



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTAO AMBIENTAL**

RAPHAEL HENRIQUE DOS SANTOS BATISTA

SANEAMENTO SUSTENTÁVEL PARA O RESIDENCIAL PITANGA I

Recife, 2025

RAPHAEL HENRIQUE DOS SANTOS BATISTA

SANEAMENTO SUSTENTÁVEL PARA O RESIDENCIAL PITANGA I

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Linha de Pesquisa: Gestão para sustentabilidade

Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva
Orientador

Prof.^a Dr.^a Sofia Suely Ferreira Brandão
Rodrigues
Coorientadora

Recife, 2025

RAPHAEL HENRIQUE DOS SANTOS BATISTA**SANEAMENTO SUSTENTÁVEL PARA O RESIDENCIAL PITANGA I**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

Data da aprovação: 16/10/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva
Orientador - IFPE

Prof.^a Dr.^a Sofia Suely Ferreira Brandão Rodrigues
Coorientadora

Prof. Dr. João Manuel de Freitas Mota
Examinador Interno - MPGA

Prof. Dr. Valmir Cristiano Marques de Arruda
Examinador Externo – UFRPE

APRESENTAÇÃO

Engenheiro Civil, formado pelo Instituto Federal de Pernambuco – Campus Recife, em 2021. Durante a graduação, desenvolveu pesquisas em temas como gestão ambiental, ilhas de calor e chuva ácida. Atua como engenheiro na Prefeitura Municipal de Igarassu, na Região Metropolitana do Recife, elaborando projetos e fiscalizando obras de infraestrutura urbana.

Observando a recorrente falta de saneamento em um dos bairros da cidade, propôs este estudo com o objetivo de oferecer diretrizes sustentáveis à gestão municipal, por meio de Soluções Baseadas na Natureza, especialmente Sistemas Compensatórios de Drenagem Urbana, para enfrentar os problemas de saneamento no Residencial Reserva da Pitanga I.

Dedico esta dissertação à minha família,
em especial ao meu pai, pela força e sabedoria que sempre me inspiraram;
à minha mãe, pelo amor incondicional e apoio constante em todos os momentos;
e ao meu irmão, pelo companheirismo e incentivo que me motivam a seguir em frente.

Obrigado por acreditarem em mim e por serem meu alicerce inabalável.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me guiou em cada passo desta caminhada, iluminando meus caminhos e fortalecendo meu coração nos momentos mais difíceis. Sem a Sua presença, nada disso teria sido possível.

Ao IFPE, que me acolheu e proporcionou um ambiente de aprendizado transformador.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva, pela confiança, paciência e generosidade em compartilhar conhecimento, sempre guiando minhas ideias com firmeza e sabedoria.

À minha co-orientadora, Prof.^a Dr.^a Sofia Suely Ferreira Brandão Rodrigues, por cada conselho, incentivo e contribuição que tornaram este trabalho mais consistente e valioso.

À coordenadora do curso, Prof.^a Marília, pela atenção e apoio constante.

À secretaria e à administração do MPGA, pela dedicação e prontidão.

À Prefeita Elcione Barboza e ao Vice-Prefeito e Secretário da Cidade Amaury Henrique, pelo incentivo e pela valorização desta pesquisa, demonstrando o compromisso com o desenvolvimento do município.

À minha família, meu porto seguro e razão maior de todas as minhas conquistas. Ao meu pai e à minha mãe, exemplos de amor, coragem e perseverança, e ao meu irmão, pelo companheirismo e apoio incondicional. Vocês foram minha inspiração e minha base firme, mesmo quando o caminho parecia árduo.

Aos meus colegas de trabalho, que sempre me estenderam a mão e não mediram esforços para colaborar com este estudo, seja no campo ou com palavras de incentivo.

Ao líder comunitário André da ONG, cuja atuação incansável em prol das causas do Residencial Pitanga foi inspiração e apoio fundamental para este projeto.

À moradora Ananeres, pela generosidade em compartilhar informações tão preciosas, essenciais para o aprofundamento desta pesquisa.

Aos meus amigos, por compreenderem minhas ausências, celebrarem cada conquista e, acima de tudo, acreditarem em mim mesmo quando minhas forças pareciam se esgotar.

Por fim, a todos que, de forma direta ou indireta, fizeram parte desta caminhada, deixo meu mais profundo agradecimento. Este trabalho é, também, de cada um de vocês.

Epígrafe - A fé nos inspira, a natureza nos ensina, a educação nos guia e a sustentabilidade garante que o amanhã floresça.

RESUMO

O Residencial Reserva da Pitanga I, em Igarassu-PE, enfrenta sérios problemas de saneamento decorrentes da sobrecarga da rede de esgoto por ligações indevidas de águas pluviais, entrada de areia e resíduos sólidos, além de vazamentos constantes de água tratada, que resultam em ruas alagadas, mau cheiro e riscos à saúde pública. Essa realidade evidencia a necessidade de soluções sustentáveis capazes de oferecer alternativas mais eficazes que os métodos convencionais. O presente estudo teve como objetivo propor soluções baseadas na natureza para a requalificação do sistema de saneamento do residencial, com foco na drenagem urbana, no esgotamento sanitário e no controle de perdas de água. A metodologia envolveu inspeções de campo e levantamento documental, combinando abordagens quantitativas e qualitativas. Os resultados indicaram que as Soluções Baseadas na Natureza (SbN), como jardins de chuva, pavimentos permeáveis, wetlands construídas, fossas ecológicas e praças alagáveis, apresentam potencial para reduzir entre 35% e 70% do escoamento superficial e aumentar a capacidade de infiltração em até 300%, contribuindo para mitigar alagamentos e sobrecarga da rede. A análise comparativa também demonstrou viabilidade econômica, com redução estimada de até 40% nos custos de manutenção quando associada à participação comunitária. Conclui-se que as SbN são tecnicamente aplicáveis ao contexto estudado e representam uma alternativa sustentável, replicável e alinhada às políticas públicas de saneamento e planejamento urbano, reforçando a importância da integração entre infraestrutura verde e gestão social do território.

Palavras-chave: Soluções Baseadas na Natureza; Saneamento Sustentável; Drenagem Urbana; Infraestrutura Verde; Gestão Ambiental.

ABSTRACT

The Reserva da Pitanga I residential complex in Igarassu, Pernambuco, faces serious sanitation problems resulting from the overloading of the sewage system due to improper connections of rainwater drainage, entry of sand and solid waste, as well as constant leaks of treated water, which result in flooded streets, foul odors, and risks to public health. This reality highlights the need for sustainable solutions capable of offering more effective alternatives than conventional methods. This study aimed to propose nature-based solutions for the requalification of the residential complex's sanitation system, focusing on urban drainage, sanitary sewage, and water loss control. The methodology involved field inspections and documentary research, combining quantitative and qualitative approaches. The results indicated that Nature-Based Solutions (NBS), such as rain gardens, permeable pavements, constructed wetlands, ecological septic tanks, and floodable squares, have the potential to reduce surface runoff by 35% to 70% and increase infiltration capacity by up to 300%, contributing to mitigating flooding and network overload. The comparative analysis also demonstrated economic viability, with an estimated reduction of up to 40% in maintenance costs when associated with community participation. It is concluded that NBS are technically applicable to the studied context and represent a sustainable, replicable alternative aligned with public policies on sanitation and urban planning, reinforcing the importance of integrating green infrastructure and social management of the territory.

