy *et al*. (2020)
Vegetação	Utilização, por exemplo, de áreas de biorretenção	Fontaneda e Ramírez (2019)
Terreno	Elevação e inclinação	Shi *et al*. (2019)
Solo	Proporção de solos cultivados	Shi *et al*. (2019)
Impactos no meio ambiente	Aumento ou redução de áreas verdes	Albuquerque (2021)
Alterações no meio físico	Aumento ou redução de áreas permeáveis	Albuquerque (2021)

Observa-se no QUADRO 2.21 que, embora o indicador topográfico seja apresentado duas vezes, sua obtenção ocorre de formas distintas. O primeiro é obtido por meio de ferramentas que calculam a inclinação local e a direção do fluxo, enquanto o segundo é quantificado pela elevação do terreno.

O quarto grupo de indicadores foi classificado como critério de governança, e nele foram selecionados quatro indicadores presentes nos estudos de Fontaneda e Ramírez (2019), Bigarni e Yazdandoost (2018) e Leeuwen e Chandy (2013). Conforme demonstrado no QUADRO 2.22, não houve repetição de indicadores entre os estudos.

QUADRO 2.22 - INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO GOVERNANÇA

Indicador	Explicação	Fonte
Aspectos legais	Legislações e normas locais	Fontaneda e Ramírez (2019)
Políticas dos gestores	Execução dos planos consoantes às políticas dos gestores	Bigarni e Yazdandoost (2018)
Cumprimento dos objetivos de desenvolvimento sustentáveis	Utilização de planos que obedeçam aos objetivos de desenvolvimento sustentável	Bigarni e Yazdandoost (2018)
Gestão e planos de ação	Compromissos para as infraestruturas	Leeuwen e Chandy (2013)

O quinto grupo de indicadores foi classificado como critério de hidrologia e/ou hidráulica. Neste grupo, foram apresentados 15 indicadores presentes nos estudos de Fontaneda e Ramírez (2019), Shi *et al*. (2019), Albuquerque (2021), Bigarni e Yazdandoost (2018) e Leeuwen e Chandy (2013). Conforme pode ser observado no QUADRO 2.23, o indicador mais utilizado foi aquele que considera o risco de ocorrência de inundações e alagamentos, levando em conta a distância até o rio (SHI *et al*., 2019) ou o tempo e a vazão de pico (ALBUQUERQUE, 2021).

QUADRO 2.23 - PRIMEIRA PARTE DOS INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO HIDROLOGIA E/OU HIDRÁULICA

Indicador	Explicação	Fonte
Escoamento superficial	Métodos de controle de escoamento superficial	Fontaneda e Ramírez (2019)
Precipitação	Precipitação média anual e durante a estação de inundação	Shi *et al*. (2019)
Inundação	Distância até o rio	Shi *et al*. (2019)
Rede fluvial	Densidade da rede fluvial	Shi *et al*. (2019)
Capacidade de controle de inundações	Densidade de condutos pluviais	Shi *et al*. (2019)
Capacidade de resposta abrangente	Nível de urbanização e densidade da rede rodoviária	Shi *et al*. (2019)
Tempo ao pico	Tempo ao pico do hidrograma	Albuquerque (2021)
Vazão de pico	Vazão de pico da área de contribuição	Albuquerque (2021)
Risco da obra	Relação entre tempo de retorno adotado e recomendado	Albuquerque (2021)
Resposta anual de precipitação esperada	A média da resposta social esperada devido a diferentes períodos de precipitação do período de retorno	Bigarni e Yazdandoost (2018)
Ponto resistente (precipitação máxima)	A precipitação máxima na qual a resposta social na área inundada é igual a zero	Bigarni e Yazdandoost (2018)
Ponto de aquecimento (precipitação de desordem)	A precipitação que geraria mais desordem para a área inundada em relação ao domínio da resposta sobre a capacidade de recuperação	Bigarni e Yazdandoost (2018)
Pegada hídrica total	Volume de água doce para produção de serviços	Leeuwen e Chandy (2013)
Escassez de água	Relação entre a pegada hídrica total e os recursos hídricos renováveis totais	Leeuwen e Chandy (2013)
Autossuficiência hídrica	Razão entre a pegada hídrica interna e a total	Leeuwen e Chandy (2013)

O sexto grupo de indicadores foi classificado como critério operacional. Neste grupo, foram apresentados 10 indicadores presentes nos estudos de Leeuwen e Chandy (2013), Fontaneda e Ramírez (2019), Shi *et al*. (2019) e Bigarni e Yazdandoost (2018). Conforme pode ser observado no QUADRO 2.24, o indicador

que mais se repete é aquele que considera a multifuncionalidade do sistema, estando presente nos estudos de Fontaneda e Ramírez (2019) e Bigarni e Yazdandoost (2018).

QUADRO 2.24 - INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO OPERACIONAL

Indicador	Explicação	Fonte
Separação das águas residuais e das águas pluviais	Percentagem de separação das infraestruturas de recolha de águas residuais e pluviais	Leeuwen e Chandy (2013)
Soluções projetadas e robustas	Utilização, por exemplo, de pavimentos permeáveis	Fontaneda e Ramírez (2019)
Multifuncionalidade	Maximizar número de funções	Fontaneda e Ramírez (2019)
Vulnerabilidade do edifício	Vulnerabilidade dos edifícios a desastres	Shi *et al*. (2019)
Simplicidade de treinamento	O nível de simplicidade de treinar as partes interessadas e os moradores para os diversos planos	Bigarni e Yazdandoost (2018)
Facilidade de conexão	Quão simples é a utilização do plano escolhido com os outros UDSS	Bigarni e Yazdandoost (2018)
Facilidade de renovação	Quão simples é a atualização do sistema utilizado de UDSS	Bigarni e Yazdandoost (2018)
Facilidade de manutenção	Quão simples é a manutenção da UDSS o tempo total que o plano irá funcionar devidamente sem necessitar de manutenção	Bigarni e Yazdandoost (2018)
Tempo de vida	O tempo total que o plano irá funcionar devidamente sem necessitar de manutenção	Bigarni e Yazdandoost (2018)
Multifuncionalidade	A quantidade de outras funcionalidades	Bigarni e Yazdandoost (2018)

O sétimo grupo de seleção de indicadores refere-se aos indicadores classificados como critério qualidade das águas. Nessa seleção, foram observados cinco indicadores presentes nos estudos de Bigarni e Yazdandoost (2018), Fontaneda e Ramírez (2019), Albuquerque (2021) e Leeuwen e Chandy (2013). Conforme pode ser observado no QUADRO 2.25, o indicador que mais se repete é aquele que considera a qualidade das águas. Esse tipo de indicador está presente em quatro

estudos diferentes, conforme levantado, como nos estudos de Bigarni e Yazdandoost (2018), Fontaneda e Ramírez (2019), Albuquerque (2021) e Leeuwen e Chandy (2013).

QUADRO 2.25 - INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO QUALIDADE DAS ÁGUAS

Indicador	Explicação	Fonte
Cargas poluentes	O peso do volume de carga poluente lançada na água receptora	Bigarni e Yazdandoost (2018)
Prevenção da poluição	Gestão da qualidade do escoamento superficial	Fontaneda e Ramírez (2019)
Qualidade de Água	Utiliza o IQA	Albuquerque (2021)
Qualidade das águas superficiais	Realização da avaliação da qualidade da água superficial	Leeuwen e Chandy (2013)
Qualidade das águas subterrâneas	Realização da avaliação da qualidade da água subterrânea	Leeuwen e Chandy (2013)

O oitavo grupo de indicadores refere-se aos indicadores classificados como critério saneamento. Para esse critério, foram selecionados dois indicadores presentes nos estudos de Fontaneda e Ramírez (2019) e Leeuwen e Chandy (2013), conforme pode ser observado no QUADRO 2.26. Assim como no grupo de critério governança, no critério saneamento não houve repetição de indicadores.

QUADRO 2.26 - INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO SANEAMENTO

Indicador	Explicação	Fonte
Tratamento de água no local adequado	Realização do tratamento da água perto do ponto onde ela cai	Fontaneda e Ramírez (2019)
Saneamento seguro	Porcentagem da população total do município que é atendido pelo serviço de saneamento de esgotamento sanitário	Leeuwen e Chandy (2013)

O nono e último grupo de indicadores refere-se aos indicadores classificados como critério social. Nesse grupo, conforme pode ser observado no QUADRO 2.27, estão presentes 17 indicadores nos estudos de Tripathy *et al*. (2020), Fontaneda e Ramírez (2019), Shi *et al*. (2019), Albuquerque (2021), Bigarni e Yazdandoost (2018) e Leeuwen e Chandy (2013). O indicador mais abordado no critério social, assim como o mais abordado em todos os outros critérios, é aquele que envolve a criação ou supressão de áreas de lazer. Indicadores desse tipo foram observados nos estudos

de Fontaneda e Ramírez (2019), Albuquerque (2021), Bigarni e Yazdandoost (2018) e Leeuwen e Chandy (2013).

QUADRO 2.27 - PRIMEIRA PARTE DOS INDICADORES CLASSIFICADOS COMO CRITÉRIO SOCIAL

Indicador	Explicação	Fonte
Socioeconômico	Afere a suscetibilidade de uma região a danos oriundos de episódios de inundação	Tripathy *et al*. (2020)
Adaptabilidade a mudanças futuras	Impactos para a resiliência e adaptação da comunidade	Fontaneda e Ramírez (2019)
Melhoramento visual/histórico	Medidas sudss sendo utilizadas para serem visualmente atrativas	Fontaneda e Ramírez (2019)
Segurança	Segurança local	Fontaneda e Ramírez (2019)
Educação da população	Sensibilização da comunidade e utilização de estratégias de educação	Fontaneda e Ramírez (2019)
Espaços apropriados para a população	Espaços adequados para moradores	Fontaneda e Ramírez (2019)
Espaços apropriados para a natureza	Espaços adequados para a natureza	Fontaneda e Ramírez (2019)
Vulnerabilidade da população	Vulnerabilidade da população em caso de catástrofe	Shi *et al*. (2019)
Criação ou supressão de áreas de lazer	Aumento ou redução de áreas de lazer	Albuquerque (2021)
Aumento ou redução do número de doentes	Aumento ou redução do número de doentes	Albuquerque (2021)
Aceitabilidade dos moradores	O nível de satisfação dos moradores com a implementação dos planos	Bigarni e Yazdandoost (2018)
Duração da recuperação de inundações	O tempo de subsidência das inundações	Bigarni e Yazdandoost (2018)
Bem-estar dos moradores	Quanto de recreação e entretenimento será gerada para a população	Bigarni e Yazdandoost (2018)
Beleza da paisagem urbana	À beleza paisagem da cidade	Bigarni e Yazdandoost (2018)
Capacidade de recuperação de inundações	A capacidade do município se recuperar após um episódio de inundação pluvial	Bigarni e Yazdandoost (2018)
Atratividade da sociedade	Aferida pelo sentimento da comunidade dentro da cidade em relação à água na paisagem urbana	Leeuwen e Chandy (2013)
Participação pública	Porcentagem da população que fazem trabalhos voluntários e/ou sem renumeração	Leeuwen e Chandy (2013)

No QUADRO 2.28, pode-se observar o resumo geral dos indicadores mais frequentes. Dentre todos os indicadores estudados, sete foram apresentados mais de uma vez nos estudos levantados, sendo que dois deles, relacionados à qualidade das águas e às áreas de lazer, foram citados em quatro estudos diferentes.

Além disso, pode-se observar que não houve repetibilidade de indicadores classificados como critério de governança ou saneamento. O critério de saneamento foi o grupo que possuiu menos indicadores, enquanto o critério de governança foi o quarto grupo, dentre os nove, com menor quantidade de indicadores.

QUADRO 2.28 - RESUMO GERAL DOS INDICADORES MAIS FREQUENTES

Indicador	Critério	Repetição	Autores que utilizaram
Custo de implantação do sistema	Econômico	2	Albuquerque (2021) Bigarni e Yazdandoost (2018)
Aumento ou redução de áreas verdes	Físico	2	Fontaneda e Ramírez (2019) Albuquerque (2021)
Fatores topográficos do terreno	Físico	3	Kelleher e Phillips (2020) Tripathy *et al*. (2020) Shi *et al*. (2019)
Risco de ocorrer inundações e alagamentos	Hidrológico e/ou Hidráulico	2	Shi *et al*. (2019) Albuquerque (2021)
Multifuncionalidade	Operação	2	Fontaneda e Ramírez (2019) Bigarni e Yazdandoost (2018)
Qualidade das águas	Qualidade das águas	4	Bigarni e Yazdandoost (2018) Fontaneda e Ramírez (2019) Albuquerque (2021) Leeuwen e Chandy (2013)
Áreas de lazer	Social	4	Fontaneda e Ramírez (2019) Albuquerque (2021) Bigarni e Yazdandoost (2018) Leeuwen e Chandy (2013)

Embora os grupos de critérios "Hidrologia e/ou Hidráulica" e "Social" fossem os grupos com o maior número de indicadores, sendo 15 e 17, respectivamente, eles obtiveram apenas um indicador cada um com repetibilidade entre os estudos. Por outro lado, o critério "Físico" obteve dois indicadores com repetibilidade, o de áreas verdes e fatores topográficos, apesar de ter apenas sete indicadores em seu grupo.

2.3.2 Seleção de Indicadores

Os indicadores recomendados para serem utilizados na ferramenta de apoio à decisão são apresentados no QUADRO 2.29 a QUADRO 2.35. É importante ressaltar que a seleção dos indicadores, dentre aqueles apresentados nos estudos, será realizada pela equipe técnica de tomada de decisão, utilizando uma metodologia adequada e levando em consideração os aspectos regionais do local de estudo.

A seleção apresentada no QUADRO 2.29 ao QUADRO 2.35 levou em consideração a exclusão de indicadores repetidos entre os 81 indicadores, bem como a exclusão daqueles que não estavam diretamente relacionados com o objetivo da pesquisa.

Destaca-se que existem indicadores repetidos, porém, cada um deles é determinado com dados distintos. Embora sejam calculados de maneiras diferentes, ao adotar um indicador, o outro não deve ser adotado. Esses indicadores repetidos são os de número 3 e 4, e 5 e 6.

QUADRO 2.29 – PARTE 1 DO QUADRO DOS INDICADORES RECOMENDADOS A SEREM SELECIONADOS PELA EQUIPE TÉCNICA DE TOMADA DE DECISÃO

N°	Indicador	Critério	Explicação	Fonte
1	Vulnerabilidade econômica	Econômico	Utiliza o PIB per capita	Shi *et al*. (2019)
2	Custos	Físico	Relação entre a média do custo dos sistemas e do que está em análise	Albuquerque (2021)
3	Topográfico de inclinação	Físico	Utiliza-se ferramentas de taudem para calcular a inclinação local e a direção do fluxo	Kelleher e Phillips (2020)
4	Topográfico de elevação	Físico	Quantifica o risco de ocorrer inundação durante os eventos considerados extremos de chuva em relação à elevação	Tripathy *et al*. (2020)
5	Alterações no meio físico	Físico	Aumento ou redução de áreas permeáveis	Albuquerque (2021)

QUADRO 2.30 – PARTE 2 DO QUADRO DOS INDICADORES RECOMENDADOS A SEREM SELECIONADOS PELA EQUIPE TÉCNICA DE TOMADA DE DECISÃO

N°	Indicador	Critério	Explicação	Fonte
6	Impactos no meio ambiente	Físico	Aumento ou redução de áreas verdes	Albuquerque (2021)
7	Aspectos Legais	Governança	Legislações e normas locais	Fontaneda e Ramírez (2019)
8	Políticas dos gestores	Governança	Execução dos planos consoantes às políticas dos gestores	Bigarni e Yazdandoost (2018)
9	Cumprimento dos objetivos de desenvolvimento sustentáveis	Governança	Utilização de planos que obedeçam aos objetivos de desenvolvimento sustentável	Bigarni e Yazdandoost (2018)
10	Escoamento superficial	Hidrologia/Hidráulica	Métodos de controle de escoamento superficial	Fontaneda e Ramírez (2019)

QUADRO 2.31 – PARTE 3 DO QUADRO DOS INDICADORES RECOMENDADOS A SEREM SELECIONADOS PELA EQUIPE TÉCNICA DE TOMADA DE DECISÃO

N°	Indicador	Critério	Explicação	Fonte
11	Precipitação	Hidrologia/Hidráulica	Precipitação média anual e durante a estação de inundação	Shi *et al*. (2019)
12	Inundação	Hidrologia/Hidráulica	Distância até o rio	Shi *et al*. (2019)
13	Rede fluvial	Hidrologia/Hidráulica	Densidade da rede fluvial	Shi *et al*. (2019)
14	Capacidade de controle de inundações	Hidrologia/Hidráulica	Densidade de condutos pluviais	Shi *et al*. (2019)
15	Tempo ao pico	Hidrologia/Hidráulica	Tempo ao pico do hidrograma	Albuquerque (2021)

QUADRO 2.32 – PARTE 4 DO QUADRO DOS INDICADORES RECOMENDADOS A SEREM SELECIONADOS PELA EQUIPE TÉCNICA DE TOMADA DE DECISÃO

N°	Indicador	Critério	Explicação	Fonte
16	Vazão de pico	Hidrologia/Hidráulica	Vazão de pico da área de contribuição	Albuquerque (2021)
17	Risco da obra	Hidrologia/Hidráulica	Relação entre tempo de retorno adotado e recomendado	Albuquerque (2021)
18	Separação das águas residuais e das águas pluviais	Operacional	Percentagem de separação das infraestruturas de recolha de águas residuais e pluviais	Leeuwen e Chandy (2013)
19	Multifuncionalidade	Operacional	Maximizar número de funções	Fontaneda e Ramírez (2019)
20	Vulnerabilidade do edifício	Operacional	Vulnerabilidade dos edifícios a desastres	Shi et al. (2019)

QUADRO 2.33 – PARTE 5 DO QUADRO DOS INDICADORES RECOMENDADOS A SEREM SELECIONADOS PELA EQUIPE TÉCNICA DE TOMADA DE DECISÃO

N°	Indicador	Critério	Explicação	Fonte
21	Simplicidade de treinamento	Operacional	O nível de simplicidade de treinar as partes interessadas e os moradores para os diversos planos	Bigarni e Yazdandoost (2018)
22	Facilidade de conexão	Operacional	Quão simples é a utilização do plano escolhido com os outros UDSS	Bigarni e Yazdandoost (2018)
23	Facilidade de manutenção	Operacional	Quão simples é a manutenção da UDSS o tempo total que o plano irá funcionar devidamente sem necessitar de manutenção	Bigarni e Yazdandoost (2018)
24	Tempo de vida	Operacional	O tempo total que o plano irá funcionar devidamente sem necessitar de manutenção	Bigarni e Yazdandoost (2018)
25	Cargas poluentes	Qualidade das Águas	O peso do volume de carga poluente lançada na água receptora	Bigarni e Yazdandoost (2018)

QUADRO 2.34 – PARTE 6 DO QUADRO DOS INDICADORES RECOMENDADOS A SEREM SELECIONADOS PELA EQUIPE TÉCNICA DE TOMADA DE DECISÃO

N°	Indicador	Critério	Explicação	Fonte
26	Qualidade de Água	Qualidade das Águas	Utiliza o IQA	Albuquerque (2021)
27	Qualidade das águas subterrâneas	Qualidade das Águas	Realização da avaliação da qualidade da água subterrânea	Leeuwen e Chandy (2013)
28	Melhoramento visual/histórico	Social	Medidas sudss sendo utilizadas para serem visualmente atrativas	Fontaneda e Ramírez (2019)
29	Espaços apropriados para a população	Social	Espaços adequados para moradores	Fontaneda e Ramírez (2019)
30	Espaços apropriados para a natureza	Social	Espaços adequados para a natureza	Fontaneda e Ramírez (2019)

QUADRO 2.35 – PARTE 7 DO QUADRO DOS INDICADORES RECOMENDADOS A SEREM SELECIONADOS PELA EQUIPE TÉCNICA DE TOMADA DE DECISÃO

N°	Indicador	Critério	Explicação	Fonte
31	Vulnerabilidade da população	Social	Vulnerabilidade da população em caso de catástrofe	Shi *et al*. (2019)
32	Criação ou supressão de áreas de lazer	Social	Aumento ou redução de áreas de lazer	Albuquerque (2021)
33	Aumento ou redução do número de doentes	Social	Aumento ou redução do número de doentes	Albuquerque (2021)
34	Aceitabilidade dos moradores	Social	O nível de satisfação dos moradores com a implementação dos planos	Bigarni e Yazdandoost (2018)
35	Duração da recuperação de inundações	Social	O tempo de subsidência das inundações	Bigarni e Yazdandoost (2018)

Destaca-se, ainda, que cada tomador de decisão deve realizar uma seleção cuidadosa dos indicadores mais adequados para a realidade local e buscar a forma correta de calcular cada um deles. A escolha dos indicadores deve ser baseada nas características específicas da região em que se está atuando, levando em consideração a disponibilidade de dados, a escala de análise, as condições climáticas,

geográficas e socioeconômicas, bem como as metas e objetivos estabelecidos para a gestão da drenagem urbana.

2.3.3 Cálculo dos indicadores

Cada grupo envolvido na tomada de decisão deve analisar cuidadosamente a realidade regional do local onde está sendo proposta uma alternativa para a definição de como os indicadores serão calculados. Como mencionado anteriormente, cada localidade possui características específicas, como o contexto socioeconômico, as condições climáticas, geográficas e os dados disponíveis, que devem ser considerados na escolha dos indicadores adequados. É fundamental buscar referências sólidas e confiáveis na definição dos indicadores, levando em consideração as boas práticas e metodologias reconhecidas na área.

No Anexo A, são apresentadas algumas possibilidades para a determinação dos indicadores, servindo como base para a pré-seleção dos indicadores a serem utilizados na análise, além de apresentar os dados e ferramentas necessários para a determinação de cada um deles. No entanto, é importante ressaltar que essas sugestões são apenas referências iniciais. Para o cálculo de cada indicador, deve-se buscar referências e metodologias reconhecidas no momento em que se está utilizando o método de tomada de decisão.

2.4 SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO

Os sistemas de apoio à decisão são utilizados para lidar com desafios complexos relacionados à gestão de água no campo do saneamento ambiental. A seguir, serão apresentados brevemente alguns trabalhos que abordam essa temática.

Um exemplo de trabalho que utiliza sistemas de apoio à decisão é o artigo de Richter, Santos e Schmid (2020), que aborda o gerenciamento urbano de água e infraestrutura sanitária. Nesse estudo, foi proposta a utilização do modelo *Urban Water Use* (UWU) como uma ferramenta estratégica de planejamento integrado.

Outro exemplo é o trabalho de Magalhães Filho *et al*. (2019), que desenvolveu uma ferramenta computacional utilizando sistemas de apoio à decisão para auxiliar nas tomadas de decisão em saneamento ambiental. Essa ferramenta integra diretrizes técnicas de saneamento e permite a seleção de soluções sustentáveis.

Em um terceiro exemplo, o artigo de Raminelli e Santos (2019) utilizou um sistema de apoio à decisão para o gerenciamento de sistemas de abastecimento de água. Foi empregada a ferramenta *Water Supply Systems Management* (WSSM), que estabelece uma hierarquia entre as possibilidades por meio do Método de Análise Hierárquica.

Por fim, os autores Behzadian e Kapelan (2015) apresentaram o modelo quantitativo "WaterMet2". Esse modelo realiza a avaliação do desempenho do sistema urbano de água.

Esses exemplos destacam a aplicação dos sistemas de apoio à decisão no contexto do saneamento ambiental, contribuindo para o aprimoramento das tomadas de decisão e o desenvolvimento de soluções mais eficientes e sustentáveis.

2.5 MÉTODOS DE HIERARQUIZAÇÃO

Neste trabalho, foram exploradas quatro abordagens diferentes utilizadas na tomada de decisões multicritério: Programação por Compromisso, Método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), Método ELECTRE (*ELimination Et Choix Traduisant la REalité*) e Método TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*). Ressalta-se que no presente trabalho não serão apresentados passos específicos de cada um dos métodos, como a definição do intervalo de cada indicador. Recomenda-se buscar referências confiáveis para obter um guia detalhado sobre os procedimentos a serem seguidos em cada método que será apresentado a seguir. É importante consultar fontes consolidadas e confiáveis para obter informações precisas sobre as etapas específicas de cada método, como Zeleny (1982) para o Método da Programação por Compromisso (CP) e Saaty (1977) para o Método AHP, entre outras.

2.5.1 Método da Programação por Compromisso (CP)

No Método da Programação por Compromisso (CP), o procedimento utilizado para determinação refere-se à medida da distância métrica (teorema de Pitágoras) entre dois pontos com coordenadas conhecidas, conforme descrito por Zeleny (1982).

Neste método, busca-se a redução da distância entre o conjunto de pontos em relação ao ponto considerado como "ideal", que é definido pelo tomador de decisão. No entanto, a determinação do "ponto ideal" pode ser desafiadora, e é por

esse motivo que muitas vezes é adotado um "ponto meta", que é um ponto menor ou, em alguns casos, igual ao ponto ideal (ZUFFO *et al*., 2002; GERSHON; DUCKSTEIN, 1983).

Segundo os autores, a solução ideal é definida como o vetor $f^* = (f_1^*, f_2^*, ..., f_n^*)$, sendo f_n^* os melhores valores do conjunto finito dos $f_n(x)$. Em outras palavras, f^* é formado pelo vetor dos melhores valores determinados em cada indicador. Por outro lado, f_n^{**}, refere-se ao vetor que contém os piores valores, e é utilizado para indicar a distância relativa da alternativa em relação à solução mais desfavorável.

Para determinar a distância até a solução ideal, existem vários métodos disponíveis. Um dos métodos apresentados por Goicochea *et al*. (1982) citado por Harada (1999) utiliza a Equação 2.26. A melhor solução será aquela que resultar no menor valor para LP, indicando que está mais próxima da solução ideal.

$$L_p = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \frac{f_i^* - f_i(x)}{(f_i^* - f_i^{**})} \qquad (2.26)$$

Sendo que:

– i: referente ao indicador “i”;
– L_p: distância do valor da solução ideal;
– λ_i: peso dos indicadores i;
– f_i^*: solução ideal do indicador “i”;
– f_i^{**}: pior solução do indicador “i”;
– $f_i(x)$: valor do indicador em análise.

2.5.2 Método AHP

Desenvolvido por Saaty em 1977, o método AHP é uma abordagem que possibilita a análise de problemas de forma hierárquica ao atribuir pesos a critérios múltiplos e realizar comparações intuitivas e consistentes por pares, utilizando uma escala previamente definida.

Conforme Ahn, Berry e Todd (2018), o método AHP é uma técnica utilizada para tomada de decisão com análise multicritério. Este método trata-se de uma abordagem estruturada que permite a avaliação e comparação das alternativas por

parte dos tomadores de decisão, utilizando como base os múltiplos critérios hierarquicamente organizados.

Conforme apresentado por Saaty (1977), as etapas do método AHP podem ser descritas da seguinte forma:

> – Primeira etapa: delimitação do problema. Nesta etapa, há a necessidade de definir o problema de tomada de decisão de modo claro, identificando de modo preciso as possíveis alternativas, além de identificar os critérios envolvidos. Neste momento, é importante compreender de forma clara o contexto e os objetivos da decisão, para que seja estabelecida uma base sólida para as etapas subsequentes do processo;
>
> – segunda etapa: elaboração da hierarquia. Nesta etapa, realiza-se a construção da hierarquia, que se trata de uma representação estruturada dos elementos do problema, sendo organizados em diferentes níveis hierárquicos. A hierarquia é organizada em três níveis, geralmente, sendo eles o objetivo, o critério e a alternativa. O primeiro nível, o objetivo, é o mais alto na hierarquia e se refere ao objetivo geral da decisão em questão. O segundo nível, o de critério, é composto pelos critérios pelos quais as alternativas serão analisadas, ou seja, os pontos importantes a serem considerados para realizar a tomada de decisão. O terceiro e último nível, de alternativa, é composto pelas diferentes opções que estão sendo consideradas como alternativas para o problema em análise. A estrutura hierárquica, quando realizada desta maneira, colabora com a organização de forma clara e estruturada dos elementos do problema, trazendo uma facilidade de compreensão e de análise dos critérios e alternativas;
>
> – terceira etapa: estabelecimento de pesos. Nesta fase da utilização do método, os critérios são ponderados para indicar sua importância relativa na tomada de decisão. Normalmente, esses pesos são atribuídos em uma escala de

1 a 9, sendo que 1 representa que dois critérios são igualmente importantes e 9 indica que um critério é significativamente mais importante do que outro. A obtenção dos pesos pode ser realizada com diferentes abordagens, como a opinião de especialistas, análise de dados históricos etc. A atribuição de pesos colabora com a quantificação da relevância de cada critério, permitindo que a análise seja realizada de modo mais objetivo e consistente;

– quarta etapa: avaliação de alternativas em relação aos critérios. Na quarta etapa do processo, desenvolve-se a comparação das alternativas em relação aos critérios. Os critérios são avaliados em pares, levando em conta sua importância relativa na tomada de decisão. Uma escala de comparação é utilizada, normalmente variando de 1 a 9, sendo que o valor 1 indica igual importância entre os critérios e o valor 9 representa uma diferença significativa de importância entre eles. As comparações supracitadas são então registradas em uma matriz de comparação de pares;

– quinta etapa: determinação dos pesos relativos. Nesta etapa, calculam-se os pesos relativos dos critérios, após a etapa anterior de comparações de pares. Esses pesos são obtidos por meio de métodos matemáticos, como a média geométrica ou o método de autovalor de Saaty, que normalizam as comparações de pares e geram os pesos relativos dos critérios. Os pesos definidos nesta etapa são de suma importância para uma avaliação objetiva da importância de cada critério na tomada de decisão, colaborando para uma análise mais precisa e fundamentada;

– sexta etapa: determinação das pontuações das alternativas. Nesta etapa, após a realização da definição dos pesos relativos dos critérios, realiza-se o cálculo das pontuações das alternativas. Para isso, os pesos relativos atribuídos a cada critério são multiplicados pelas avaliações das alternativas em relação a cada critério. Para a realização

destas avaliações, pode-se utilizar como base opiniões de especialistas ou outras fontes relevantes de informação. O resultado é uma pontuação quantitativa para cada alternativa, considerando a importância dos critérios previamente estabelecidos. Esta etapa da utilização do método permite uma avaliação objetiva e comparativa das opções disponíveis;

– sétima etapa: consistência das comparações: A penúltima etapa do Método AHP é a verificação da consistência das comparações de pares realizadas pelos tomadores de decisão. Para que isso seja possível, calcula-se o Índice de Consistência (IC), que avalia a lógica e coerência das comparações feitas. As comparações são consideradas consistentes se o IC calculado estiver dentro do limite aceitável do método. Caso o IC esteja fora do intervalo, faz-se necessário realizar a revisão das comparações de pares e ajustes para garantir a confiabilidade nas avaliações. A etapa de verificação da consistência é de suma importância para que seja assegurado que as comparações de pares resultem em uma análise confiável para a tomada de decisão;

– oitava etapa: análise dos resultados e tomada de decisão. Trata-se da última etapa do método AHP, onde se realiza a análise dos resultados e tomada de decisão.

2.5.3 Método ELECTRE

O método ELECTRE, conforme Figueira, Greco, Roy e Slowinski (2010) e Ishizaka e Nemery (2013), trata-se de uma abordagem para realizar tomada de decisão utilizando análise multicritério. Ainda, segundo os autores, a abordagem do Método ELECTRE se baseia em uma matriz que compara a concordância e discordância entre os critérios para cada par de alternativas. De acordo com os autores, essa matriz permite indicar se uma alternativa é preferível, indiferente ou menos preferível em relação à outra. Conforme apresentado nos estudos, a matriz de

discordância afere o grau de discordância entre as alternativas, enquanto que a matriz de concordância afere o grau de concordância entre as alternativas.

Além das matrizes supracitadas, o Método ELECTRE requer a definição dos pesos a serem utilizados nos critérios selecionados. Estes pesos expressam a importância relativa dos critérios dentro da decisão. Os limiares de concordância e discordância são utilizados para determinar quando uma diferença nas avaliações dos critérios é considerada significativa o suficiente para afetar a relação de preferência entre as alternativas (FIGUEIRA; GRECO; ROY; SLOWINSKI, 2010).

Utilizando as matrizes e definições abordadas acima, o Método ELECTRE determina, por meio do cálculo, um conjunto de índices de preferência que são utilizados para classificar as alternativas em termos de sua preferência em relação às outras alternativas envolvidas na tomada de decisão (ISHIZAKA; NEMERY, 2013; FIGUEIRA; GRECO; ROY; SLOWINSKI, 2010).

Considerando o artigo de Figueira, Greco, Roy e Slowinski (2010), observaram-se prós e contras em relação à utilização do método. Como prós da utilização do método ELECTRE, pode-se citar: a possibilidade de realizar uma análise mais abrangente, abordando problemas reais de forma complexa; a consideração das incertezas, como a variabilidade nas avaliações dos critérios, além da presença de informações imprecisas ou incompletas; a flexibilidade, uma vez que pode ser utilizado em uma ampla variedade de problemas de tomada de decisão; e a transparência, pois as etapas são apresentadas de forma clara.

Por outro lado, ainda conforme os autores, como contras do método ELECTRE, pode-se citar: a dificuldade na interpretação dos resultados, sendo necessárias análises adicionais para que as tomadas de decisão sejam realizadas de forma adequada; a sensibilidade a variações dos parâmetros, que pode ocorrer devido ao peso dos critérios e aos limiares entre concordância e discordância; e a subjetividade, uma vez que os limiares entre discordância e concordância, assim como os pesos para os critérios, podem variar de acordo com os julgamentos e preferências dos tomadores de decisão envolvidos no estudo.

2.5.4 TOPSIS

Conforme Lima Junior e Carpinetti (2015), o método TOPSIS foi criado inicialmente por Hwang e Yoon no ano de 1981. Este método, segundo os autores, pode ser utilizado para realizar a classificação das alternativas por ordem de preferência.

A base do TOPSIS consiste na escolha de uma alternativa que esteja o mais próximo possível de uma solução ideal positiva e o mais distante possível da solução não ideal negativa. A solução ideal positiva é formada pelos melhores valores encontrados nas alternativas na fase de avaliação em comparação a cada critério de decisão, sendo a negativa composta de forma similar (HWANG; YOON, 1981).

O TOPSIS, elaborado por Hwang e Yoon (1981), pode ser dividido em oito etapas: determinação dos critérios de decisão, normalização dos critérios, elaboração da matriz de decisão, determinação dos pesos dos critérios, definição por meio de cálculos das distâncias dos valores ideais, cálculo dos valores de preferência, classificação das alternativas e análise e interpretação dos resultados.

Com relação aos prós e contras da utilização do método TOPSIS, podem-se citar os seguintes prós: abordagem balanceada, visto que o método procura uma solução equidistante das soluções ideais e negativas, sendo assim uma abordagem balanceada; simplicidade na compreensão; aplicação em diversas áreas e contextos; consideração de múltiplos critérios, o método permite que sejam considerados diversos critérios, o que é ideal para casos em que a tomada de decisão envolve diferentes aspectos. Quanto aos contras, destacam-se: falta de tratamento adequado para dados imprecisos ou incertos; sensibilidade aos pesos dos critérios; falta de consideração da interdependência entre critérios; dependência da escolha dos critérios e alternativas; e dificuldade na comparação de alternativas não dominantes.

2.6 MÉTODO DE SELEÇÃO DOS INDICADORES

Diversas abordagens e métodos são empregados na seleção de indicadores, a exemplo dos seguintes:

– Revisão bibliográfica: para realizar a seleção inicial de indicadores, recomenda-se a utilização de uma revisão bibliográfica abrangente. Alguns exemplos de referências

bibliográficas para indicadores de drenagem urbana são Fontaneda e Ramírez (2019), Albuquerque (2021), Bigarni e Yazdandoost (2018) e Leeuwen e Chandy (2013).

– diretrizes existentes: para selecionar os indicadores, recomenda-se, também, a utilização de diretrizes existentes que fornecem orientações sobre seleção de indicadores para sistemas de drenagem urbana. Como exemplo de diretrizes a serem consultadas, tem-se o Manual de Drenagem Urbana do CIRIA (*Construction Industry Research and Information Association*) e o Manual de Gerenciamento de Águas Pluviais da EPA (*Environmental Protection Agency*);

– envolvimento das partes interessadas: outra forma de selecionar os indicadores, neste caso, selecionar entre os levantados em revisão bibliográfica, seria consultando as partes envolvidas no processo de tomada de decisão em drenagem urbana, como especialistas em drenagem urbana, engenheiros técnicos, pesquisadores e membros da comunidade afetada. Este tipo de seleção permite que sejam identificados os principais problemas e desafios da área em estudo, identificando indicadores que abordem especificidades da região em análise;

– análise multicritério: a utilização de métodos de análise multicritério, como o Método AHP e o Método TOPSIS, colaboram com o estabelecimento de uma estrutura de priorização para os indicadores. Os métodos supracitados permitem que os colaboradores na tomada de decisão definam pesos para os diferentes critérios e avaliem os indicadores considerando diversos aspectos.

2.7 PESQUISA SOCIAL

O capítulo de pesquisa social, neste trabalho, será escrito, em sua totalidade, considerando o exposto pelos autores Minayo e Gomes (2007) e Gil (1999). Destaca-

se que os tópicos apresentados neste capítulo são aqueles relevantes para o desenvolvimento da pesquisa social a ser realizada para a tomada de decisão.

2.7.1 Classificação dos tipos de entrevistas

A etapa de entrevista trata-se de uma estratégia amplamente utilizada dentro de um trabalho de campo. Este meio de comunicação é utilizado com diversos intuitos, como para comunicação verbal no sentido amplo ou até mesmo para coleta de informações para fins científicos. A entrevista é, em sua essência, uma conversa entre o entrevistado e o entrevistador, ou até mesmo entre vários interlocutores, com a finalidade de obter informações relevantes para um objeto de pesquisa, além de outras finalidades (MINAYO; GOMES, 2007).