Keywords: Nature-Based Solutions; Sustainable Sanitation; Urban Drainage; Green Infrastructure; Environmental Management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Perfis de terrenos abrigando cursos d'água.....	23
Figura 2. Localização do Município de Igarassu-PE em relação ao Brasil.....	27
Figura 3. Localização do Município de Igarassu em relação ao Estado de Pernambuco.....	27
Figura 4. Limites do Residencial Pitanga I.....	28
Figura 5. Comparativo entre sistemas de drenagem.....	41
Figura 6. Fluxograma da Metodologia.....	48
Figura 7. Imagem do Projeto do Loteamento Residencial Pitanga I.....	59
Figura 8. Seção Transversal do Sistema Viário.....	62
Figura 9. Desenho Técnico do Sistema de Drenagem do Loteamento.....	63
Figura 10. Projeto do Sistema de Drenagem do Loteamento.....	64
Figura 11. Foto registrada em períodos pós chuvas.....	65
Figura 12. Caminhão de Hidrojateamento.....	66
Figura 13. Municípios contemplados no Programa Cidade Saneada.....	67
Figura 14. Localização dos Pontos Críticos de Saneamento.....	71
Figura 15. Curvas de níveis do Limites do Residencial Pitanga I e seu entorno.....	72
Figura 16. Ponto do exutório pós o Loteamento Residencial Pitanga I.....	74
Figura 17. Bacia de contribuição do exutório pós o Loteamento Residencial Pitanga I.....	75
Figura 18. Imagem do Projeto do Loteamento Residencial Pitanga I.....	87
Figura 19. Imagem renderizada Loteamento Residencial Pitanga I com aplicações das SbN's.....	89
Figura 20. Jardim de Chuvas no canteiro central da avenida principal.....	90
Figura 21. Pista de Cooper e Horta comunitária da praça úmida a Oeste.....	90
Figura 22. Local destina para Wetland do Lado Oeste.....	91
Figura 23. Ponto de Ônibus e Campos de Futebol com arquibancada em concreto – Praça úmida do lado Leste.....	92
Figura 24. Horta comunitária da praça úmida lado leste e Wetland do lado leste.....	92
Figura 25. Pavimentação em tijolos intertravados.....	93
Figura 26. Fossa Ecológica.....	94
Figura 27. Parque Úmido as margens do Rio lado Oeste.....	94
Figura 28. Parque Úmido as margens do Rio lado Leste.....	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Critérios de Priorização	52
Quadro 2. Investimentos Previsto para o Sistema de Esgotamento Sanitário em Igarassu.....	68
Quadro 3. Aplicações Prioritárias do Plano no Loteamento Pitanga I	69
Quadro 4. Priorização das Soluções Baseadas na Natureza Propostas	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Áreas do loteamento	29
Tabela 2. Áreas do loteamento	57
Tabela 3. Áreas Residencial.....	57
Tabela 4. Quadras e Lotes.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SIGLA	SIGNIFICADO
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CFE	Cronograma Físico-Financeiro
CM	C. M. Costa Mendonça Empreendimentos Imobiliários Ltda
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CSV	Comma-Separated Values (Formato de Dados Separados por Vírgula)
DXF	Drawing Exchange Format
EAD	Educação a Distância
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco
IFRJ	Instituto Federal do Rio de Janeiro
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
KMZ	Keyhole Markup Language Zipped (formato de arquivo do Google Earth)
LISP	List Processing Language (linguagem de programação usada no AutoCAD)
MDE	Modelo Digital de Elevação
MPGA	Mestrado Profissional em Gestão Ambiental
PDF	Portable Document Format
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
QGIS	Quantum Geographic Information System
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SbN	Soluções Baseadas na Natureza
SFES	Sistema Final de Esgotamento Sanitário
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
TIN	Triangular Irregular Network (Rede Irregular de Triângulos)
UTM	Universal Transverse Mercator (Sistema de Coordenadas Cartográficas)

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	4
AGRADECIMENTOS	6
RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	10
LISTA DE QUADROS	11
LISTA DE TABELAS	11
1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 OBJETIVOS	19
1.1.1 Objetivo Geral	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
1.2 CONCEITOS BÁSICOS	20
1.2.1 Meio ambiente	20
1.2.2 Urbanização	21
1.2.3 Desastres naturais	21
1.2.4 Enchentes, Inundações e Alagamentos	22
1.2.5 Sustentabilidade.....	24
1.2.6 Desenvolvimento Sustentável.....	24
1.3 MUNICÍPIO DE IGARASSU-PE	25
1.3.1 Aspectos históricos	25
1.3.2 Características do Município	25
1.3.3 Mapas.....	26
1.4 RESIDENCIAL RESERVA DA PITANGA.....	28
1.4.1 Localização	28
1.4.2 Projeto do Residencial Reserva do Pitanga	29
1.4.3 Situação Atual.....	30

1.5	NORMAS E LEGISLAÇÕES	30
1.5.1	Lei n 6938/1981 - Política Nacional do Meio Ambiente	30
1.5.2	Lei n 9985/2000 - Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC).....	31
1.5.3	Normas Técnicas.....	31
1.5.4	Marco Legal do Saneamento Básico	32
1.6	CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	33
1.6.1	Cidade Sustentável.....	34
1.6.2	Influência Da Urbanização na Drenagem Pluvial	35
1.7	ESTUDOS DE CASO COMPARATIVOS DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA	35
1.8	SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA	36
1.8.1	Lagoas de Detenção e Infiltração	37
1.8.2	Telhado Verde	38
1.8.3	Jardim de Chuva	38
1.8.4	Alagado Construído	39
1.8.5	Praça Úmida.....	40
1.8.6	Parque Linear Multifuncional.....	40
1.8.7	Técnicas compensatórias de drenagem.....	40
1.9	VANTAGENS DAS SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA FRENTE AOS MÉTODOS TRADICIONAIS DE INFRAESTRUTURA.....	41
1.10	PAVIMENTAÇÃO COM BLOCOS INTERTRAVADOS: ASPECTOS TÉCNICOS E VANTAGENS AMBIENTAIS	43
1.11	PARQUES LINEARES E PRAÇAS ÚMIDAS	44
1.12	FOSSA ECOLÓGICA	45
1.13	TUBOS DE PEAD EM SISTEMAS DE DRENAGEM.....	46
2	METODOLOGIA.....	47
2.1	LEVANTAMENTO DE DADOS	48
2.2	DIAGNÓSTICO PARTICIPATIVO.....	49

2.2.1	Mapeamento das Infraestruturas:.....	49
2.2.2	Obtenção de curvas de nível	49
2.2.3	Delimitação da Bacia Hidrográfica de contribuição.....	51
2.3	CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO	52
2.4	PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES.....	53
2.4.1	Elaboração da Modelagem 3D e Renderização das Propostas	53
2.5	PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E MANUTENÇÃO COMUNITÁRIA	54
2.6	PROCEDIMENTOS DE ESTIMATIVA DE IMPACTO AMBIENTAL DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS	55
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
3.1	LEVANTAMENTO DE DADOS	56
3.1.1	Áreas	56
3.1.2	O loteamento.....	58
3.1.3	Sistema Viário (Ruas Projetadas + Calçadas).....	61
3.1.4	Sistema de Drenagem e Esgotamento Sanitário	62
3.1.5	Planejamento Estratégico.....	66
3.2	DIAGNÓSTICO PARTICIPATIVO.....	69
3.2.1	Mapeamento das Infraestruturas:.....	70
3.2.2	Curvas de níveis.....	71
3.2.3	Delimitação da Bacia Hidrográfica	73
3.3	PRIORIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA	76
3.4	PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES.....	77
3.4.1	Soluções Baseadas na Natureza (SbN)	77
3.4.2	Comparação das Soluções Propostas com Experiências de Referência	85
3.4.3	Aplicação da infraestrutura em SbN's no Loteamento Residencial Pitanga I	86
3.4.4	Projeto de Aplicação da Infraestrutura	88
3.5	VIABILIDADE ECONÔMICA E MANUTENÇÃO COMUNITÁRIA DAS	

SOLUÇÕES PROPOSTAS	95
3.6 ESTIMATIVAS DE IMPACTO AMBIENTAL DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS	97
3.6.1 Redução do Escoamento Superficial	97
3.6.2 Ganho em Capacidade de Infiltração	97
3.6.3 Estimativa Econômica e de Manutenção	98
4 CONCLUSÃO.....	99
REFERÊNCIAS	101
APÊNDICES	107
Apêndice A - CURVA DE NÍVEIS.....	107
Apêndice B - PONTOS CRÍTICOS	108
Apêndice C - BACIA DE CONTRIBUIÇÃO	109
Apêndice D - MAPA DE APLICAÇÕES DA Sbn's.....	110
Apêndice E - DIRETRIZES PROPOSTAS PARA O SANEAMENTO SUSTENTÁVEL NO RESIDENCIAL PITANGA I.....	111

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico é um dos pilares fundamentais para a promoção da saúde pública, da dignidade humana e da sustentabilidade ambiental, abrangendo o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a drenagem urbana e o manejo de resíduos sólidos. Sua adequada implementação é determinante para o desenvolvimento social e econômico das cidades. Entretanto, no Brasil, o déficit histórico de cobertura e a deficiência operacional dos sistemas existentes evidenciam um cenário crítico que compromete a qualidade de vida da população e a conservação dos recursos naturais (IBGE, 2022; SNIS, 2023).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2023), apenas 52,5% da população brasileira possui acesso a redes de esgotamento sanitário, enquanto além de 37% da água tratada é perdida durante a distribuição, seja por vazamentos, ligações clandestinas ou falhas operacionais. Em Pernambuco, esses indicadores são ainda mais preocupantes: apenas 32,4% dos domicílios estão ligados à rede de esgoto e 40,2% da água potável é desperdiçada. No município de Igarassu, os dados do IBGE (2022) revelam que somente 19,9% dos domicílios possuem esgotamento sanitário adequado, 15,7% das vias urbanas contam com arborização e apenas 4,4% apresentam infraestrutura completa (pavimentação, meio-fio e calçadas). Esses números refletem a carência estrutural e o desafio de gestão enfrentado por municípios de médio porte na Região Metropolitana do Recife.

Entre as áreas mais afetadas por essa precariedade está o Residencial Reserva da Pitanga I, localizado no Loteamento Agamenon Magalhães, em Igarassu-PE. Trata-se de um conjunto habitacional unifamiliar vinculado ao programa Minha Casa, Minha Vida, que sofre com sobrecarga da rede de esgoto devido a ligações indevidas de águas pluviais, entrada de areia e resíduos sólidos e vazamentos de água tratada da rede de abastecimento da COMPESA. Esses fatores têm provocado alagamentos recorrentes, mau cheiro, proliferação de vetores e riscos sanitários à população local, configurando um grave problema socioambiental e urbano.

Diante desse contexto, torna-se urgente a busca por estratégias integradas de gestão ambiental que conciliem eficiência técnica, baixo custo operacional e sustentabilidade. Nesse cenário, ganham destaque as Soluções Baseadas na Natureza (SbN), que consistem em abordagens inspiradas nos processos naturais para enfrentar desafios urbanos e ambientais. Estudos recentes (Devecchi et al., 2020; CGEE, 2022; Corgo et al., 2024) evidenciam que as SbN são capazes de reduzir o escoamento superficial, promover a infiltração das águas pluviais, restaurar ecossistemas urbanos e melhorar a qualidade de vida, representando

alternativas viáveis aos métodos convencionais de infraestrutura “cinza”.

Assim, este trabalho propõe aplicar princípios de SbN na requalificação do sistema de saneamento do Residencial Reserva da Pitanga I, integrando infraestrutura verde, drenagem urbana sustentável e participação comunitária. A proposta busca não apenas mitigar os impactos ambientais e sanitários existentes, mas também contribuir com a construção de diretrizes técnicas e políticas públicas replicáveis para outros empreendimentos habitacionais de interesse social no estado de Pernambuco.

O saneamento básico constitui um dos pilares essenciais para a promoção da saúde pública, da dignidade humana e da sustentabilidade ambiental, tanto em contextos urbanos quanto rurais. Entre seus componentes, destacam-se os sistemas de esgotamento sanitário e de drenagem urbana. O primeiro é responsável pela coleta, transporte, tratamento e disposição final dos efluentes domésticos, prevenindo a contaminação dos corpos hídricos e do solo. O segundo visa gerenciar de forma eficiente as águas pluviais, prevenindo alagamentos, erosões e outros impactos negativos decorrentes do escoamento superficial.

Entretanto, a sobreposição e a interligação indevida entre esses dois sistemas, esgoto e drenagem, podem comprometer sua eficácia e gerar impactos significativos à infraestrutura urbana, à saúde pública e ao meio ambiente. Essa problemática é observada de forma evidente no Residencial Reserva da Pitanga I, localizado no Loteamento Agamenon Magalhães, no município de Igarassu, Pernambuco. Trata-se de um conjunto habitacional unifamiliar vinculado ao programa Minha Casa Minha Vida, que enfrenta sérios desafios relacionados ao saneamento.

A rede de esgotamento sanitário encontra-se sobrecarregada, em razão de ligações indevidas de águas pluviais, além do acúmulo de areia e resíduos sólidos, comprometendo gravemente seu funcionamento. Paralelamente, há relatos de vazamentos constantes de água tratada proveniente da rede da COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento), o que agrava ainda mais o cenário, com ruas frequentemente alagadas, mau cheiro, proliferação de vetores e riscos sanitários à população.

Diante desse contexto, torna-se urgente a proposição de soluções integradas e sustentáveis, capazes de tratar os desafios sanitários de forma sistêmica e eficiente. Nesse sentido, destaca-se o potencial das Soluções Baseadas na Natureza (SbN), que utilizam processos ecológicos e recursos naturais para o tratamento de efluentes, manejo de águas pluviais e reabilitação de áreas degradadas. Tais soluções, além de ambientalmente adequadas, tendem a ser economicamente viáveis e socialmente justas, promovendo melhorias duradouras na infraestrutura e na qualidade de vida das comunidades atendidas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Propor soluções sustentáveis e baseadas na natureza para a requalificação do sistema de saneamento do Residencial Reserva da Pitanga I, com foco na mitigação dos problemas de drenagem, esgotamento sanitário e vazamentos de água tratada.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Levantar dados técnicos e administrativos sobre a rede de esgoto, drenagem pluvial e fornecimento de água tratada.
2. Diagnosticar os principais problemas sanitários e socioambientais enfrentados pelos moradores, observação direta em campo.
3. Propor alternativas sustentáveis de intervenção, com foco em Soluções Baseadas na Natureza (SbN), voltadas à melhoria da drenagem urbana, ao tratamento descentralizado de efluentes e à requalificação do espaço urbano.
4. Desenvolver uma proposta integrada de saneamento, articulando infraestrutura verde, tecnologias apropriadas e estratégias de participação comunitária, visando promover melhorias ambientais duradouras e socialmente viáveis.
5. Avaliar a viabilidade econômica e o desempenho ambiental das SbN propostas, estimando custos de implantação e manutenção, potencial de redução do escoamento superficial e aumento da capacidade de infiltração, além de considerar estratégias de manutenção comunitária e educação ambiental.