Ainda conforme os autores, a entrevista se caracteriza de acordo com a organização, podendo ser classificada como segue:

> – Sondagem de opinião: quando as entrevistas são realizadas com base em um questionário totalmente estruturado, onde o informante irá responder perguntas formuladas pelo pesquisador;
>
> – semiestruturada: quando a entrevista é realizada de forma combinada com perguntas fechadas e abertas, permitindo que o entrevistado discorra sobre algum tema em específico, sem se limitar apenas à pergunta formulada;
>
> – aberta ou em profundidade: neste tipo de entrevista o entrevistado é convidado a falar abertamente sobre um tema, sendo as perguntas apenas buscas de um maior aprofundamento nas reflexões realizadas;
>
> – focalizada: quando tem como objetivo esclarecer apenas um problema em específico;
>
> – projetiva: entrevista que utiliza dispositivos visuais, como filmes, pinturas, poesias etc. Neste tipo de abordagem, o entrevistado é convidado a discorrer sobre aquilo que viu ou leu. Normalmente, este tipo de entrevista é utilizado quando

> necessitamos saber sobre assuntos difíceis e delicados e não conseguimos tratar destes diretamente.

Conforme os autores, a escolha da abordagem da entrevista deve ser realizada considerando os objetivos da pesquisa a ser realizada, além do tipo de informação que o entrevistador precisa obter.

2.7.2 Orientações sobre a realização de uma entrevista conforme os princípios da pesquisa social

Segundo o que foi levantado com a leitura dos livros sobre pesquisa social de Minayo e Gomes (2007) e Gil (1999), são expostos os seguintes passos e orientações gerais, levando em conta os princípios da pesquisa social:

> – Definir os propósitos da entrevista: recomenda-se ter clareza sobre os objetivos da pesquisa e o que se pretende alcançar com a entrevista antes de iniciá-la. além disso, é importante definir as perguntas ou tópicos que serão abordados durante a entrevista, levando em consideração os objetivos da pesquisa;
>
> – selecionar os participantes: nessa etapa, é necessário definir o perfil das pessoas que participarão da entrevista, levando em consideração os critérios de amostragem estabelecidos para a pesquisa. é importante escolher os participantes de forma a representar adequadamente a população de interesse;
>
> – preparar um roteiro de questões: é recomendado elaborar um roteiro com perguntas adequadas aos objetivos da pesquisa em andamento. esse roteiro pode ser estruturado ou semiestruturado, conforme mencionado anteriormente;
>
> – criar um ambiente apropriado: deve-se selecionar um ambiente tranquilo e confortável para realizar a entrevista, garantindo que o entrevistado se sinta à vontade para expressar suas opiniões e experiências;

– estabelecer uma relação de confiança com o entrevistado: nessa etapa, é importante realizar uma breve introdução sobre a pesquisa na qual o entrevistado está participando, explicando o objetivo da entrevista. Também é o momento de obter o consentimento do entrevistado para sua participação;

– conduzir a entrevista: durante essa etapa, recomenda-se seguir o roteiro previamente elaborado, fazendo perguntas de forma clara e objetiva. é importante prestar atenção às respostas do entrevistado e evitar interrupções. caso seja necessário, podem ser feitas perguntas de sondagem ou aprofundamento para obter mais informações sobre o tema em questão;

– registrar as respostas: é recomendado registrar a entrevista por meio de gravação de áudio (se permitido pelo entrevistado) ou por meio de anotações durante a entrevista.

– respeitar a ética e a privacidade: é fundamental respeitar a confidencialidade das informações fornecidas pelo entrevistado e preservar sua privacidade. deve-se conduzir a entrevista e a análise dos dados de forma ética;

– agradecer e encerrar a entrevista: ao final da entrevista, é importante agradecer a participação do entrevistado na pesquisa e certificar-se de que todas as dúvidas foram esclarecidas;

– analisar os dados: a última etapa consiste na análise dos dados obtidos. essa análise deve ser realizada de forma sistemática e rigorosa, seguindo os objetivos da pesquisa. podem ser utilizadas técnicas de análise qualitativa ou quantitativa, de acordo com a abordagem metodológica adotada.

2.7.3 Análise dos dados da entrevista

A análise dos dados obtidos em entrevistas em pesquisa social pode ser executada de diversos modos, tais como: análise de discurso, análise temática, análise de conteúdo, análise narrativa e análise de estrutura latente. Na análise de discurso, o foco principal está nas estruturas linguísticas e discursivas utilizadas pelos entrevistados na pesquisa. Na análise temática, são identificados e analisados os temas recorrentes nos dados pelos pesquisadores. Na análise de conteúdo, os dados são transcritos e codificados em categorias temáticas ou conceitos relevantes, podendo ser de natureza quantitativa ou qualitativa. Na análise narrativa, é analisado o que é relatado pelo entrevistado em relação à estrutura, temas e significados atribuídos. Já na análise de estrutura latente, busca-se identificar as estruturas subjacentes aos dados (MINAYO; GOMES, 2007; GIL, 1999).

2.7.4 Utilização de formulários para coleta de dados

Outra forma de obter dados e informações do público de interesse é por meio da aplicação de formulário eletrônico, um método que não envolve a interação direta entre o pesquisador e o participante. Alguns princípios principais a serem considerados na utilização de formulários eletrônicos para a pesquisa social são os seguintes:

> – Os participantes da pesquisa devem ser informados sobre os objetivos da pesquisa, a natureza voluntária de sua participação e os riscos potenciais envolvidos. é necessário solicitar o consentimento dos participantes;
>
> – deve-se garantir a confidencialidade dos dados pessoais dos participantes, protegendo-os contra acesso não autorizado;
>
> – a elaboração e aplicação dos questionários devem seguir padrões éticos e legais aplicáveis, assegurando que os participantes sejam tratados com respeito e que seus direitos sejam preservados;

– informações claras devem ser fornecidas aos participantes sobre os propósitos da pesquisa, a coleta, análise e divulgação dos dados;

– o questionário deve ser bem estruturado, escrito de forma clara, evitando ser excessivamente extenso para os participantes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Em sequência, serão abordados os tópicos necessários para o maior entendimento dos materiais e métodos utilizados na presente pesquisa.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Em sequência, a presente pesquisa será classificada de acordo com sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos técnicos.

3.1.1 Classificação quanto à natureza

Inicialmente, em relação à natureza da presente pesquisa, classifica-se esta como pesquisa aplicada, pois um de seus objetivos é a aplicação prática para a solução de um problema específico (GIL, 2002).

3.1.2 Classificação quanto à abordagem

De acordo com as classificações apresentadas por Sampieri, Collado e Lucio (2013) e Gil (2002), em relação à abordagem, a presente pesquisa é classificada como quali-quantitativa. Isso ocorre porque os dados serão analisados utilizando estatística, o que caracteriza uma abordagem quantitativa. Além disso, a análise dos dados também será realizada de forma indutiva, caracterizando uma abordagem qualitativa.

3.1.3 Classificação quanto aos objetivos

Quanto aos objetivos, a presente pesquisa será classificada como exploratória, conforme apresentado por Gil (2002). Isso se deve ao fato de que a pesquisa envolverá entrevistas com indivíduos que possuem experiência prática com o problema em questão, buscando obter uma compreensão mais aprofundada do fenômeno. Embora a pesquisa também possua uma abordagem explicativa, que visa identificar os fatores que contribuem para a ocorrência dos fenômenos, esse não será o foco principal da pesquisa.

3.1.4 Classificação quanto aos procedimentos técnicos

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa será classificada como bibliográfica e de levantamento, de acordo com as classificações de Gil (2002). Será realizada uma pesquisa bibliográfica, na qual serão realizadas buscas exploratórias em artigos, livros, dissertações e outras referências relevantes. Essas buscas serão conduzidas em plataformas como Web of Science, Scielo, Portal de Periódicos da Capes, entre outras.

Além disso, a pesquisa se enquadra como de levantamento, pois envolverá a interrogação direta de um público específico, com o objetivo de conhecer seu comportamento e entendimentos relacionados ao tema em estudo. Esse levantamento será realizado por meio de entrevistas com a população selecionada, a fim de obter informações relevantes para a pesquisa.

3.2 PROCEDIMENTO PARA COLETA DE DADOS

Os dados utilizados na presente pesquisa foram coletados diferentes maneiras, sendo estas apresentadas em sequência.

3.2.1 Trabalhos científicos, manuais, resoluções e legislações brasileiras

A primeira coleta de dados foi realizada em trabalhos científicos, manuais, resoluções e legislações brasileiras sobre drenagem urbana.

Os trabalhos científicos foram levantados por meio de bases como Scielo, Portal de Periódicos da Capes e Web of Science. Os manuais foram buscados em sites de prefeituras municipais e órgãos estaduais, como o Instituto Água e Terra do Paraná. As resoluções e legislações brasileiras foram selecionadas por meio de sites como o Planalto (Governo Federal do Brasil), além de outros.

Para a seleção de artigos, dissertações e teses sobre drenagem urbana, foram utilizados os termos apropriados. Como exemplo, citaram-se alguns dos termos a serem utilizados para pesquisas gerais sobre drenagem urbana sustentável: *Best Management Practices* (Melhores Práticas de Gestão), *Green Infrastructure* (Infraestruturas Verdes) e *Integrated Urban Water Management* (Gerenciamento Integrado de Águas Urbanas), LID e SUDS.

3.2.2 Dados de plataformas e sites oficiais dos governos estaduais e federal

Estes dados, diferentemente dos supracitados, referem-se a dados secundários. Para obtê-los, foram consultadas e apresentadas informações de plataformas e sites oficiais dos governos estaduais e federal, tais como o Portal Online da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Portal da Companhia de Tecnologia da Informação e Comunicação do Paraná (CELEPAR), entre outros.

3.3 MÉTODOS DE ANÁLISE DE DADOS

Conforme apresentado por Nachmias, Nachmias e DeWaardm (2019), existem diversos métodos de análise de dados em ciências sociais, sendo alguns deles apresentados a seguir:

> – Estatísticas descritivas: utilizam descrições básicas dos dados, de forma resumida, como média, mediana, moda, desvio padrão, frequências e percentuais;
> – análise de regressão: neste método, analisa-se a relação entre a variável dependente e uma ou mais variáveis independentes, permitindo prever ou detalhar o comportamento da variável dependente;
> – análise de correlação: na análise de correlação, mede-se a relação entre duas variáveis contínuas, identificando a forma e direção dessa relação;
> – análise de conteúdo: este método é utilizado para realizar análises de dados qualitativos, como respostas abertas em questionários. envolve a categorização e interpretação do conteúdo das respostas, identificando temas, padrões, tendências, entre outros.

Para a presente pesquisa, foi utilizada a análise estatística descritiva, baseada nas definições e equações apresentadas em Bruce e Bruce (2019). A seguir, são apresentadas as definições e os modos de cálculo utilizados:

– Média: representa o valor central do conjunto de dados. pode ser obtida somando todos os valores e dividindo essa soma pelo número de dados;
– mediana: representa o valor central do conjunto de dados quando eles estão dispostos em ordem crescente ou decrescente. divide o conjunto em duas partes iguais;
– moda: representa o valor mais frequente em um conjunto de dados;
– desvio padrão: indica a dispersão dos valores em relação à média. para calcular, realiza-se a raiz quadrada da divisão entre a soma dos quadrados das diferenças dos valores com a média e o número de dados;
– frequência: representa o número de vezes que um valor (ou categoria) é encontrado em um conjunto de dados;
– percentuais: indicam a porcentagem de um determinado valor (ou categoria) em relação a todos os dados.

3.4 PROPOSTA DA ESTRUTURA DA FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO

A estrutura da ferramenta de apoio à decisão elaborada foi baseada em uma hierarquização da tomada de decisão, conforme apresentado na FIGURA 3.1. Conforme esta proposta de estruturação da ferramenta, a tomada de decisão segue um caminho específico, independentemente da abordagem utilizada. Os tópicos abordados na ferramenta serão apresentados em sequência e devem ser executados na ordem apresentada:

– Seleção da área de estudo;
– delimitação da área de contribuição;
– pré-seleção dos indicadores;
– escolha da abordagem a ser utilizada;
– levantamento de espaços disponíveis;
– levantamento de dados para a pré-seleção das medidas de intervenção;

– pré-seleção de sistemas alternativos das medidas de intervenção;

– organização das medidas pré-selecionadas por localidade e características;

– seleção dos indicadores;

– pré-dimensionamento das medidas de intervenção;

– concepção do projeto das medidas de intervenção;

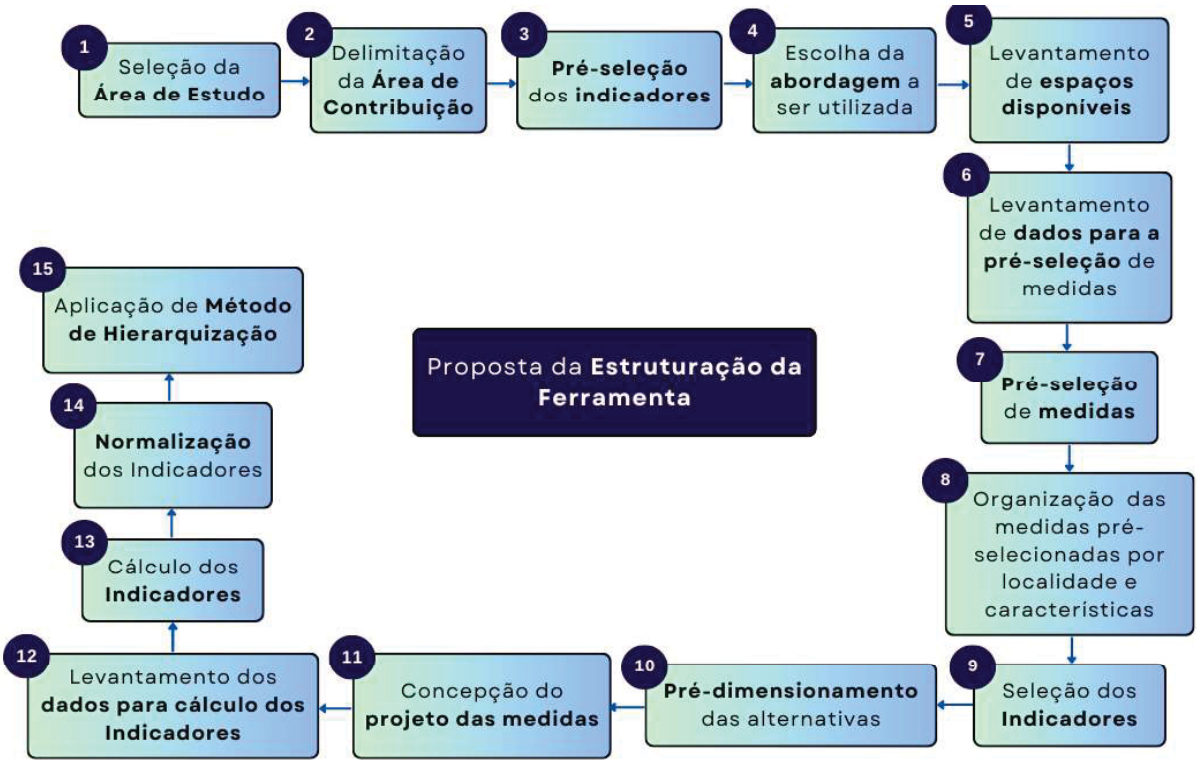
– levantamento dos dados para cálculo dos indicadores;

– cálculo dos indicadores;

– normalização dos indicadores;

– aplicação de método de hierarquização das medidas de intervenção.

FIGURA 3.1 – PROPOSTA DE ESTRUTURAÇÃO DA FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO



FONTE: A autora (2023).

Destaca-se que a ferramenta elaborada não selecionará métodos e indicadores para os usuários, mas fornecerá o roteiro que deve ser seguido para que a tomada de decisão seja feita de modo mais intuitivo e facilitado. Além disso, a

ferramenta apresentará exemplos de todos os métodos e indicadores que podem ser utilizados, e indicará maneiras de encontrar métodos e indicadores não listados na ferramenta em outras referências bibliográficas.

3.5 ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DA FERRAMENTA PROPOSTA

Com o objetivo de aprimorar e validar a ferramenta a ser desenvolvida, além de fornecer uma base de exemplo ao público-alvo da aplicação da ferramenta produzida, realizou-se uma aplicação em um estudo de caso no município de Maringá, PR. Nessa aplicação, foi utilizado o método multicritério de Programação por Compromisso. Além disso, foi elaborado um plano de implementação e gestão das intervenções de drenagem urbana convencional e sustentável.

4 RESULTADOS

4.1 FERRAMENTA DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

No Anexo E, apresenta-se a ferramenta de apoio à tomada de decisão proposta para este estudo. Esta ferramenta foi dividida em 15 etapas a serem seguidas na sequência apresentada, sendo elas: seleção da área de estudo; delimitação da área de contribuição; escolha da abordagem a ser utilizada; levantamento de espaços disponíveis para intervenção; levantamento de dados para a pré-seleção de alternativas sustentáveis; pré-seleção de sistemas alternativos de Drenagem Urbana Sustentável; organização das alternativas selecionadas; seleção dos indicadores; pré-dimensionamento das alternativas; levantamento dos dados para cálculo dos indicadores; cálculo dos indicadores; normalização dos indicadores; aplicação de método de hierarquização.

Destaca-se que o objetivo da ferramenta não é restringir aos usuários quais métodos e indicadores devem ser utilizados para a tomada de decisão, visto que os mais indicados variam de acordo com a área de estudo. A ferramenta indica o caminho que deve ser seguido e apresenta algumas opções disponíveis para cada etapa, as quais devem ser selecionadas pelo tomador de decisão de acordo com o contexto de sua área de estudo.

Nesta ferramenta, apresentada em formato de cartilha, são indicados os procedimentos a serem realizados em cada uma das 15 etapas. Para ilustrar o que foi apresentado no Anexo E, destacam-se três exemplos das 15 etapas descritas:

> – No tópico de seleção da área de estudos, apresentam-se as possibilidades que podem ocorrer, indicando que, independentemente do caso, a estrutura da tomada de decisão não se altera, assim como outras questões apresentadas;
>
> – No tópico de levantamento de espaços potenciais a serem utilizados para a aplicação de alternativas de drenagem urbana sustentável, indica-se que sejam levantados locais dentro da área de contribuição, tais como estacionamentos, canteiros centrais de vias, praças, rotatórias, parques, áreas esportivas, áreas de lazer, entre outros;

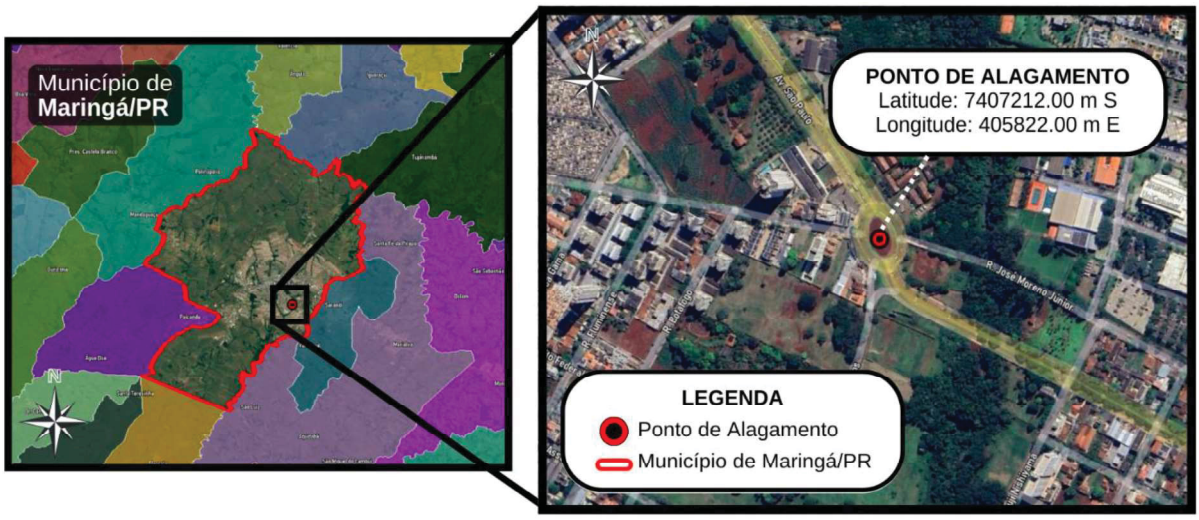
– Nos tópicos de pré-seleção de alternativas sustentáveis, inicialmente, apresenta-se em uma lista os dados que devem ser coletados para realizar a análise de pré-seleção, informando inclusive os locais onde esses dados podem ser obtidos. Para a pré-seleção propriamente dita, são apresentados quadros orientativos com critérios de exclusão de alternativas, levando em conta parâmetros como área contribuinte, profundidade do lençol freático, declividade, capacidade de infiltração do solo, tráfego da via, entre outros.

4.2 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA EM ESTUDO DE CASO

4.2.1 Seleção da área de estudo

O local de estudo refere-se a uma sub-bacia hidrográfica do município de Maringá-PR, que abrange um ponto de alagamento frequente. Esse ponto, mencionado nos estudos de Albuquerque (2018) como Ponto 3, é representado na FIGURA 4.1, onde pode-se visualizar a localização do ponto em relação ao município. O ponto de alagamento encontra-se na praça do encontro entre a Avenida São Paulo e a Rua José Moreno Júnior, com as seguintes coordenadas geográficas (em SIRGAS2000): latitude 7407212.00 m S e longitude 405822.00 m E.

FIGURA 4.1 - PONTO DE ALAGAMENTO DO ESTUDO DE CASO

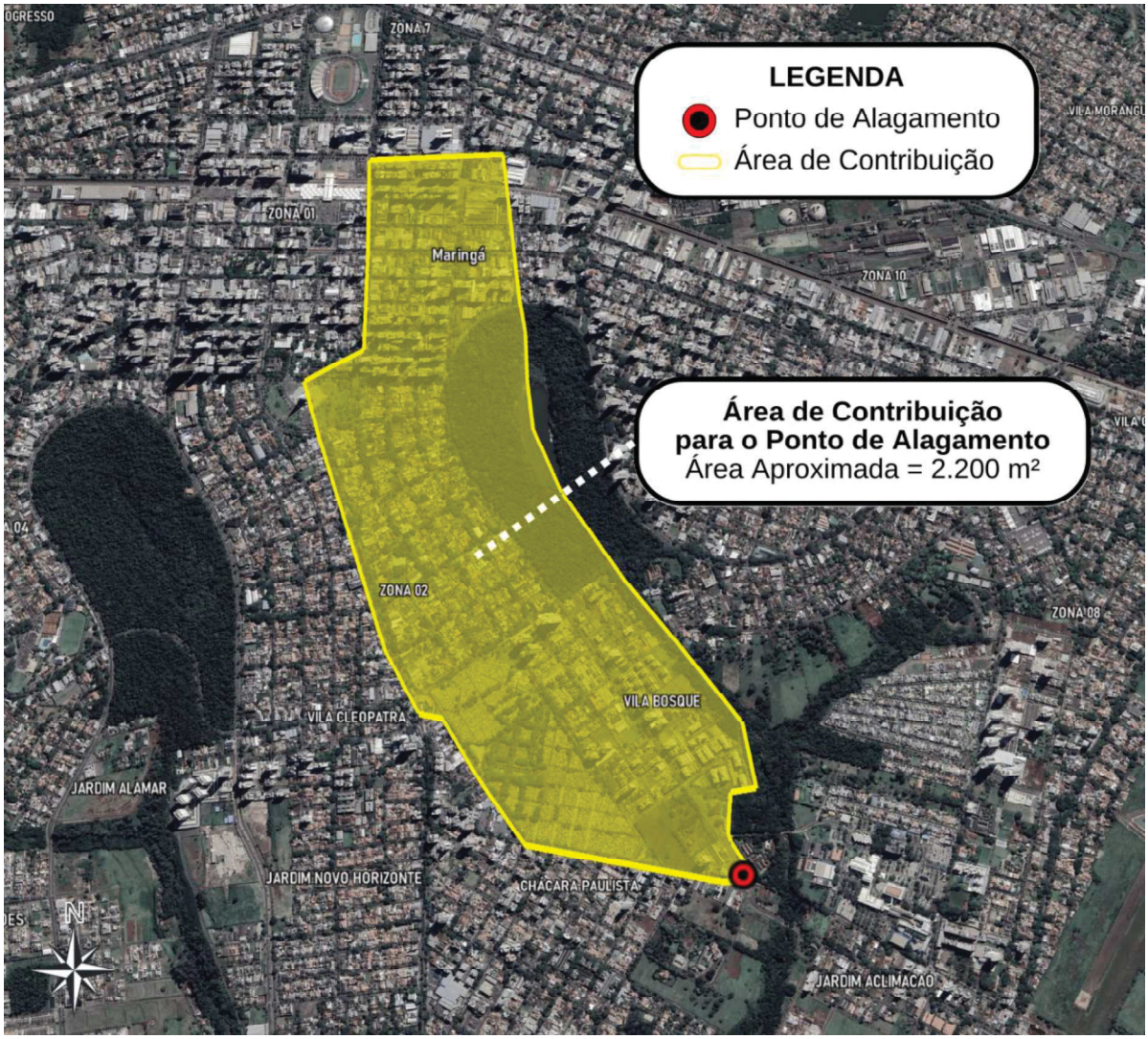


FONTE: A autora (2023).

4.2.2 Delimitação da área de contribuição

A área de estudo corresponde à área de contribuição do ponto de alagamento em questão. Essa área foi delimitada levando em consideração a sub-bacia hidrográfica do Córrego Moscados e as contribuições efetivas para o ponto mencionado anteriormente. A delimitação da área de contribuição pode ser visualizada na FIGURA 4.2.

FIGURA 4.2 – ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO DO PONTO DE ALAGAMENTO EM ESTUDO



FONTE: A autora (2023).

A área de estudo abrange locais de grande relevância para a população, como o Parque do Ingá, o Cemitério Municipal e a Catedral Metropolitana Basílica Menor Nossa Senhora da Glória. Com base nos dados fornecidos pelo SGA GEO (2023), a área possui as seguintes características, conforme apresentado no QUADRO 4.1.

QUADRO 4.1 - CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO ENCONTRADAS NO SGA GEO

Característica	Área de Estudo
Área Urbana	Inserida
Formação Fitogeográfica	Floresta Estacional Semidecidual Submontana
Clima	Cfa - Escrever
Solo (Ordem e Sub ordem)	Nitossolo Vermelho
Solo (Família)	Textura Argilosa
Aptidão Solo	Solo apto
Processos Minerários	Não há presença
Sítios Arqueológicos	Não está inserido dentro deste
Unidade de Conservação Estadual	Não está inserido dentro desta
Unidade de Conservação Federal	Não está inserido dentro desta

FONTE: SGA GEO (2023)

4.2.3 Pré-seleção dos indicadores

Em sequência, no que se refere à pré-seleção dos indicadores, serão abordados os seguintes tópicos: aplicação de um formulário aos técnicos da Prefeitura Municipal de Maringá, análise estatística descritiva e pré-seleção dos indicadores.

4.2.3.1 Aplicação de formulário a técnicos da Prefeitura Municipal de Maringá

Para a pré-seleção dos indicadores e atribuição de pesos durante o estudo de caso na cidade de Maringá-PR, foi necessário aplicar um formulário aos técnicos da Prefeitura Municipal. A elaboração desse formulário seguiu os seguintes passos:

– Etapa de planejamento: nesta etapa foram definidos os objetivos da pesquisa e as questões de pesquisa que se desejava abordar na entrevista. Foi desenvolvido um roteiro de entrevista com perguntas que estavam alinhadas aos objetivos da pesquisa;

– escolha da plataforma de formulário online: foram analisadas diversas plataformas de criação de formulários online que estão disponíveis, como o Google Forms, SurveyMonkey e Typeform, sendo o Google Forms a

plataforma que mais atendeu as necessidades da presente pesquisa;

– criação do formulário: utilizando como base o roteiro criado, foi elaborado o formulário online, para este foram utilizadas perguntas de múltipla escolha, visando atender os objetivos da pesquisa;

– teste do formulário: para garantir que o formulário estava funcionando devidamente e para identificar possíveis erros de funcionamento ou digitação, o formulário foi testado antes da disponibilização aos entrevistados;

– envio dos convites: nesta etapa, os convites foram enviados aos entrevistados, via e-mail, com as explicações recomendadas para a pesquisa social, conforme foi supracitado no trabalho, e com o link do formulário online;

– coleta de dados: para esta fase da aplicação do formulário, foi realizada a exportação dos dados obtidos no Google Forms para planilha eletrônica;

– análise dos dados: nesta etapa foi realizada a análise de dados, utilizando a estatística descritiva.

– elaboração do relatório dos resultados: nesta etapa, foi elaborado o relatório dos resultados da pesquisa, utilizando os dados obtidos no formulário online.

Optou-se por questionários eletrônicos em vez de entrevistas presenciais devido aos seguintes motivos:

– Amostra ampla: a utilização de questionários permitiu ao pesquisador obter acesso a uma amostra mais ampla, o que resultou em uma maior representatividade da pesquisa;

– flexibilidade para os participantes: essa abordagem de coleta de dados proporcionou maior flexibilidade aos participantes, permitindo que contribuíssem com a pesquisa em qualquer horário e em qualquer lugar, desde que tivessem acesso à internet;

– menor custo e esforço logístico: a opção pelos questionários eletrônicos em vez das entrevistas presenciais resultou em menor custo e esforço logístico durante todo o processo;

– dados com maior padronização: a utilização de questionários eletrônicos possibilitou a coleta de dados com maior padronização, reduzindo o viés introduzido pela interpretação individual do entrevistador nas entrevistas presenciais;

– processamento e análise mais eficientes: a coleta de dados por meio de questionários eletrônicos, além dos benefícios mencionados, permitiu um processamento e análise mais eficientes, uma vez que as respostas foram registradas automaticamente e puderam ser exportadas facilmente para análise estatística.

Para solicitar a participação dos envolvidos, foram enviados e-mails individuais para 15 técnicos da Prefeitura Municipal de Maringá. O modelo do e-mail enviado pode ser consultado no Anexo B. No e-mail, como apresentado no anexo, foi feita uma contextualização sobre a temática da pesquisa e foi anexado o termo de ciência para que os participantes pudessem assinar. O termo de ciência está disponível no Anexo C. A pesquisa contou com a participação de 10 técnicos da Prefeitura de Maringá.

Dos 10 participantes da pesquisa, sete são Engenheiros Civis e três são Arquitetos Urbanistas. Dos sete Engenheiros Civis, seis são lotados na Secretaria de Obras Públicas da Prefeitura Municipal de Maringá, e um participante é lotado na Secretaria de Mobilidade Urbana. Dos três participantes que são Arquitetos Urbanistas, dois são lotados na Secretaria de Obras Públicas e um é lotado no Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Maringá.

Os resultados obtidos por meio do questionário estão sendo apresentados na TABELA 4.1 à TABELA 4.35.

TABELA 4.1 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR DE VULNERABILIDADE ECONÔMICA

	Indicador:	Vulnerabilidade econômica									
I01	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	2	0	6	4	8	5	5	7	2	2

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.2 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR DE CUSTOS

	Indicador:	Custos									
I02	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	8	7	8	7	8	6	8	8	8	7

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.3 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR TOPOGRÁFICO POR INCLINAÇÃO

	Indicador:	Topográfico de inclinação									
I03	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	6	10	10	9	10	8	10	10	9	8

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.4 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR TOPOGRÁFICO POR ELEVAÇÃO

	Indicador:	Topográfico de elevação									
I04	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	9	8	8	9	10	9	9	10	10	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.5 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR ALTERAÇÕES NO MEIO FÍSICO

	Indicador:	Alterações no meio físico									
I05	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	9	10	8	10	10	8	10	9	10	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.6 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE

	Indicador:	Impactos no meio ambiente									
I06	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	9	10	7	8	10	8	9	9	10	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.7 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR ASPECTOS LEGAIS

	Indicador:	Aspectos legais									
I07	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	10	8	7	9	8	5	8	8	8	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.8 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR POLÍTICAS DOS GESTORES

	Indicador:	Políticas dos gestores									
I08	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	10	3	3	6	10	4	8	8	9	9

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.9 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR CUMPRIMENTO DOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEIS

	Indicador:	Cumprimento dos ODS									
I09	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	10	8	7	6	10	8	9	10	9	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.10 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR ESCOAMENTO SUPERFICIAL

	Indicador:	Escoamento superficial									
I10	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	10	10	8	8	9	10	7	7	10	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.11 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR PRECIPITAÇÃO

	Indicador:	Precipitação									
I11	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	6	10	8	8	10	10	7	10	10	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.12 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR INUNDAÇÃO

	Indicador:	Inundação									
I12	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	9	7	6	3	8	7	8	6	6	9

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.13 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR REDE FLUVIAL

	Indicador:	Rede Fluvial									
I13	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	6	6	8	3	10	6	8	10	8	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.14 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR CAPACIDADE DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES

	Indicador:	Capacidade de controle de inundações									
I14	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	10	6	6	3	9	6	9	9	8	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.15 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR TEMPO AO PICO

	Indicador:	Tempo ao pico									
I15	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	6	9	4	6	8	7	9	10	9	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.16 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR VAZÃO DE PICO

	Indicador:	Vazão de pico									
I16	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	8	8	7	6	9	8	8	10	9	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.17 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR RISCO DE OBRA

	Indicador:	Risco de obra									
I17	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	4	8	7	9	8	10	8	8	10	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.18 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR SEPARAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUAIS E DAS ÁGUAS PLUVIAIS

	Indicador:	Separação das águas residuais e das águas pluviais									
I18	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	2	6	10	6	9	8	9	6	10	9

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.19 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR MULTIFUNCIONALIDADE

	Indicador:	Multifuncionalidade									
I19	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	0	7	7	1	10	6	10	6	9	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.20 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR VULNERABILIDADE DO EDIFÍCIO

	Indicador:	Vulnerabilidade do edifício									
I20	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	3	9	5	9	9	4	9	7	9	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.21 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR SIMPLICIDADE DE TREINAMENTO

	Indicador:	Simplicidade de treinamento									
I21	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	2	5	5	8	10	4	9	7	10	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.22 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR FACILIDADE DE CONEXÃO

	Indicador:	Facilidade de conexão									
I22	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	9	8	8	9	9	5	10	8	8	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.23 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR FACILIDADE DE MANUTENÇÃO

	Indicador:	Facilidade de manutenção									
I23	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	10	10	9	9	10	8	10	10	8	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.24 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR TEMPO DE VIDA

	Indicador:	Tempo de vida									
I24	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	10	10	9	8	8	8	10	10	8	9

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.25 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR CARGA POLUENTES

	Indicador:	Cargas poluentes									
I25	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	7	9	6	6	10	5	10	6	10	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.26 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR QUALIDADE DE ÁGUA

	Indicador:	Qualidade de Água									
I26	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	4	8	7	7	9	5	9	6	9	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.27 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

	Indicador:	Qualidade das águas subterrâneas									
I27	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	3	6	7	4	8	5	10	6	9	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.28 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR MELHORAMENTO VISUAL/HISTÓRICO

	Indicador:	Melhoramento visual/histórico									
I28	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	9	8	7	2	9	5	8	6	9	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.29 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR ESPAÇOS APROPRIADOS PARA A POPULAÇÃO

	Indicador:	Espaços apropriados para a população									
I29	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	8	8	10	4	9	5	9	8	8	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.30 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR ESPAÇOS APROPRIADOS PARA A NATUREZA

	Indicador:	Espaços apropriados para a natureza									
I30	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	8	8	9	3	9	5	9	8	10	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.31 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR VULNERABILIDADE DA POPULAÇÃO

	Indicador:	Vulnerabilidade da população									
I31	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	1	10	10	8	10	8	9	10	10	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.32 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR CRIAÇÃO OU SUPRESSÃO DE ÁREAS DE LAZER

	Indicador:	Criação ou supressão de áreas de lazer									
I32	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	7	6	6	7	8	3	8	6	6	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.33 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR AUMENTO OU REDUÇÃO DO NÚMERO DE DOENTES

	Indicador:	Aumento ou redução do número de doentes									
I33	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	2	9	9	4	8	3	10	8	8	10

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.34 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR ACEITABILIDADE DOS MORADORES

	Indicador:	Aceitabilidade dos moradores									
I34	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	9	7	5	8	9	8	9	8	6	9

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.35 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O INDICADOR DURAÇÃO DA RECUPERAÇÃO DE INUNDAÇÕES

	Indicador:	Duração da recuperação de inundações									
I35	Participante	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Valor	2	9	6	8	9	6	9	7	10	10

FONTE: A autora (2023).

4.2.3.2 Análise estatística descritiva

Realizando a análise estatística descritiva, foram calculados os seguintes valores: média, mediana e moda para cada um dos indicadores. Também foram

calculadas medidas de dispersão, como o desvio padrão e a amplitude, para avaliar a variabilidade dos dados.

Os resultados da média, mediana e moda podem ser observados na TABELA 4.36. Nessa tabela, pode-se notar que em alguns indicadores a mediana se encontrou distante da média. Isso ocorre quando há assimetria ou distribuição não simétrica dos valores. Os indicadores que apresentaram maior distância entre a média e a mediana, em ordem decrescente de distância, foram: multifuncionalidade, simplicidade de treinamento, política dos gestores, vulnerabilidade econômica e cargas poluentes.

A maioria desses indicadores teve uma amplitude maior que 7 entre as respostas dos participantes. A menor amplitude encontrada entre eles foi para o indicador de carga de poluentes, com uma amplitude de 5 pontos.

TABELA 4.36 – VALORES DE MÉDIA, MEDIANA E MODA PARA OS DADOS OBTIDOS

Indicador	Média	Mediana	Moda
	$Xméd = \frac{x1+x2+x3+\cdots xn}{n}$	• $X_{n/2}, se\ n$ é $ímpar$ • $X_{n/2,médio}, se\ n$ é $ímpar$	X_n com maior repetição
01	4,10	4,5	2
02	7,50	8	8
03	9,00	9,5	10
04	9,20	9	9
05	9,40	10	10
06	9,00	9	10
07	8,10	8	8
08	7,00	8	10
09	8,70	9	10
10	8,90	9,5	10
11	8,90	10	10
12	6,90	7	6
13	7,50	8	6
14	7,60	8,5	6
15	7,80	8,5	9
16	8,30	8	8
17	8,20	8	8
18	7,50	8,5	6
19	6,60	7	10
20	7,40	9	9
21	7,00	7,5	10
22	8,40	8,5	8
23	9,40	10	10
24	9,00	9	10
25	7,90	8	10
26	7,40	7,5	9
27	6,80	6,5	6
28	7,30	8	9
29	7,90	8	8
30	7,90	8,5	8
31	8,60	10	10
32	6,70	6,5	6
33	7,10	8	8
34	7,80	8	9
35	7,60	8,5	9

FONTE: A autora (2023).