6. REVISÃO DA LITERATURA

Atualmente, a crise ambiental é um tema muito citado no meio acadêmico, preocupações como impactos ambientais e qualidade de vida é um assunto recorrente. Mas ainda é difícil entender como os problemas ambientais influenciam diretamente no dia a dia da sociedade. Nas cidades, altamente impactante no ambiente natural, a natureza reage a essas influências em forma de desastres naturais. Por esse motivo a sustentabilidade nas cidades, tornou-se uma problemática do processo de gestão ambiental. A construção civil é a maior responsável pela transformação do ambiente natural, adota práticas que vão de encontro com a sustentabilidade em desenvolvimento social, crescimento econômico e conservação do meio ambiente, devem ser incorporada no seu sistema, seja durante a construção da sua obra como também durante sua utilização.

1.2 CONCEITOS BÁSICOS

No contexto da gestão ambiental, alguns conceitos fundamentais precisam ser compreendidos para embasar as discussões deste trabalho. O meio ambiente refere-se à interação entre o homem e a natureza, sendo constantemente impactado pelas atividades humanas. A urbanização, enquanto processo de transformação do espaço natural em espaço construído, acarreta alterações significativas nos ecossistemas e intensifica problemas como enchentes, inundações e alagamentos, que se relacionam aos diferentes comportamentos da água no meio urbano. Tais fenômenos, somados à ocorrência de desastres naturais, evidenciam a vulnerabilidade das cidades e a necessidade de estratégias preventivas e adaptativas. Nesse cenário, a sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável surgem como princípios orientadores, buscando equilibrar crescimento econômico, bem-estar social e preservação ambiental, de modo a garantir qualidade de vida para as gerações atuais e futuras.

1.2.1 Meio ambiente

O meio ambiente é a junção no meio natural e o homem, no qual o homem faz parte integrante da natureza, os impactos causados pelo ser humano no ambiente em que vive deve ser refletido (Sivirino; Fischer; Linke, 2021).

1.2.2 Urbanização

Mudanças Climáticas, crise ambiental, ambiente e sustentabilidade são assuntos recorrentes na atualidade, também a necessidade do desenvolvimento de uma sociedade mais sustentável. A maior parte da nossa população vive no meio urbano, reflexo de várias oportunidades e opções de vida que se encontra lá. No entanto as cidades cresceram buscando com o objetivo de desenvolvimento econômico, este fator aumenta as taxas de pobreza, desigualdade social e impactos negativo ao meio ambiente (Sivirino; Fischer; Linke, 2021)

A construção civil segue um conceito de higiene do século XIX, em que a drenagem visa retirar a água dos centros urbanos da forma mais rápida e eficiente. No entanto, estas medidas não são definitivas nem sustentáveis devido ao crescimento urbano e consequente urbanização. Isso ocorre porque, à medida que o desenvolvimento urbano avança, a extensão será necessária e a escala precisará ser ajustada de tempos em tempos. Além disso, enquanto essa solução resolve o problema de alagamento em uma área, ela desloca o problema a jusante, exigindo redimensionamento da rede de drenagem e das dimensões da nova estrutura, resultando em custos elevados. São necessários trabalhos de drenagem cada vez mais extensos, mas a expansão do sistema às vezes não é viável devido aos altos custos e limitações de espaço. (Santos; Calvario; Souza, 2021).

1.2.3 Desastres naturais

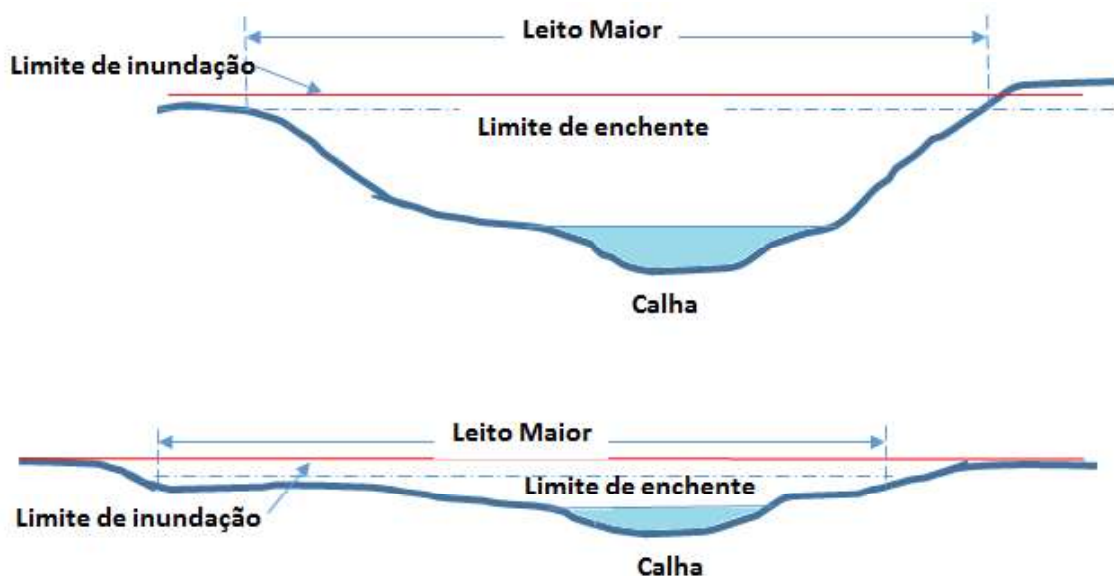
Alguns estudos mostram que os desastres naturais estão se tornando mais frequentes no Brasil e no mundo e podem estar ligados às mudanças climáticas. No entanto, algumas perspectivas teóricas sugerem que esses desastres, não são apenas questões meteorológicas e climáticas, como fatores sociais, pois quanto maior a pobreza e a densidade populacional da área afetada por um desastre, maior seu impacto e consequentes perdas. O Brasil é um país que é comum a ocorrência de desses fenômenos os eventos mais comuns incluem, entre outros, deslizamentos, vendavais, inundações, enxurradas, granizos, enchentes. Vários órgãos estão trabalhando com a defesa civil para fornecer a assistência necessária para lidar com a ocorrência desses desastres. Essas agências operam principalmente após a ocorrência de um desastre, mas também podem realizar algumas atividades para auxiliar no processo de prevenção. Essas medidas incluem, por exemplo, o mapeamento de áreas de risco e a instalação de sistemas de alerta na área de estudo onde esses perigos podem ocorrer. (Machado; Machado, 2019).

Mais do que a influência das forças naturais, os desastres são definidos pela vulnerabilidade dos sistemas humanos, ou seja, a suscetibilidade de pessoas ou coisas ao perigo. A maior ou menor intensidade do desastre dependerá, portanto, da vulnerabilidade da população exposta. Infelizmente, a população mais pobre é a mais exposta e vulnerável. As pressões da pobreza, o crescimento populacional nas grandes metrópoles e os direitos desiguais à terra estão forçando cada vez mais pessoas a se estabelecerem em áreas perigosas, como encostas íngremes e desprotegidas e ao longo das margens dos rios. Em caso de desastre, as consequências se acentuam, assumem dimensões catastróficas justamente para aqueles que têm menos acesso aos bens materiais básicos e, sobretudo, à autonomia emancipatória. (Licco; Dowell, 2015).

1.2.4 Enchentes, Inundações e Alagamentos

Licco e Dowell (2015) define uma inundação como um derramamento de água de um curso de água que atinge uma planície de inundação ou planície de inundação. A enchente é definida como o aumento do nível d'água em um canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, mas sem transbordar; as inundações seriam o acúmulo momentâneo de água em determinados locais devido a deficiências no sistema de drenagem e escoamento superficial, escoamento superficial concentrado com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas dominadas por processos fluviais.