Na TABELA 4.37, é possível observar a determinação do desvio padrão e da amplitude para os indicadores. Conforme apresentado na tabela, os indicadores que obtiveram os maiores desvios padrões, em ordem decrescente, foram: multifuncionalidade, aumento ou redução do número de doentes, simplicidade do treinamento, vulnerabilidade da população, política dos gestores e vulnerabilidade econômica. Todos esses indicadores tiveram desvios padrões maiores que 2,5 pontos. Em relação à amplitude, os indicadores que apresentaram as maiores amplitudes foram: multifuncionalidade, com 10 pontos; vulnerabilidade da população, com 9 pontos; e os seguintes indicadores com 8 pontos de amplitude: vulnerabilidade econômica, separação das águas residuais e pluviais, simplicidade do treinamento, melhoramento visual/histórico, aumento ou redução do número de doentes e duração da recuperação de inundações.

TABELA 4.37 – VALORES DE DESVIO PADRÃO E AMPLITUDE PARA OS DADOS OBTIDOS

Indicador	Desvio Padrão	Amplitude
	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Xmédio)^2}{n-1}}$	$X_n - X_1$
01	2,558	8
02	0,707	2
03	1,333	4
04	0,789	2
05	0,843	2
06	1,054	3
07	1,449	5
08	2,789	7
09	1,418	4
10	1,287	3
11	1,524	4
12	1,792	6
13	2,273	7
14	2,271	7
15	1,989	6
16	1,252	4
17	1,814	6
18	2,506	8
19	3,596	10
20	2,503	7
21	2,867	8
22	1,430	5
23	0,843	2
24	0,943	2
25	2,079	5
26	1,955	6
27	2,440	7
28	2,406	8
29	1,969	6
30	2,234	7
31	2,797	9
32	1,829	7
33	2,961	8
34	1,398	4
35	2,459	8

FONTE: A autora (2023).

4.2.3.3 Indicadores pré-selecionados

Utilizando o critério de pré-seleção de indicadores com peso médio maior que 7,90, foram pré-selecionados os indicadores apresentados na TABELA 4.38. Posteriormente, será realizada uma etapa de seleção, excluindo indicadores repetidos e aqueles que não variam entre os locais de estudo, por exemplo.

TABELA 4.38 – INDICADORES QUE RECEBERAM OS MAIORES PESOS NO QUESTIONÁRIO

Cod.	Indicador	Peso
I05	Alterações no meio físico	9,40
I23	Facilidade de manutenção	9,40
I04	Topográfico de elevação	9,20
I03	Topográfico de inclinação	9,00
I06	Impactos no meio ambiente	9,00
I24	Tempo de vida	9,00
I10	Escoamento superficial	8,90
I11	Precipitação	8,90
I09	Cumprimento dos ODS	8,70
I31	Vulnerabilidade da população	8,60
I22	Facilidade de conexão	8,40
I16	Vazão de pico	8,30
I17	Risco de obra	8,20
I07	Aspectos legais	8,10
I25	Cargas poluentes	7,90
I29	Espaços apropriados para a população	7,90
I30	Espaços apropriados para a natureza	7,90

FONTE: A autora (2023).

4.2.4 Escolha da abordagem que será utilizada

Para este estudo, optou-se por utilizar a abordagem de Drenagem Urbana Sustentável. Essa escolha foi realizada como estratégia para enfrentar o problema de alagamento na área em estudo, uma vez que em áreas urbanas consolidadas, como a que se trata neste estudo, a rede de drenagem já está estabelecida. Além disso, constatou-se que grande parte da rede de drenagem existente está subdimensionada,

o que impede a adição de novas conexões. Nesse sentido, a adoção da drenagem urbana sustentável garante uma solução viável para abordar essa questão.

4.2.5 Levantamento de espaços disponíveis

Para realizar a pré-seleção das alternativas e calcular os indicadores, foi necessário definir os locais onde as alternativas seriam aplicadas. O primeiro critério utilizado para essa seleção foi realizar um levantamento por meio de consulta ao Portal de Geoprocessamento da Prefeitura de Maringá, a fim de identificar os imóveis pertencentes à prefeitura. Conforme ilustrado na FIGURA 4.3, constatou-se a existência de 11 imóveis da prefeitura localizados dentro da área de contribuição.

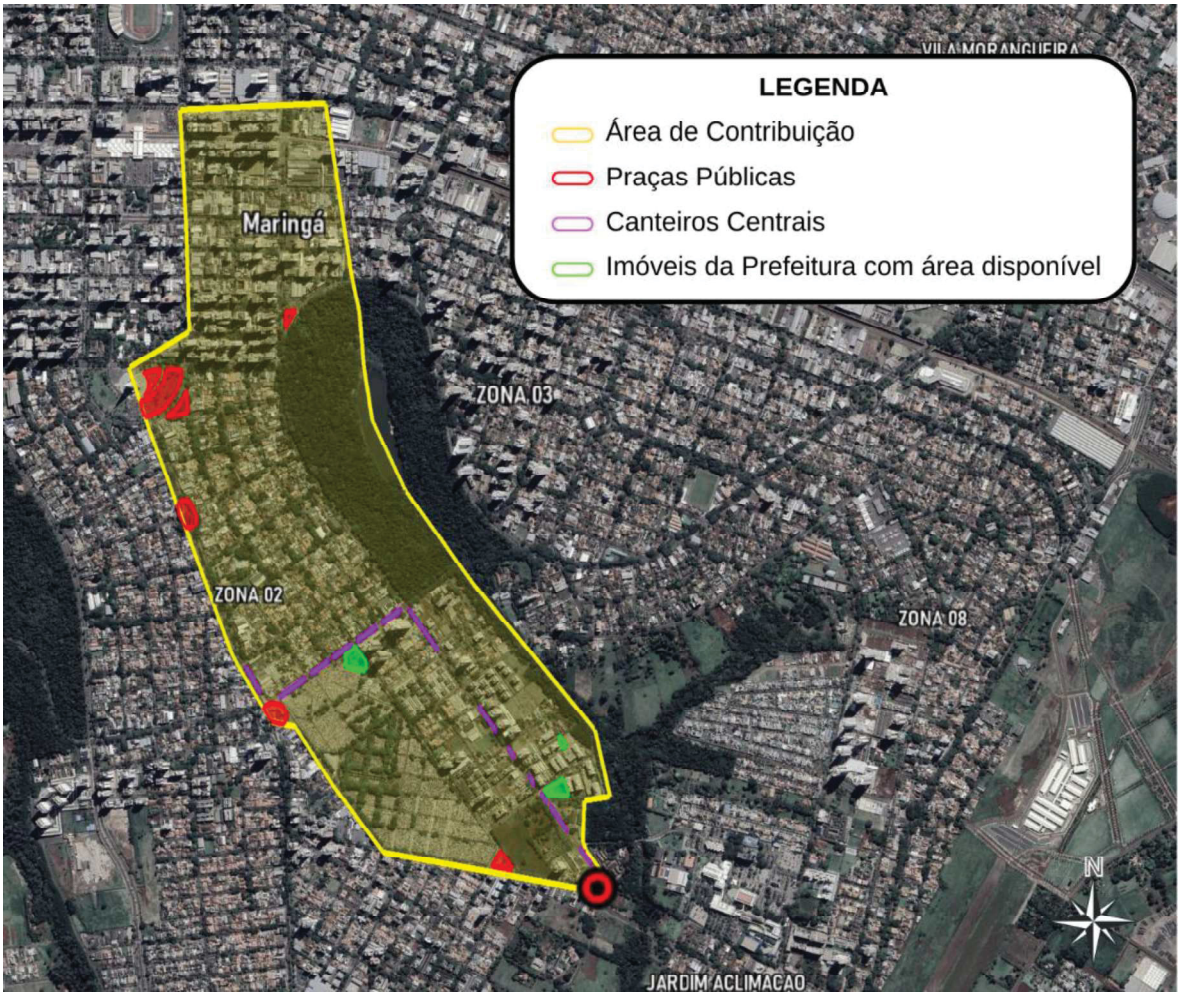
FIGURA 4.3 – IMÓVEIS DA PREFEITURA DENTRO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO



FONTE: A autora (2023).

Após a seleção dos imóveis da prefeitura, foi realizado o levantamento de áreas como estacionamentos, canteiros centrais de vias, praças públicas, rotatórias, parques, áreas esportivas, áreas de lazer, entre outros, utilizando a ferramenta proposta. Com base nessa seleção, foram identificados 22 locais com potencial para a adoção de alternativas de Drenagem Urbana Sustentável, conforme ilustrado FIGURA 4.4.

FIGURA 4.4 – ÁREAS POTENCIAIS PARA UTILIZAÇÃO NO ESTUDO

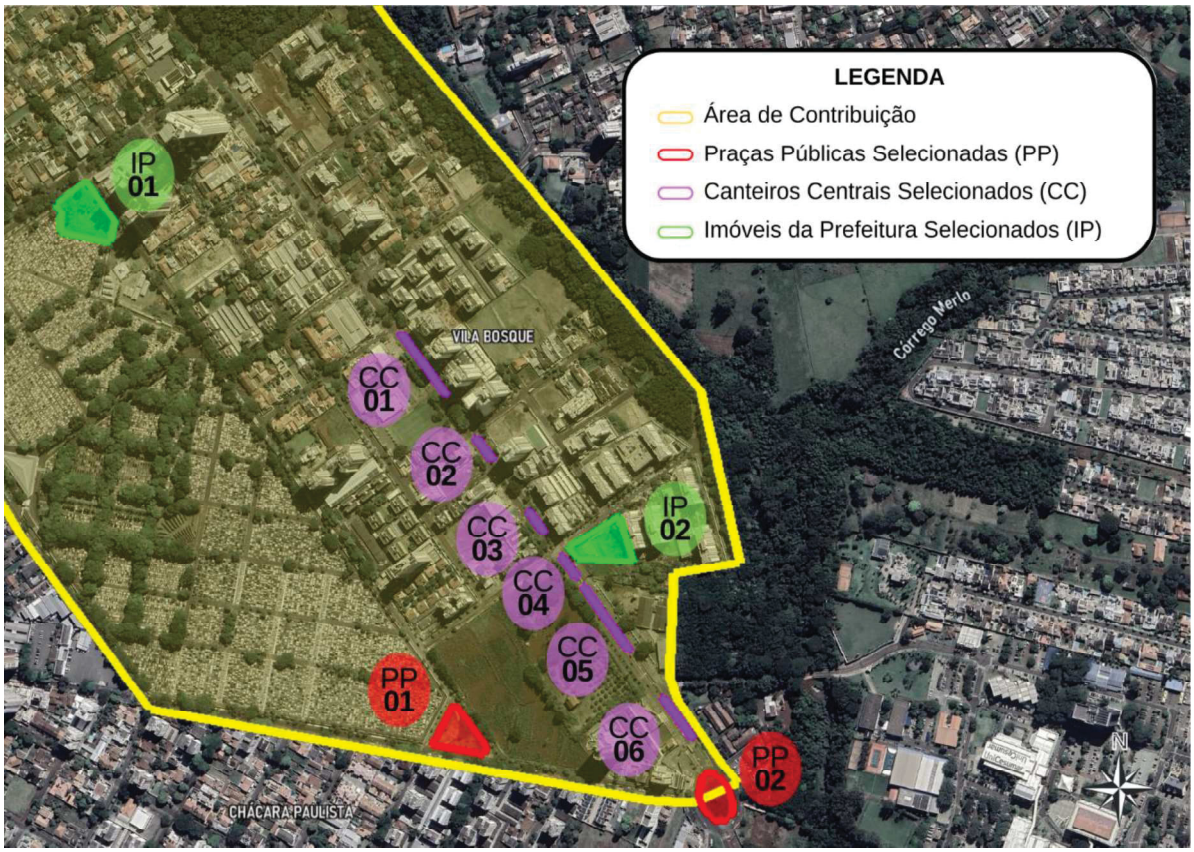


FONTE: A autora (2023).

Após essa seleção, levando em consideração as áreas pertencentes à prefeitura e aquelas mais próximas e com maior impacto no ponto de alagamento, foram escolhidos 10 locais dentro da área de contribuição para a aplicação da ferramenta. Essa seleção pode ser visualizada na FIGURA 4.5, na qual são

apresentados dois imóveis da prefeitura, duas praças e seis canteiros centrais selecionados para a aplicação da ferramenta e proposta de alternativas de Drenagem Urbana Sustentável.

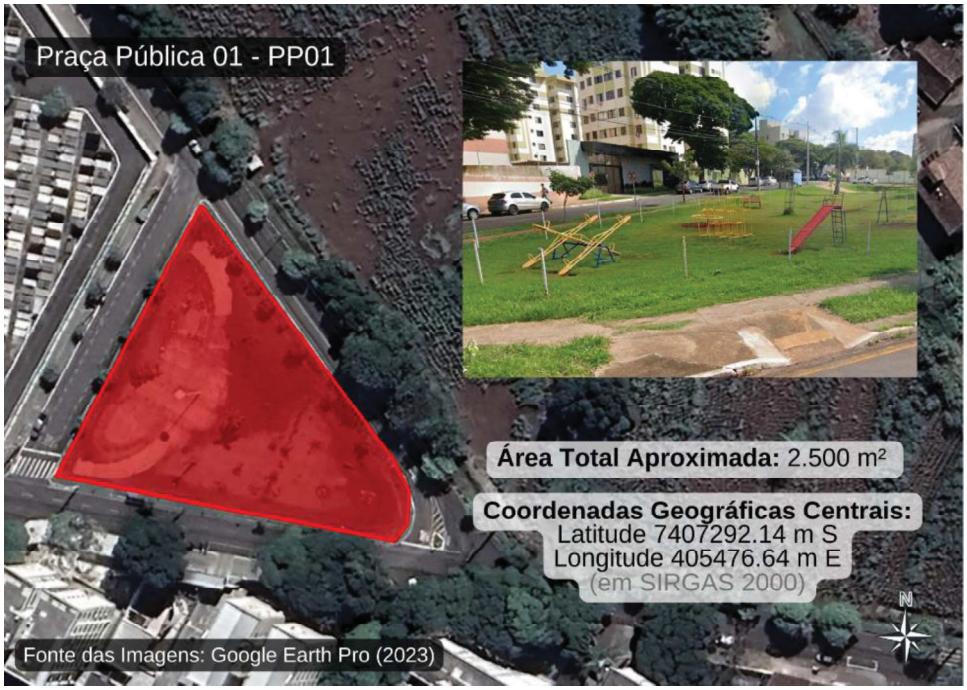
FIGURA 4.5 – LOCAIS SELECIONADOS PARA A APLICAÇÃO DA FERRAMENTA



FONTE: A autora (2023).

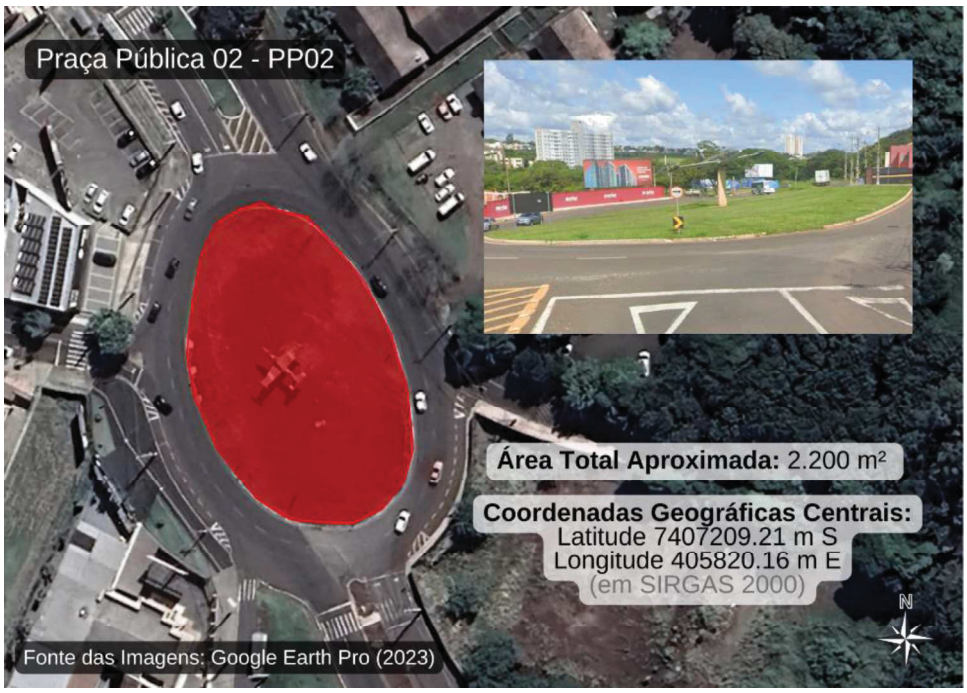
Para fornecer mais detalhes sobre os Imóveis da Prefeitura (IP), Praças Públicas (PP) e Canteiros Centrais (CC) apresentados na FIGURA 4.5, são apresentados, na FIGURA 4.6 e na FIGURA 4.15, informações detalhadas sobre as áreas que serão estudadas. Essas informações incluem as coordenadas geográficas centrais (no sistema de referência SIRGAS 2000), áreas totais, fotografias da região e, no caso dos canteiros centrais, as dimensões da área.

FIGURA 4.6 – DETALHAMENTO DA ÁREA DA PRAÇA PÚBLICA 01 (PP01)



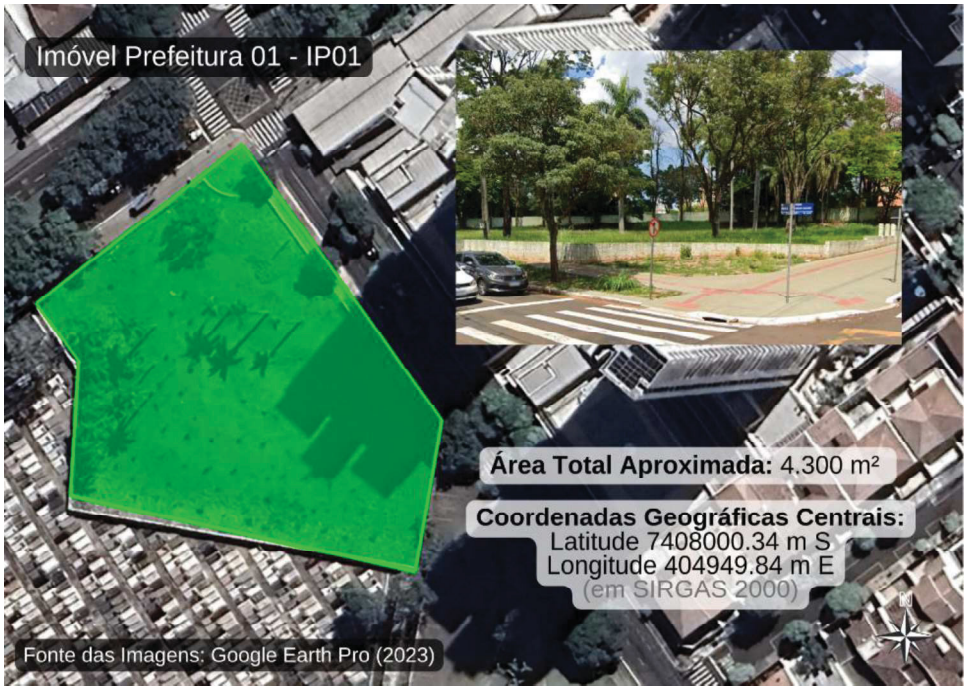
FONTE: A autora (2023).

FIGURA 4.7 – DETALHAMENTO DA ÁREA DA PRAÇA PÚBLICA 02 (PP02)



FONTE: A autora (2023).

FIGURA 4.8 – DETALHAMENTO DA ÁREA DO IMÓVEL DA PREFEITURA 01 (IP01)



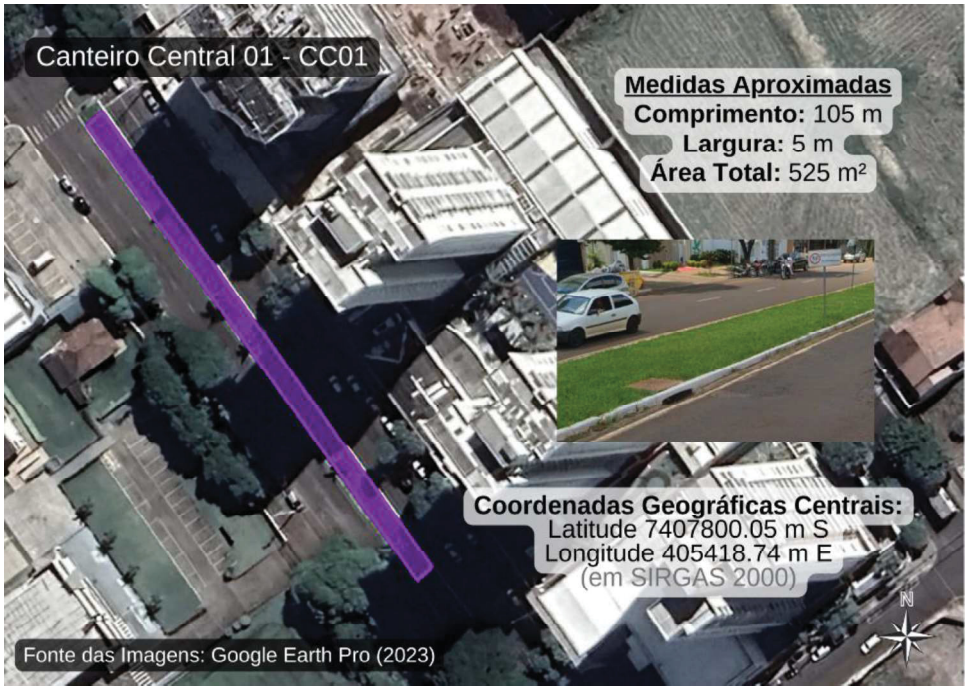
FONTE: A autora (2023).

FIGURA 4.9 – DETALHAMENTO DA ÁREA DO IMÓVEL DA PREFEITURA 02 (IP02)



FONTE: A autora (2023).

FIGURA 4.10 – DETALHAMENTO DA ÁREA DO CANTEIRO CENTRAL 01 (CC01)



FONTE: A autora (2023).

FIGURA 4.11 – DETALHAMENTO DA ÁREA DO CANTEIRO CENTRAL 02 (CC02)



FONTE: A autora (2023).

FIGURA 4.12 – DETALHAMENTO DA ÁREA DO CANTEIRO CENTRAL 03 (CC03)



FONTE: A autora (2023).

FIGURA 4.13 – DETALHAMENTO DA ÁREA DO CANTEIRO CENTRAL 04 (CC04)



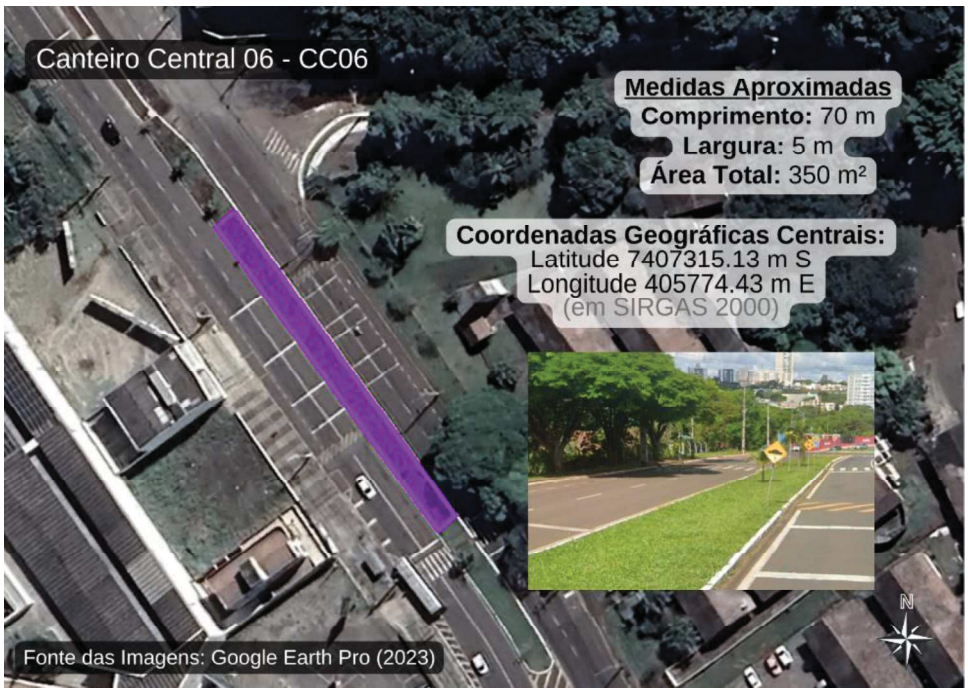
FONTE: A autora (2023).

FIGURA 4.14 – DETALHAMENTO DA ÁREA DO CANTEIRO CENTRAL 05 (CC05)



FONTE: A autora (2023).

FIGURA 4.15 – DETALHAMENTO DA ÁREA DO CANTEIRO CENTRAL 06 (CC06)



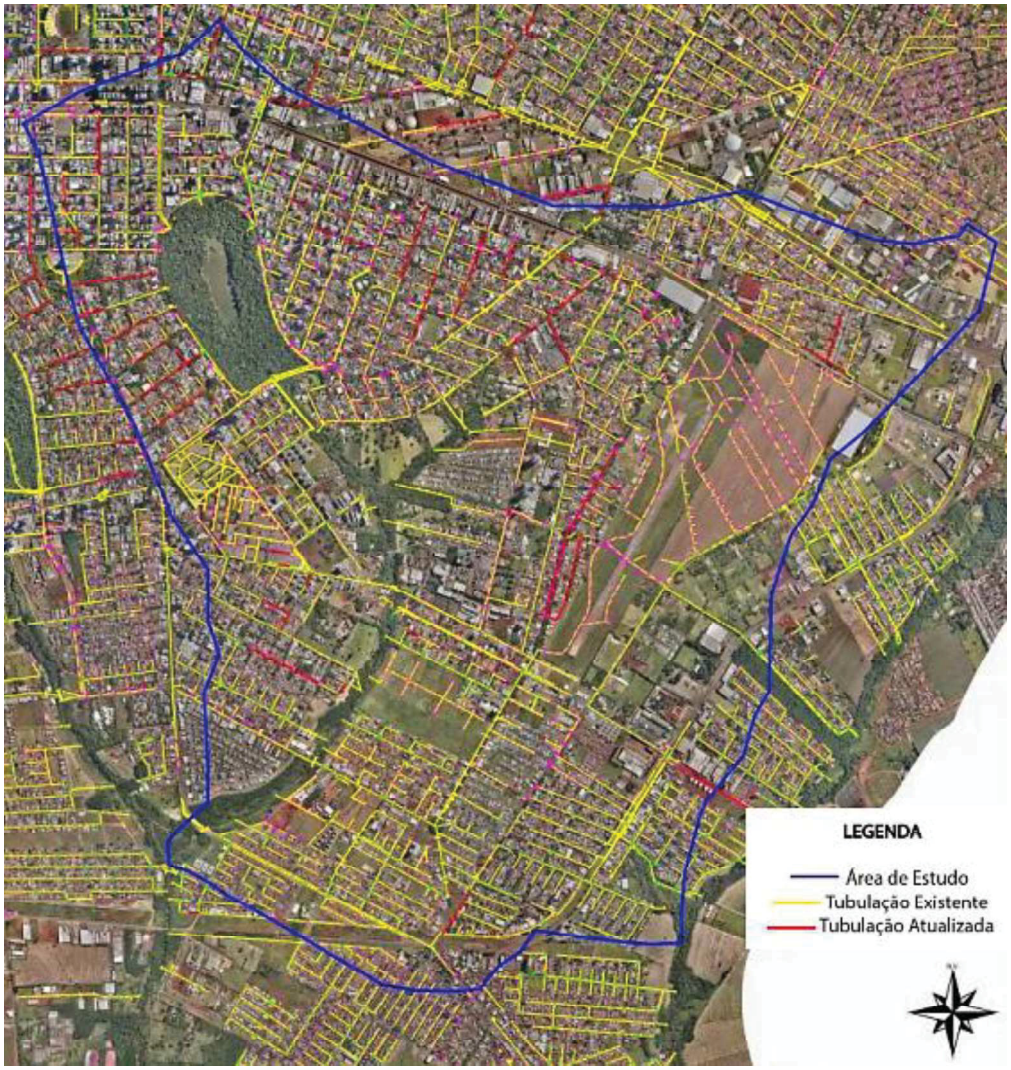
FONTE: A autora (2023).

4.2.6 Levantamento de dados para a pré-seleção de medidas

Considerando o levantamento de dados para a realização da pré-seleção mencionada no Anexo E, os resultados são apresentados na TABELA 4.39 e na TABELA 4.45.

Inicialmente, foram determinadas as áreas de contribuição de cada um dos 10 locais mencionados. Essas áreas foram delimitadas levando em consideração a topografia e a rede de drenagem existente na região. Para visualizar a base de drenagem atualizada, foram utilizadas informações de *as built* e um mapa físico fornecido pela Prefeitura Municipal de Maringá, conforme mostrado na FIGURA 4.16.

FIGURA 4.16 – BASE DE DRENAGEM ATUALIZADA POR MEIO DE AS BUILT E MAPA FÍSICO PERTENCENTE À PREFEITURA MUNICIPAL DE MARINGÁ



FONTE: Albuquerque (2021).

Após a delimitação das 10 áreas de contribuição, foram obtidos os polígonos representando cada uma delas. Os resultados estão apresentados na FIGURA 4.17 à FIGURA 4.19, correspondendo às áreas de contribuição das Praças Públicas, dos Imóveis da Prefeitura e dos Canteiros Centrais, respectivamente.

FIGURA 4.17 – ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO DAS PRAÇAS PÚBLICAS



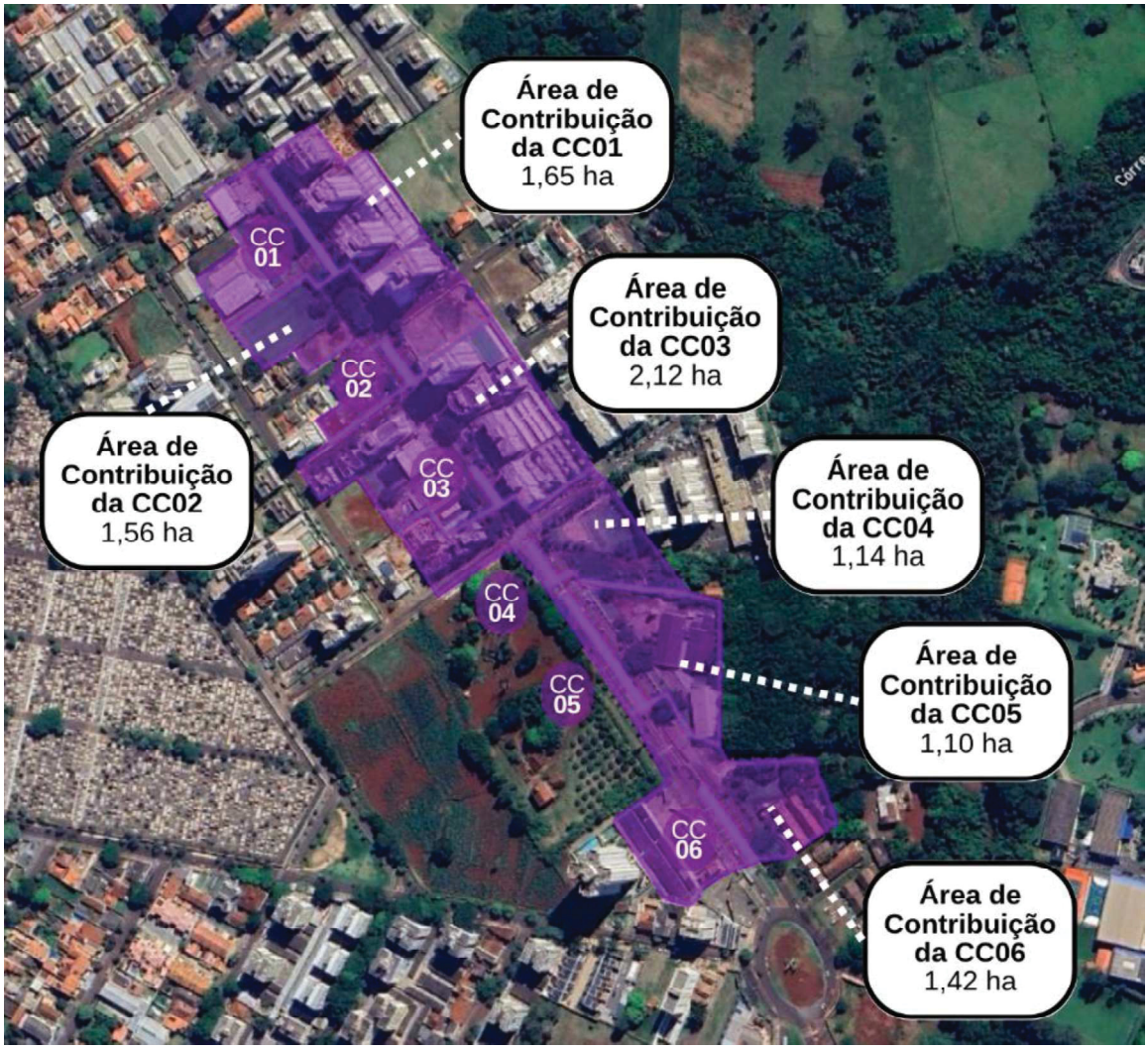
FONTE: A autora (2023).

FIGURA 4.18 – ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO DOS IMÓVEIS DA PREFEITURA



FONTE: A autora (2023).

FIGURA 4.19 – ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO DOS CANTEIROS CENTRAIS



FONTE: A autora (2023).

Na TABELA 4.39 são apresentados os valores das áreas de contribuição obtidas pela delimitação realizada na FIGURA 4.17 à FIGURA 4.19.

TABELA 4.39 – ÁREAS CONTRIBUINTES DOS LOCAIS EM ESTUDO

Local	Área Contribuinte
PP01	5,52 ha
PP02	4,14 ha
IP01	3,58 ha
IP02	4,50 ha
CC01	1,65 ha
CC02	1,56 ha
CC03	2,12 ha
CC04	1,14 ha
CC05	1,10 ha
CC06	1,42 ha

FONTE: A autora (2023).

Para determinar a profundidade do lençol freático, foram consultadas diversas referências bibliográficas que realizaram sondagem de solo na região, como Barbosa (2016) e Almada *et al*. (2016), a fim de encontrar um valor mínimo que geralmente ocorre. Conforme pode ser visto na TABELA 4.40, o valor mínimo para a profundidade do lençol freático, normalmente encontrado no município de Maringá/PR, é maior que 10 metros.

TABELA 4.40 – PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO PARA OS LOCAIS EM ANÁLISE

Local	Profundidade do Lençol Freático
PP01	> 10 metros
PP02	> 10 metros
IP01	> 10 metros
IP02	> 10 metros
CC01	> 10 metros
CC02	> 10 metros
CC03	> 10 metros
CC04	> 10 metros
CC05	> 10 metros
CC06	> 10 metros

FONTE: A autora (2023).

Na determinação da declividade da região em cada um dos locais, calculou-se a declividade dividindo a diferença de altura pela distância, utilizando as curvas de nível disponíveis em bases de dados. Em todos os trechos analisados, as declividades médias encontradas foram abaixo de 10%, com uma média de 5%, conforme apresentado na TABELA 4.41.

TABELA 4.41 – DECLIVIDADE MÉDIA DOS LOCAIS EM ANÁLISE

Local	Declividade Média
PP01	3%
PP02	8%
IP01	5%
IP02	7%
CC01	Menor que 5%
CC02	Menor que 5%
CC03	Menor que 5%
CC04	Menor que 5%
CC05	Menor que 5%
CC06	Menor que 5%

FONTE: A autora (2023).

Para a determinação da capacidade de infiltração do solo, foram consultadas bases de dados como o SGA GEO (2023) e INDE (2023). De acordo com essas fontes, constatou-se que a tipologia do solo na região é argilosa. Sabe-se que esse tipo de solo possui capacidade de infiltração baixa, variando de 1 a 5 $mm.h^{-1}$, conforme apresentado na TABELA 4.52.

TABELA 4.42 – CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DOS LOCAIS EM ANÁLISE

Local	Capacidade de Infiltração do Solo
PP01	Baixa - Entre 1 a 5 $mm.h^{-1}$
PP02	Baixa - Entre 1 a 5 $mm.h^{-1}$
IP01	Baixa - Entre 1 a 5 $mm.h^{-1}$
IP02	Baixa - Entre 1 a 5 $mm.h^{-1}$
CC01	Baixa - Entre 1 a 5 $mm.h^{-1}$
CC02	Baixa - Entre 1 a 5 $mm.h^{-1}$
CC03	Baixa - Entre 1 a 5 $mm.h^{-1}$
CC04	Baixa - Entre 1 a 5 $mm.h^{-1}$
CC05	Baixa - Entre 1 a 5 $mm.h^{-1}$
CC06	Baixa - Entre 1 a 5 $mm.h^{-1}$

FONTE: A autora (2023).

Conforme apresentado na TABELA 4.43 , verificou-se que em todos os pontos analisados, o solo encontrado é classificado como não frágil em relação à água.

TABELA 4.43 – CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS FRÁGEIS Á ÁGUA DOS LOCAIS EM ESTUDO

Local	Solos Frágeis à água
PP01	Solo não frágil à água
PP02	Solo não frágil à água
IP01	Solo não frágil à água
IP02	Solo não frágil à água
CC01	Solo não frágil à água
CC02	Solo não frágil à água
CC03	Solo não frágil à água
CC04	Solo não frágil à água
CC05	Solo não frágil à água
CC06	Solo não frágil à água

FONTE: A autora (2023).

Embora o solo de todos os locais apresente capacidade de infiltração baixa, geralmente superior a 1 $mm.h^{-1}$, o solo não pode ser classificado como impermeável, uma vez que solos impermeáveis possuem capacidade de infiltração inferior a 1 $mm.h^{-1}$. Portanto, em todos os locais analisados neste estudo, o subsolo é permeável, conforme indicado na TABELA 4.44.

TABELA 4.44 – CLASSIFICAÇÃO DE SUBSOLOS IMPERMEÁVEIS PARA OS LOCAIS EM ESTUDO

Local	Subsolo Impermeável
PP01	Subsolo permeável (f > 1 mm.h^{-1})
PP02	Subsolo permeável (f > 1 mm.h^{-1})
IP01	Subsolo permeável (f > 1 mm.h^{-1})
IP02	Subsolo permeável (f > 1 mm.h^{-1})
CC01	Subsolo permeável (f > 1 mm.h^{-1})
CC02	Subsolo permeável (f > 1 mm.h^{-1})
CC03	Subsolo permeável (f > 1 mm.h^{-1})
CC04	Subsolo permeável (f > 1 mm.h^{-1})
CC05	Subsolo permeável (f > 1 mm.h^{-1})
CC06	Subsolo permeável (f > 1 mm.h^{-1})

FONTE: A autora (2023).