Figura 1. Perfis de terrenos abrigando cursos d'água



Fonte: (Licco; Dowell, 2015)

1.2.4.1 Enchentes

Cada rio tem três áreas que pode ocupar naturalmente, entre as quais muda ao longo do tempo. Os dois primeiros são sua cama menor e sua cama maior. O leito menor representa o volume do rio durante uma estação seca ou estação seca. Um leito maior é alcançado durante a estação chuvosa, especialmente durante chuvas fortes e constantes. Durante uma enchente, a água do rio atinge sua altura máxima, mas não há transbordamento. No entanto, isso não significa que as enchentes não possam causar danos às pessoas: especialmente em cidades altamente urbanizadas, leitos de rios maiores podem ser ocupados por ruas, avenidas e casas (Morais, 2023).

1.2.4.2 Inundações

A terceira área que o rio ocupa naturalmente é a sua várzea, também chamada de planície de inundação. Isso acontece quando, devido às chuvas mais intensas, a água transborda até do leito maior que o rio ocupa. Em áreas planas com alta pluviosidade, a área correspondente à planície de inundação de um rio pode ser enorme. No caso do rio Amazonas, que, além de ser o maior do mundo, passa por uma região extremamente plana, a planície de inundação pode chegar a 200 quilômetros de largura. No caso de cidades como São Paulo, as áreas alagáveis não são tão grandes, mas outro problema pode surgir: a retificação de rios e

córregos faz com que o volume que ocuparia a área se limite a um canal menor, enquanto a planície é ocupada por casas e edifícios (Morais, 2023).

1.2.4.3 Alagamentos

Os Alagamentos, por outro lado, não estão relacionadas aos rios. Trata-se de um acúmulo momentâneo de água, provocado artificialmente nas ruas, cuja drenagem não consegue escoar o volume de água das chuvas intensas. As principais causas dos alagamentos são a alta impermeabilidade do solo, que impede a infiltração das águas pluviais; sistema de drenagem urbano ineficiente; e o descarte irregular de lixo nas ruas, o que pode atrapalhar esses sistemas de drenagem de água (Morais, 2023).

1.2.5 Sustentabilidade

A conceituação de sustentabilidade é dita como a mudanças nos processos tradicionais de produção e geração de bens e serviços para eles sejam menos impactantes ao meio ambiente. O conceito de sustentabilidade engloba diversas áreas e pode ser empregado em qualquer ambiente e trabalho. Não apenas reciclagem ou de reaproveitamento pluvial, mas planejamento, transformação das cidades e revolucionar como vivemos, pensamos, produzimos e consumimos (Sivirino; Fischer; Linke, 2021-~~7~~).

A sustentabilidade refere-se ao princípio de encontrar um equilíbrio entre a disponibilidade dos recursos naturais e a sua utilização pelas sociedades. Isso significa que visa equilibrar a proteção do meio ambiente e o que ele tem para oferecer em linha com a qualidade de vida dos habitantes. O termo sustentabilidade surge da necessidade de discutir a forma como a sociedade explora e utiliza os recursos naturais, pensa em alternativas para preservá-los e, assim, evita que esses recursos se esgotem na natureza. A definição de sustentabilidade está relacionada ao conceito de desenvolvimento sustentável (Souza, 2023).

1.2.6 Desenvolvimento Sustentável

Desenvolvimento sustentável significa desenvolvimento socioeconômico, político e cultural associado à preservação do meio ambiente. Portanto, as práticas capitalistas associadas ao consumo devem ser equilibradas com a sustentabilidade e devem visar o progresso social e econômico sem agredir a natureza. É a garantia de atender às necessidades

das gerações futuras por meio da preservação dos recursos naturais (Souza, 2023).

1.3 MUNICÍPIO DE IGARASSU-PE

O município de Igarassu, na Região Metropolitana do Recife, destaca-se pela sua relevância histórica desde o período colonial, além de apresentar características sociais, econômicas e urbanas que revelam desafios importantes em infraestrutura e qualidade de vida. Sua localização estratégica e integração com municípios vizinhos também reforçam sua importância no contexto regional e para a análise do Residencial Reserva da Pitanga I.

1.3.1 Aspectos históricos

Igarassu, localizada na Região Metropolitana do Recife, é reconhecida como uma das cidades mais antigas do Brasil, com fundação datada de 1535. Ao longo de sua história, o município desempenhou papel estratégico na ocupação territorial de Pernambuco, abrigando importantes atividades comerciais e religiosas. No entanto, seu processo de crescimento urbano ocorreu de forma desordenada, acompanhando o avanço das áreas metropolitanas e a expansão de assentamentos em zonas ambientalmente sensíveis. (Igarassu, 2023).

Essa expansão, muitas vezes não acompanhada de planejamento adequado e investimentos em infraestrutura, contribuiu para a precariedade dos sistemas de drenagem, esgotamento sanitário e abastecimento de água. Assim, a trajetória histórica de Igarassu revela não apenas sua relevância patrimonial e cultural, mas também a origem de diversos problemas socioambientais contemporâneos, que se manifestam de maneira mais crítica em áreas de habitação popular, como o Residencial Reserva da Pitanga I.

1.3.2 Características do Município

O município de Igarassu possui área territorial de aproximadamente 304,5 km² e uma população estimada em 115.196 habitantes (IBGE, 2022). Está inserido em uma região de forte adensamento urbano e industrial, integrando o Complexo Industrial Portuário de Suape e a Zona Norte Metropolitana do Recife, o que tem intensificado a pressão sobre os serviços públicos e os recursos naturais.

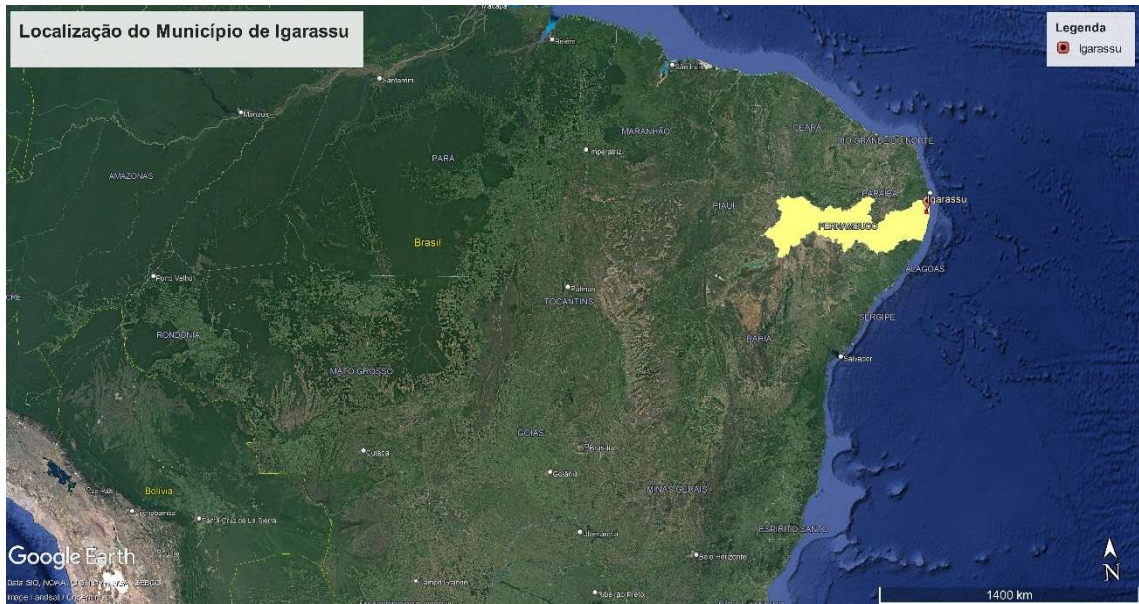
De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2023), apenas 19,9% dos domicílios de Igarassu estão conectados à rede de esgotamento sanitário, enquanto as perdas de água tratada durante a distribuição ultrapassam 40%. Além disso,

15,7% das vias urbanas contam com arborização e apenas 4,4% apresentam infraestrutura urbana completa incluindo calçadas, meio-fio, drenagem e pavimentação. Esses dados evidenciam a carência de investimentos em saneamento e urbanização, comprometendo a salubridade e o bem-estar da população. O clima tropical úmido e o relevo predominantemente plano favorecem a ocorrência de alagamentos em áreas de baixa cota e drenagem deficiente, o que agrava os impactos de sistemas ineficientes de esgotamento sanitário e de águas pluviais. Esses fatores se tornam ainda mais evidentes em empreendimentos habitacionais como o Residencial Reserva da Pitanga I, localizado em área de expansão urbana, onde a ausência de infraestrutura adequada e as ligações irregulares comprometem o funcionamento do sistema e afetam diretamente a qualidade ambiental e de vida dos moradores.