Para classificar o tráfego das vias, foram consultados dados de zoneamento urbano e tipologia das vias no Portal GeoMaringá (2023), que circundam as 10 áreas. Após essa análise, observou-se que apenas a Praça Pública 01 foi classificada como tráfego leve, enquanto todas as demais áreas foram classificadas como tráfego moderado, conforme apresentado na TABELA 4.45.

TABELA 4.45 – CLASSIFICAÇÃO DO TRÁFEGO DA VIA PARA OS LOCAIS EM ESTUDO

Local	Tráfego da via	Fonte/Informação
		Zoneamento disponível no Portal GeoMaringá
PP01	Leve	Rua - 01 faixa - Zona Residencial 03
PP02	Moderado	Rotatória - 02 faixas - Zona Residencial 03
IP01	Moderado	Avenida - 04 faixas - Zona Residencial 03 e 04
IP02	Moderado	Avenida - 04 faixas - Zona Residencial 03
CC01	Moderado	Avenida - 04 faixas - Zona Residencial 03
CC02	Moderado	Avenida - 04 faixas - Zona Residencial 03
CC03	Moderado	Avenida - 04 faixas - Zona Residencial 03
CC04	Moderado	Avenida - 04 faixas - Zona Residencial 03
CC05	Moderado	Avenida - 04 faixas - Zona Residencial 03
CC06	Moderado	Avenida - 04 faixas - Zona Residencial 03

FONTE: A autora (2023).

4.2.7 Pré-seleção de medidas

Após a aplicação dos primeiros critérios de pré-seleção, os resultados foram registrados na TABELA 4.46 à TABELA 4.55. Nas tabelas, as células destacadas em verde indicam que os parâmetros estão em conformidade com o relatado no local (apresentados no capítulo anterior), enquanto as células destacadas em vermelho indicam que o parâmetro não está sendo cumprido no local mencionado.

As legendas das abreviações apresentadas na TABELA 4.46 à TABELA 4.55, são as seguintes: S.R. – Sem restrição; C – Construções; VTI – Vias de Tráfego Intenso; I – Indústrias; TI – Trincheiras de Infiltração; BR – Bacias de Retenção; BD – Bacias de Detenção; PP: Pavimentos Permeáveis; e PI – Poços de Infiltração.

TABELA 4.46 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O PP01

Pré-seleção	TI	BR	BD	PP	PI
Área contribuinte adequada	0 a 2 ha	0 a 6 ha	0 a 2 ha	0 a 10 ha	0 a 6 ha
Profundidade do lençol adequada	> 1 metro	S.R.	> 1 metro	> 1 metro	> 1 metro
Declividade adequada	S.R.	S.R.	S.R.	> 5%	S.R.
Usos próximos proibidos	C	S.R.	S.R.	VTI e C	I e C
Capacidade de infiltração adequada	7 a 200 $mm.h^{-1}$	0,5 a 60 $mm.h^{-1}$	1 a 200 $mm.h^{-1}$	7 a 200 $mm.h^{-1}$	4 a 200 $mm.h^{-1}$
Solos frágeis à água	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável
Subsolo impermeável	Inviável	Inviável	Possível	Inviável	Inviável
Exutório	Não precisa	Precisa	Precisa	Não precisa	Não precisa
Esforços e tráfegos intensos	Inviável	S.R.	S.R.	Inviável	Inviável

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.47 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O PP02

Pré-seleção	TI	BR	BD	PP	PI
Área contribuinte adequada	0 a 2 ha	0 a 6 ha	0 a 2 ha	0 a 10 ha	0 a 6 ha
Profundidade do lençol adequada	> 1 metro	S.R.	> 1 metro	> 1 metro	> 1 metro
Declividade adequada	S.R.	S.R.	S.R.	> 5%	S.R.
Usos próximos proibidos	C	S.R.	S.R.	VTI e C	I e C
Capacidade de infiltração adequada	7 a 200 $mm.h^{-1}$	0,5 a 60 $mm.h^{-1}$	1 a 200 $mm.h^{-1}$	7 a 200 $mm.h^{-1}$	4 a 200 $mm.h^{-1}$
Solos frágeis à água	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável
Subsolo impermeável	Inviável	Inviável	Possível	Inviável	Inviável
Exutório	Não precisa	Precisa	Precisa	Não precisa	Não precisa
Esforços e tráfegos intensos	Inviável	S.R.	S.R.	Inviável	Inviável

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.48 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O IP01

Pré-seleção	TI	BR	BD	PP	PI
Área contribuinte adequada	0 a 2 ha	0 a 6 ha	0 a 2 ha	0 a 10 ha	0 a 6 ha
Profundidade do lençol adequada	> 1 metro	S.R.	> 1 metro	> 1 metro	> 1 metro
Declividade adequada	S.R.	S.R.	S.R.	> 5%	S.R.
Usos próximos proibidos	C	S.R.	S.R.	VTI e C	I e C
Capacidade de infiltração adequada	7 a 200 $mm.h^{-1}$	0,5 a 60 $mm.h^{-1}$	1 a 200 $mm.h^{-1}$	7 a 200 $mm.h^{-1}$	4 a 200 $mm.h^{-1}$
Solos frágeis à água	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável
Subsolo impermeável	Inviável	Inviável	Possível	Inviável	Inviável
Exutório	Não precisa	Precisa	Precisa	Não precisa	Não precisa
Esforços e tráfegos intensos	Inviável	S.R.	S.R.	Inviável	Inviável

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.49 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O IP02

Pré-seleção	TI	BR	BD	PP	PI
Área contribuinte adequada	0 a 2 ha	0 a 6 ha	0 a 2 ha	0 a 10 ha	0 a 6 ha
Profundidade do lençol adequada	> 1 metro	S.R.	> 1 metro	> 1 metro	> 1 metro
Declividade adequada	S.R.	S.R.	S.R.	> 5%	S.R.
Usos próximos proibidos	C	S.R.	S.R.	VTI e C	I e C
Capacidade de infiltração adequada	7 a 200 $mm.h^{-1}$	0,5 a 60 $mm.h^{-1}$	1 a 200 $mm.h^{-1}$	7 a 200 $mm.h^{-1}$	4 a 200 $mm.h^{-1}$
Solos frágeis à água	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável
Subsolo impermeável	Inviável	Inviável	Possível	Inviável	Inviável
Exutório	Não precisa	Precisa	Precisa	Não precisa	Não precisa
Esforços e tráfegos intensos	Inviável	S.R.	S.R.	Inviável	Inviável

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.50 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O CC01

Pré-seleção	TI	BR	BD	PP	PI
Área contribuinte adequada	0 a 2 ha	0 a 6 ha	0 a 2 ha	0 a 10 ha	0 a 6 ha
Profundidade do lençol adequada	> 1 metro	S.R.	> 1 metro	> 1 metro	> 1 metro
Declividade adequada	S.R.	S.R.	S.R.	> 5%	S.R.
Usos próximos proibidos	C	S.R.	S.R.	VTI e C	I e C
Capacidade de infiltração adequada	7 a 200 $mm.h^{-1}$	0,5 a 60 $mm.h^{-1}$	1 a 200 $mm.h^{-1}$	7 a 200 $mm.h^{-1}$	4 a 200 $mm.h^{-1}$
Solos frágeis à água	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável
Subsolo impermeável	Inviável	Inviável	Possível	Inviável	Inviável
Exutório	Não precisa	Precisa	Precisa	Não precisa	Não precisa
Esforços e tráfegos intensos	Inviável	S.R.	S.R.	Inviável	Inviável

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.51 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O CC02

Pré-seleção	TI	BR	BD	PP	PI
Área contribuinte adequada	0 a 2 ha	0 a 6 ha	0 a 2 ha	0 a 10 ha	0 a 6 ha
Profundidade do lençol adequada	> 1 metro	S.R.	> 1 metro	> 1 metro	> 1 metro
Declividade adequada	S.R.	S.R.	S.R.	> 5%	S.R.
Usos próximos proibidos	C	S.R.	S.R.	VTI e C	I e C
Capacidade de infiltração adequada	7 a 200 $mm.h^{-1}$	0,5 a 60 $mm.h^{-1}$	1 a 200 $mm.h^{-1}$	7 a 200 $mm.h^{-1}$	4 a 200 $mm.h^{-1}$
Solos frágeis à água	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável
Subsolo impermeável	Inviável	Inviável	Possível	Inviável	Inviável
Exutório	Não precisa	Precisa	Precisa	Não precisa	Não precisa
Esforços e tráfegos intensos	Inviável	S.R.	S.R.	Inviável	Inviável

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.52 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O CC03

Pré-seleção	TI	BR	BD	PP	PI
Área contribuinte adequada	0 a 2 ha	0 a 6 ha	0 a 2 ha	0 a 10 ha	0 a 6 ha
Profundidade do lençol adequada	> 1 metro	S.R.	> 1 metro	> 1 metro	> 1 metro
Declividade adequada	S.R.	S.R.	S.R.	> 5%	S.R.
Usos próximos proibidos	C	S.R.	S.R.	VTI e C	I e C
Capacidade de infiltração adequada	7 a 200 $mm.h^{-1}$	0,5 a 60 $mm.h^{-1}$	1 a 200 $mm.h^{-1}$	7 a 200 $mm.h^{-1}$	4 a 200 $mm.h^{-1}$
Solos frágeis à água	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável
Subsolo impermeável	Inviável	Inviável	Possível	Inviável	Inviável
Exutório	Não precisa	Precisa	Precisa	Não precisa	Não precisa
Esforços e tráfegos intensos	Inviável	S.R.	S.R.	Inviável	Inviável

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.53 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O CC04

Pré-seleção	TI	BR	BD	PP	PI
Área contribuinte adequada	0 a 2 ha	0 a 6 ha	0 a 2 ha	0 a 10 ha	0 a 6 ha
Profundidade do lençol adequada	> 1 metro	S.R.	> 1 metro	> 1 metro	> 1 metro
Declividade adequada	S.R.	S.R.	S.R.	> 5%	S.R.
Usos próximos proibidos	C	S.R.	S.R.	VTI e C	I e C
Capacidade de infiltração adequada	7 a 200 $mm.h^{-1}$	0,5 a 60 $mm.h^{-1}$	1 a 200 $mm.h^{-1}$	7 a 200 $mm.h^{-1}$	4 a 200 $mm.h^{-1}$
Solos frágeis à água	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável
Subsolo impermeável	Inviável	Inviável	Possível	Inviável	Inviável
Exutório	Não precisa	Precisa	Precisa	Não precisa	Não precisa
Esforços e tráfegos intensos	Inviável	S.R.	S.R.	Inviável	Inviável

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.54 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O CC05

Pré-seleção	TI	BR	BD	PP	PI
Área contribuinte adequada	0 a 2 ha	0 a 6 ha	0 a 2 ha	0 a 10 ha	0 a 6 ha
Profundidade do lençol adequada	> 1 metro	S.R.	> 1 metro	> 1 metro	> 1 metro
Declividade adequada	S.R.	S.R.	S.R.	> 5%	S.R.
Usos próximos proibidos	C	S.R.	S.R.	VTI e C	I e C
Capacidade de infiltração adequada	7 a 200 $mm.h^{-1}$	0,5 a 60 $mm.h^{-1}$	1 a 200 $mm.h^{-1}$	7 a 200 $mm.h^{-1}$	4 a 200 $mm.h^{-1}$
Solos frágeis à água	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável
Subsolo impermeável	Inviável	Inviável	Possível	Inviável	Inviável
Exutório	Não precisa	Precisa	Precisa	Não precisa	Não precisa
Esforços e tráfegos intensos	Inviável	S.R.	S.R.	Inviável	Inviável

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.55 – PRÉ-SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O CC06

Pré-seleção	TI	BR	BD	PP	PI
Área contribuinte adequada	0 a 2 ha	0 a 6 ha	0 a 2 ha	0 a 10 ha	0 a 6 ha
Profundidade do lençol adequada	> 1 metro	S.R.	> 1 metro	> 1 metro	> 1 metro
Declividade adequada	S.R.	S.R.	S.R.	> 5%	S.R.
Usos próximos proibidos	C	S.R.	S.R.	VTI e C	I e C
Capacidade de infiltração adequada	7 a 200 $mm.h^{-1}$	0,5 a 60 $mm.h^{-1}$	1 a 200 $mm.h^{-1}$	7 a 200 $mm.h^{-1}$	4 a 200 $mm.h^{-1}$
Solos frágeis à água	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável	Inviável
Subsolo impermeável	Inviável	Inviável	Possível	Inviável	Inviável
Exutório	Não precisa	Precisa	Precisa	Não precisa	Não precisa
Esforços e tráfegos intensos	Inviável	S.R.	S.R.	Inviável	Inviável

Após a primeira etapa da pré-seleção, as alternativas restantes são as apresentadas no QUADRO 4.2.

QUADRO 4.2 - ALTERNATIVAS VIÁVEIS APÓS APLICAÇÃO DA PRIMEIRA ETAPA DE PRÉ-SELEÇÃO

Local	Alternativas Viáveis - Após 1ª etapa de pré-seleção		
PP01	Bacia de Retenção	Poço de Infiltração	
PP02	Bacia de Retenção	Poço de Infiltração	
IP01	Bacia de Retenção	Poço de Infiltração	
IP02	Bacia de Retenção	Poço de Infiltração	
CC01	Bacia de Retenção	Bacia de Detenção	Poço de Infiltração
CC02	Bacia de Retenção	Bacia de Detenção	Poço de Infiltração
CC03	Bacia de Retenção	Bacia de Detenção	Poço de Infiltração
CC04	Bacia de Retenção	Bacia de Detenção	Poço de Infiltração
CC05	Bacia de Retenção	Bacia de Detenção	Poço de Infiltração
CC06	Bacia de Retenção	Bacia de Detenção	Poço de Infiltração

FONTE: A autora (2023).

Dando continuidade à aplicação dos critérios de pré-seleção, foi analisada a viabilidade das alternativas apresentadas no QUADRO 4.2 , de acordo com as orientações do Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002), que também estão presentes no Anexo E desta pesquisa. Durante essa análise, foram obtidos o QUADRO 4.3 ao QUADRO 4.5.

QUADRO 4.3 - ALTERNATIVAS VIÁVEIS APÓS APLICAÇÃO DA SEGUNDA ETAPA DE PRÉ-SELEÇÃO PARA AS PRAÇAS PÚBLICAS

Local	Característica	Selecionados etapa anterior	
PP01	Praça Pública	Bacia de Retenção	Poço de Infiltração
		Recomendada utilização em praças conforme Anexo E. Além disso, há espaço para aplicação desta.	Recomendada utilização em praças conforme Anexo E. Além disso, há espaço para aplicação desta.
PP02	Praça Pública	Bacia de Retenção	Poço de Infiltração
		Recomendada utilização em praças conforme Anexo E. Além disso, há espaço para aplicação desta.	Recomendada utilização em praças conforme Anexo E. Além disso, há espaço para aplicação desta.

FONTE: A autora (2023).

QUADRO 4.4 - ALTERNATIVAS VIÁVEIS APÓS APLICAÇÃO DA SEGUNDA ETAPA DE PRÉ-SELEÇÃO PARA OS IMÓVEIS DA PREFEITURA

Local	Característica	Selecionados etapa anterior	
IP01	Lote Vazio Prefeitura	Bacia de Retenção	Poço de Infiltração
		Não há recomendações quanto a locais deste tipo, porém, esta alternativa é viável para utilização no lote da prefeitura, desde que não impeça futuras construções e inviabilize a utilização da área.	Não há recomendações quanto a locais deste tipo, porém, esta alternativa é viável para utilização no lote da prefeitura, desde que não impeça futuras construções e inviabilize a utilização da área.
IP02	Lote Vazio Prefeitura	Bacia de Retenção	Poço de Infiltração
		Não há recomendações quanto a locais deste tipo, porém, esta alternativa é viável para utilização no lote da prefeitura, desde que não impeça futuras construções e inviabilize a utilização da área.	Não há recomendações quanto a locais deste tipo, porém, esta alternativa é viável para utilização no lote da prefeitura, desde que não impeça futuras construções e inviabilize a utilização da área.

FONTE: A autora (2023).

QUADRO 4.5 - ALTERNATIVAS VIÁVEIS APÓS APLICAÇÃO DA SEGUNDA ETAPA DE PRÉ-SELEÇÃO PARA OS CANTEIROS CENTRAIS

Local	Característica	Selecionados etapa anterior		
CC01	Canteiro central de via tráfego leve	Bacia de Retenção	Bacia de Detenção	Poço de Infiltração
		Não recomendada para vias com tráfego leve, conforme Anexo E.	Recomendada para vias com tráfego leve, conforme Anexo E. Porém, esta medida é recomendada para ser utilizada em áreas maiores. O canteiro central tem apenas 5 metros de largura, restando 4 metros para utilizar sistemas.	Recomendada para vias com tráfego leve, conforme Anexo E.
CC02, CC03, CC04, CC05 e CC06	Canteiro central de via tráfego moderado	Bacia de Retenção	Bacia de Detenção	Poço de Infiltração
		Não recomendada para vias com tráfego leve, conforme Anexo E.	Recomendada para vias com tráfego leve, conforme Anexo E. Porém, esta medida é recomendada para ser utilizada em áreas maiores. O canteiro central tem apenas 5 metros de largura, restando 4 metros para utilizar sistemas.	Recomendada para vias com tráfego leve, conforme Anexo E.

FONTE: A autora (2023).

Em uma terceira etapa, foram analisadas as características das alternativas e os espaços disponíveis para cada local. Para os locais PP01, PP02, IP01 e IP02, verificou-se que a utilização de Bacias de Retenção é viável. No entanto, devido ao fato de essas estruturas permanecerem cheias após episódios de chuva e não poderem ser reaproveitadas para outras funções, ao contrário das Bacias de Detenção, não é recomendável aplicar esse tipo de estrutura em praças públicas e lotes da prefeitura. As praças públicas PP01 e PP02 são áreas com grande potencial para a instalação de espaços de recreação e esportes, e a utilização de Bacias de Retenção nessas áreas inviabilizaria o aproveitamento futuro desses locais. Portanto, para os locais PP01, PP02, IP01 e IP02, recomenda-se apenas a utilização de poços

de infiltração, levando em consideração as três etapas de pré-seleção apresentadas anteriormente.

No caso dos canteiros centrais, nesta terceira etapa, não se recomenda o uso de Bacias de Detenção devido ao tamanho reduzido dos canteiros centrais CC01, CC02, CC03, CC04, CC05 e CC06. Por esse motivo, para esses seis locais mencionados, apenas a utilização de poços de infiltração é recomendada.

Embora a pré-seleção tenha apenas essas três etapas, é importante ressaltar que o pré-dimensionamento, que será apresentado nos tópicos seguintes, pode restringir a viabilidade das alternativas selecionadas, uma vez que pode haver a necessidade de estruturas que não se adequam ao espaço disponível.

Cabe ressaltar, além disso, que neste estudo foi analisada apenas a viabilidade das seguintes opções de drenagem: trincheiras de infiltração, bacias de retenção, bacias de detenção, pavimentos permeáveis e poços de infiltração. Essas alternativas foram selecionadas com o propósito de exemplificar o uso da ferramenta proposta neste estudo de caso. Para estudos de tomada de decisão que serão efetivamente implementados, com a execução das medidas selecionadas, é recomendável considerar uma gama mais ampla de alternativas de drenagem.

Portanto, nas próximas etapas, serão analisadas as questões relacionadas à instalação de poços de infiltração nos 10 locais selecionados. As demais alternativas apresentaram inviabilidades diferentes, como descrito anteriormente.

4.2.8 Organização das medidas pré-selecionadas por localidade e características

As alternativas selecionadas serão posicionadas em suas respectivas áreas disponíveis de acordo com o pré-dimensionamento, que será realizado em etapas subsequentes. Com o pré-dimensionamento, será possível determinar a localização exata de cada alternativa dentro de cada lote. Até o momento, temos conhecimento apenas da localização do lote em que será estudada a aplicação de cada alternativa. A FIGURA 4.20 ilustra a localização das alternativas propostas para os estudos futuros, sendo todas elas poços de infiltração.

FIGURA 4.20 - LOCAIS PARA UTILIZAÇÃO DE POÇOS DE INFILTRAÇÃO NA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO DO PONTO DE ALAGAMENTO EM ANÁLISE



FONTE: A autora (2023).

4.2.9 Seleção dos indicadores

Na etapa de seleção dos indicadores, foram aplicados três critérios para realizar a primeira eliminação dos indicadores. O primeiro critério consistiu em remover os indicadores que não apresentam variação entre os dois locais analisados, uma vez que será utilizado o mesmo sistema para ambas as áreas. Os seguintes indicadores foram eliminados com base nesse critério:

– I23 – Facilidade de manutenção;

– I24 – Tempo de vida;

– I09 – Cumprimento dos ODS;

– I22 – Facilidade de conexão;

– I17 – Risco de obra;

– I07 – Aspectos legais.

Além desse critério de eliminação, também foi utilizado o critério de indicadores que não variam devido à distância entre os dois locais de intervenção, ou seja, os indicadores que permanecem constantes independentemente da localização. Com base nesse critério, os seguintes indicadores foram eliminados:

– I11 – Precipitação;

– I31 – Vulnerabilidade da população.

Outro critério de eliminação utilizado foi a repetibilidade em relação aos demais indicadores selecionados. Com base nesse critério, o indicador I03 - Topográfico foi excluído.

Outro indicador eliminado da lista obtida na fase de pré-seleção foi o Escoamento Superficial. Optou-se por não realizar o cálculo desse indicador por três razões. A primeira e principal razão é que o valor do escoamento superficial depende de diversos parâmetros, tais como precipitação, tipo de solo, topografia, cobertura vegetal, características da superfície e uso do solo. No caso do estudo em questão, todos esses parâmetros, exceto a topografia, são idênticos para os locais, uma vez que eles estão a uma distância inferior a 80 metros um do outro. Dessa forma, como há um parâmetro que abrange essa variável, não há necessidade de calcular esse indicador nesse caso específico. Outras razões para a exclusão desse indicador são as seguintes: a natureza do objetivo desta pesquisa, que utiliza o estudo de caso para exemplificar a utilização da ferramenta desenvolvida, não colocando o escoamento superficial como foco do trabalho; e a complexidade envolvida no cálculo desse indicador.

O último indicador que foi removido da lista de pré-seleção foi o indicador de cargas poluentes, devido à sua complexidade de determinação. Essa decisão foi justificada com base nas mesmas razões mencionadas para o indicador de escoamento superficial, considerando a natureza do objetivo desta pesquisa, que é o desenvolvimento da ferramenta.

Com base nas questões mencionadas acima, os indicadores selecionados para a aplicação no estudo de caso, nesta última etapa de seleção, são os apresentados na TABELA 4.56.

TABELA 4.56 – INDICADORES SELECIONADOS PELOS PARTICIPANTES DA PESQUISA

Cod.	Indicador	Peso
I05	Alterações no meio físico	9,40
I04	Topográfico de elevação	9,20
I06	Impactos no meio ambiente	9,00
I16	Vazão de pico	8,30
I29	Espaços apropriados para a população	7,90
I30	Espaços apropriados para a natureza	7,90

FONTE: A autora (2023).

Após a normalização dos pesos dos indicadores, de modo a enquadrá-los em uma escala de 1 a 10, e considerando as abreviações apresentadas no Anexo A desta pesquisa, os pesos normalizados são apresentados na TABELA 4.57.

TABELA 4.57 – INDICADORES SELECIONADOS PELOS PARTICIPANTES DA PESQUISA COM PESOS NORMALIZADOS

	Indicador	Média Peso	Peso Normalizado
I_F	Alterações no meio físico	9,40	10,00
I_{TE}	Topográfico de elevação	9,20	8,80
I_{MA}	Impactos no meio ambiente	9,00	7,60
I_{VP}	Vazão de pico	8,30	3,40
I_{AP}	Espaços apropriados para a população	7,90	1,00
I_{AN}	Espaços apropriados para a natureza	7,90	1,00

FONTE: A autora (2023).

4.2.10 Pré-dimensionamento das alternativas

Nos próximos tópicos, serão abordados os pré-dimensionamentos para os poços de infiltração dos 10 diferentes locais. Todos os pré-dimensionamentos apresentados a seguir foram realizados levando em consideração as informações contidas no Anexo E desta pesquisa.

4.2.10.1 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para PP01

Na TABELA 4.58 são apresentados os dados iniciais e as constantes utilizadas no pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para o local PP01. Os cálculos correspondentes estão detalhados na TABELA 4.59. Durante o pré-dimensionamento, verificou-se que seriam necessários 23 poços com diâmetro de 6 metros para atingir uma profundidade inferior a 5 metros (recomendada para viabilidade). No entanto, levando em consideração as restrições da praça PP01, que permite apenas um máximo de 10 poços de infiltração com esse diâmetro, a alternativa proposta para o local se mostra inviável.

TABELA 4.58 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O PP01

Constantes/Dados Iniciais			
E	2,00	M	Espaçamento entre os Poços de Infiltração
A	5,52 / 55.200,00	ha / m²	Área de Contribuição
T	3,00	anos	Tempo de Retorno Adotado
C	0,90	-	Coeficiente de Escoamento
D	5,00	M	Diâmetro do Poço de Infiltração
α	0,30	-	Valores entre 0,1 e 0,5
K_{sat}	5,05E-08 / 1,82	$m.s^{-1}$ / $mm.h^{-1}$	Condutividade Hidráulica Saturada. Para solos argilosos normalmente entre 10^-9 e 10^-7. Foi utilizada a média deste intervalo.
η	0,35	-	Porosidade do graduado (considerando que será utilizada brita 01 e que a porosidade desta varia entre 30% e 40%)

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.59 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O PP01

Parâmetros e dados calculados				
N_{adot}	35,00	Poços	N = B / (D + E)	Número Adotado de Poços de Infiltração
β	72,29	-	-	Coeficiente Adimensional
γ	0,80	-	$\beta = \frac{4 \,.\, C \,.\, A}{\pi \,.\, D^2}$	Coeficiente Adimensional
q_s	0,55	$mm.h^{-1}$	$\gamma = \frac{4 \,.\, \pi \,.\, D}{\pi \,.\, D^2}$	Vazão de saída constante do dispositivo
k_1	296,12	-	$q_s = \alpha \,.\, K_{sat}$	Coeficiente Adimensional
k_2	4,23E-01	-	k_1: 7,11. $\beta^{1/2}$. $T^{0,129}$	Coeficiente Adimensional
H	4,83E+03	mm	k_2: 0,64. $\gamma^{1/2}$. $q_s{}^{1/2}$	Profundidade média da camada de armazenamento
	4,83	M	$H = \frac{1}{10} \cdot [\frac{k_1 \,.\, (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta \,.\, k_2^2}]^2$	

FONTE: A autora (2023).

4.2.10.2 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para PP02

A TABELA 4.60 apresenta as informações iniciais e as constantes utilizadas para o pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração no local PP02. Os cálculos correspondentes estão disponíveis na TABELA 4.61. Durante o pré-dimensionamento, foi observado que seriam necessários 23 poços com diâmetro de 6 metros para alcançar uma profundidade inferior a 5 metros (recomendada para viabilidade). No entanto, considerando as limitações da praça PP02, que permite no máximo 10 poços de infiltração com esse diâmetro, a alternativa proposta para o local se mostra inviável.

TABELA 4.60 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O PP02

Constantes/Dados Iniciais			
E	2,00	M	Espaçamento entre os Poços de Infiltração
A	4,14	ha	Área de Contribuição
	41.400,00	m²	
T	3,00	anos	Tempo de Retorno Adotado
C	0,90	-	Coeficiente de Escoamento
D	6,00	M	Diâmetro do Poço de Infiltração
α	0,30	-	Valores entre 0,1 e 0,5
K_{sat}	5,05E-08	$m.s^{-1}$	Condutividade Hidráulica Saturada. Para solos argilosos normalmente entre 10^-9 e 10^-7. Foi utilizada a média deste intervalo.
	1,82	$mm.h^{-1}$	
η	0,35	-	Porosidade do graduado (considerando que será utilizada brita 01 e que a porosidade desta varia entre 30% e 40%)

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.61 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O PP02

Parâmetros e dados calculados				
N_{adot}	23,00	Poços	N = B / (D + E)	Número Adotado de Poços de Infiltração
β	57,30	-	-	Coeficiente Adimensional
γ	0,67	-	$\beta = \frac{4 \,.\, C \,.\, A}{\pi \,.\, D^2}$	Coeficiente Adimensional
q_s	0,55	$mm.h^{-1}$	$\gamma = \frac{4 \,.\, \pi \,.\, D}{\pi \,.\, D^2}$	Vazão de saída constante do dispositivo
k_1	234,70	-	$q_s = \alpha \,.\, K_{sat}$	Coeficiente Adimensional
k_2	3,86E-01	-	k_1: 7,11. $\beta^{1/2}$. $T^{0,129}$	Coeficiente Adimensional
H	4,93E+03	mm	k_2: 0,64. $\gamma^{1/2}$. $q_s{}^{1/2}$	Profundidade média da camada de armazenamento
	4,93	M	$H = \frac{1}{10} \,.\, [\frac{k_1 \,.\, (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta \,.\, k_2^2}]^2$	

FONTE: A autora (2023).

4.2.10.3 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para IP01

A TABELA 4.62 apresenta as constantes e os dados iniciais utilizados para o pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração no local IP01. Os cálculos correspondentes estão detalhados na TABELA 4.63. Durante o pré-dimensionamento, observa-se que, ao utilizar Poços de Infiltração com diâmetro de 9 metros, seriam necessárias 14 unidades de poços para garantir profundidades inferiores a 5 metros (profundidade recomendada para viabilidade). No entanto, o imóvel da prefeitura não tem capacidade para acomodar as 14 unidades de poços sem prejudicar as funções atribuídas ao lote. Portanto, a utilização dessas medidas no local IP01 é considerada inviável.

TABELA 4.62 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O IP01

Constantes/Dados Iniciais			
E	2,00	M	Espaçamento entre os Poços de Infiltração
A	3,58	ha	Área de Contribuição
	35.800,00	m²	
T	3,00	anos	Tempo de Retorno Adotado
C	0,90	-	Coeficiente de Escoamento
D	9,00	M	Diâmetro do Poço de Infiltração
α	0,30	-	Valores entre 0,1 e 0,5
K_{sat}	5,05E-08	$m.s^{-1}$	Condutividade Hidráulica Saturada. Para solos argilosos normalmente entre 10^-9 e 10^-7. Foi utilizada a média deste intervalo.
	1,82	$mm.h^{-1}$	
η	0,35	-	Porosidade do graduado (considerando que será utilizada brita 01 e que a porosidade desta varia entre 30% e 40%)

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.63 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O IP01

Parâmetros e dados calculados				
N_{adot}	14,00	Poços	N = B / (D + E)	Número Adotado de Poços de Infiltração
β	36,18	-	-	Coeficiente Adimensional
γ	0,44	-	$\beta = \frac{4 \,.\, C \,.\, A}{\pi \,.\, D^2}$	Coeficiente Adimensional
q_s	0,55	$mm.h^{-1}$	$\gamma = \frac{4 \,.\, \pi \,.\, D}{\pi \,.\, D^2}$	Vazão de saída constante do dispositivo
k_1	148,19	-	$q_s = \alpha \,.\, K_{sat}$	Coeficiente Adimensional
k_2	3,15E-01	-	k_1: 7,11. $\beta^{1/2}$. $T^{0,129}$	Coeficiente Adimensional
H	4,35E+03	mm	k_2: 0,64. $\gamma^{1/2}$. $q_s{}^{1/2}$	Profundidade média da camada de armazenamento
	4,35	M	$H = \frac{1}{10} \cdot [\frac{k_1 \,.\, (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta \,.\, k_2^2}]^2$	

FONTE: A autora (2023).

4.2.10.4 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para IP02

Os dados iniciais e as constantes utilizadas no pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para o local IP02 estão disponíveis na TABELA 4.64. Os cálculos correspondentes estão detalhados na TABELA 4.65. Durante o pré-dimensionamento, foi observado que seriam necessários 18 poços com diâmetro de 3 metros para garantir profundidades inferiores a 5 metros (recomendadas para viabilidade) no local IP02. No entanto, o imóvel da prefeitura não tem capacidade para acomodar os 18 poços sem prejudicar suas funções designadas. Portanto, a implementação dessas medidas no local IP02 é considerada inviável.

TABELA 4.64 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O IP02

Constantes/Dados Iniciais			
E	2,00	M	Espaçamento entre os Poços de Infiltração
A	4,14	ha	Área de Contribuição
	41.400,00	m²	
T	3,00	anos	Tempo de Retorno Adotado
C	0,90	-	Coeficiente de Escoamento
D	3,00	M	Diâmetro do Poço de Infiltração
α	0,30	-	Valores entre 0,1 e 0,5
K_{sat}	5,05E-08	$m.s^{-1}$	Condutividade Hidráulica Saturada. Para solos argilosos normalmente entre 10^-9 e 10^-7. Foi utilizada a média deste intervalo.
	1,82	$mm.h^{-1}$	
η	0,35	-	Porosidade do graduado (considerando que será utilizada brita 01 e que a porosidade desta varia entre 30% e 40%)

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.65 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O IP02

Parâmetros e dados calculados				
N_{adot}	18,00	Poços	N = B / (D + E)	Número Adotado de Poços de Infiltração
β	292,85	-	-	Coeficiente Adimensional
γ	1,33	-	$\beta = \frac{4 \,.\, C \,.\, A}{\pi \,.\, D^2}$	Coeficiente Adimensional
q_s	0,55	$mm.h^{-1}$	$\gamma = \frac{4 \,.\, \pi \,.\, D}{\pi \,.\, D^2}$	Vazão de saída constante do dispositivo
k_1	1.199,57	-	$q_s = \alpha \,.\, K_{sat}$	Coeficiente Adimensional
k_2	5,46E-01	-	k_1: 7,11. $\beta^{1/2}$. $T^{0,129}$	Coeficiente Adimensional
H	4,52E+03	mm	k_2: 0,64. $\gamma^{1/2}$. $q_s{}^{1/2}$	Profundidade média da camada de armazenamento
	4,52	m	$H = \frac{1}{10} \,.\, [\frac{k_1 \,.\, (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta \,.\, k_2^2}]^2$	

FONTE: A autora (2023).

4.2.10.5 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para CC01

Na TABELA 4.66 podem ser vistas as constantes e os dados iniciais utilizados para o pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para o local CC01. Na TABELA 4.67 apresentam-se os cálculos do pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para o local CC01. Conforme apresentado, no pré-dimensionamento deste local, foram obtidas 17 unidades de 4 metros de diâmetro e 14,8 metros de profundidade. No entanto, considerando que a viabilidade para a utilização de Poços de Infiltração ocorre apenas quando a profundidade resulta em um valor inferior a 5 metros, a implementação de poços de infiltração não é viável neste caso específico. Para alcançar uma profundidade inferior a 5 metros, seriam necessários 30 poços de 4 metros de diâmetro, porém, o local possui espaço apenas para acomodar 17 poços.

TABELA 4.66 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC01

Constantes/Dados Iniciais			
L	105,00	m	Comprimento do Canteiro Central
B	5,00	m	Largura do Canteiro Central
E	2,00	m	Espaçamento entre os Poços de Infiltração
A	4,50	ha	Área de Contribuição
	45.000,00	m²	
T	3,00	anos	Tempo de Retorno Adotado
C	0,90	-	Coeficiente de Escoamento
D	4,00	m	Diâmetro do Poço de Infiltração
α	0,30	-	Valores entre 0,1 e 0,5
K_{sat}	5,05E-08	$m.s^{-1}$	Condutividade Hidráulica Saturada. Para solos argilosos normalmente entre 10^-9 e 10^-7. Foi utilizada a média deste intervalo.
	1,82	$mm.h^{-1}$	
η	0,35	-	Porosidade do graduado (considerando que será utilizada brita 01 e que a porosidade desta varia entre 30% e 40%)

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.67 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC01

Parâmetros e dados calculados				
$N_{máx}$	17,00	Poços	N = B / (D + E)	Número Máximo de Poços de Infiltração
N_{adot}	17,00	Poços	-	Número Adotado de Poços de Infiltração
β	189,58	-	$\beta = \frac{4 \,.\, C \,.\, A}{\pi \,.\, D^2}$	Coeficiente Adimensional
γ	1,00	-	$\gamma = \frac{4 \,.\, \pi \,.\, D}{\pi \,.\, D^2}$	Coeficiente Adimensional
q_s	0,55	$mm.h^{-1}$	$q_s = \alpha \,.\, K_{sat}$	Vazão de saída constante do dispositivo
k_1	776,58	-	k_1: 7,11. $\beta^{1/2}$. $T^{0,129}$	Coeficiente Adimensional
k_2	4,73E-01	-	k_2: 0,64. $\gamma^{1/2}$. $q_s^{1/2}$	Coeficiente Adimensional
H	1,47E+04	mm	$H = \frac{1}{10} \,.\, [\frac{k_1 \,.\, (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta \,.\, k_2^2}]^2$	Profundidade média da camada de armazenamento
	14,74	m	-	

FONTE: A autora (2023).

4.2.10.6 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para CC02

Os dados iniciais e as constantes utilizadas no pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para o local CC02 estão listados na TABELA 4.68. Os cálculos correspondentes estão detalhados na TABELA 4.69. De acordo com os resultados obtidos, o pré-dimensionamento para esse local resultou em 6 poços com 4 metros de diâmetro e 14,3 metros de profundidade. No entanto, considerando que a viabilidade do uso de Poços de Infiltração está relacionada a profundidades inferiores a 5 metros, não é viável utilizar poços de infiltração nesse caso específico. Para alcançar uma profundidade inferior a 5 metros, seriam necessários 11 poços de 4 metros de diâmetro, mas o local só comporta a instalação de 6 poços.

TABELA 4.68 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC02

Constantes/Dados Iniciais			
L	40,00	m	Comprimento do Canteiro Central
B	5,00	m	Largura do Canteiro Central
E	2,00	m	Espaçamento entre os Poços de Infiltração
A	1,56	ha	Área de Contribuição
	15.600,00	m²	
T	3,00	anos	Tempo de Retorno Adotado
C	0,90	-	Coeficiente de Escoamento
D	4,00	m	Diâmetro do Poço de Infiltração
α	0,30	-	Valores entre 0,1 e 0,5
K_{sat}	5,05E-08	$m.s^{-1}$	Condutividade Hidráulica Saturada. Para solos argilosos normalmente entre 10^-9 e 10^-7. Foi utilizada a média deste intervalo.
	1,82	$mm.h^{-1}$	
η	0,35	-	Porosidade do graduado (considerando que será utilizada brita 01 e que a porosidade desta varia entre 30% e 40%)

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.69 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC02

Parâmetros e dados calculados				
$N_{máx}$	6,00	Poços	N = B / (D + E)	Número Máximo de Poços de Infiltração
N_{adot}	6,00	Poços	-	Número Adotado de Poços de Infiltração
β	186,21	-	$\beta = \frac{4 \,.\, C \,.\, A}{\pi \,.\, D^2}$	Coeficiente Adimensional
γ	1,00	-	$\gamma = \frac{4 \,.\, \pi \,.\, D}{\pi \,.\, D^2}$	Coeficiente Adimensional
q_s	0,55	$mm.h^{-1}$	$q_s = \alpha \,.\, K_{sat}$	Vazão de saída constante do dispositivo
k_1	762,77	-	k_1: 7,11. $\beta^{1/2}$. $T^{0,129}$	Coeficiente Adimensional
k_2	4,73E-01	-	k_2: 0,64. $\gamma^{1/2}$. $q_s{}^{1/2}$	Coeficiente Adimensional
H	1,42E+04	mm	$H = \frac{1}{10} \cdot [\frac{k_1 \,.\, (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta \,.\, k_2^2}]^2$	Profundidade média da camada de armazenamento
	14,22	m	-	

FONTE: A autora (2023).

4.2.10.7 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para CC03

Na TABELA 4.70 podem ser vistas as constantes e os dados iniciais utilizados para o pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para o local CC03. Na TABELA 4.71 apresentam-se os cálculos do pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para o local CC03. Conforme apresentado, no pré-dimensionamento deste local, foram obtidas 5 unidades de 4 metros de diâmetro e 37,82 metros de profundidade. No entanto, considerando que a viabilidade para a utilização de Poços de Infiltração ocorre apenas quando a profundidade resulta em um valor inferior a 5 metros, a implementação de poços de infiltração não é viável neste caso específico. Para alcançar uma profundidade inferior a 5 metros, seriam necessários 14 poços de 4 metros de diâmetro, mas o local possui espaço apenas para acomodar 5 poços.

TABELA 4.70 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC03

Constantes/Dados Iniciais			
L	35,00	m	Comprimento do Canteiro Central
B	5,00	m	Largura do Canteiro Central
E	2,00	m	Espaçamento entre os Poços de Infiltração
A	2,12	ha	Área de Contribuição
	21.200,00	m²	
T	3,00	anos	Tempo de Retorno Adotado
C	0,90	-	Coeficiente de Escoamento
D	4,00	m	Diâmetro do Poço de Infiltração
α	0,30	-	Valores entre 0,1 e 0,5
K_{sat}	5,05E-08	$m.s^{-1}$	Condutividade Hidráulica Saturada. Para solos argilosos normalmente entre 10^-9 e 10^-7. Foi utilizada a média deste intervalo.
	1,82	$mm.h^{-1}$	
η	0,35	-	Porosidade do graduado (considerando que será utilizada brita 01 e que a porosidade desta varia entre 30% e 40%)

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.71 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC03

Parâmetros e dados calculados				
$N_{máx}$	5,00	Poços	N = B / (D + E)	Número Máximo de Poços de Infiltração
N_{adot}	5,00	Poços	-	Número Adotado de Poços de Infiltração
β	303,67	-	$\beta = \frac{4 \,.\, C \,.\, A}{\pi \,.\, D^2}$	Coeficiente Adimensional
γ	1,00	-	$\gamma = \frac{4 \,.\, \pi \,.\, D}{\pi \,.\, D^2}$	Coeficiente Adimensional
q_s	0,55	$mm.h^{-1}$	$q_s = \alpha \,.\, K_{sat}$	Vazão de saída constante do dispositivo
k_1	1.243,90	-	k_1: 7,11. $\beta^{1/2}$. $T^{0,129}$	Coeficiente Adimensional
k_2	4,73E-01	-	k_2: 0,64. $\gamma^{1/2}$. $q_s{}^{1/2}$	Coeficiente Adimensional
H	3,78E+04	mm	$H = \frac{1}{10} \,.\, [\frac{k_1 \,.\, (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta \,.\, k_2^2}]^2$	Profundidade média da camada de armazenamento
	37,82	m	-	

FONTE: A autora (2023).

4.2.10.8 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para CC04

Na TABELA 4.72 são apresentados os dados iniciais e as constantes usadas no pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para o local CC04. Os cálculos correspondentes estão disponíveis na TABELA 4.73. Durante o pré-dimensionamento, foi determinado que seriam necessários 6 poços com diâmetro de 4 metros e profundidade de 14,3 metros. No entanto, para que a profundidade fosse inferior a 5 metros (recomendada para viabilidade), seriam necessários 11 poços de 4 metros de diâmetro. Infelizmente, a capacidade do local permite apenas a instalação de 6 poços, tornando inviável a utilização de poços de infiltração nesse caso específico.

TABELA 4.72 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC04

Constantes/Dados Iniciais			
L	35,00	m	Comprimento do Canteiro Central
B	5,00	m	Largura do Canteiro Central
E	2,00	m	Espaçamento entre os Poços de Infiltração
A	1,14	ha	Área de Contribuição
	11.400,00	m²	
T	3,00	anos	Tempo de Retorno Adotado
C	0,90	-	Coeficiente de Escoamento
D	4,00	m	Diâmetro do Poço de Infiltração
α	0,30	-	Valores entre 0,1 e 0,5
K_{sat}	5,05E-08	$m.s^{-1}$	Condutividade Hidráulica Saturada. Para solos argilosos normalmente entre 10^-9 e 10^-7. Foi utilizada a média deste intervalo.
	1,82	$mm.h^{-1}$	
η	0,35	-	Porosidade do graduado (considerando que será utilizada brita 01 e que a porosidade desta varia entre 30% e 40%)

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.73 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC04

Parâmetros e dados calculados				
$N_{máx}$	5,00	Poços	N = B / (D + E)	Número Máximo de Poços de Infiltração
N_{adot}	5,00	Poços	-	Número Adotado de Poços de Infiltração
β	163,29	-	$\beta = \frac{4 \,.\, C \,.\, A}{\pi \,.\, D^2}$	Coeficiente Adimensional
γ	1,00	-	$\gamma = \frac{4 \,.\, \pi \,.\, D}{\pi \,.\, D^2}$	Coeficiente Adimensional
q_s	0,55	$mm.h^{-1}$	$q_s = \alpha \,.\, K_{sat}$	Vazão de saída constante do dispositivo
k_1	668,89	-	k_1: 7,11. $\beta^{1/2}$. $T^{0,129}$	Coeficiente Adimensional
k_2	4,73E-01	-	k_2: 0,64. $\gamma^{1/2}$. $q_s{}^{1/2}$	Coeficiente Adimensional
H	1,09E+04	mm	$H = \frac{1}{10} \cdot [\frac{k_1 \,.\, (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta \,.\, k_2^2}]^2$	Profundidade média da camada de armazenamento
	10,94	m	-	

FONTE: A autora (2023).

4.2.10.9 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para CC05

Os dados iniciais e as constantes utilizadas no pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para o local CC05 estão disponíveis na TABELA 4.74. Os cálculos correspondentes estão detalhados na TABELA 4.75. Nesse local específico, o pré-dimensionamento resultou em 10 poços com 4 metros de diâmetro e 2,6 metros de profundidade, ou 9 poços com 4 metros de diâmetro e 3,14 metros de profundidade. Optou-se pela segunda opção apresentada. Ao contrário dos casos anteriores, neste cenário há viabilidade para a implantação dos poços de infiltração, uma vez que, ao utilizar um número de poços que se adequa ao local escolhido, a altura resultante é de 3,14 metros, valor inferior aos 5,00 metros recomendados.

TABELA 4.74 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC05

Constantes/Dados Iniciais			
L	140,00	m	Comprimento do Canteiro Central
B	5,00	m	Largura do Canteiro Central
E	2,00	m	Espaçamento entre os Poços de Infiltração
A	1,10	ha	Área de Contribuição
	11.000,00	m²	
T	3,00	anos	Tempo de Retorno Adotado
C	0,90	-	Coeficiente de Escoamento
D	4,00	m	Diâmetro do Poço de Infiltração
α	0,30	-	Valores entre 0,1 e 0,5
K_{sat}	5,05E-08	$m.s^{-1}$	Condutividade Hidráulica Saturada. Para solos argilosos normalmente entre 10^-9 e 10^-7. Foi utilizada a média deste intervalo.
	1,82	$mm.h^{-1}$	
η	0,35	-	Porosidade do graduado (considerando que será utilizada brita 01 e que a porosidade desta varia entre 30% e 40%)

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.75 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC05

Parâmetros e dados calculados				
$N_{máx}$	23,00	Poços	N = B / (D + E)	Número Máximo de Poços de Infiltração
N_{adot}	9,00	Poços	-	Número Adotado de Poços de Infiltração
β	87,54	-	$\beta = \frac{4 \,.\, C \,.\, A}{\pi \,.\, D^2}$	Coeficiente Adimensional
γ	1,00	-	$\gamma = \frac{4 \,.\, \pi \,.\, D}{\pi \,.\, D^2}$	Coeficiente Adimensional
q_s	0,55	$mm.h^{-1}$	$q_s = \alpha \,.\, K_{sat}$	Vazão de saída constante do dispositivo
k_1	358,57	-	k_1: 7,11. $\beta^{1/2}$. $T^{0,129}$	Coeficiente Adimensional
k_2	4,73E-01	-	k_2: 0,64. $\gamma^{1/2}$. $q_s{}^{1/2}$	Coeficiente Adimensional
H	3,14E+03	mm	$H = \frac{1}{10} \,.\, [\frac{k_1 \,.\, (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta \,.\, k_2^2}]^2$	Profundidade média da camada de armazenamento
	3,14	m	-	

FONTE: A autora (2023).

4.2.10.10 Pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para CC06

Na TABELA 4.76 podem ser vistas as constantes e os dados iniciais utilizados para o pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para o local CC06. Na TABELA 4.77 apresentam-se os cálculos do pré-dimensionamento dos Poços de Infiltração para o local CC06. Conforme apresentado, no local em questão, o pré-dimensionamento resultou em 11 poços com 4 metros de diâmetro e 3,51 metros de profundidade. Neste caso, ao contrário dos casos anteriores, há viabilidade para a implantação dos poços de infiltração, uma vez que, ao utilizar um número de poços adequado ao espaço disponível, a altura resultante é de 3,51 metros, valor inferior aos 5,00 metros recomendados.

TABELA 4.76 – CONSTANTES E DADOS INICIAIS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC06

Constantes/Dados Iniciais			
L	70,00	m	Comprimento do Canteiro Central
B	5,00	m	Largura do Canteiro Central
E	2,00	m	Espaçamento entre os Poços de Infiltração
A	1,42	ha	Área de Contribuição
	14.200,00	m²	
T	3,00	anos	Tempo de Retorno Adotado
C	0,90	-	Coeficiente de Escoamento
D	4,00	m	Diâmetro do Poço de Infiltração
α	0,30	-	Valores entre 0,1 e 0,5
K_{sat}	5,05E-08	$m.s^{-1}$	Condutividade Hidráulica Saturada. Para solos argilosos normalmente entre 10^-9 e 10^-7. Foi utilizada a média deste intervalo.
	1,82	$mm.h^{-1}$	
η	0,35	-	Porosidade do graduado (considerando que será utilizada brita 01 e que a porosidade desta varia entre 30% e 40%)

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.77 – PARÂMETROS E DADOS CALCULADOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA O CC06

Parâmetros e dados calculados				
$N_{máx}$	11,00	Poços	N = B / (D + E)	Número Máximo de Poços de Infiltração
N_{adot}	11,00	Poços	-	Número Adotado de Poços de Infiltração
β	92,45	-	$\beta = \frac{4 \,.\, C \,.\, A}{\pi \,.\, D^2}$	Coeficiente Adimensional
γ	1,00	-	$\gamma = \frac{4 \,.\, \pi \,.\, D}{\pi \,.\, D^2}$	Coeficiente Adimensional
q_s	0,55	$mm.h^{-1}$	$q_s = \alpha \,.\, K_{sat}$	Vazão de saída constante do dispositivo
k_1	378,72	-	k_1: 7,11. $\beta^{1/2}$. $T^{0,129}$	Coeficiente Adimensional
k_2	4,73E-01	-	k_2: 0,64. $\gamma^{1/2}$. $q_s{}^{1/2}$	Coeficiente Adimensional
H	3,51E+03	mm	$H = \frac{1}{10} \cdot [\frac{k_1 \,.\, (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta \,.\, k_2^2}]^2$	Profundidade média da camada de armazenamento
	3,51	m	-	

FONTE: A autora (2023).

4.2.10.11 Conclusão do pré-dimensionamento

Analisando as possibilidades com base no pré-dimensionamento apresentado anteriormente, nos espaços disponíveis em cada local e na função que cada local exerce para a sociedade, obteve-se a TABELA 4.78. Nesta tabela, pode-se observar que as medidas PP01, PP02, CC01, CC02, CC03 e CC04 apresentaram viabilidade em relação à utilidade atual da área de cada ponto. No entanto, essas medidas não são viáveis em termos de espaço, ou seja, seriam necessários mais poços de infiltração do que cabem em cada área para atender à demanda da região em análise e cumprir a condição de profundidade do poço inferior a 5,00 metros. Os pontos IP01 e IP02, além de apresentarem inviabilidade devido à falta de espaço, também se mostraram inviáveis em termos de utilidade após a implantação. Isso significa que os lotes pertencentes à Prefeitura Municipal de Maringá se tornariam inviáveis para outros usos após a implementação das medidas propostas, devido à quantidade significativa de poços necessários para suprir a demanda.

As únicas alternativas viáveis após a etapa de pré-dimensionamento são os poços de infiltração nos locais CC05 e CC06, conforme apresentado na TABELA 4.78.

TABELA 4.78 – CONCLUSÃO SOBRE AS MEDIDAS APÓS PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Informação	PP01	PP02	IP01	IP02	CC01	CC02	CC03	CC04	CC05	CC06
$N_{mín}$ de unidades necessárias	35	23	14	18	30	11	14	11	8	11
Diâmetro (m)	5	6	9	3	4	4	4	4	4	4
Viabilidade por espaço	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim
Viabilidade utilidade após	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

FONTE: A autora (2023).

Resumidamente, as medidas viáveis apresentadas acima estão resumidas na TABELA 4.79. Observa-se que é viável utilizar 9 poços de infiltração com 3,20 metros de profundidade e diâmetro de 4 metros no canteiro central CC05, além de utilizar 11

poços de infiltração com 3,60 metros de profundidade e diâmetro de 4 metros no canteiro central CC06.

TABELA 4.79 – CONCLUSÃO SOBRE ALTERNATIVAS VIÁVEIS

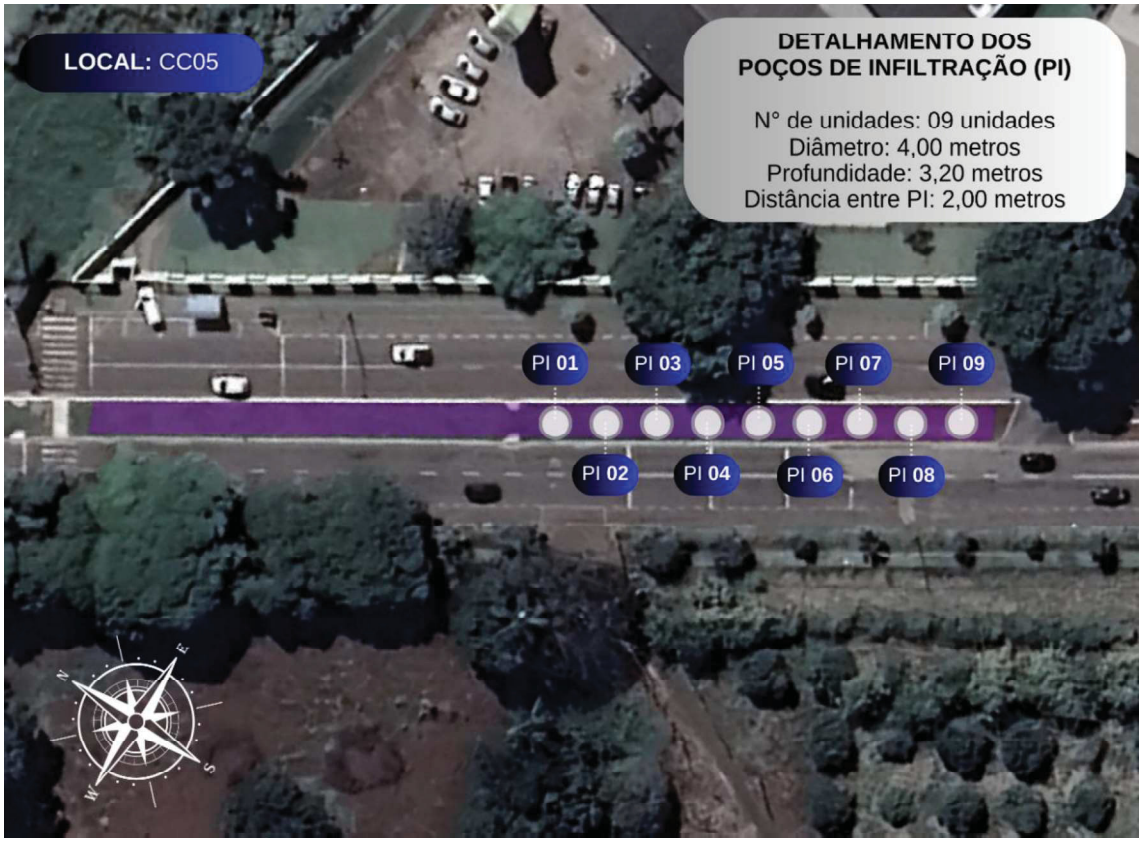
Alternativas Viáveis Pós Pré-Dimensionamento				
CC05	Viável	9 poços	H = 3,20 m	D = 4,00m
CC06	Viável	11 poços	H = 3,60 m	D = 4,00m

FONTE: A autora (2023).

4.2.11 Concepção do projeto de medidas

Nesta etapa elaborou-se a disposição e localização dos poços de infiltração necessários para cada um dos locais, CC05 e CC06. Na FIGURA 4.21, apresenta-se a configuração dos 9 poços de infiltração indicados para a área, sendo estes de 4,00 metros de diâmetro, 3,20 metros de profundidade e estando dispostos entre si a uma distância de 2,00 metros.

FIGURA 4.21 - DISPOSIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA CC05



FONTE: A autora (2023).

Em sequência, na FIGURA 4.22, apresenta-se a configuração dos 11 poços de infiltração indicados para a área, sendo estes de 4,00 metros de diâmetro, 3,60 metros de profundidade e estando dispostos entre si a uma distância de 2,00 metros.

FIGURA 4.22 - DISPOSIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO PARA CC06



FONTE: A autora (2023).

4.2.12 Levantamento de dados e cálculo dos indicadores

Considerando os indicadores selecionados anteriormente, apresenta-se o cálculo destes nos tópicos seguintes.

4.2.12.1 Alterações no meio físico (I_F)

Para determinar o indicador de alterações no meio físico, realizou-se, inicialmente, o levantamento das áreas impermeáveis antes e depois da implantação da estrutura proposta, para ambos os locais, CC05 e CC06, como pode ser visto na TABELA 4.80. Para a área impermeável antes da implantação, foi considerada a área impermeável de todo o trecho do canteiro central analisado (apenas o elemento que circunda a área), e para a área impermeável depois da implantação, foi considerada a área superficial da proteção lateral de concreto de cada poço de infiltração. O cálculo do indicador de alterações no meio físico I_F pode ser visto na TABELA 4.80. Conforme apontado nesta, o I_F encontrado para o CC05 foi de -0,068 e para o CC06 foi de -

0,167. O valor encontrado para esses indicadores foi negativo porque houve um aumento de área impermeável após a instalação do sistema. Como o valor encontrado para o CC06 foi o menor, a proposta para este local prevê uma impermeabilização maior. O valor de IF será normalizado entre 0 e 1 em etapa posterior, para que possa ser utilizado na Programação por Compromisso.

TABELA 4.80 – CÁLCULO DO INDICADOR DE ALTERAÇÕES NO MEIO FÍSICO

Local	Área Impermeável antes - $A_{imp,1}$ (m²)	Área Impermeável depois - $A_{imp,2}$ (m²)	I_F (-) $I_F = \frac{A_{imp,1} - A_{imp,2}}{A_{imp,1}}$
CC05	84,000	89,726	-0,068
CC06	42,000	48,998	-0,167

FONTE: A autora (2023).

4.2.12.2 Topográfico de elevação (I_{TE})

Para determinar qual é o indicador topográfico de elevação, utilizou-se a declividade média do trecho onde se prevê a instalação das medidas. Como pode ser visto na TABELA 4.81, o local CC05 possui uma declividade média de 5% e o local CC06 possui uma declividade média de 4%. Para a definição desses valores, foi utilizado o mapa de declividade da região e medições em curvas de nível de metro a metro. Esses valores de declividade apresentados serão normalizados entre 0 e 1 em etapa posterior, para que possam ser utilizados na Programação por Compromisso.

TABELA 4.81 – CÁLCULO DO INDICADOR TOPOGRÁFICO DE ELEVAÇÃO

Local	Declividade Média (%)
CC05	5
CC06	4

FONTE: A autora (2023).

4.2.12.3 Alterações no meio ambiente (I_{MA})

Na determinação do indicador de alterações no meio ambiente, inicialmente, foram determinadas as áreas verdes antes e depois da implantação ($A_{imp,1}$ e $A_{imp,2}$, respectivamente), para os locais CC05 e CC06, conforme pode ser visto na TABELA 4.82. A consideração das áreas permeáveis foi realizada da mesma maneira que as áreas impermeáveis no cálculo do indicador de alterações no meio físico. Como pode ser visto na TABELA 4.82, o valor calculado para o I_{MA} no local CC05 foi de -0,263 e no local CC06 foi de -0,250. Esses valores se apresentaram negativos pois houve redução da área verde com a previsão da instalação dos poços de infiltração. Os valores encontrados passarão por normalização em etapas posteriores para ficarem no intervalo entre 0 e 1, e serem utilizados corretamente na Programação por Compromisso.

TABELA 4.82 – CÁLCULO DO INDICADOR DE ALTERAÇÕES NO MEIO AMBIENTE

Local	Área Verde antes - $A_{verde,1}$ (m²)	Área Verde depois - $A_{verde,2}$ (m²)	I_{MA} (-) $I_{MA} = \frac{A_{verde,1} - A_{verde,2}}{A_{verde,1}}$
CC05	616,000	778,274	-0,263
CC06	308,000	385,002	-0,250

FONTE: A autora (2023).

4.2.12.4 Vazão de pico (I_{VP})

Para realizar a determinação da vazão de pico, inicialmente, foi necessário realizar o levantamento de dados como o coeficiente de Runoff (C), o comprimento da área de contribuição (L), a diferença de altitude da área de contribuição (ΔH) e a área total da área de contribuição (A). Esses valores foram levantados para os dois locais e estão sendo apresentados na TABELA 4.83. O coeficiente de Runoff utilizado foi obtido das legislações do município de Maringá, que indicam a utilização do valor de 0,90 nessas situações. O comprimento, a diferença de altitude e a área total de contribuição foram obtidos utilizando ferramentas de medição em programas de geoprocessamento.

TABELA 4.83 – DADOS NECESSÁRIOS PARA O CÁLCULO DO INDICADOR DE VAZÃO DE PICO

Local	C (-)	L (km)	ΔH (m)	A (ha)
CC05	0,900	0,126	8,000	1,100
CC06	0,900	0,150	14,000	1,420

FONTE: A autora (2023).

Com os dados necessários, foram calculadas a intensidade pluviométrica (i) e a vazão de pico (Q) para cada um dos locais em estudo. Para o cálculo da intensidade pluviométrica (i), foi considerado o tempo de retorno (T) de 3 anos e a duração (t) de 10 minutos, conforme recomendam as legislações municipais e o Manual de Drenagem Urbana da SUDERSHA, vigente para o Estado do Paraná. Como pode ser visto na TABELA 4.84, o valor da intensidade pluviométrica (i) para o local CC05 foi de 2,329 e para o local CC06 foi de 2,298. Quanto à vazão de pico (Q), para o local CC05 foi de 0,384 $m^3.s^{-1}$ e para o local CC06 foi de 0,490 $m^3.s^{-1}$. Para determinar o valor do indicador, o valor calculado de vazão de pico será normalizado para que fique entre zero e um, tornando possível utilizar dentro da Programação por compromisso.

TABELA 4.84 – CÁLCULO DO INDICADOR DE VAZÃO DE PICO

Local	i ($mm.min^{-1}$) $i = \frac{2115{,}18 \,.\, T^{0{,}1853}}{(t+22)^{0{,}849}}$	Q ($m^3.s^{-1}$) $Q = 0{,}1667 \,.\, C \,.\, i \,.\, A$
CC05	136,467	22,522
CC06	136,467	29,073

FONTE: A autora (2023).

4.2.12.5 Espaços apropriados para a população

A utilização de poços de infiltração, para os canteiros centrais selecionados, não reduz os espaços apropriados para a população. Esses espaços permanecem os

mesmos para ambos os locais CC05 e CC06, conforme pode ser visto na TABELA 4.85. Como os valores são iguais, o indicador de espaços apropriados para a população é igual a zero para ambos os casos.

TABELA 4.85 – CÁLCULO DO INDICADOR DE ESPAÇOS APROPRIADOS PARA A POPULAÇÃO

Local	Área Apropriada Antes - $A_{pop,1}$ (m²)	Área Apropriada Depois - $A_{pop,2}$ (m²)	I_{AP} (-) $I_{AP} = \frac{A_{pop,1} - A_{pop,2}}{A_{pop,1}}$
CC05	700,000	700,000	0,000
CC06	350,000	350,000	0,000

FONTE: A autora (2023).

4.2.12.6 Espaços apropriados para a natureza

Para a determinação dos valores dos indicadores de espaços apropriados para a natureza, inicialmente, determinaram-se as áreas adequadas para a natureza antes e depois, para ambos os locais, CC05 e CC06, conforme pode ser visto na TABELA 4.86. Para essa determinação, considerou-se que o espaço a ser utilizado pelos poços de infiltração se tornaria inadequado para a natureza, resultando na redução da área apropriada nos dois casos. Realizando os cálculos, obteve-se o valor do indicador I_{AN} de 0,162 para o local CC05 e 0,395 para o CC06. Esses valores passarão por uma etapa posterior de normalização, para ficarem dentro do intervalo de zero a um, e poderem ser utilizados na Programação por Compromisso.

TABELA 4.86 – CÁLCULO DO INDICADOR DE ESPAÇOS APROPRIADOS PARA A NATUREZA

Local	Área Apropriada Antes - $A_{nat,1}$ (m²)	Área Apropriada Depois - Anat,2 (m²)	I_{AN} (-) $I_{AN} = \frac{A_{nat,1} - A_{nat,2}}{A_{nat,1}}$
CC05	700,000	586,903	0,162
CC06	350,000	211,770	0,395

FONTE: A autora (2023).

4.2.13 Normalização dos indicadores

Conforme apresentado no Anexo E, a normalização dos valores dos indicadores é feita por meio da Equação 4.1.

$$X' = \frac{x - mín}{máx - mín} \qquad (4.1)$$

Sendo que:

– X': valor normalizado;

– X: valor original;

– mín: valor mínimo dos dados;

– máx: valor máximo dos dados.

Utilizando a Equação 4.1, desta forma, foram determinados os valores dos indicadores normalizados para os seis calculados em etapa anterior. Da TABELA 4.87 à TABELA 4.92, notam-se as normalizações realizadas. Como existiam apenas dois valores para cada indicador, sendo um do CC05 e outro do CC06, utilizou-se o valor normalizado de 0,50 para o pior caso do indicador em análise e 1 para o melhor caso do indicador em análise. Outra questão que pode ser observada nestas tabelas é a indicação se os valores apresentados estão classificados de forma crescente ou decrescente, sendo o crescente aquele em que o caso melhora conforme o valor aumenta e o decrescente, o inverso. Esse comportamento precisou ser identificado para que a Programação por Compromisso pudesse ser usada adequadamente em etapas posteriores.

TABELA 4.87 – NORMALIZAÇÃO DO INDICADOR DE ALTERAÇÕES NO MEIO FÍSICO

Local	Alterações no Meio Físico					
	Indicador (X)		Máximo (máx)	Mínimo (mín)	Normalizado (X')	Valor após Normalização
CC05	-0,068	Crescente Quanto maior, melhor o caso	-0,068	-0,167	1,000	Crescente 1,0 = Melhor caso 0,5 = Pior caso
CC06	-0,167		-0,068	-0,167	0,500	

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.88 – NORMALIZAÇÃO DO INDICADOR TOPOGRÁFICO DE ELEVAÇÃO

Local	Topográfico de elevação					
	Indicador (X)		Máximo (máx)	Mínimo (mín)	Normalizado (X')	Valor após Normalização
CC05	5,000	Crescente Quanto maior, melhor o caso	5	4	1,000	Crescente 1,0 = Melhor caso 0,5 = Pior caso
CC06	4,000		5	4	0,500	

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.89 – NORMALIZAÇÃO DO INDICADOR DE IMPACTO NO MEIO AMBIENTE

Local	Impactos no Meio Ambiente					
	Indicador (X)	Máximo (máx)	Mínimo (mín)		Normalizado (X')	Valor após Normalização
CC05	-0,263	Decrescente Quanto menor, melhor o caso	-0,25	-0,263	0,500	Decrescente 1,0 = Pior caso 0,5 = Melhor caso
CC06	-0,250		-0,25	-0,263	1,000	

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.90 – NORMALIZAÇÃO DO INDICADOR DE VAZÃO DE PICO

Local	Vazão de Pico					
	Indicador (X)		Máximo (máx)	Mínimo (mín)	Normalizado (X')	Valor após Normalização
CC05	22,522	Crescente Quanto maior, melhor o caso	29,073	22,522	0,500	Crescente 1,0 = Melhor caso 0,5 = Pior caso
CC06	29,073		29,073	22,522	1,000	

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.91 – NORMALIZAÇÃO DO INDICADOR DE ESPAÇOS APROPRIADOS PARA A POPULAÇÃO

Local	Espaços apropriados para a população					
	Indicador (X)		Máximo (máx)	Mínimo (mín)	Normalizado (X')	Valor após Normalização
CC05	0,000	Decrescente Quanto menor, melhor o caso	0	0	1,000	Decrescente 1,0 = Pior caso 0,5 = Melhor caso
CC06	0,000		0	0	1,000	

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.92 – NORMALIZAÇÃO DO INDICADOR DE ESPAÇOS APROPRIADOS PARA A NATUREZA

Local	Espaços apropriados para a natureza					
	Indicador (X)		Máximo (máx)	Mínimo (mín)	Normalizado (X')	Valor após Normalização
CC05	0,162	Decrescente 1,0 = Pior caso 0,5 = Melhor caso	0,395	0,162	0,500	Decrescente 1,0 = Pior caso 0,5 = Melhor caso
CC06	0,395		0,395	0,162	1,000	

FONTE: A autora (2023).

Resumidamente, os valores obtidos para os indicadores, após realizar normalização, foram os apresentados na TABELA 4.93. Destaca-se que estes são os valores a serem utilizados na etapa posterior, de aplicação do método de hierarquização.

TABELA 4.93 – VALORES OBTIDOS APÓS A NORMALIZAÇÃO PARA CADA INDICADOR

Indicador	CC05	CC06
I_F	1,0	0,5
I_{TE}	1,0	0,5
I_{MA}	0,5	1,0
I_{VP}	0,5	1,0
I_{AP}	1,0	1,0
I_{AN}	0,5	1,0

FONTE: A autora (2023).

4.2.14 Aplicação do método de hierarquização

O método escolhido para a hierarquização das duas medidas alternativas foi a Programação por Compromisso, uma vez que este método possui maior flexibilidade e adaptabilidade, proporcionando uma avaliação mais abrangente das soluções e gerando resultados balanceados e sustentáveis.

Conforme apresentado no Anexo E, a Programação por Compromisso utiliza a Equação 4.2 para determinar a distância entre o valor da solução e o valor ideal (L_P).

Em outras palavras, quanto menor o valor de L_P, mais próxima a alternativa está da solução ideal, tornando-a mais viável.

$$L_p = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \frac{f_i^* - f_i(x)}{(f_i^* - f_i^{**})} \qquad (4.2)$$

Sendo que:

– i: referente ao indicador “i”;

– L_p: distância do valor da solução ideal;

– λ_i: peso dos indicadores i;

– f_i^*: solução ideal do indicador “i”;

– f_i^{**}: pior solução do indicador “i”;

– $f_i(x)$: valor do indicador em análise.

Aplicando a Equação 4.2 aos indicadores calculados para as duas alternativas e considerando as abreviações dos parâmetros acima, além de considerar “P” como o peso, obteve-se a TABELA 4.94, com o cálculo do LP para o local CC05 e a TABELA 4.95 com o cálculo do LP para o local CC06. Conforme observado, o valor de LP calculado para a CC05 foi de 3,40, enquanto o valor de LP calculado para a CC06 foi de 27,40.

TABELA 4.94 – CÁLCULO DO LP PARA O LOCAL CC05

Ind.	f*	f**	P	f	[1]=f*-f	[2]=f* - f**	[1]/[2]	[3]=P.[1]/[2]
I_F	1,0	0,5	10,0	1,0	0,0	0,5	0,0	0,0
I_{TE}	1,0	0,5	8,8	1,0	0,0	0,5	0,0	0,0
I_{MA}	0,5	1,0	7,6	0,5	0,0	-0,5	0,0	0,0
I_{VP}	1,0	0,5	3,4	0,5	0,5	0,5	1,0	3,4
I_{AP}	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	-	-
I_{AN}	0,5	1,0	1,0	0,5	0,0	-0,5	0,0	0,0
							L_P =	3,40

FONTE: A autora (2023).

TABELA 4.95 – CÁLCULO DO LP PARA O LOCAL CC06

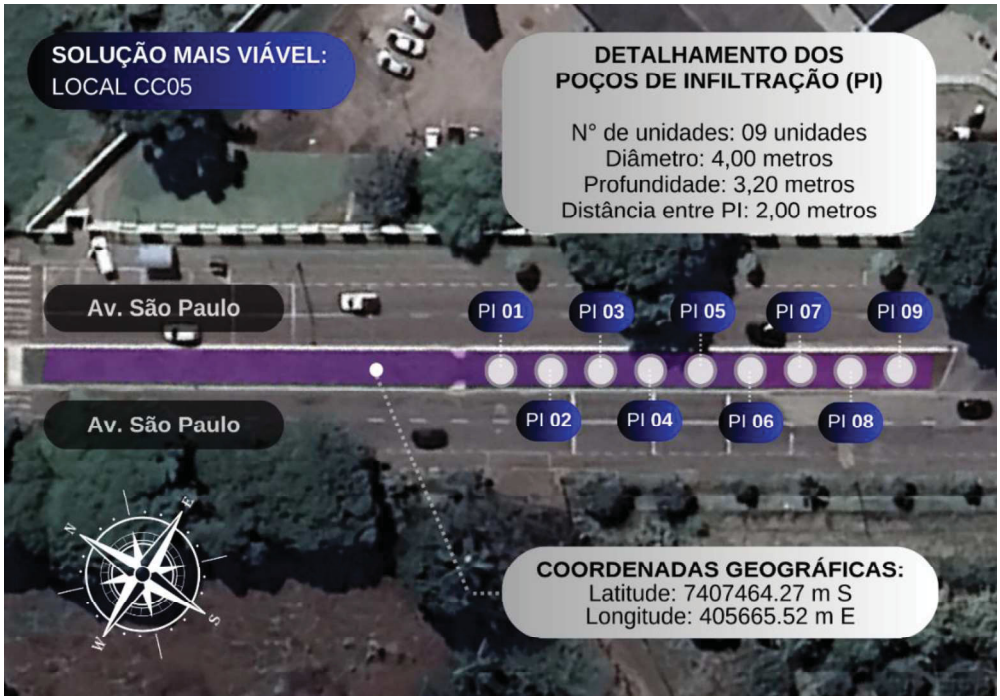
Ind.	f*	f**	P	f	[1]=f*-f	[2]=f* - f**	[1]/[2]	[3]=P.[1]/[2]
I_F	1,0	0,5	10,0	0,5	0,5	0,5	1,0	10,0
I_{TE}	1,0	0,5	8,8	0,5	0,5	0,5	1,0	8,8
I_{MA}	0,5	1,0	7,6	1,0	-0,5	-0,5	1,0	7,6
I_{VP}	1,0	0,5	3,4	1,0	0,0	0,5	0,0	0,0
I_{AP}	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	-	-
I_{AN}	0,5	1,0	1,0	1,0	-0,5	-0,5	1,0	1,0
							L_P =	27,40

FONTE: A autora (2023).

4.2.15 Resultados finais para a área de estudo

Como a solução com menor LP é considerada a mais viável neste estudo de caso, a medida mais viável foi implementada no local CC05, utilizando 9 poços de infiltração, conforme ilustrado na FIGURA 4.23. Os poços de infiltração calculados neste trabalho possuem diâmetros de 4 metros e profundidade de 3,20 metros.

FIGURA 4.23 - DETALHAMENTO DA ALTERNATIVA MAIS VIÁVEL: 9 POÇOS DE INFILTRAÇÃO NO LOCAL CC05



FONTE: A autora (2023).

Concluindo, a identificação da solução mais viável para o local CC05 teve como embasamento os indicadores que foram selecionados de modo criterioso pelo corpo técnico da prefeitura. É importante ressaltar que alterações na aplicação do método, como a seleção de outros indicadores, poderá impactar o resultado final da alternativa escolhida. Deste modo, a seleção adequada dos indicadores é essencial para uma tomada de decisão eficiente.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que os objetivos gerais e específicos da presente pesquisa foram alcançados, uma vez que resultaram no desenvolvimento de uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão em drenagem urbana convencional e sustentável. Além disso, durante o desenvolvimento, foram apresentadas as orientações, o roteiro e a aplicação do estudo de caso conforme os objetivos estabelecidos.