1.3.3 Mapas

Para compreender a inserção geográfica da área de estudo, é importante observar a localização do município no contexto nacional. A figura a seguir apresenta a posição de Igarassu-PE em relação ao território brasileiro, permitindo identificar sua proximidade com a capital do estado e com outros centros urbanos relevantes da Região Nordeste.

Figura 2. Localização do Município de Igarassu-PE em relação ao Brasil.

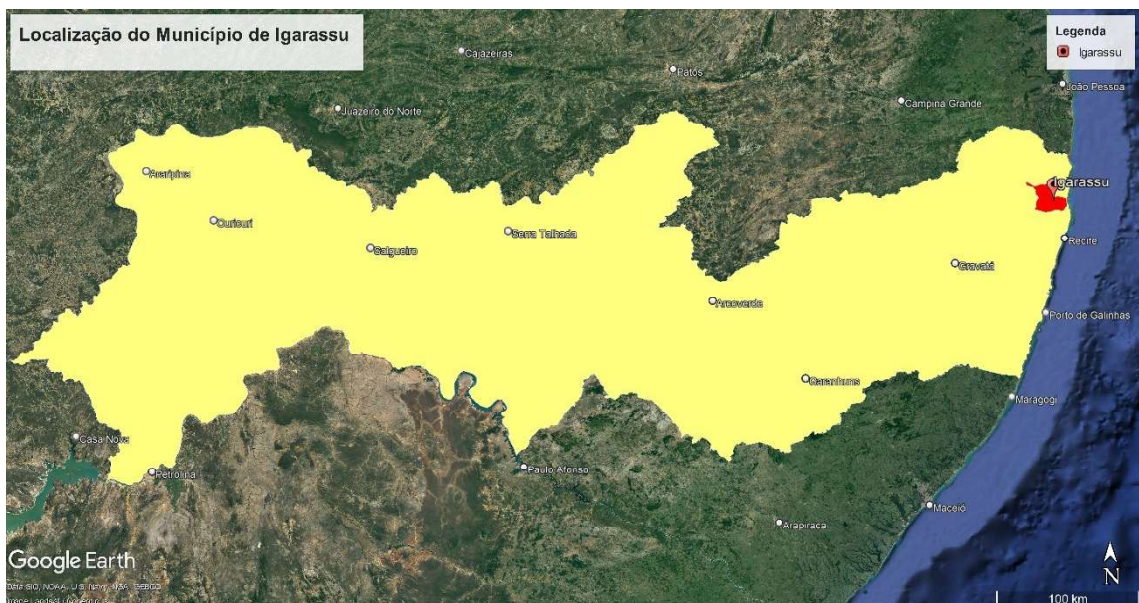


Fonte: Autor (Google Earth, 2023)

Nota-se que Igarassu está situado na porção Nordeste do Brasil, no litoral norte de Pernambuco, evidenciando sua posição estratégica tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, por estar próximo à Região Metropolitana do Recife.

Além do contexto nacional, faz-se necessário detalhar a posição de Igarassu em relação ao Estado de Pernambuco, o que auxilia na compreensão de sua integração territorial e regional. A figura a seguir ilustra essa localização.

Figura 3. Localização do Município de Igarassu em relação ao Estado de Pernambuco.



Fonte: Autor (Google Earth, 2023)

A representação evidencia que Igarassu encontra-se na Região Metropolitana do Recife, limitando-se com municípios vizinhos como Abreu e Lima, Paulista e Itapissuma, o que reforça sua relevância no contexto urbano e ambiental do estado.

1.4 RESIDENCIAL RESERVA DA PITANGA

O Residencial Reserva da Pitanga I, localizado no Loteamento Agamenon Magalhães em Igarassu-PE, é um conjunto habitacional que reúne características urbanas relevantes para este estudo. Sua localização estratégica, o projeto urbanístico com áreas destinadas a moradia, equipamentos comunitários e infraestrutura, bem como a situação atual de deficiência no saneamento, tornam o residencial um caso emblemático para a análise de problemas ambientais e a proposição de soluções sustentáveis.

1.4.1 Localização

Para situar espacialmente a área de estudo dentro do município de Igarassu, apresenta-se a delimitação do Residencial Reserva da Pitanga I. Essa representação cartográfica possibilita a visualização dos limites do conjunto habitacional e sua inserção no Loteamento Agamenon Magalhães, evidenciando a organização espacial do empreendimento.

Figura 4. Limites do Residencial Pitanga I



Fonte: Autor (Google Earth, 2025)

A imagem evidencia a área ocupada pelo residencial e sua relação com o entorno imediato, destacando sua posição estratégica à margem da Estrada Comercial da Pitanga. A representação permite compreender os aspectos territoriais do empreendimento e fornece subsídios para análises posteriores relacionadas ao saneamento, à drenagem urbana e à infraestrutura local.

1.4.2 Projeto do Residencial Reserva do Pitanga

O Loteamento foi projetado em um terreno com área total de 118.630,00 m², distribuído em 19 quadras e 463 lotes. A área destinada aos lotes corresponde a 66.436,98 m², o que representa 56% do total. Foram reservados 13.986,24 m² (11,79%) para área verde. O sistema viário, composto por ruas projetadas e calçadas, ocupa uma área de 25.857,84 m² (21,80%). A área de domínio da CELPE soma 5.401,05 m² (4,55%), destinada à infraestrutura elétrica. Além disso, o loteamento conta com dois espaços para equipamentos comunitários, totalizando 5.972,34 m² (5,03%), sendo 4.026,43 m² para o Equipamento Comunitário 01 e 1.945,91 m² para o Equipamento Comunitário 02. Para o abastecimento de água, foi reservada uma área de 100,00 m² (0,09%) para instalação de reservatório. Também foi prevista uma área de 875,55 m² (0,74%) destinada ao Sistema Final de Esgotamento Sanitário (SFES),. Tabela abaixo:

Tabela 1. Áreas do loteamento

Tabela de áreas - Loteamento				
nº de quadras			19	
nº de lotes			463	
Área do Terrenos	118.630,00	m ²	100,00%	
Área de Lotes	66.436,98	m ²	56,00%	
Área Verde	13.986,24	m ²	11,79%	
Área do Sistema Viário (Ruas Projetadas + Calçadas)	25.857,84	m ²	21,80%	
Área de Domínio da Celpe	5.401,05	m ²	4,55%	
Área Equipamento Comunitário 01	4.026,43	5.972,34	m ²	5,03%
Área Equipamento Comunitário 02	1.945,91		m ²	
Área destinada a reservatório d'água	100,00	m ²	0,09%	
Área para SFES (Sistema Final de Esgotamento Sanitário)	875,55	m ²	0,74%	

Fonte: Adaptada pelo Autor (Projeto C. M. Costa Mendonça empreendimentos imobiliários Ltda, 2013)

1.4.3 Situação Atual

Atualmente, a população do Residencial Reserva da Pitanga I enfrenta sérios problemas de saneamento. A rede de esgoto está sobrecarregada, recebendo não apenas os efluentes domésticos, mas também grandes volumes de água pluvial, provenientes de ligações e adaptações irregulares. Com a chuva, areia e resíduos sólidos (lixo) são levados para dentro do sistema de esgoto, agravando ainda mais a situação. Paralelamente, há vários pontos de vazamento de água tratada pela COMPESA, que escoam pelas ruas e, eventualmente, se infiltram no sistema de esgoto. Como resultado, as ruas permanecem constantemente alagadas com água contaminada, gerando mau cheiro, favorecendo a proliferação de doenças e causando inúmeros transtornos à população residente.