No que diz respeito à hipótese de que a ferramenta poderia suprir, em certa medida, a escassez desse tipo de produto, além de facilitar o processo de tomada de decisão, pode-se concluir, com base na aplicação da ferramenta no estudo de caso, que ocorreu sem grandes dificuldades ou restrições, que o produto gerado por esta pesquisa é capaz de colaborar com o público-alvo no processo de tomada de decisão, sendo assim a hipótese foi confirmada.

Em relação ao estudo de caso específico, conclui-se que, para o ponto de alagamento no município de Maringá, PR, a alternativa sugerida mais viável para mitigar os episódios de alagamento seria a utilização de nove poços de infiltração. Esses poços foram pré-dimensionados nesta pesquisa, recomendando-se diâmetros de 4 metros e profundidade de 3,20 metros.

Recomenda-se, para estudos futuros visando aprimorar essa ferramenta, que sejam realizados levantamentos dos cálculos de cada indicador identificado e que um número maior de medidas seja abordado na etapa de pré-seleção de alternativas.

REFERÊNCIAS

AHAMMED, F. A review of water-sensitive urban design technologies and practices for sustainable stormwater management. **Sustainable Water Resources Management**, v. 3, p. 269–282, 2017.

ALBUQUERQUE, M. B. **Seleção de alternativas de sistemas de drenagem sustentável para áreas de alagamento no município de Maringá-PR**. 2021. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2021.

ALBUQUERQUE, M. B.; DE ARAÚJO, A. A.; GASQUES, A. F.; OKAWA, C. M. P. Alternativas de Drenagem Urbana Sustentável em pontos de alagamento na cidade de Maringá/PR. **In:** Simpósio do Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental (2018): n. pág. Web. 20 jun. 2023

ALMADA, J. L. A.; SANTOS, E. V.; MARQUES, V. R.; RICCIARDI, R. L. G. F.; REIS, J. H. C.; BELINCANTA, A. Capacidade de carga de estacas escavadas com trado mecânico, sem fluido estabilizante, em solo típico da cidade de Maringá-PR. **In:** Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte-MG. 2016.

AQUAFLUXUS. **Trincheiras de infiltração**. Disponível em: https://www.aquafluxus.com.br/trincheiras-de-infiltracao/?lang=en. Acesso em: 12 nov. 2022.

ASHLEY, R. M.; WALKER, L.; D'ARCY, B.; WILSON, S.; ILLMAN, S.; SHAFFER, P. WOODS-BALLARD, B. CHATFIELD, P. UK Sustainable Drainage Systems: past, present and future. **Proceedings of ICE - Civil Engineering**, v. 168, p. 125-130, 2015.

ASSAAD, Rayan H.; ASSAF, Ghiwa; BOUFADEL, Michel. Optimizing the maintenance strategies for a network of green infrastructure: An agent-based model for stormwater detention basins. **Journal of Environmental Management**, v. 330, p. 117179, 2023.

BADIOU, P.; PAGE, B.; ROSS, L. A comparison of water quality and greenhouse gas emissions in constructed wetlands and conventional retention basins with and without submerged macrophyte management for storm water regulation. **Ecological Engineering**, v. 127, p. 292-301, 2019.

BAPTISTA, M. B.; DE OLIVEIRA, N. N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. ABRH, 2005.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. DE O.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2011.

BARBASSA, A. P.; ANGELINI SOBRINHA, L.; MORUZZI, R. B. Poço de infiltração para controle de enchentes na FONTE: avaliação das condições de operação e manutenção. **Ambiente Construído**, v. 14, p. 91-107, 2014.

BARBOSA, L. C. A atuação do setor privado nos sistemas de abastecimento de água em Maringá-PR: conflitos e repercussão na estruturação do território. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, p. 431-446, 2016.

BARROS, M. T. L. Drenagem urbana: bases conceituais e planejamento. Saneamento, saúde e ambiente. São Paulo: Editora Manole, p. 276-320, 2018

BEHZADIAN, K.; KAPELAN, Z. Modelling metabolism based performance of an urban water system using WaterMet2. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 99, p. 84-99, 2015.

BENEDINI, M.; TSAKIRIS, G. **Water Quality Modelling for Rivers and Streams**. New York: Springer, 2013. 283 p.

BIRGANI, Y. T.; YAZDANDOOST, F. An integrated framework to evaluate resilient-sustainable urban drainage management plans using a combined-adaptive MCDM technique.**Water Resources Management**, v. 32, n. 8, p. 2817-2835, 2018.

BRASIL. **Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas: guia do profissional em treinamento nível 2 e 3**. Belo Horizonte: Ministério das Cidades, 2007. 52 p.

BRUCE, P.; BRUCE, A. **Estatística Prática para Cientistas de Dados.** São Paulo: Alta Books, 2019.

CAMINHA MUNICÍPIO. **Bacia de Detenção – Vila Praia de Âncora**. Disponível em: https://www.cm-caminha.pt/pages/1210?news_id=94. Acesso em: 05 dez. 22.

CECAGNO, C. F.; PESSÔA, V. M. M.; CAMARGO, D. M.; MARQUES, M. L. Programação por compromisso e modelo pressão-estado-resposta na análise da sustentabilidade urbana da região norte-noroeste do município de Campinas-SP. In: XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos, Brasil. **Anais [...]**. ISBN: 978-85-17-00097-3. Santos, 2019.

CHINI, C.; CANNING, J. F.; SCHREIBER, K. L.; PESCHEL, J. M.; STILLWELL, A. S. The green experiment: Cities, green stormwater infrastructure, and sustainability. **Sustainability**, v. 9, n. 1, p. 105, 2017.

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R.; KLIGERMAN, D. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde em Debate**. v. 43, n. spe3, pp. 94-108.

DHAKAL, K. P.; CHEVALIER, L. R. Managing urban stormwater for urban sustainability: Barriers and policy solutions for green infrastructure application. **Journal of Environmental Management**, 2017. 171-181.

DUARTE, T. L. S.; SANTOS, G. C.; CASTELHANO, F. J. Eventos de chuvas extremas associados aos riscos de inundações e de alagamentos em Aracaju, Sergipe. GEOSABERES: **Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 12, p. 256-273, 2021.

EBRAHIMIAN, A.; SOKOLOVSKAYA, N.; WADZUK, B. Modeling dynamic performance of urban infiltration trench systems: Methodology and a case study in Philadelphia. **Journal of Hydrology**, v. 594, p. 125938, 2021.

FIGUEIRA, J.R.; GRECO, S.; ROY, B.; SLOWINSKI, R. ELECTRE methods: Main features and recent developments. **Handbook of multicriteria analysis**, p. 51-89, 2010.

FLETCHER, T. D.; SHUSTER, W.; HUNT, W. F.; ASHLEY, R.; BUTLER, D. ARTHUR, S.; TROWSDALE, S.; BARRAUD, S.; SEMADENI-DAVIES, A. BERTRAND-KRAJEWSKI, J.; MIKKELSEN, P. S.; RIVARD, G.; UHL, M.; DAGENAIS, D.; VIKLANDER, M. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, 2014.

FLETCHER, T. D.; SHUSTER, W.; HUNT; W. F.; ASHLEY, R.; BUTLER, D.; ARTHUR, S.; TROWSDALE, S.; BARRAUD, S.; SEMADENI-DAVIES, A.; BERTRAND-KRAJEWSKI, J. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban water journal**, v. 12, n. 7, p. 525-542, 2015.

GERSHON, M.; DUCKSTEIN, L. Multiobjective approaches to river basin planning. **Journal of Water Planning and Management**, p.13-28, 1983.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GONÇALVES, F. T.; NUCCI, J. C. Sistemas de drenagem sustentável (SUDS): propostas para a bacia do rio Juvevê, Curitiba-PR. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 42, p. 192-209, 2017.

GONÇALVES, L. S. M. **Development of a tool for simulation of sustainable urban drainage techniques using characteristic rain events**. 2022. Thesis (Master degree in Urban Engineering) – Federal University of São Carlos, São Carlos, 2022.

ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. **Multi-Criteria Decision Analysis:** Methods and Software. John Wiley &Sons, 2013.

KELLEHER, C.; MCPHILLIPS, L. Exploring the application of topographic indices in urban areas as indicators of pluvial flooding locations. **Hydrological Processes**, 34(3), 780-794, 2020.

KIM, J.-H.; KIM, H. Y.; DEMARIE, F. Facilitators and Barriers of Applying Low Impact Development Practices in Urban Development. **Water Resources Management**, 2017. 3795– 3808.

KUMAR, S. GUNTU, R. K.; AGARWAL, A.; VILLURI, V. G. K.; PASUPULETI, S.; KAUSHAL, D. R.; GOSIAN, A. K. Multi-objective optimization for stormwater management by green-roofs and infiltration trenches to reduce urban flooding in central Delhi. **Journal of Hydrology**, v. 606, p. 127455, 2022.

LEBON, Y.; FRANÇOIS, C.; NAVEL, S.; VALLIER, F.; GUILLARD, L.; PINASSEAU, L.; OXARANGO, L.; VOLATIER, L.; MERMILLOD-BLODIN, F. Aquifer recharge by stormwater infiltration basins: Hydrological and vadose zone characteristics control the impacts of basins on groundwater chemistry and microbiology. **Science of The Total Environment**, p. 161115, 2022.

LEEUWEN, C. J.; CHANDY, P. C. The city blueprint: experiences with the implementation of 24 indicators to assess the sustainability of the urban water cycle. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 13, n. 3, p. 769-781, 2013.

LERER, S. M. **Tools and Methods to inform Planning and Design of Nature Based Stormwater Control Measures**. 2019. Tese (Doutorado em Environmental Engineering) – Universidade Técnica da Dinamarca, Dinamarca, 2019. 73 p.

LIMA JUNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R. Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. **Gestão & Produção**, v. 22, p. 17-34, 2015.

LIMA NETO, I. E.; SANTOS, A.B. Planos de Saneamento Básico. **Gestão do Saneamento Básico:** abastecimento de água e esgotamento sanitário. São Paulo: Editora Manole, 2016. p. 57-79.

LÍRIO, M. A. R. **Bacias de Detenção em Redes de Drenagem Urbanas. Funcionamento hidráulico**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Hidráulica) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2022.

MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; QUEIROZ, A. A. F. S. L; MACHADO, B. S.; PAULO, P. L. Sustainable sanitation management tool for decision making in isolated areas in Brazil. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 7, p. 1118, 2019.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem Urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1. ed. Elsevier, 2015.

MINAYO, M. C. S. **Pesquisa Social:** Teoria, Método e Criatividade. 32. ed. Petrópolis: Vozes, 2019.

NYLANDER, J. D. A.; BARROS, A. J. A. B.; MESQUITA, K. F. C; BEZERRA, G. C. M; PEREIRA, J. A. R. Analysis of the causes and consequences of floods and flooding in the tamandaré watershed in the municipality of belém/PA. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 49335-49348, 2021.

OLIVEIRA, T. H. **Sistema de drenagem urbana sustentável como estratégia para resiliência aos impactos das mudanças climáticas**. 2021. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021

PAIVA, R. F. P. S.; SOUZA, M. F. P. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 34, p. e00017316, 2018.

PERES, R. B. **Uso e ocupação do solo e impactos ambientais urbanos**. Cadernos do Cescar – Educação Ambiental, São Carlos, 2011.

RAMINELLI, L. K.; DOS SANTOS, D. C. Hierarchy of hydraulic and energy conservation actions at water supply systems. **Urban Water Journal**, v. 16, n. 10, p. 727-737, 2019.

RICHTER, K.; SANTOS, D. C.; SCHMID, A. L. Efficiency Analysis of Water Conservation Measures in Sanitary Infrastructure Systems by Means of a Systemic Approach. **Sustainability**, v. 12, n. 7, p. 3055, 2020.

RIGHETTO, A. M.; MAROZZI M.; GOMES, K. M. M.; FREITAS, F. R. S. Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 1109- 1120, 2017.

RODRÍGUEZ-ROJAS, M. I.; HUERTAS-FERNÁNDEZ, F.; MORENO, B.; MARTÍNEZ, G.; GRINDLAY, A. L. A study of the application of permeable pavements as a sustainable technique for the mitigation of soil sealing in cities: A case study in the south of Spain. **Journal of environmental management**, v. 205, p. 151-162, 2018.

ROY, A.; WENGER, S. J.; FLETCHER, T. D.; WALSH, C. J.; LADSON, A. R.; SHUSTER, W. D.; THURSTON, H. W.; BROWN, R. R. 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.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process:** Advances in Research and Applications. Nova York: Springer, 1990.

SAMPIERI, C.; COLLADO, C. F.; LUCIO, C. F. **Metodología de la Investigación**, v. 4, 2013.

SAÑUDO-FONTANEDA, L. A.; ROBINA-RAMÍREZ, Rafael. Bringing community perceptions into sustainable urban drainage systems: The experience of Extremadura, Spain. **Land Use Policy**, v. 89, p. 104251, 2019.

SÃO PAULO. Manual de Drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos, diretrizes para projetos, ed. **SMdDU (SMDU), São Paulo**, p. 128, 2012.

SHARDA, R.; DELEN, D; TURBAN, E. Decision Support Systems: A Historical Overview. **In:** Decision Support Systems: Theory and Application. Springer, 2018. p. 1-23.

SHI, Y.; ZHAI, G.; ZHOU, S.; LU, Y.; CHEN, W.; DENG, J. How can cities respond to flood disaster risks under multi-scenario simulation? A case study of Xiamen, **China.International journal of environmental research and public health**,16(4), 618, 2019.

SILVA, S. A.; GAMA, J. A. S.; CALLADO, N. H.; DE SOUZA, V. C. B. Saneamento básico e saúde pública na Bacia Hidrográfica do Riacho Reginaldo em Maceió, Alagoas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 699-709, 2017.

SNIS. **Painel de Informações de Saneamento do Brasil**. Disponível em: http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento. Acesso: 10 nov. 2022.

SOLUÇÕES PARA CIDADES. **Melhores práticas – Pavimento Intertravado Permeável**. Disponível em: https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2012/08/Melhores-Praticas_Pav_Intertravado_Permeavel.pdf. Acesso em: 01 dez. 22.

SOLUÇÕES PARA CIDADES. **Reservatórios de Detenção**. Disponível em: https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF_Reservatorios%20Deten_web.pdf. Acesso em: 10 dez. 22.

SUDERHSA, CH2M HILL DO BRASIL. Manual de drenagem urbana–Região metropolitana de Curitiba/PR-versão 1.0. **Suderhsa–Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Não publicado**, 2002.

TASCA, F. A.; FINOTTI, A.; POMPÊO, C. A.; GOERL, R. F. O Papel da Drenagem Urbana na Prevenção de Desastres Hidrológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí Açu. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 1, 23 jan. 2017.

TRIPATHY, S. S.; VITTAL, H.; KARMAKAR, S.; GHOSH, S. Flood risk forecasting at weather to medium range incorporating weather model, topography, socio-economic information and land use exposure.**Advances in Water Resources**,146, 103785, 2020.

TUCCI, C. E. M. Drenagem urbana. **Ciência e cultura**, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Drenagem Urbana**. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/ IPEA, Textos para Discussão CEPAL-IPEA. 50 p. 2012.

UFES. **Pavimento permeável que reduz alagamento será utilizado na Barra do Jucu**. Disponível em: https://www.ufes.br/conteudo/pavimento-permeavel-que-reduz-alagamento-sera-utilizado-na-barra-do-jucu. Acesso em: 01 dez. 22.

WOODS-BALLARD, B.; WILSON, S.; UDALE-CLARKE, H./ ILLMAN, S.; SCOTT, T. ASHLEY, R.; KELLAGHER, R. CIRIA—The SuDS Manual. **CIRIA Research Project (RP)**, v. 992, p. 36-91, 2015.

ZELENY, M. **Multiple criteria decision-making Kyoto 1975**. ed. Springer Science & Business Media, 2012.

ZUFFO, A. C.; REIS, L. F. R.; SANTOS, R. F.; CHAUDRY, F. H. Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n.1, p. 81-102, 2002.

ANEXO A – DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR

Em sequência são apresentadas as relações de dados e ferramentas necessárias para cada um dos indicadores, do QUADRO A.1 ao QUADRO A.7.

QUADRO A.1 – PRIMEIRA PARTE DA RELAÇÃO DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA UM DOS INDICADORES

N°	Indicador	Sigla	Possíveis dados necessários	Ferramentas necessárias
1	Vulnerabilidade econômica	I_{VE}	- PIB ou; - renda per capita ou; - taxa emprego ou; - taxa desemprego; - entre outros.	- Banco de dados.
2	Custos	I_C	- Pré-projeto com delimitação da alternativa; - levantamento dos quantitativos; - composição orçamentária dos projetos; - custo unitário dos elementos utilizados.	- Banco de dados; - software para pré-projeto e levantamento quantitativo (AutoCAD, Revit etc).
3	Topográfico de inclinação	I_{TI}	- Shapefile de curvas de nível ou; - Modelo Digital de Elevação (MDE) ou; - *raster* de declividade; - entre outros.	- Banco de dados; - software de geoprocessamento (Qgis, ArcGIS etc).
4	Topográfico de elevação	I_{TE}	- Shapefile de curvas de nível ou; - Modelo Digital de Elevação (MDE) ou; - entre outros.	- Banco de dados; - software de geoprocessamento (Qgis, ArcGIS etc).

QUADRO A.2 – SEGUNDA PARTE DA RELAÇÃO DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA UM DOS INDICADORES

N°	Indicador	Sigla	Possíveis dados necessários	Ferramentas necessárias
5	Alterações no meio físico	I_F	- Área permeável antes de utilizar o sistema; - área permeável depois de utilizar o sistema.	- Imagem de satélite; - software para delimitação da área (Google Earth Pro, AutoCAD etc).
6	Alterações no meio ambiente	I_{MA}	- Área verde antes de utilizar o sistema; - área verde depois de utilizar o sistema.	- Imagem de satélite; - software para delimitação da área (Google Earth Pro, AutoCAD etc).
7	Aspectos legais	I_{AL}	- Quantificação de normas e regulamentos aplicáveis.	- Banco de dados.
8	Políticas dos gestores	I_{PG}	- Quantificação do número de metas e objetivos de políticas relacionadas.	- Banco de dados.
9	Cumprimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável	I_{ODS}	- Quantificação do número de ODS são relevantes.	- Banco de dados.
10	Escoamento superficial	I_{ES}	- Dados de medição direta do escoamento superficial ou; - dados de modelagem hidrológica ou; - dados de sensoriamento remoto.	- Banco de dados; - software de modelagem (HEC-HMS, SWMM etc).

QUADRO A.3 – TERCEIRA PARTE DA RELAÇÃO DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA UM DOS INDICADORES

N°	Indicador	Sigla	Possíveis dados necessários	Ferramentas necessárias
11	Precipitação	I_P	- Precipitação média anual durante a estação de inundação	- Banco de dados.
12	Inundação	I_{IND}	- Distância do ponto em análise até o rio mais próximo.	- Imagem de satélite; - Polilinhas da hidrografia; - software para medição da distância (Google Earth Pro, AutoCAD etc).
13	Rede fluvial	I_{RF}	- Delimitação da rede fluvial.	- Imagem de satélite; - Polilinhas da hidrografia; - software determinação (ArcGIS, Qgis etc).
14	Capacidade de controle das inundações	I_{CI}	- Delimitação dos condutos pluviais (rede desenhada).	- Imagem de satélite; - polilinhas da rede de drenagem; - software determinação (ArcGIS, Qgis etc).
15	Tempo ao pico	I_{TP}	- Hidrograma (precipitação, escoamento supercifical, características da bacia hidrográfica e duração do evento).	- Banco de dados; - planilha eletrônica ou; - software (HEC-HMS, SWMM etc).
16	Vazão de pico	I_{VP}	- Hidrograma (precipitação, escoamento superficial, características da bacia hidrográfica e duração do evento).	- Banco de dados; - planilha eletrônica ou; - software (HEC-HMS, SWMM etc).

QUADRO A.4 – QUARTA PARTE DA RELAÇÃO DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA UM DOS INDICADORES

N°	Indicador	Sigla	Possíveis dados necessários	Ferramentas necessárias
17	Risco da obra	I_{RO}	- Tempo de retorno recomendado por normas e regulamentos; - tempo de retorno adotado para o sistema utilizado.	- Banco de dados.
18	Separação das águas residuais e das águas pluviais	I_{SEP}	- Porcentagem de separação das infraestruturas de águas residuais e pluviais.	- Banco de dados.
19	Multifuncionalidade	I_{M}	- Quantificação do número de funções que o sistema irá exercer.	-
20	Vulnerabilidade do edifício	I_{VE}	- Idade do edifício ou; - qualidade da construção ou; - localização quanto a riscos naturais.	- Projeto da estrutura em análise; - banco de dados.
21	Simplicidade de treinamento	I_{ST}	- Informação de como são feitos os treinamentos para as diferentes medidas analisadas.	- Referências bibliográficas.
22	Facilidade de conexão	I_{FC}	- Quantificação do número de conexões a outros sistemas que cada alternativa possui.	- Referências bibliográficas.
23	Facilidade de manutenção	I_{FM}	- Informação de como são feitas as manutenções de cada caso.	- Referências bibliográficas.

QUADRO A.5 – QUINTA PARTE DA RELAÇÃO DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA UM DOS INDICADORES

N°	Indicador	Sigla	Possíveis dados necessários	Ferramentas necessárias
24	Tempo de Vida	I_{TV}	- Tempo que o sistema funciona sem precisar de manutenção.	- Referências bibliográficas.
25	Cargas poluentes	I_{CP}	- Quantificação do peso do volume de carga poluente lançada na água receptora (volume do efluente, concentração da carga poluente, tipo de carga poluente, fator de conversão, regulamentos locais etc).	- Equipamentos para medições; - softwares (WASP, QUAL2K etc).
26	Qualidade de água	I_{IQA}	- Quantificação do IQA, que para ser determinado precisa das seguintes concentrações: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes fecais, pH, temperatura da água, turbidez, nitrogênio total e fósforo total; - valores previstos para antes e depois da instalação do sistema em análise.	- Equipamentos para medições; - planilha eletrônica.
27	Qualidade das águas subterrâneas	I_{QAS}	- Os parâmetros a serem conferidos na análise da água subterrânea são variáveis conforme a área de estudo.	- Equipamentos para medições; - planilha eletrônica.

QUADRO A.6 – SEXTA PARTE DA RELAÇÃO DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA UM DOS INDICADORES

N°	Indicador	Sigla	Possíveis dados necessários	Ferramentas necessárias
28	Melhoramento visual	I_{MV}	- Informação sobre como cada estrutura melhora visualmente o ambiente.	- Entrevistas à população.
29	Espaços apropriados para a população	I_{AP}	- Quantificação das criações dos espaços apropriados para a população.	- Projeto da estrutura em análise.
30	Espaços apropriados para a natureza	I_{AN}	- Quantificação das medidas que são apropriadas para a natureza.	- Projeto da estrutura em análise.
31	Vulnerabilidade da população	I_{VPOP}	- Fatores socioeconômicos ou; - demográficos ou; - ambientais ou; - de saúde ou; - acesso a serviços básicos ou; - renda ou; - condições de moradia.	- Banco de dados.
32	Criação ou supressão de áreas de lazer	I_{LAZ}	- Área de lazer antes da instalação do sistema; - área de lazer após a instalação do sistema.	- Imagem de satélite; - software para delimitação da área (Google Earth Pro, AutoCAD etc).
33	Aumento ou redução do número de doentes	I_{NDNT}	- Número de doentes por doenças de veiculação hídrica na região; - redução que cada sistema pode trazer no número de doentes; - número de doentes previstos para após a instalação do sistema.	- Banco de dados; - referências bibliográficas.

QUADRO A.7 – SÉTIMA PARTE DA RELAÇÃO DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA UM DOS INDICADORES

N°	Indicador	Sigla	Possíveis dados necessários	Ferramentas necessárias
34	Aceitabilidade dos moradores	I_{AMOR}	- Dados de aceitabilidade coletados por meio de entrevista ao morador.	- Entrevistas à população.
35	Duração da recuperação de inundações	I_{DRI}	- Quantificação do tempo de subsidiência das inundações (dados de inundação, taxa de subsidiência, período de observação, ferramentas de modelagem etc).	- Banco de dados; - ferramentas de modelagem (HEC-HMS, HEC-HAS etc).

ANEXO B – MODELO DO E-MAIL ENVIADO SOLICITANDO PARTICIPAÇÃO NA PESQUISA

“Assunto: Solicitação de Participação em Questionário sobre Indicadores de Drenagem Urbana.

Prezado(a) Técnico(a) da Prefeitura Municipal de Maringá,

Espero que esta mensagem o encontre bem. Meu nome é Mariana Borges Albuquerque Penteado, sou estudante de mestrado na Universidade Federal do Paraná, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, e estou realizando uma pesquisa específica na área de drenagem urbana.

Gostaria de solicitar a sua valiosa contribuição para a minha pesquisa, participando de um breve questionário sobre indicadores de drenagem urbana. A sua experiência como técnico(a) da Prefeitura de Maringá e o seu conhecimento é fundamental para enriquecer os dados coletados e possibilitar a aplicação de uma ferramenta desenvolvida por mim para tomada de decisão em drenagem urbana no município.

É importante destacar que todas as informações fornecidas serão mantidas em sigilo e nenhuma identidade será exposta. Os dados coletados serão utilizados exclusivamente para fins acadêmicos e de pesquisa, de acordo com as normas éticas e de privacidade.

Sua participação no questionário é voluntária, e o tempo estimado para respondê-lo é de aproximadamente seis minutos. Sua contribuição é de extrema importância

para o sucesso da minha pesquisa, e ficarei imensamente grata pelo seu apoio.

Caso concorde em participar, acesse o link https://forms.gle/FbNudHs2eXLn5Unx5 para responder a pesquisa.

Para validar e utilizar suas respostas na minha pesquisa, solicito que você assine o termo de ciência anexado a este e-mail. A assinatura pode ser feita manualmente ou eletronicamente, podendo ser enviado como um PDF ou uma fotografia (por favor, certifique-se de tirar a foto do papel em um ambiente bem iluminado).

Reitero que os dados pessoais não serão divulgados.

Desde já, agradeço a sua atenção e colaboração. Se tiver alguma dúvida ou necessitar de mais informações sobre a pesquisa, estou à disposição para esclarecer.

Atenciosamente,
Mariana Borges Albuquerque Penteado”.

ANEXO C – TERMO DE CIÊNCIA

FIGURA C.1 – TERMO DE CIÊNCIA

TERMO DE CIÊNCIA

Eu, _____,
ciente dos propósitos da pesquisa intitulada "Desenvolvimento de ferramenta de auxílio para tomada de decisão em drenagem urbana convencional e sustentável", elaborada pela pesquisadora Mariana Borges Albuquerque Penteado, no âmbito do programa de mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, da Universidade Federal do Paraná, declaro ter sido devidamente informado(a) sobre os seguintes pontos:

a) A participação na pesquisa será realizada exclusivamente por meio de um formulário eletrônico, o qual possui um tempo médio de preenchimento de seis minutos.

b) As informações divulgadas serão limitadas àquelas que não permitem a identificação dos participantes, tais como sua formação acadêmica e seu vínculo como funcionários da Prefeitura Municipal de Maringá. Nenhuma identidade será exposta ou divulgada em qualquer etapa do processo.

c) Os dados coletados serão utilizados exclusivamente para fins acadêmicos e de pesquisa, observando-se as normas éticas e de privacidade vigentes, e não serão compartilhados com terceiros que não estejam envolvidos diretamente na pesquisa.

d) A participação no questionário é voluntária, não havendo qualquer tipo de obrigatoriedade e/ou remuneração. O técnico tem o direito de se recusar a participar ou interromper sua participação a qualquer momento, sem sofrer qualquer tipo de consequência negativa ou penalidade.

e) A pesquisador se compromete a responder a quaisquer dúvidas, esclarecer pontos adicionais ou fornecer informações adicionais necessárias aos participantes da pesquisa, a fim de garantir o entendimento pleno deste termo de ciência.

Ao assinar este termo, declaro que fui devidamente informado(a) sobre a natureza e os propósitos da pesquisa, bem como sobre meus direitos como participante. Afirmo que estou fornecendo as informações de forma voluntária, ciente de que as mesmas serão utilizadas para fins acadêmicos e de pesquisa, de acordo com as normas éticas e de privacidade.

Maringá, ____ de junho de 2023.

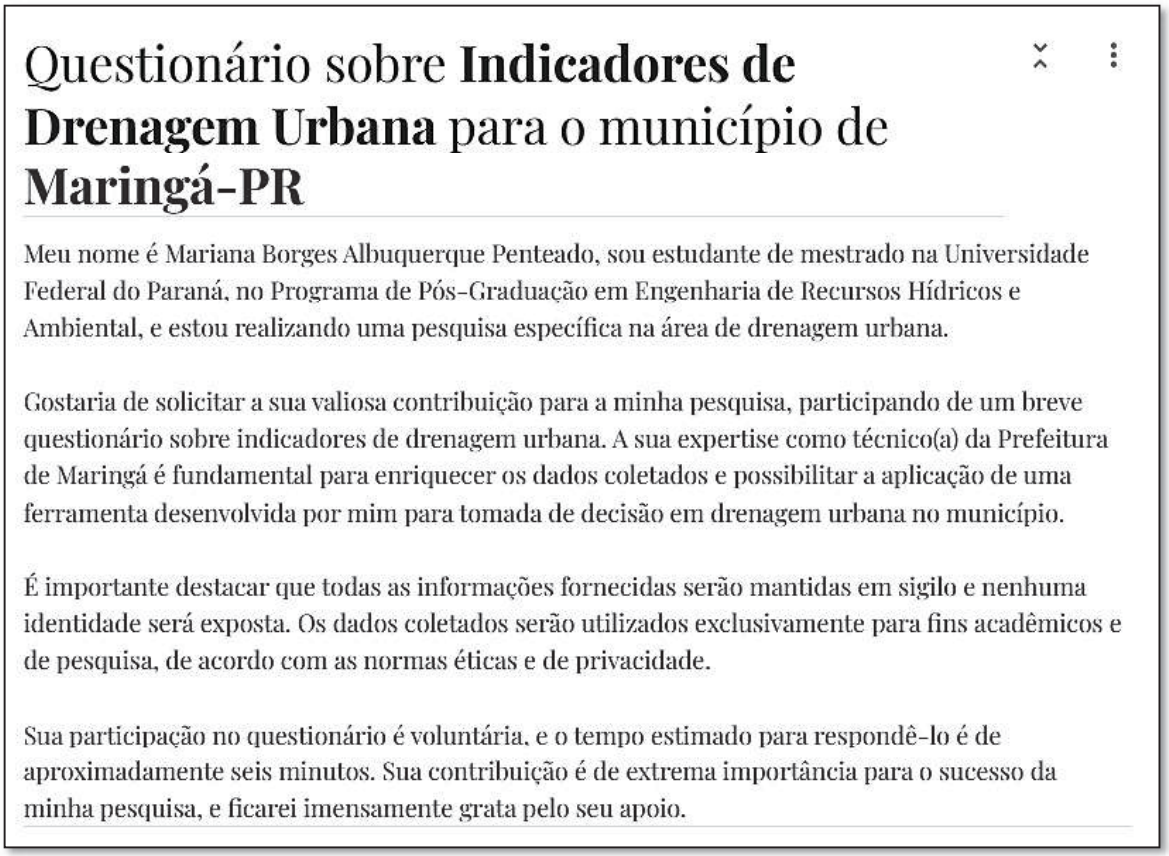
_____

PARTICIPANTE DA PESQUISA

FONTE: A autora (2023).

ANEXO D – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ENTREVISTADOS

FIGURA D.2 - SEÇÃO 1 DO QUESTIONÁRIO APLICADO



Questionário sobre **Indicadores de Drenagem Urbana** para o município de **Maringá-PR**

Meu nome é Mariana Borges Albuquerque Penteado, sou estudante de mestrado na Universidade Federal do Paraná, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, e estou realizando uma pesquisa específica na área de drenagem urbana.

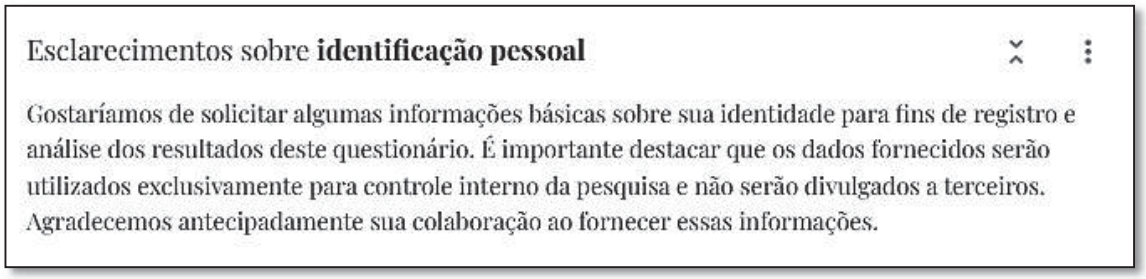
Gostaria de solicitar a sua valiosa contribuição para a minha pesquisa, participando de um breve questionário sobre indicadores de drenagem urbana. A sua expertise como técnico(a) da Prefeitura de Maringá é fundamental para enriquecer os dados coletados e possibilitar a aplicação de uma ferramenta desenvolvida por mim para tomada de decisão em drenagem urbana no município.

É importante destacar que todas as informações fornecidas serão mantidas em sigilo e nenhuma identidade será exposta. Os dados coletados serão utilizados exclusivamente para fins acadêmicos e de pesquisa, de acordo com as normas éticas e de privacidade.

Sua participação no questionário é voluntária, e o tempo estimado para respondê-lo é de aproximadamente seis minutos. Sua contribuição é de extrema importância para o sucesso da minha pesquisa, e ficarei imensamente grata pelo seu apoio.

FONTE: A autora (2023).

FIGURA D.3 - PARTE 1 DA SEÇÃO 2 DO QUESTIONÁRIO APLICADO

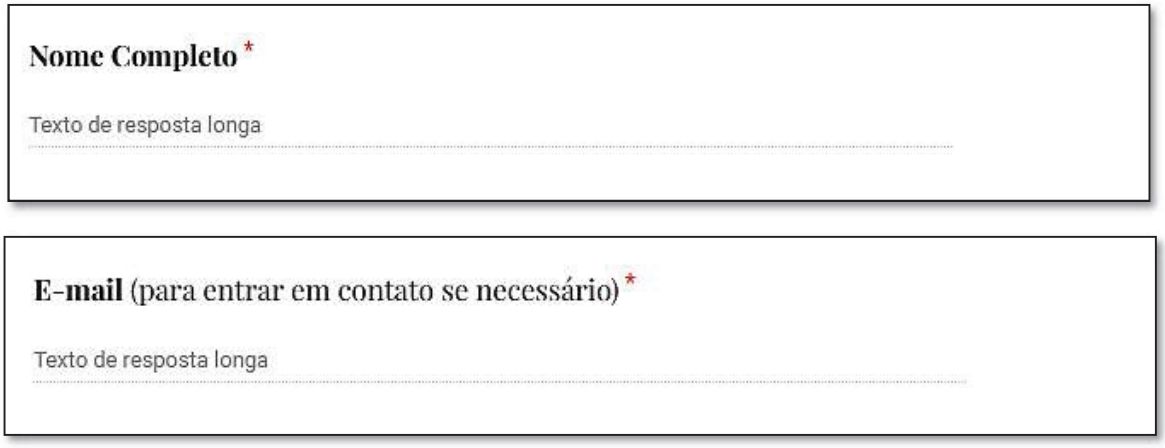


Esclarecimentos sobre **identificação pessoal**

Gostaríamos de solicitar algumas informações básicas sobre sua identidade para fins de registro e análise dos resultados deste questionário. É importante destacar que os dados fornecidos serão utilizados exclusivamente para controle interno da pesquisa e não serão divulgados a terceiros. Agradecemos antecipadamente sua colaboração ao fornecer essas informações.

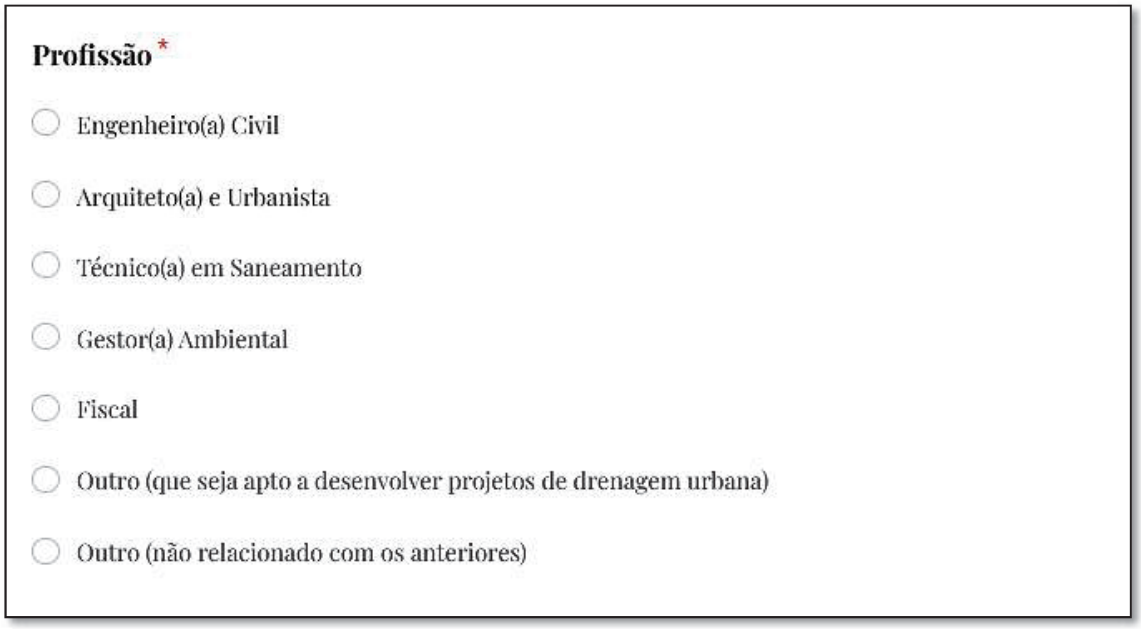
FONTE: A autora (2023).

FIGURA D.4 - PARTE 2 DA SEÇÃO 2 DO QUESTIONÁRIO APLICADO



FONTE: A autora (2023).