1.5 NORMAS E LEGISLAÇÕES

A análise da legislação ambiental é fundamental para compreender o embasamento jurídico que orienta políticas públicas e práticas voltadas à sustentabilidade. No Brasil, normas como a Lei nº 6.938/1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente, e a Lei nº 9.985/2000, que cria o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), representam marcos regulatórios que buscam conciliar desenvolvimento socioeconômico e preservação ambiental. Esses instrumentos legais fornecem diretrizes essenciais para a gestão dos recursos naturais, a proteção da biodiversidade e a promoção de soluções sustentáveis, alinhando-se aos objetivos deste estudo.

1.5.1 Lei nº 6938/1981 - Política Nacional do Meio Ambiente

A Lei nº 6.938/1981, conhecida como Política Nacional do Meio Ambiente, constitui um marco legal fundamental para a proteção e preservação ambiental no Brasil, ao estabelecer princípios, objetivos e diretrizes voltados à promoção do desenvolvimento sustentável. Essa legislação define o meio ambiente como o conjunto de condições físicas, químicas e biológicas que permite, abriga e regula a vida em todas as suas formas, ressaltando a necessidade de equilíbrio entre crescimento socioeconômico e conservação dos ecossistemas. Entre seus pontos centrais, destacam-se a ação governamental voltada à proteção ambiental, a racionalização do uso dos recursos naturais, a criação do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) para execução, fiscalização e licenciamento ambiental, além da instituição de

instrumentos como o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), essenciais para avaliação prévia de grandes projetos. A lei também define responsabilidades civis e penais por danos ambientais e reforça a participação social na execução da política ambiental, mediante órgãos colegiados e audiências públicas. Dessa forma, a Lei nº 6.938/1981 não apenas estabelece bases legais para o manejo responsável dos recursos naturais, como também promove a sustentabilidade e assegura a preservação dos ecossistemas para as gerações atuais e futuras.

1.5.2 Lei nº 9985/2000 - Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC)

A Lei nº 9.985/2000, conhecida como Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), estabelece normas e critérios para a criação, gestão e implementação de unidades de conservação no Brasil, visando à preservação da biodiversidade e dos ecossistemas naturais, ao mesmo tempo em que possibilita o uso sustentável dos recursos naturais. A legislação define duas classes principais de unidades de conservação: as Unidades de Proteção Integral, que têm como objetivo a preservação da natureza e permitem apenas usos indiretos como pesquisa, educação ambiental e turismo ecológico; e as Unidades de Uso Sustentável, que admitem o uso direto dos recursos de forma sustentável, conciliando conservação ambiental e desenvolvimento socioeconômico. A lei também estabelece critérios e procedimentos para criação, ampliação ou redução dessas áreas, incluindo a participação social e estudos técnicos, além de exigir a elaboração de planos de manejo que orientem a gestão e utilização sustentável das unidades. Ademais, prioriza a formação de corredores ecológicos que conectem as áreas protegidas e garante a integração das populações tradicionais e comunidades locais, respeitando seus direitos e incentivando práticas sustentáveis. Dessa forma, a Lei nº 9.985/2000 constitui instrumento essencial para a preservação da diversidade biológica e a proteção dos ecossistemas brasileiros, promovendo equilíbrio entre conservação ambiental e uso racional dos recursos naturais.

1.5.3 Normas Técnicas

A elaboração e implementação de sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem urbana devem seguir diretrizes técnicas estabelecidas por normas brasileiras e regulamentações federais, as quais garantem segurança operacional, eficiência hidráulica e qualidade sanitária. No que se refere ao esgotamento sanitário, a ABNT NBR

9649 define os procedimentos para o projeto de redes coletoras, estabelecendo critérios para dimensionamento, declividade, ventilação e condicionantes de operação. No abastecimento de água, a ABNT NBR 12218:2017 regulamenta o projeto das redes de distribuição, considerando demanda populacional, pressão mínima, perdas e materiais adequados para implantação.

Além disso, a qualidade da água destinada ao consumo humano é regulamentada em âmbito nacional pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que estabelece padrões físico-químicos e microbiológicos, além de procedimentos de controle e vigilância sanitária. Essas normas e diretrizes são essenciais para fundamentar as análises e proposições deste estudo, garantindo que as soluções apresentadas, sejam elas convencionais ou baseadas na natureza, atendam aos requisitos técnicos, sanitários e ambientais vigentes. Dessa forma, sua incorporação orienta o processo de tomada de decisão e possibilita a construção de alternativas mais seguras, eficientes e sustentáveis para o Residencial Reserva da Pitanga I.

1.5.4 Marco Legal do Saneamento Básico

A Lei nº 11.445/2007, conhecida como Marco Legal do Saneamento Básico, estabelece os princípios fundamentais para a prestação dos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana no Brasil. Entre seus pilares, destacam-se a universalização do acesso, o controle social, a segurança, a eficiência e a sustentabilidade econômico-financeira dos sistemas. Essa lei define ainda a necessidade de planejamento integrado, por meio dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB), e a prestação dos serviços de forma adequada à saúde pública e à proteção ambiental.

Em 2020, o marco legal foi atualizado pela Lei nº 14.026/2020, que reforça a diretriz de universalizar o acesso ao saneamento até 2033, estabelecendo a meta de 99% da população atendida com água potável e 90% com coleta e tratamento de esgoto. A atualização também introduz mecanismos de regulação tarifária, fiscalização e regionalização da prestação dos serviços, além de ampliar as responsabilidades das concessionárias quanto ao desempenho operacional e à redução de perdas de água.

No contexto de Igarassu, onde a cobertura de esgotamento sanitário permanece abaixo da média estadual e nacional, e onde há perdas significativas de água tratada e sobrecarga no sistema coletor, o atendimento às diretrizes do Marco Legal torna-se essencial. Assim, a adoção de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) integra-se diretamente aos objetivos de universalização, eficiência, sustentabilidade ambiental e redução de custos operacionais,

alinhando o projeto às políticas públicas vigentes e às metas estabelecidas nacionalmente.

1.6 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

No desenvolvimento urbano do modelo atual, percebe-se que se modifica a paisagem natural e aumento das poluições, ar, visual e sonora, além de contaminação do solo e água. As grandes cidades são as que concentram maior mudança das paisagens naturais, poluição e desastres naturais. Na edificação de suas construções é feito a impermeabilização do solo, desvio de cursos d'água, desmatamento das florestas, grandes emissões de dióxido de carbono (CO₂), inundações, enchentes e desmoronamentos alterando a diversidade biológica nativa e causando o desequilíbrio dos ciclos biogeoquímicos (Sivirino; Fischer; Linke, 2021).