FIGURA D.5 - PARTE 3 DA SEÇÃO 2 DO QUESTIONÁRIO APLICADO



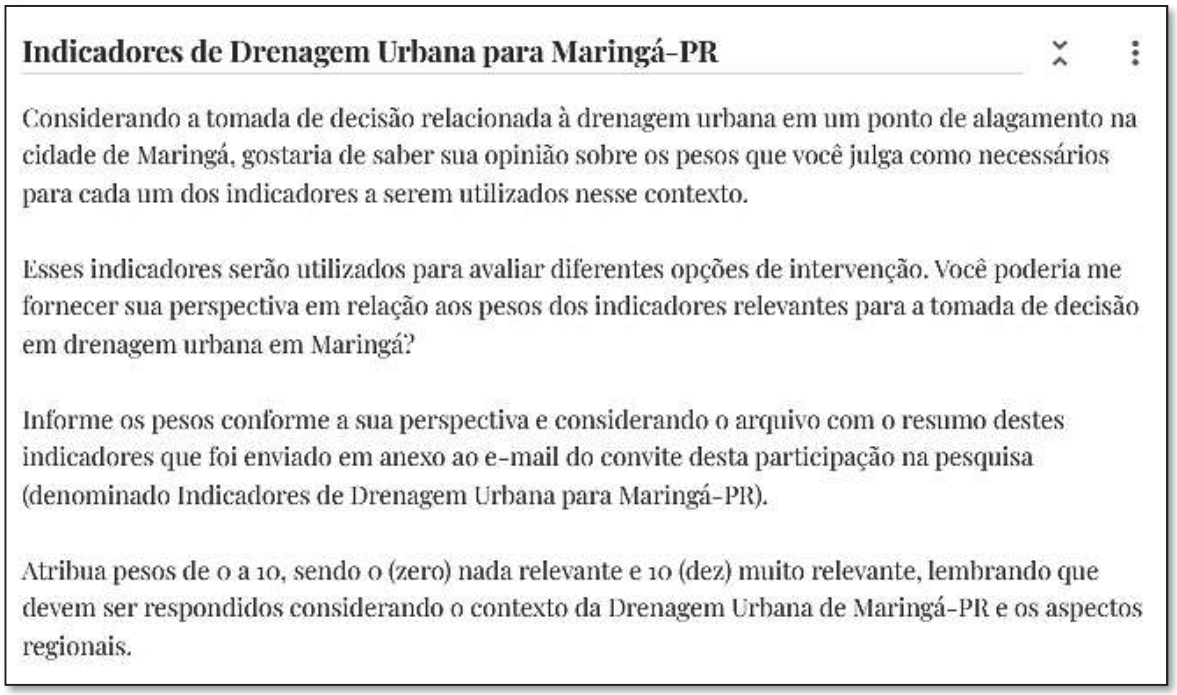
FONTE: A autora (2023).

FIGURA D.6 - PARTE 4 DA SEÇÃO 2 DO QUESTIONÁRIO APLICADO



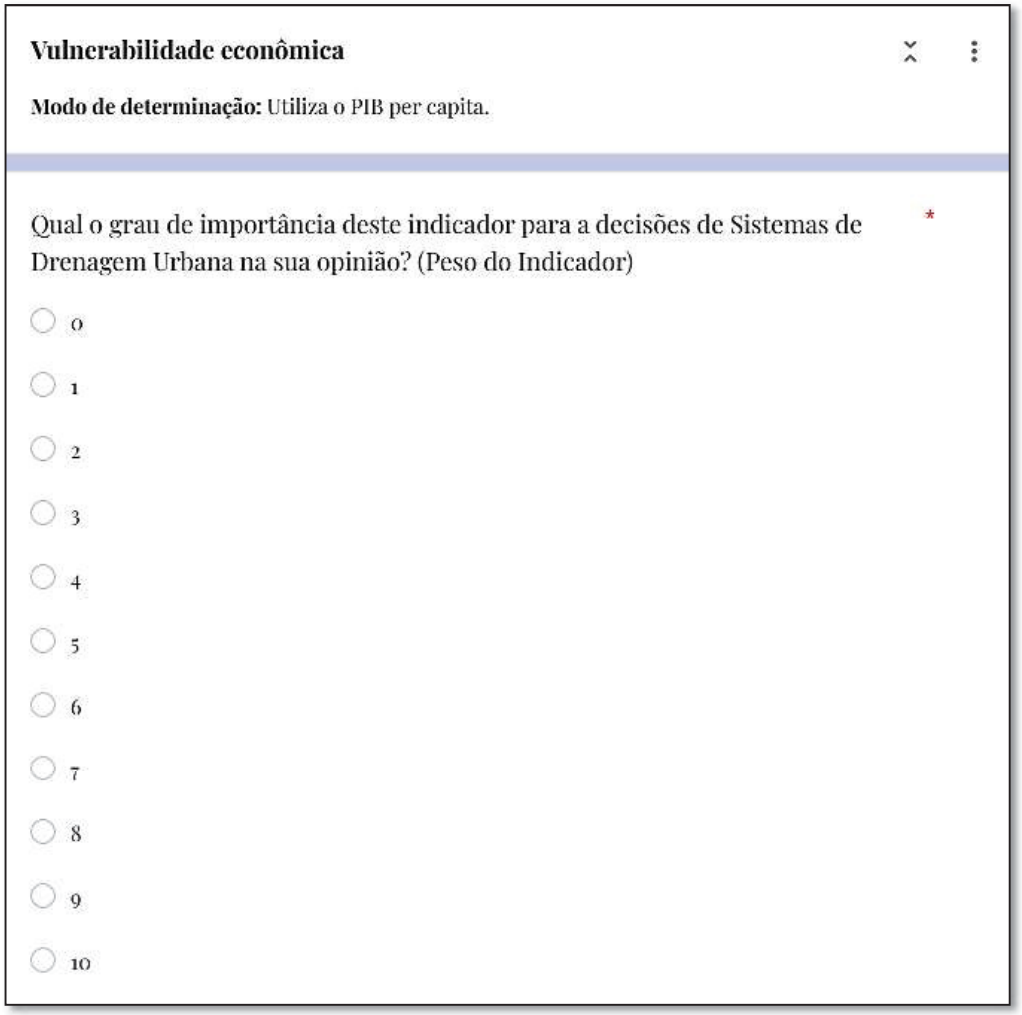
FONTE: A autora (2023).

FIGURA D.7 - SEÇÃO DO QUESTIONÁRIO APLICADO COM EXPLICAÇÃO SOBRE COMO SERÃO ATRIBUIDOS OS PESOS DOS INDICADORES



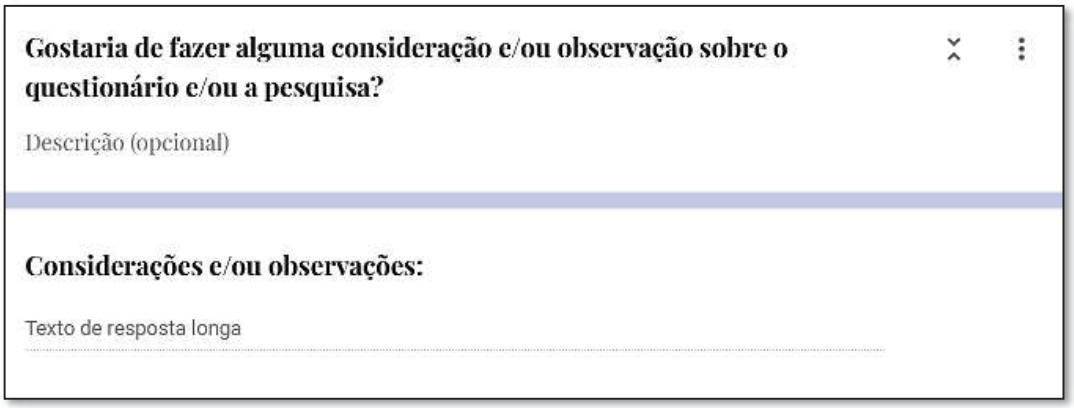
FONTE: A autora (2023).

FIGURA D.8 - SEÇÃO 4 DO PRIMEIRO INDICADOR (ESTA SEÇÃO SE REPETE ATÉ A SEÇÃO 38 COM OS OUTROS 34 INDICADORES SELECIONADOS)



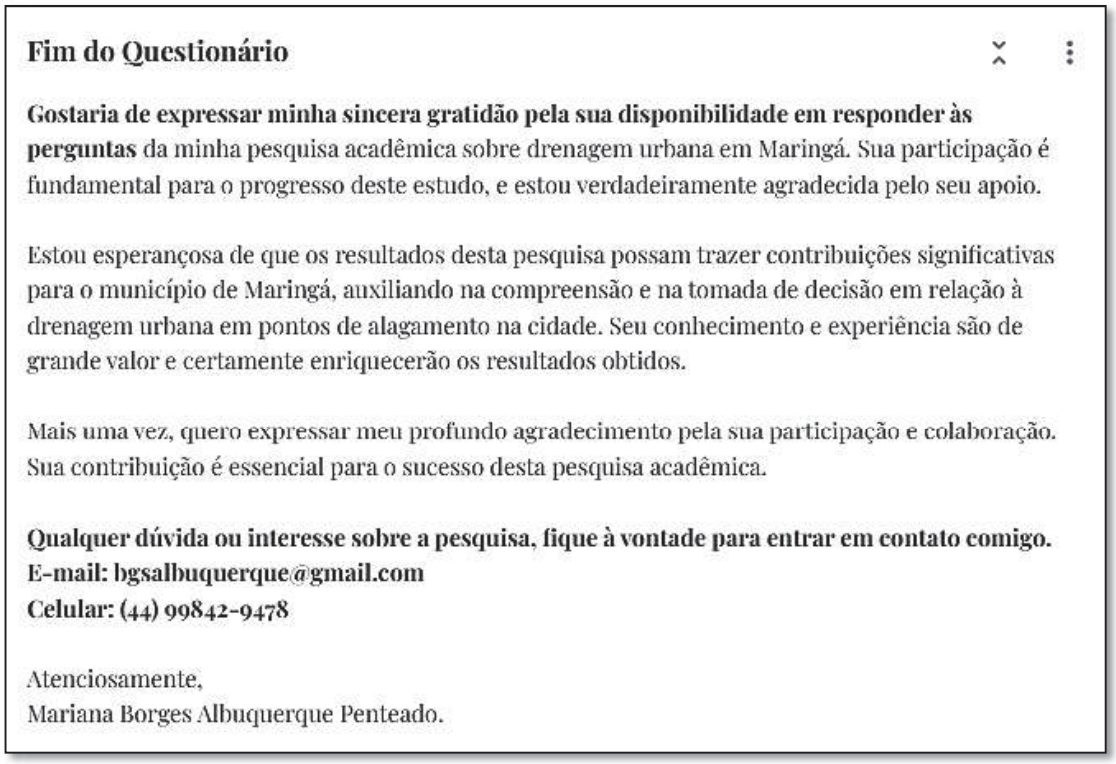
FONTE: A autora (2023).

FIGURA D.9 - SEÇÃO 39 DO QUESTIONÁRIO APLICADO



FONTE: A autora (2023).

FIGURA D.10 - SEÇÃO 40 FINALIZAÇÃO E AGRADECIMENTOS DO QUESTIONÁRIO



Fim do Questionário

Gostaria de expressar minha sincera gratidão pela sua disponibilidade em responder às perguntas da minha pesquisa acadêmica sobre drenagem urbana em Maringá. Sua participação é fundamental para o progresso deste estudo, e estou verdadeiramente agradecida pelo seu apoio.

Estou esperançosa de que os resultados desta pesquisa possam trazer contribuições significativas para o município de Maringá, auxiliando na compreensão e na tomada de decisão em relação à drenagem urbana em pontos de alagamento na cidade. Seu conhecimento e experiência são de grande valor e certamente enriquecerão os resultados obtidos.

Mais uma vez, quero expressar meu profundo agradecimento pela sua participação e colaboração. Sua contribuição é essencial para o sucesso desta pesquisa acadêmica.

Qualquer dúvida ou interesse sobre a pesquisa, fique à vontade para entrar em contato comigo.
E-mail: bgsalbuquerque@gmail.com
Celular: (44) 99842-9478

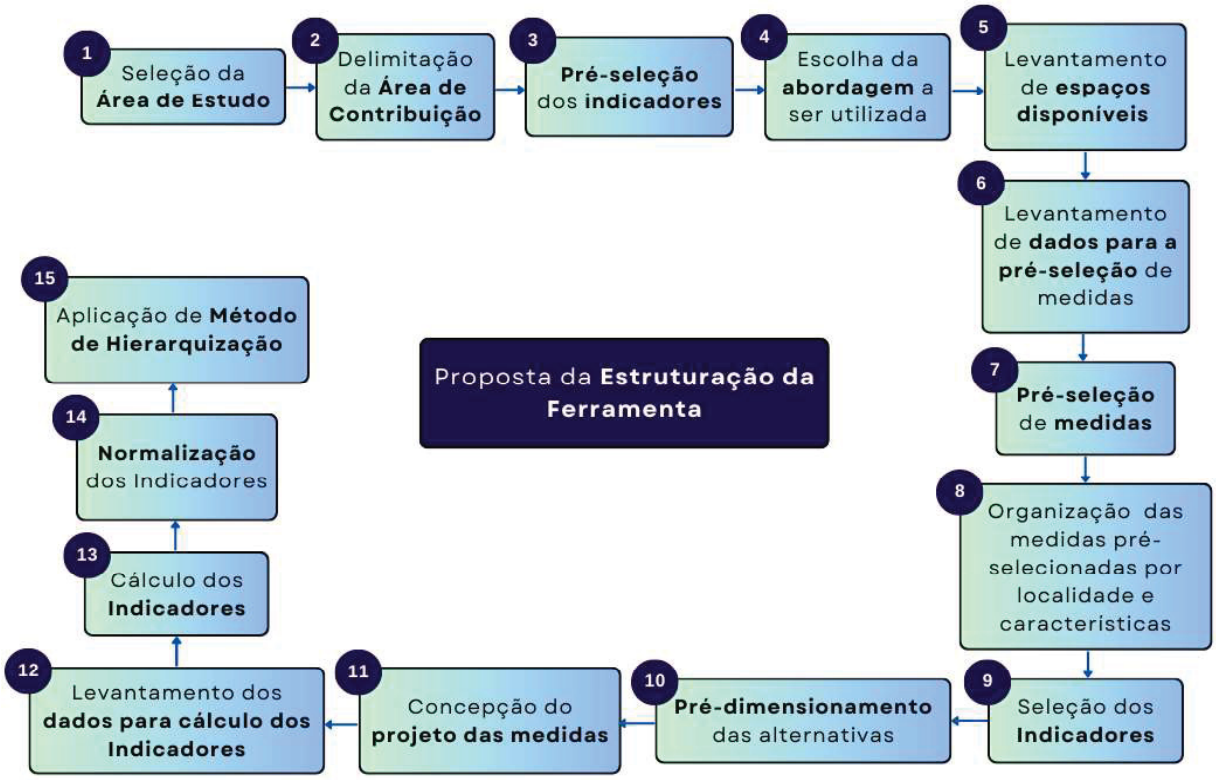
Atenciosamente,
Mariana Borges Albuquerque Penteado.

FONTE: A autora (2023).

ANEXO E – CARTILHA DA FERRAMENTA DE AUXÍLIO PARA TOMADA DE DECISÃO EM DRENAGEM URBANA CONVENCIONAL E SUSTENTÁVEL

Em sequência, são apresentadas as etapas referentes à ferramenta de auxílio para tomada de decisão em drenagem urbana convencional e sustentável. Estas etapas seguem o fluxograma da FIGURA E.1.

FIGURA E.1 - FLUXOGRAMA COM PROPOSTA DE ESTRUTURAÇÃO DA FERRAMENTA



FONTE: A autora (2023).

E.1 SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Inicialmente, realiza-se a seleção da área de estudo, entre as quais podem-se apresentar múltiplas opções, como exemplificadas a seguir:

A) Caso A: área de novos loteamentos ou condomínio de lotes, que não estão consolidados, ou seja, o projeto será feito desde o início. Como estas áreas são únicas, não existe a necessidade de realizar a classificação de importância como no

Caso C que será apresentado abaixo. Sendo assim, as áreas de estudo para o Caso A são as seguintes:

> **A.1) Loteamentos:** área de contribuição total que sofrerá interferência com a instalação do loteamento. Salienta-se que neste caso, dependendo da disposição da rede de drenagem, lotes e altimetria da região, a área de contribuição poderá abranger áreas de outros loteamentos no entorno da área do empreendimento em análise.
>
> **A.2) Condomínio de lotes:** área do lote do imóvel. Para condomínios em lotes, independentemente se este irá utilizar a rede de drenagem existente da prefeitura ou se fará seu próprio emissário e dissipador, a área de estudo será a própria delimitação do lote, visto que este tipo de empreendimento é isolado, tendo vedação externa.

B) Caso B: pequenas áreas, como condomínios residenciais verticais ou horizontais, e demais empreendimentos, que precisam apresentar uma medida alternativa de drenagem. Atualmente, muitas prefeituras solicitam medidas alternativas sustentáveis de drenagem urbana na implantação de novos empreendimentos em áreas que a rede de drenagem se encontra perto de sua capacidade máxima, ou não possui mais capacidade de recebimento das demandas de volume pluvial. Assim como no Caso A, como estas áreas são únicas não existe a necessidade de realizar a classificação de importância como no Caso C que será apresentado abaixo. Deste modo, a área de estudo do Caso B se trata da área do empreendimento em análise. As áreas de estudo para o Caso B estão apresentadas abaixo:

> **B.1) Condomínios verticais ou horizontais:** área do lote do imóvel. Como em empreendimentos individuais a área é isolada com vedação externa (muros), a área de estudo para estes casos é a própria área do lote do imóvel.
>
> **B.2) Demais empreendimentos:** área do lote do imóvel, pelo mesmo motivo apresentado acima.

C) Caso C: área de contribuição de pontos com episódios de alagamentos a serem mitigados, em áreas com urbanização consolidada, que já possui rede de drenagem implantada. Para o levantamento destas áreas, podem ser utilizados os seguintes:

C.1) Mapas históricos de alagamento: podem ser obtidos em órgãos responsáveis por desastres, como no site da Defesa Civil. Para a análise e estudo destes pontos podem ser utilizados softwares como o Google Earth, ArcGIS e QGIS, entre outros;

C.2) Análise do sistema de drenagem: realizada com a avaliação da capacidade e eficiência dos sistemas pré-existentes, podendo incluir nesta etapa a conferência do diâmetro das tubulações, se estão ou não subdimensionados, e/ou a verificação de presença de obstruções na rede de drenagem. Uma das formas de analisar a capacidade da rede de drenagem em análise é comparando a vazão suportada pelas tubulações existentes (Equação E.1) e a vazão de pico da área (Equação E.2), por meio da diferença destes valores, expressa na Equação E.3. Locais em que esta diferença é maior, são mais suscetíveis a alagamentos urbanos.

$$Q_{tubulação} = \frac{A_1 \,.\, R^{2/3} .\, S^{1/2}}{n} \qquad \text{(E.1)}$$

$$Q_{máx} = 0{,}278 . C . i_{máx} . A_2 \qquad \text{(E.2)}$$

$$Q_{extra} = Q_{máx} - Q \qquad \text{(E.3)}$$

Sendo que:

– A_2: área da bacia contribuinte (km²).
– A_1: área de drenagem (m²);
– C: coeficiente de escoamento médio superficial ponderado (adimensional);
– $i_{máx}$: máxima intensidade da precipitação ($mm.h^{-1}$);
– n: coeficiente de rugosidade (adimensional);

– $Q_{máx}$: vazão máxima do volume pluvial na área de contribuição ($m^3.s^{-1}$);
– $Q_{tubulação}$: vazão da tubulação ($m^3.s^{-1}$);
– R: raio hidráulico (m);
– S: declividade do fundo ($m.m^{-1}$);

C.3) Modelagem hidrológica: podendo ser utilizada para verificar em quais áreas do município a água se acumula. Alguns dos softwares que podem ser utilizados para esta determinação são o HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*), o SWMM (*Storm Water Management Model*), o EPANET e o HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*). Para realizar a modelagem, normalmente são necessários dados como altimetria, uso do solo, padrões de precipitação e a capacidade do escoamento do sistema de drenagem urbana.

C.4) Sensoriamento remoto: o sensoriamento remoto pode ser utilizado com as análises apresentadas em sequência, além de outras não citadas que podem ser conferidas em referências consolidadas.

C.4) Imagens de satélite: visualizando planícies de inundação, áreas de acúmulo de água, regiões alagadas após chuvas intensas, entre outros. A dificuldade deste tipo de análise é que softwares normalmente utilizados não têm imagens atualizadas periodicamente conforme seria necessário para este caso;

C.5) Índice de vegetação: pelo sensoriamento remoto também podem ser utilizados os índices de vegetação, como o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Este índice informa quais áreas possuem vegetação mais densa, que normalmente possuem solo com maior permeabilidade e têm menos propensão a alagamentos;

C.6) Análise de elevação: outra forma de realizar esta análise por sensoriamento remoto seria estudando os dados de altimetria da área com

dados hidrológicos, como nível d'água em cursos hídricos. Este tipo de análise é mais aplicada em casos de inundação, que se referem a transbordamentos de cursos hídricos;

C.7) Coleta de dados em campo: para este tipo de análise, recomenda-se a visitação da área de estudo que já foi afetada por alagamento para que seja feita a coleta de informações, como características físicas da área, altura dos cursos d'água, uso do solo, infraestruturas, características do escoamento, vegetações, entre outras.

Após selecionados os pontos de alagamento, o técnico deverá classifica-los em ordem de importância para aplicação de medidas de mitigação. O ponto mais crítico será a área de estudo para utilização da presente ferramenta. Para definição de qual dos pontos de alagamento apresentados acima será utilizado, podem ser considerados diversos critérios, sendo três exemplos apresentados abaixo:

– Volume extra de água pluvial: caso tenha se optado pela análise do sistema de drenagem, pode-se classificar os pontos de alagamento conforme o volume extra que a rede de drenagem atual não está sendo capaz de absorver.

– Gravidade do alagamento: deverá ser analisada a gravidade do alagamento, considerando aspectos como frequência e duração dos episódios, e a extensão total da área afetada.

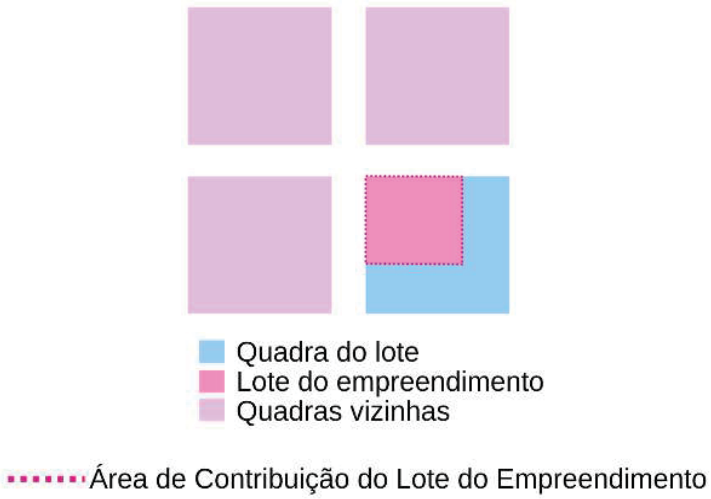
– Impacto social e econômico: neste critério deve ser levado em consideração qual o impacto social e econômico dos alagamentos em cada ponto em análise. Neste caso, recomenda-se classificar com maior prioridade as áreas que possuem maior densidade populacional e têm infraestruturas mais críticas como hospitais, áreas comerciais e escolas, e demais atividades sociais/econômicas importantes.

E.2 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO

Em sequência, após a seleção da área no tópico anterior, recomenda-se delimitar a área de contribuição de estudo. Esta área corresponde à superfície que recebe a água pluvial e direciona-a ao ponto de alagamento após a ocorrência de chuvas. Para determinar essa área, é importante considerar as redes de drenagem, as curvas de nível, a hidrografia e a disposição dos lotes, conforme está sendo apresentado na FIGURA E.2 e FIGURA E.3, e nas descrições apresentadas. A delimitação da área de contribuição é realizada das seguintes formas:

A) 1° caso: o primeiro caso se aplica aos condomínios de lotes, condomínios residenciais horizontais ou verticais, e demais empreendimentos, quando implantados em um único lote, que possui vedação externa (muros). Como pode ser visto na FIGURA E.2, a delimitação da área de contribuição se restringe ao lote do empreendimento nestes casos, sendo o lote do empreendimento o elemento na cor rosa, a quadra em que o lote está inserido na cor azul e as demais quadras adjacentes na cor lilás.

FIGURA E.2 - EXEMPLO DE DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO DO LOTE DO EMPREENDIMENTO

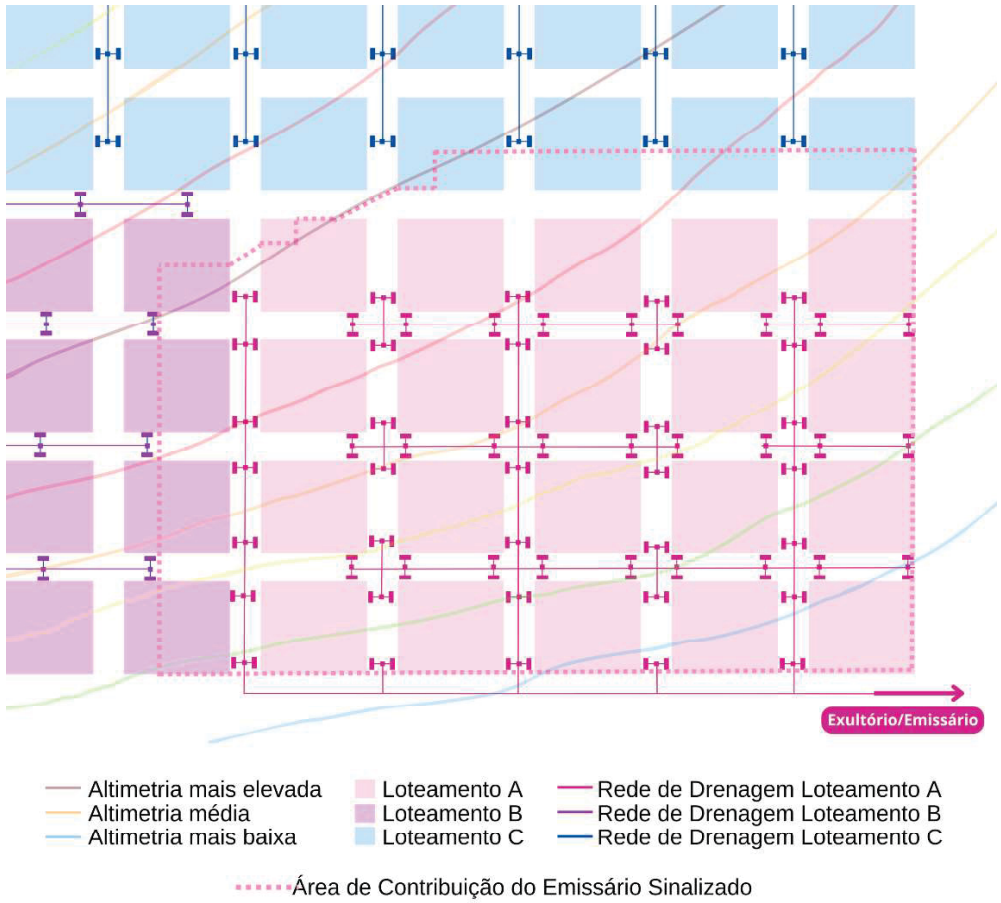


FONTE: A autora (2023).

B) 2° caso: o segundo caso de delimitação de área de contribuição é utilizado para loteamentos a serem implantados (Caso A) e loteamentos já consolidados (Caso C). Na FIGURA E.3 pode ser vista a delimitação da área de contribuição considerando

que o exutório seria localizado a sudeste (conforme indicado) da região representada. Nesta representação, existem outros dois loteamentos (B e C) adjacentes ao loteamento em análise (Loteamento A). Para realizar a delimitação neste caso, devem ser considerados os seguintes elementos: curvas de nível (caimento das vias), rede de drenagem existente, disposição das quadras e hidrografia. Como pode ser visto na FIGURA E.3, a área de contribuição do loteamento (linha tracejada em rosa) em análise pode ultrapassar a área disponível para este, isto ocorre devido à disposição dos elementos de drenagem e caimento dos arruamentos. Basicamente, a área de contribuição será até o ponto mais alto da área que contribui topograficamente para a região em estudo, desde que não ultrapasse o último elemento da rede de drenagem de elementos vizinhos, como pode ser visto na FIGURA E.3.

FIGURA E.3 - EXEMPLO DE DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO PARA UM LOTEAMENTO



FONTE: A autora (2023).

E.3 PRÉ-SELEÇÃO DOS INDICADORES

A pré-seleção dos indicadores pode ser realizada de várias maneiras, como por meio de revisão bibliográfica, diretrizes pré-existentes, envolvimento das partes interessadas (entrevistas, aplicação de formulários, entre outros), análise multicritério (Método AHP, Método TOPSIS, Método PROMETHEE, Programação por Compromisso, entre outros métodos), entre outros. Cada um destes métodos deve ser pesquisado pelo interessado para identificar qual se adequa melhor ao caso em estudo e considerando o contexto da região em análise.

Quanto ao número de indicadores indicados, esta ferramenta não possui como objetivo a fixação de um número em específico, visto que este número pode sofrer variações dependendo do contexto específico, da área em análise e dos objetivos da tomada de decisão. Porém, para haver um equilíbrio na quantidade de indicadores de modo a evitar sobrecarga de informação e de modo a garantir que os critérios continuem relevantes, esta ferramenta recomenda que o valor máximo de indicadores não ultrapasse de oito. O valor total de indicadores a serem utilizados fica a critério dos técnicos envolvidos na tomada de decisão.

Embora esta pré-seleção possa ocorrer de diversas maneiras, como apresentado acima, apresenta-se a baixo a sequência a ser utilizada caso seja optado por consulta ao corpo técnico:

A) 1ª etapa: levantamento dos indicadores. Pode-se aproveitar a listagem de indicadores que será apresentada abaixa (35 indicadores), podendo acrescentar novos indicadores que julgarem como pertinentes à área, ou pode ser feito um novo levantamento bibliográfico para elaboração de uma nova lista de indicadores a serem pré-selecionados.

B) 2ª etapa: a pré-seleção de fato. Para a pré-seleção dos indicadores, recomenda-se que sejam convocados os técnicos que atuam na área e/ou conhecem o contexto da área de estudo para a colaboração e que seja apresentada a estes a listagem dos indicadores com a forma de determinar cada um. Sendo realizada por entrevista ou aplicação do questionário, neste caso, recomenda-se que os técnicos envolvidos atribuam pesos de 0 a 10 para cada indicador, sendo 0 sem importância e 10 muito importante.

C) 3ª etapa: determinação do número de indicadores que serão utilizados pelo corpo técnico, considerando o contexto do objeto de estudo.

D) 4ª etapa: definição dos indicadores que serão utilizados. Caso tenham optado por 8 indicadores na 3ª etapa, recomenda-se que sejam selecionados os 15 indicadores com maiores atribuições de peso, pois nesta ferramenta, nos próximos passos, haverá a etapa de seleção de fato, que excluirá alguns destes indicadores, mesmo que estejam com a melhor pontuação atribuída. Após esta seleção, excluindo indicadores que não são necessários, separa-se os 8 indicadores com maiores atribuições de peso.

Para realizar esta pré-seleção, é recomendado consultar os indicadores apresentados no QUADRO E.1 ao QUADRO E.10. Nesta listagem é apresentada a denominação de cada indicador e os dados e ferramentas necessárias para a definição de cada indicador.

QUADRO E.1 – PARTE 1 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR

Vulnerabilidade econômica	• **Dados necessários:** - PIB ou; - renda per capita ou; - taxa emprego ou; - taxa desemprego; - entre outros. • **Ferramentas necessárias:** - Banco de dados.

FONTE: A autora (2023).

QUADRO E.2 – PARTE 2 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR

Custos	• **Dados necessários:** - Pré-projeto com delimitação da alternativa; - levantamento dos quantitativos; - composição orçamentária dos projetos; - custo unitário dos elementos utilizados. • **Ferramentas necessárias:** - Banco de dados; - software para pré-projeto e levantamento quantitativo (AutoCAD, Revit etc).
Topográfico de inclinação	• **Dados necessários:** - Shapefile de curvas de nível ou; - Modelo Digital de Elevação (MDE) ou; - raster de declividade; - entre outros. • **Ferramentas necessárias:** - Banco de dados; - software de geoprocessamento (Qgis, ArcGIS etc).
Topográfico de elevação	• **Dados necessários:** - Shapefile de curvas de nível ou; - Modelo Digital de Elevação (MDE) ou; - entre outros. • **Ferramentas necessárias:** - Banco de dados; - software de geoprocessamento (Qgis, ArcGIS etc).

FONTE: A autora (2023).

QUADRO E.3 – PARTE 3 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR

Alterações no meio físico	• **Dados necessários:** - Área permeável antes de utilizar o sistema; - área permeável depois de utilizar o sistema. • **Ferramentas necessárias:** - Imagem de satélite; - software para delimitação da área (Google Earth Pro, AutoCAD etc).
Alterações no meio ambiente	• **Dados necessários:** - Área verde antes de utilizar o sistema; - área verde depois de utilizar o sistema. • **Ferramentas necessárias:** - Imagem de satélite; - software para delimitação da área (Google Earth Pro, AutoCAD etc).
Aspectos legais	• **Dados necessários:** - Quantificação de normas e regulamentos aplicáveis. • **Ferramentas necessárias:** - Banco de dados.
Políticas dos gestores	• **Dados necessários:** - Quantificação do número de metas e objetivos de políticas relacionadas. • **Ferramentas necessárias:** - Banco de dados.

FONTE: A autora (2023).

QUADRO E.4 – PARTE 4 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR

Cumprimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável	• **Dados necessários:** - Quantificação do número de ODS são relevantes. • **Ferramentas necessárias:** - Banco de dados.
Escoamento superficial	• **Dados necessários:** - Dados de medição direta do escoamento superficial ou; - dados de modelagem hidrológica ou; - dados de sensoriamento remoto. • **Ferramentas necessárias:** - Banco de dados; - software de modelagem (HEC-HMS, SWMM etc).
Precipitação	• **Dados necessários:** - Precipitação média anual durante a estação de inundação. • **Ferramentas necessárias:** - Banco de dados.
Inundação	• **Dados necessários:** - Distância do ponto em análise até o rio mais próximo. • **Ferramentas necessárias:** - Imagem de satélite; - Polilinhas da hidrografia; - software para medição da distância (Google Earth Pro, AutoCAD etc).

FONTE: A autora (2023).

QUADRO E.5 – PARTE 5 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR

Rede fluvial	• **Dados necessários:** - Delimitação da rede fluvial. • **Ferramentas necessárias:** - Imagem de satélite; - Polilinhas da hidrografia; - software determinação (ArcGIS, Qgis etc).
Capacidade de controle das inundações	• **Dados necessários:** - Delimitação dos condutos pluviais (rede desenhada). • **Ferramentas necessárias:** - Imagem de satélite; - polilinhas da rede de drenagem; - software determinação (ArcGIS, Qgis etc).
Tempo ao pico	• **Dados necessários:** - Hidrograma (precipitação, escoamento supercifical, características da bacia hidrográfica e duração do evento). • **Ferramentas necessárias:** - Banco de dados; - planilha eletrônica ou; - software (HEC-HMS, SWMM etc).
Vazão de pico	• **Dados necessários:** - Hidrograma (precipitação, escoamento superficial, características da bacia hidrográfica e duração do evento). • **Ferramentas necessárias:** - Banco de dados; - planilha eletrônica ou; - software (HEC-HMS, SWMM etc).

FONTE: A autora (2023).

QUADRO E.6 – PARTE 6 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR

Risco da obra	• **Dados necessários:** - Tempo de retorno recomendado por normas e regulamentos; - tempo de retorno adotado para o sistema utilizado. • **Ferramentas necessárias:** - Banco de dados.
Separação das águas residuais e das águas pluviais	• **Dados necessários:** - Porcentagem de separação das infraestruturas de águas residuais e pluviais. • **Ferramentas necessárias:** - Banco de dados.
Multifuncionalidade	• **Dados necessários:** - Quantificação do número de funções que o sistema irá exercer. • **Ferramentas necessárias:** - Nenhuma.
Vulnerabilidade do edifício	• **Dados necessários:** - Idade do edifício ou; - qualidade da construção ou; - localização quanto a riscos naturais. • **Ferramentas necessárias:** - Projeto da estrutura em análise; - banco de dados.

FONTE: A autora (2023).

QUADRO E.7 – PARTE 7 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR

Simplicidade de treinamento	• **Dados necessários:** - Informação de como são feitos os treinamentos para as diferentes medidas analisadas. • **Ferramentas necessárias:** - Referências bibliográficas.
Facilidade de conexão	• **Dados necessários:** - Quantificação do número de conexões a outros sistemas que cada alternativa possui. • **Ferramentas necessárias:** - Referências bibliográficas.
Facilidade de manutenção	• **Dados necessários:** - Informação de como são feitas as manutenções de cada caso. • **Ferramentas necessárias:** - Referências bibliográficas.
Tempo de Vida	• **Dados necessários:** - Tempo que o sistema funciona sem precisar de manutenção. • **Ferramentas necessárias:** - Referências bibliográficas.

FONTE: A autora (2023).

QUADRO E.8 – PARTE 8 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR

Cargas poluentes	• **Dados necessários:** - Quantificação do peso do volume de carga poluente lançada na água receptora (volume do efluente, concentração da carga poluente, tipos de carga poluente, fator de conversão, regulamentos locais etc). • **Ferramentas necessárias:** - Equipamentos para medições; - softwares (WASP, QUAL2K etc).
Qualidade de água	• **Dados necessários:** - Quantificação do IQA, que para ser determinado precisa das seguintes concentrações: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes fecais, pH, temperatura da água, turbidez, nitrogênio total e fósforo total; - valores previstos para antes e depois da instalação do sistema em análise. • **Ferramentas necessárias:** - Equipamentos para medições; - planilha eletrônica.
Qualidade das águas subterrâneas	• **Dados necessários:** - Os parâmetros a serem conferidos na análise da água subterrânea são variáveis conforme a área de estudo. • **Ferramentas necessárias:** - Equipamentos para medições; - planilha eletrônica.
Melhoramento visual	• **Dados necessários:** - Informação sobre como cada estrutura melhora visualmente o ambiente. • **Ferramentas necessárias:** - Entrevistas à população.

FONTE: A autora (2023).

QUADRO E.9 – PARTE 9 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR

Espaços apropriados para a população	• **Dados necessários:** - Quantificação das criações dos espaços apropriados para a população. • **Ferramentas necessárias:** - Projeto da estrutura em análise.
Espaços apropriados para a natureza	• **Dados necessários:** - Quantificação das medidas que são apropriadas para a natureza. • **Ferramentas necessárias:** - Projeto da estrutura em análise.
Vulnerabilidade da população	• **Dados necessários:** - Fatores socioeconômicos ou; - demográficos ou; - ambientais ou; - de saúde ou; - acesso a serviços básicos ou; - renda ou; - condições de moradia. • **Ferramentas necessárias:** - Banco de dados.
Criação ou supressão de áreas de lazer	• **Dados necessários:** - Área de lazer antes da instalação do sistema; - área de lazer após a instalação do sistema. • **Ferramentas necessárias:** - Imagem de satélite; - software para delimitação da área (Google Earth Pro, AutoCAD etc).

FONTE: A autora (2023).

QUADRO E.10 – PARTE 10 DA LISTAGEM DE DADOS E FERRAMENTAS NECESSÁRIAS PARA CADA INDICADOR

Aumento ou redução do número de doentes	• **Dados necessários:** - Número de doentes por doenças de veiculação hídrica na região; - redução que cada sistema pode trazer no número de doentes; - número de doentes previstos para após a instalação do sistema. • **Ferramentas necessárias:** - Banco de dados; - referências bibliográficas.
Aceitabilidade dos moradores	• **Dados necessários:** - Dados de aceitabilidade coletados por meio de entrevista ao morador. • **Ferramentas necessárias:** - Entrevistas à população.
Duração da recuperação de inundações	• **Dados necessários:** - Quantificação do tempo de subsidiência das inundações (dados de inundação, taxa de subsidiência, período de observação, ferramentas de modelagem etc). • **Ferramentas necessárias:** - Banco de dados; - ferramentas de modelagem (HEC-HMS, HEC-HAS etc).

FONTE: A autora (2023).

E.4 ESCOLHA DA ABORDAGEM QUE SERÁ UTILIZADA

Nesta etapa, deve-se escolher a abordagem de drenagem urbana que será utilizada, podendo ser as seguintes opções:

- Apenas Sistema Convencional.
- Apenas Sistema Sustentável.

• Combinação de Sistema Convencional e Sustentável.

Para a abordagem com combinação de Sistema Convencional e Sustentável, pode-se utilizar ambos no mesmo cenário de tomada de decisão, ou cenários distintos com apenas sistema convencional ou apenas sistema sustentável.

Em locais com urbanização já consolidada, em muitas vezes, não há viabilidade de utilizar técnicas convencionais para casos de alagamentos, por exemplo. Isto porque teria que ser realizada toda a troca do sistema de drenagem, o que é bastante oneroso. Nestes casos, de urbanização previamente consolidada em locais que não há viabilidade de se utilizar o sistema convencional, recomenda-se a aplicação desta ferramenta apenas para sistemas sustentáveis.

Em casos de loteamentos novos, a serem implantados, por exemplo, é importante utilizar drenagem urbana convencional associada com as medidas sustentáveis. Não é viável utilizar apenas medidas sustentáveis neste caso pois apenas a drenagem convencional irá oferecer uma infraestrutura confiável para lidar com grandes contribuições de volume pluvial, em episódios críticos. Porém, utilizando de modo aliado a drenagem sustentável, ocorre a maior redução do escoamento superficial, minimizando os impactos ambientais, além da redução do custo final com o sistema convencional.

Além disso, seguem as seguintes considerações:

• A ferramenta pode ser utilizada para os três cenários de abordagem apresentados acima.

• É importante realizar essa definição, pois se optar por utilizar apenas o sistema convencional e não tiver a intenção de estudar sistemas sustentáveis como alternativa, esse procedimento de tomada de decisão e análise multicritério não será necessário neste caso.

• Nos diferentes cenários que serão estudados, poderá ser feita uma comparação, por exemplo, entre a utilização apenas do sistema convencional e apenas do sistema sustentável, assim como dos dois aliados em um mesmo cenário.

E.5 LEVANTAMENTO DE ESPAÇOS A SEREM UTILIZADOS NA ÁREA DE ESTUDO

Nesta etapa, devem-se selecionar locais na Área de Estudo com grande potencial de receber alternativas de sistemas de drenagem sustentável, como, por exemplo, os seguintes:

- Estacionamentos.
- Canteiros centrais de vias.
- Praças.
- Rotatórias.
- Parques e áreas esportivas.
- Áreas de lazer.
- Lotes da prefeitura sem uso ou que permite o uso compartilhado (esta informação pode estar disponível nos portais de geoprocessamento dos municípios).
- Além de outras áreas que o corpo técnico classificar como importantes.

Nesta etapa recomenda-se realizar o levantamento de todas as áreas supracitadas na área de contribuição, sem realizar exclusão destas, visto que em etapas posteriores as próprias medidas e a etapa de pré-dimensionamento excluem as áreas que não são viáveis. Após realizar estas etapas, o corpo técnico poderá excluir as áreas conforme o critério que tiverem selecionado.

Para intervenções de interesse municipal em áreas de urbanização já consolidada (Caso C), e não apenas em lotes individuais, recomenda-se dar preferência à adoção de medidas em lotes pertencentes à prefeitura e espaços públicos. Isso evita a necessidade de interferir em propriedades de terceiros, o que pode dificultar a implantação dos sistemas.

E.6 LEVANTAMENTO DE DADOS PARA A PRÉ-SELEÇÃO DE MEDIDAS DE INTERVENÇÃO

O levantamento de dados para realizar a pré-seleção de Sistemas de Drenagem Urbana é realizado considerando as áreas com grande potencial

selecionadas anteriormente. Para cada uma dessas áreas, será necessário levantar os seguintes dados:

A) Área contribuinte: se trata da área que contribui para a alternativa que está em análise. Atente-se que esta muitas vezes não é a mesma da Área de Contribuição do tópico 2, visto que a alternativa em análise pode estar localizada mais a montante do ponto de alagamento, tendo uma área reduzida. A delimitação é realizada da mesma maneira que a delimitação do tópico 2, porém o exutório a ser considerado seria o ponto onde serão aplicadas as medidas alternativas. Outra questão a se atentar é que cada alternativa terá a sua área contribuinte, a menos que existem alternativas estudadas a serem aplicadas no mesmo ponto.

B) Profundidade do lençol freático: esta pode ser definida por estudos hidrogeológicos, realizando sondagens, ou por estudos anteriores na área de estudo. Quanto às sondagens, podem ser utilizadas SPT, manual com trado, entre outras. Caso a sondagem seja feita apenas para esta determinação, recomenda-se utilizar a sondagem manual com trado, pela facilidade de execução e baixo custo, quando comparada com a sondagem SPT.

C) declividade: o valor da declividade é definido para cada alternativa, este se refere ao valor da declividade no trecho que o sistema será instalado. Este valor pode ser definido utilizando softwares como ArcGIS, QGIS, Google Earth Pro, AutoCAD, entre outros. Em ferramentas como ArcGIS e QGIS, elabora-se o mapa de declividade com bases geográficas. No AutoCAD, importa-se as curvas de nível e se calcula a declividade com a relação de diferença de altura por distância.

D) Capacidade de infiltração do solo: este parâmetro pode ser definido por meio testes de infiltração, como por exemplo os mais comuns: teste do infiltrômetro de anel e teste de duplo anel. Porém, caso não seja viável determinar a infiltração do solo, recomenda-se que seja consultado o tipo do solo em base de dados (como INDE, ITCG GEO, entre outros), e considerado os seguintes:

- **Areia grossa e cascalho:** geralmente acima de 200 $mm.h^{-1}$.
- **Areia média:** geralmente variando entre 50 e 200 $mm.h^{-1}$.
- **Areia fina:** geralmente abaixo de 50 $mm.h^{-1}$.
- **Silte:** geralmente abaixo de 20 $mm.h^{-1}$.
- **Argila:** geralmente abaixo de 10 $mm.h^{-1}$.

E) Solos frágeis à água: existem alternativas que não são viáveis a serem utilizadas em solos frágeis à água, por isso, recomenda-se conferir nesta etapa se o solo do local de estudo não se trata, por exemplo, de solos argilosos expansivos, solos siltosos, solos turfosos, solos arenosos frouxos, entre outros que são mais suscetíveis a se tornarem frágeis quando expostos à água;

F) Subsolos impermeáveis: existem alternativas que não são viáveis a serem utilizadas em solos impermeáveis, como na argila, silte, rochas ígneas e metamórficas compactas, e solos lateríticos, além de outros. Por este motivo, deve ser levantado se a área a alternativa analisada possui este tipo de subsolo;

G) Tráfego da via: nesta precisa ser conferido em casos que a alternativa será inserida na própria via. Para a determinação do tráfego da via entre leve, moderado e intenso, caso não tenha a viabilidade de realizar o estudo em campo, recomenda-se seguir as seguintes considerações:

- **Tráfego leve:** são as vias com baixo volume de veículos, normalmente em áreas residenciais e bairros tranquilos, com velocidades permitidas mais baixas e menor largura de pista;
- **Tráfego moderado:** vias com volume mais alto que a de tráfego leve, geralmente em áreas comerciais ou bairros mistos (residenciais com comércio), como avenidas urbanas, ruas secundárias ou vias de acesso a áreas comerciais;
- **Tráfego intenso:** são as vias com alto volume de veículos, normalmente em áreas urbanas densamente povoadas, áreas comerciais movimentadas, rotas de transporte público

e rodovias principais, tendem a ter velocidades permitidas mais elevadas e maior largura de pista. Normalmente são as avenidas principais, rodovias, autoestradas e vias expressas.

E.7 PRÉ-SELEÇÃO MEDIDAS DE INTERVENÇÃO

Critérios de pré-seleção podem ser encontrados em diversas referências bibliográficas, como, por exemplo, no Manual de Drenagem Urbana da Prefeitura de São Paulo e no Manual de Drenagem Urbana da SUDERSHA. Para facilitar a tomada de decisão para o usuário desta ferramenta, foram selecionados critérios de pré-seleção que serão apresentados na TABELA E.1 e TABELA E.2. Abaixo, serão utilizadas as seguintes abreviações: TI – Trincheira de Infiltração, BR – Bacia de Retenção, BD – Bacia de Detenção, PP – Pavimento Permeável, PI – Poço de Infiltração, C – Cisterna, TV – Telhado Verde, e FG – Faixa Gramada.

TABELA E.1 - PRIMEIRA PARTE DOS CRITÉRIOS DE PRÉ-SELEÇÃO

Medida	Área Contrib. Adequada	Profundidade do lençol adequada	Declividade adequada	Usos próximos proibidos
TI	0 a 2 ha	> 1 metro	Sem Restrição	Construção
BR	0 a 6 ha	Sem Restrição	Sem Restrição	Sem Restrição
BD	0 a 2 ha	> 1 metro	Sem Restrição	Sem Restrição
PP	0 a 10 ha	> 1 metro	> 5%	Vias Tráfego Intenso e Construção
PI	0 a 6 ha	> 1 metro	Sem Restrição	Indústrias e Construção
C	0 a 2 ha	Sem Restrição	Sem Restrição	Vias, Indústrias e Construção
TV	0 a 2 ha	Sem Restrição	Sem Restrição	Vias e Construções
FG	0 a 6 ha	> 1 metro	Sem Restrição	Indústrias e Construção

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem Urbana da Prefeitura de São Paulo (2012).

TABELA E.2 - SEGUNDA PARTE DOS CRITÉRIOS DE PRÉ-SELEÇÃO

Medida	Capacidade de infiltração adequada	Solos frágeis à água	Subsolo impermeável	Exutório	Esforços e tráfegos intensos
TI	7 a 200 $mm.h^{-1}$	Inviável	Inviável	Não precisa	Inviável
BR	0,5 a 60 $mm.h^{-1}$	Inviável	Inviável	Precisa	Sem Restrição
BD	1 a 200 $mm.h^{-1}$	Inviável	Possível	Precisa	Sem Restrição
PP	7 a 200 $mm.h^{-1}$	Inviável	Inviável	Não precisa	Inviável
PI	4 a 200 $mm.h^{-1}$	Inviável	Inviável	Não precisa	Inviável
C	7 a 200 $mm.h^{-1}$	Possível	Possível	Precisa	Sem Restrição
TV	Independe	Possível	Possível	Precisa	Sem Restrição
FG	1 a 200 $mm.h^{-1}$	Inviável	Inviável	Não precisa	Inviável

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem Urbana da Prefeitura de São Paulo (2012).

Além da pré-seleção apresentada anteriormente, é recomendado levar em consideração as recomendações de locais para cada uma das alternativas, levando em conta o levantamento de espaços realizado em passos anteriores. Para isso, são apresentadas as recomendações no QUADRO E.11, de acordo com o Manual de Drenagem da SUDERSHA, sendo atribuídas as seguintes abreviações: PP – Pavimento Permeável/Poroso, TI – Trincheira de Infiltração, PI – Poço de Infiltração, BD – Bacia de Detenção, BR – Bacia de Retenção e FG – Faixa Gramada.

QUADRO E.11 - RECOMENDAÇÕES DE APLICAÇÃO DE ALTERNATIVAS

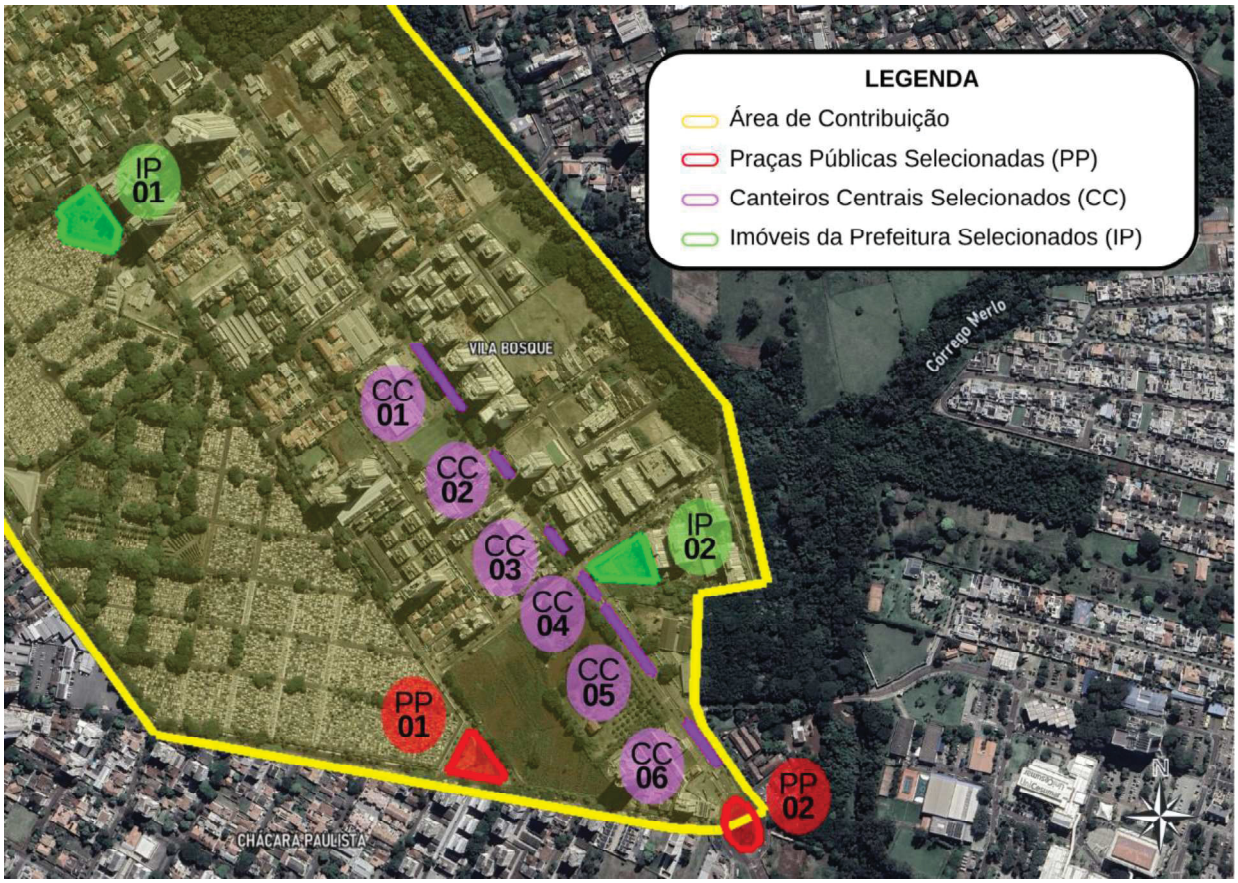
Estacionamento para Veículos Leves	• PP, TI, PI, BD, BR e FG.
Estacionamento para Veículos Pesados	• PP com revestimento impermeável e exutório na rede pluvial, e PI, BD.
Ruas e vias com tráfego leve	• PP, TI, PI, BD e FG.
Vias com tráfego intenso	• PI e BD.
Praças e caminhos de pedestres	• PP, TI, PI, BD, BR e FG.
Parques e áreas esportivas em terreno natural	• VI, BD, BR e FG.
Áreas de lazer ou esportivas construídas	• VI, BD, BR e FG.
Atuação na Macrodrenagem	• BD, BR e FG.

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

E.8 ORGANIZAÇÃO DAS MEDIDAS PRÉ-SELECIONADAS POR LOCALIDADE E CARACTERÍSTICAS

Dentre as alternativas pré-selecionadas na etapa 7 (pré-seleção de medidas), é recomendado organizá-las nas áreas com potencial identificadas na etapa 5 (levantamento de espaços disponíveis), levando sempre em consideração as viabilidades apresentadas na etapa 7 (pré-seleção de medidas). Com essas duas seleções, sugere-se a criação de cenários que serão utilizados para o pré-dimensionamento das alternativas, levantamento dos dados para calcular os indicadores, realização do cálculo dos indicadores e aplicação do método de hierarquização. Apresenta-se na FIGURA E.4, um modelo de organização de medidas pré-selecionadas por localidade e características que pode ser seguido pelo corpo técnico.

FIGURA E.4 - EXEMPLO DE ORGANIZAÇÃO DE MEDIDAS PRÉ-SELECIONADAS POR LOCALIDADE E CARACTERÍSTICAS



FONTE: A autora (2023).

E.9 SELEÇÃO DOS INDICADORES

Nesta etapa, ao contrário da etapa 3 (pré-seleção dos indicadores), são selecionados os indicadores levando em consideração aspectos técnicos e de concepção de projeto. Em sequência serão apresentados alguns critérios para exclusão de indicadores, sendo que novos critérios podem ser incluídos pela equipe técnica:

A) Disponibilidade de dados: consultando a listagem de indicadores, os dados e ferramentas necessárias para cada um deles, caso não exista disponibilidade de dados para um dos indicadores, recomenda-se a exclusão.

B) Indicadores repetidos: alguns indicadores na lista do Anexo A são repetidos, indicando a mesma característica, mas com dados diferentes. Ao deparar-se com dois indicadores repetidos na lista de pré-seleção, recomenda-se manter aquele que tem acesso mais fácil aos dados e ferramentas necessárias. Um exemplo disso é o indicador topográfico por inclinação e o topográfico por elevação. Caso não tenha acesso às ferramentas de um dos indicadores, é recomendado optar pelo outro.

C) Indicadores com o mesmo valor para todos os cenários: é importante observar cuidadosamente os cenários que serão estudados e aplicados na ferramenta, a fim de evitar a manutenção de indicadores que não variam. Existem dois casos comuns para essa constância do indicador: 1) indicadores que variam espacialmente e estão sendo aplicados em áreas menores. Por exemplo, quando está analisando a mesma área de contribuição e o indicador é precipitação. Sabe-se que esse indicador não irá variar nos diferentes pontos selecionados; 2) quando, após a pré-seleção, resta apenas um tipo de medida de intervenção. Nesse caso, alguns indicadores terão o mesmo valor para todos os cenários. Por exemplo, se a área de contribuição viável para utilização é apenas para trincheiras de infiltração em cinco locais diferentes, indicadores como facilidade de conexão, facilidade de manutenção, entre outros, não irão variar espacialmente, visto que todas as medidas estudadas são iguais.

Após a exclusão, para realizar a seleção dos indicadores a serem utilizados na tomada de decisão, recomenda-se que seja selecionado o número de indicadores apresentados no tópico 3.

E.10 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS ALTERNATIVAS

Nesta etapa, recomenda-se realizar o pré-dimensionamento das alternativas propostas em cada um dos cenários separados no tópico 7. Para esse pré-dimensionamento, é recomendado consultar o manual de drenagem do estado onde o estudo será aplicado. No caso do Paraná, sugere-se consultar o Manual de

Drenagem da SUDERSHA. A seguir, serão apresentadas algumas equações de pré-dimensionamento:

A) Sistema Convencional: Para realizar o dimensionamento do sistema convencional de drenagem urbana, recomenda-se a utilização da Equação E.4 à Equação E.10, que estão sendo representadas do QUADRO E.12 ao QUADRO E.18. Para um melhor entendimento de como as equações apresentadas abaixo são utilizadas, recomenda-se consultar o Manual de Drenagem da SUDERSHA.

QUADRO E.12 – EQUAÇÃO DO TEMPO DE RETORNO

$TR = \frac{1}{p}$	(Equação E.4)
• TR: tempo de retorno (anos); • P: probabilidade de ocorrência (anos^{-1}).	

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.13 – EQUAÇÃO DA INTENSIDADE MÉDIA DA PRECIPITAÇÃO INTENSA

$i = \frac{k.T^a}{(t+b)^c}$	(Equação E.5)
• i: intensidade média da precipitação intensa (mm.h^{-1}); • t: duração da precipitação (min); • T: tempo de retorno (anos); • K, a, b, c: constantes de ajuste locais.	

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.14 – EQUAÇÃO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

$t_C = 57\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$	(Equação E.6)

- t_c: tempo de concentração (min);
- L: comprimento do curso d'água principal da bacia (km);
- H: diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório (m).

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.15 – EQUAÇÃO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO NO TRECHO

$tc\ (i) = tc(i-1) + tp(i)$	(Equação E.7)

- tc(i-1): tempo de concentração do trecho anterior;
- tp(i): tempo de concentração do trecho i.

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.16 – EQUAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA

$Q_{máx} = 0{,}278.C.i_{máx}.A$	(Equação E.8)

- $Q_{máx}$: vazão máxima ($m^3.s^{-1}$);
- C: coeficiente de escoamento médio superficial ponderado (-);
- $i_{máx}$: máxima intensidade da precipitação ($mm.h^{-1}$);
- A: área da bacia contribuinte não controlada por MCs (km^2).

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.17 – EQUAÇÃO DA VELOCIDADE MÉDIA DO ESCOAMENTO

$V = \frac{R^{2/3}.S^{1/2}}{n}$	(Equação E.9)
• V: velocidade média do escoamento (m.s^{-1}); • R: raio hidráulico (m); • A: área da seção do escoamento (m²); • P: perímetro (m); • S: declividade (m.m^{-1}); • n: coeficiente de Manning (adimensional).	

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.18 – EQUAÇÃO DA VAZÃO

$Q = \frac{A\,.\,R^{2/3}.S^{1/2}}{n}$	(Equação E.10)
• Q: vazão (m³.s^{-1}); • A: área de drenagem (m²); • R: raio hidráulico; • S: declividade do fundo (m.m^{-1}); • n: coeficiente de rugosidade (adimensional).	

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

B) Bacia de Detenção: Para realizar o dimensionamento de bacia de detenção, recomenda-se a utilização da Equação E.11 e Equação E.12, que estão sendo representadas no QUADRO E.19 e QUADRO E.20. Para um melhor entendimento de como as equações apresentadas abaixo são utilizadas, recomenda-se consultar o Manual de Drenagem da SUDERSHA.

QUADRO E.19 – EQUAÇÃO DO VOLUME DE ACUMULAÇÃO

$V = (22{,}48 \cdot \sqrt{C} \cdot T^{0{,}129} - 1{,}21 \cdot \sqrt{q_s})^2$	(Equação E.11)
• V: volume de acumulação (m³.ha^{-1}); • C: coeficiente de escoamento (adimensional); • T: período de retorno (anos); • q_s: vazão de saída (L.s^{-1}.ha^{-1}).	

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.20 – EQUAÇÃO DO VOLUME DE RESERVATÓRIO

$V = 2{,}456 \cdot T^{0{,}332} \cdot A_{imp} \cdot A$	(Equação E.12)
Considerando o leito impermeável e a vazão específica de q_s=27L/(s.ha): • V: volume do reservatório (m³); • T: período de retorno (anos); • A_{imp}: porcentagem de área impermeável da área contribuinte (entre 0 e 100); • A: área contribuinte (ha).	

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

C) Bacia de Retenção: Para realizar o dimensionamento da bacia de retenção, recomenda-se a utilização da Equação E.13, que estão sendo representadas no QUADRO E.21. Para um melhor entendimento de como as equações apresentadas abaixo são utilizadas, recomenda-se consultar o Manual de Drenagem da SUDERSHA.

QUADRO E.21 – EQUAÇÃO DO VOLUME DE ACUMULAÇÃO

$V = (22{,}48 \cdot \sqrt{C} \cdot T^{0{,}129} - 1{,}21 \cdot \sqrt{q_s})^2$	(Equação E.13)
• V: volume de acumulação (m³.ha^{-1}); • C: coeficiente de escoamento (adimensional); • T: período de retorno (anos); • q_s: vazão de saída (L.s^{-1}. ha^{-1}).	

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

C) Pavimento poroso ou permeável: Para realizar o dimensionamento do pavimento poroso, recomenda-se a utilização da Equação E.14 à Equação E.17, que estão sendo representadas do QUADRO E.22 ao QUADRO E.25. Para um melhor entendimento de como as equações apresentadas abaixo são utilizadas, recomenda-se consultar o Manual de Drenagem da SUDERSHA.

QUADRO E.22 – EQUAÇÃO DO VOLUME DE ACUMULAÇÃO

$V = (22{,}48 \cdot \sqrt{C} \cdot T^{0{,}129} - 1{,}21 \cdot \sqrt{q_s})^2$	(Equação E.14)

- V: volume de acumulação ($m^3 . ha^{-1}$);
- C: coeficiente de escoamento (adimensional);
- T: período de retorno (anos);
- q_s: vazão de saída ($L . s^{-1} . ha^{-1}$).

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.23 – EQUAÇÃO DO CÁLCULO DO β

$\beta = \frac{A_{pav} + C \cdot A}{A_{pav}}$	(Equação E.15)

- A_{pav}: área do pavimento (m^2);
- A: área de contribuição ao pavimento (m^2);
- C: coeficiente de escoamento da área de contribuição (adimensional).

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.24 – EQUAÇÃO DA VAZÃO DE SAÍDA

$q_s = \alpha \cdot K_{sat}$	(Equação E.16)

- q_s: vazão de saída ($mm.h^{-1}$);
- α: valores entre 0,1 e 0,5 (adimensional);
- K_{sat}: condutividade hidráulica saturada ($mm.h^{-1}$).

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.25 – EQUAÇÃO DA ESPESSURA DA CAMADA POROSA DO PAVIMENTO

$H = \frac{V}{10 \,.\, \eta}$	(Equação E.17)

- V: volume (mm);
- H: espessura da camada porosa do pavimento (cm);
- η: porosidade do material estruturante da camada reservatório.

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

D) Poço de Infiltração: Para realizar o dimensionamento do poço de infiltração, recomenda-se a utilização da Equação E.18 à Equação E.22, que estão sendo representadas do QUADRO E.26 ao QUADRO E.30. Para um melhor entendimento de como as equações apresentadas abaixo são utilizadas, recomenda-se consultar o Manual de Drenagem da SUDERSHA.

QUADRO E.26 – EQUAÇÃO DO VOLUME DE ACUMULAÇÃO

$V = (7{,}11 \,.\, \sqrt{\beta} \,.\, T^{0{,}129} - 0{,}64 \,.\, \sqrt{\gamma} \,.\, \sqrt{H} \,.\, \sqrt{q_s})^2$	(Equação E.18)

- V: volume de acumulação sobre a área em planta do poço (mm);
- β: coeficiente adimensional;
- T: período de retorno (anos);
- H: profundidade média da camada de armazenamento do dispositivo (mm);
- γ: coeficiente adimensional;
- q_s: vazão de saída constante do dispositivo (mm.h-1).

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.27 – EQUAÇÃO DO CÁLCULO DO β

$\beta = \frac{4 \,.\, C \,.\, A}{\pi \,.\, D^2}$	(Equação E.19)

- A: área contribuinte ao poço (m²);
- C: coeficiente de escoamento da área contribuinte;
- D: diâmetro do poço (m).

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.28 – EQUAÇÃO DO CÁLCULO DO COEFICIENTE ADIMENSIONAL

$\gamma = \frac{4 \,.\, \pi \,.\, D}{\pi \,.\, D^2}$	(Equação E.20)

- γ: coeficiente adimensional;
- D: diâmetro do poço (m).

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.29 – EQUAÇÃO DA VAZÃO DE SAÍDA

$q_s = \alpha \,.\, K_{sat}$	(Equação E.21)

- q_s: vazão de saída ($mm.h^{-1}$);
- α: valores entre 0,1 e 0,5 (adimensional);
- K_{sat}: condutividade hidráulica saturada ($mm.h^{-1}$).

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.30 – EQUAÇÃO DO CÁLCULO DA ALTURA DO POÇO DE INFILTRAÇÃO

$H = \frac{1}{10} \,.\, [\frac{k_1 \,.\, (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta \,.\, k_2^2}]^2$	(Equação E.22)

- η.H=V;
- η: porosidade do material de enchimento do poço;
- k_1: 7,11. $\beta^{1/2}$. $T^{0,129}$;
- k_2: 0,64. $\gamma^{1/2}$. $q_s^{1/2}$.

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

E) Trincheira de Infiltração: Para realizar o dimensionamento da trincheira de infiltração, recomenda-se a utilização da Equação E.23 à Equação E.27, que estão sendo representadas do QUADRO E.31 ao QUADRO E.35. Para um melhor entendimento de como as equações apresentadas abaixo são utilizadas, recomenda-se consultar o Manual de Drenagem da SUDERSHA.

QUADRO E.31 – EQUAÇÃO DO VOLUME DE ACUMULAÇÃO DA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO

$V = (7{,}11 \cdot \sqrt{\beta} \cdot T^{0{,}129} - 0{,}64 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{H} \cdot \sqrt{q_s})^2$	(Equação E.23)

- V: volume de acumulação sobre a área em planta do poço (mm);
- β: coeficiente adimensional;
- T: período de retorno em anos;
- H: profundidade média da camada de armazenamento do dispositivo (mm);
- γ: coeficiente adimensional;
- q_s: vazão de saída constante do dispositivo (mm.h-1).

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.32 – EQUAÇÃO DO CÁLCULO DO β

$\beta = \frac{C \cdot A}{B \cdot L}$	(Equação E.24)

- A: área contribuinte à trincheira (m²);
- C: coeficiente de escoamento da área contribuinte;
- B: largura da trincheira (m);
- L: comprimento da trincheira (m).

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.33 – EQUAÇÃO DO COEFICIENTE ADIMENSIONAL γ

$\gamma = \frac{2 \,.\, L}{L \,.\, B} = \frac{2}{B}$	(Equação E.25)

- B: largura da trincheira de infiltração (mm);
- γ: coeficiente adimensional;
- L: comprimento da trincheira de infiltração (mm).

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.34 – EQUAÇÃO DA VAZÃO DE SAÍDA

$q_s = \alpha \,.\, K_{sat}$	(Equação E.26)

- q_s: vazão de saída ($mm.h^{-1}$);
- α: valores entre 0,1 e 0,5 (adimensional);
- K_{sat}: condutividade hidráulica saturada ($mm.h^{-1}$).

FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

QUADRO E.35 – EQUAÇÃO DA ESPESSURA DA ALTURA DA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO

$H = \frac{1}{10} \,.\, [\frac{k_1 \,.\, (k_2 - \sqrt{\eta})}{\eta \,.\, k_2^2}]^2$	(Equação E.27)

- η.H=V;
- η: porosidade do material de enchimento do poço;
- k_1: 7,11. $\beta^{1/2}$. $T^{0,129}$;
- k_2: 0,64. $\gamma^{1/2}$. $q_s^{1/2}$.

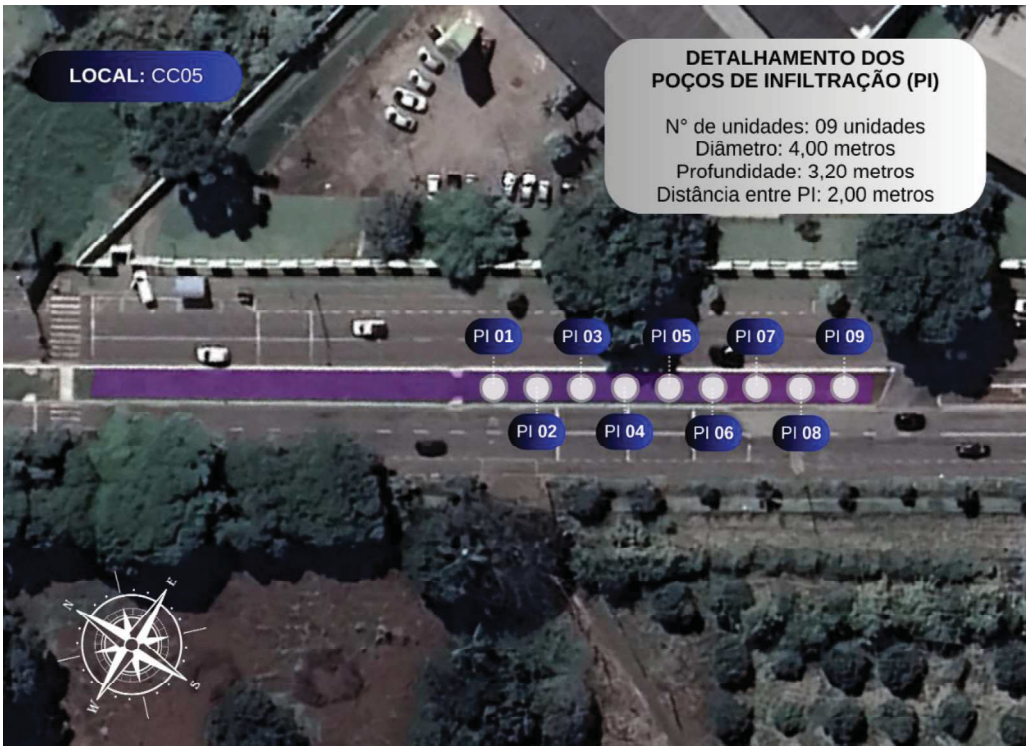
FONTE: Adaptado de Manual de Drenagem da SUDERSHA (2002).

E.11 CONCEPÇÃO DO PROJETO DAS MEDIDAS DE INTERVENÇÃO

Na décima primeira etapa, referente à concepção do projeto das medidas, são desenvolvidas as plantas baixas e demais projetos necessários para a implementação das medidas de intervenção, caso existam indicadores selecionados que necessitem destes. Essas plantas de concepção serão utilizadas posteriormente para o cálculo de alguns indicadores, como o de custos, que requer informações quantitativas sobre

cada medida de intervenção, além de outros indicadores relevantes. Na FIGURA E.5 está sendo representado um exemplo de planta baixa de localização das medidas alternativas.

FIGURA E.5 - EXEMPLO DE PLANTA BAIXA DE LOCALIZAÇÃO DAS MEDIDAS ALTERNATIVAS



FONTE: A autora (2023).

E.12 LEVANTAMENTO DE DADOS PARA CALCULAR OS INDICADORES

Nesta etapa, é recomendado realizar o levantamento e determinar quais dados serão necessários para dar continuidade à tomada de decisão. Esses dados dependem dos indicadores selecionados na etapa anterior e podem ser consultados na listagem apresentada na etapa de pré-seleção dos indicadores (tópico 3).

E.13 CÁLCULO DOS INDICADORES

Com os dados necessários para calcular os indicadores levantados, nesta etapa recomenda-se realizar o cálculo dos mesmos. Para a determinação das equações e métodos a serem utilizados para cada um dos indicadores, é aconselhável

consultar referências bibliográficas e/ou especialistas na área. No estudo de caso da presente pesquisa foi apresentado o modo de cálculo de seis dos 35 indicadores.

E.14 NORMALIZAÇÃO DOS INDICADORES

Nesta etapa, é recomendado realizar a normalização dos valores, ou seja, colocá-los em uma mesma escala, caso o método que será utilizado exija essa etapa. Para isso, primeiramente determina-se qual será a escala utilizada. Utilizando uma escala de 0 a 1, a normalização é aplicada conforme a Equação E.28.

$$x' = (x - min) / (max - min) \qquad \text{(Equação E.28)}$$

Onde:

– x': valor normalizado;
– x: valor original;
– min: valor mínimo dos dados;
– max: valor máximo dos dados.

E.15 APLICAÇÃO DE MÉTODO DE HIERARQUIZAÇÃO

Por fim, é recomendado aplicar um Método de Hierarquização das alternativas. Na presente pesquisa, foram abordados o Método da Programação por Compromisso (CP), o Método AHP, o Método ELECTRE e o método TOPSIS.

Na TABELA E.3 está sendo apresentado o modo de determinar o cenário mais favorável considerando os indicadores selecionados pelo Método de Programação por Compromisso. Para a determinação do valor de “Lp”, que se refere à distância do valor da solução ideal, utiliza-se a Equação 2.29. Caso opte por outro método, recomenda-se consultar referências bibliográficas para um melhor entendimento desses métodos.

$$L_p = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \frac{f_i^* - f_i(x)}{(f_i^* - f_i^{**})} \qquad \text{(Equação E.29)}$$

Sendo que:

- i: referente ao indicador “i”;

- L_p: distância do valor da solução ideal;
- λ_i: peso dos indicadores i;
- f_i^*: solução ideal do indicador “i”;
- f_i^{**}: pior solução do indicador “i”;
- $f_i(x)$: valor do indicador em análise.

TABELA E.3 - CÁLCULO DA SOLUÇÃO MAIS VIÁVEL POR PROGRAMAÇÃO POR COMPROMISSO

Indicador	f*	f**	P	f	(1) = (f* - f)	(2) = (f* - f**)	(1) / (2)	(3) = P * (1) / (2)
Indicador 1								
Indicador 2								
Indicador 3								
(...)								
Indicador N								
P = Peso do Indicador							Lp =	Soma da coluna (3)
f = Valor do Indicador								
f* = Melhor Valor Determinado (Ou seja, o melhor valor de indicador calculado)								
f** = Pior Valor Determinado (Ou seja, o pior valor de indicador calculado)								

FONTE: A autora (2023).

Ao final, quanto menor o valor de "L_P", mais viável o cenário será em comparação com os demais.