As técnicas convencionais de drenagem urbana são predominantemente utilizadas na maioria das cidades, que consistem em captar e desviar as águas pluviais que não são mais escoadas naturalmente de montante para jusante, através de galerias e tubulações até um receptor, que pode ser um córrego, rio ou mar. No entanto, essas soluções são utilizadas há muito tempo e foram criadas para serem utilizadas em cenários muito diferentes dos encontrados nas cidades (Santos; Calvario; Souza, 2021).

Ainda segundo Santos; Calvario; Souza, 2021 algumas técnicas de drenagem compensatória merecem destaque, como pavimentos permeáveis, jardins de infiltração, trincheiras de infiltração e poços de infiltração. Ambos os sistemas fazem parte de uma resposta sustentada à demanda por sistemas de drenagem eficientes dentro de uma abordagem ambientalmente consciente e estruturas de planejamento urbano multidisciplinar adequadas que considerem o gerenciamento de águas pluviais urbanas, diminuição da vazão.

A construção civil, por escassez de recursos naturais, vem buscando reestruturar sua atuação no mercado, buscando novos conceitos e materiais adequados a sustentabilidade, novas técnicas de construção, são alternativas para minimizar o impacto no meio, tanto no processo de construção quanto na fase de uso. O setor da construção civil, no intuito de desenvolver um ambiente urbano mais sustentável, deve, por meio do modelo de construção, planejar modalidades que tragam benefícios ambientais referentes a minimização de consumo de recursos naturais, como melhorar a qualidade da biodiversidade (Sivirino; Fischer; Linke, 2021).

1.6.1 Cidade Sustentável

No dia a dia percebemos a importância da implementação de uma cidade sustentável. Nos centros urbanos, que concentram mais da metade da população mundial, gasta cada vez mais recursos naturais para suprir a necessidade de um modelo econômico ultrapassado, os efeitos colaterais são o aumento da temperatura global, destruição das geleiras e florestas e a extinção de várias espécies da fauna e da flora (Sivirino; Fischer; Linke, 2021.)

Assim, as cidades sofrem com inundações causadas pela impermeabilização do solo, reduzida infiltração e falta de sistemas de drenagem utilizados. Em alguns locais não existe rede de drenagem, nem mesmo uma rede de drenagem tradicional, apesar das áreas impermeáveis de terrenos e estradas. Outras localidades com redes de drenagem muitas vezes não conseguem mais suportar a vazão necessária porque foram redimensionadas quando a vazão era baixa. Falhas em galerias e encanamentos por entupimento devido à coleta e descarte inadequado de resíduos também são fatores importantes. (Santos; Calvario; Souza, 2021)

Mesmo garantido por lei, segundo o Estatuto das cidades, muitas cidades nem pensam em desenvolver a sustentabilidade. Valores como infraestrutura adequada, desenvolvimento econômico de forma limpa, valorização da natureza local e buscar meios de crescimento sem destruí-la e melhor utilizar seus espaços públicos, são características não adotadas. Levar a cidade do “cinza para o verde” é o objetivo do desenvolvimento de um meio urbano sustentável, para construção de uma “cidade inteligente” devem pensados as técnicas e matérias que serão aplicados nos projetos e obras de urbanização, procurando sempre o bem-estar das pessoas (Sivirino; Fischer; Linke, 2021).

1.6.1.1 Plano Diretor de Drenagem

A urbanização em seu processo de estruturação produz impactos significativos na infraestrutura dos recursos hídricos. A drenagem urbana é uma das mais afetadas na cidade, aumento das frequências e magnitudes das inundações e alagamentos, são consequência da ocupação desordenada e de maneira irregular de áreas ribeirinhas das bacias e sub-bacias de drenagem. No intuito de controlar e reduzir estes fenômenos é preciso desenvolver um conjunto de ações de forma ordenada na busca do equilíbrio do ambiente urbano com o meio natural. O Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) integra os planos de esgotamento sanitário, resíduo sólido e o de desenvolvimento urbano, promovendo um crescimento urbano

sustentável (Cardoso, 2015).

Ainda segundo (Cardoso, 2015) um PDDU deve planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, visando a atual e futura ocupação urbana, compatibilizando o desenvolvimento e a infraestrutura evitando prejuízos econômicos e ambientais, controlar a ocupação de áreas de risco de inundação, convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco. A maioria dos problemas dos países desenvolvidos, como abastecimento de água, tratamento de esgoto e controle quantitativo da drenagem urbana, foram resolvidos. No que diz respeito à drenagem urbana, o controle por meio de medidas não estruturais é priorizado, obrigando as pessoas a controlar os impactos da urbanização na fonte. O principal problema nos países desenvolvidos é o controle da poluição difusa das águas pluviais.

1.6.2 Influência Da Urbanização na Drenagem Pluvial

Com o processo de urbanização, a ocupação dos solos é resultado de ações antrópicas, que tem como objetivo desenvolver ambientes que propiciem o desenvolvimento de suas atividades, com isso grandes áreas que antes eram permeáveis se tornam impermeáveis. Cobertura de edificações, estacionamentos, ruas pavimentadas e calçamento são exemplos de processos de urbanização, muitas vezes não planejadas, que dificultam a infiltração das águas de precipitação pluvial no solo (Santos; Calvario; Souza, 2021).

Nas soluções convencionalmente utilizadas para sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas, o escoamento superficial é direcionado a jusante através de um sistema de pontos de captação e redes de tubulações e bueiros. No entanto, com a ocorrência de chuvas intensas aliadas aos consequentes fatores de urbanização, os sistemas de drenagem não conseguem escoar grandes volumes de água, seja pelas condições da rede, uso por período próximo ou superior à vida útil dos seus componentes, ou operação nas diversas situações para as quais foi projetado, considerando contribuir para o sistema maior do que seu projeto e continua a aumentar à medida que mais solos são impermeabilizados. Com isso, ocorrem enchentes e inundações urbanas, resultando em grandes prejuízos ambientais, sociais e econômicos (Santos; Calvario; Souza, 2021).

1.7 ESTUDOS DE CASO COMPARATIVOS DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA

A adoção de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) tem avançado em diferentes

idades brasileiras e latino-americanas como alternativa sustentável aos sistemas tradicionais de drenagem urbana e esgotamento sanitário. Tais experiências demonstram que a integração entre infraestrutura verde, recuperação de ecossistemas e participação comunitária pode reduzir riscos de alagamentos, restaurar funções ambientais e promover qualidade de vida (CURITIBA, 2021; RECIFE, 2020; BOGOTÁ, 2022).

Em Curitiba, desde a década de 1970, parques lineares foram implementados ao longo de rios urbanos com a função de controlar cheias, ampliar áreas permeáveis e reduzir o escoamento superficial. Essa estratégia substituiu obras convencionais de canalização por áreas verdes inundáveis, garantindo eficiência hidráulica e redução de custos de manutenção pública (CURITIBA, 2021).

No Recife, iniciativas de jardins de chuva, pavimentos permeáveis e recuperação de margens de canais têm sido aplicadas em bairros suscetíveis a alagamentos, especialmente na Bacia do Pina. Essas ações, integradas ao Programa Capibaribe Melhor, demonstram a possibilidade de mitigar alagamentos urbanos e promover regulação hídrica em áreas densamente ocupadas (RECIFE, 2020).

Bogotá adotou a criação de corredores ecológicos conectados a wetlands naturais, como na área de La Conejera, promovendo controle de cheias, manutenção da biodiversidade e uso público da paisagem urbana. Essa estratégia destaca a importância da articulação entre planejamento territorial, gestão hídrica e resiliência climática (BOGOTÁ, 2022).

Essas experiências reforçam a viabilidade técnica e ambiental das SbN em contextos urbanos complexos e dialogam diretamente com a proposta deste estudo, que visa mitigar problemas de drenagem, sobrecarga de esgoto e degradação ambiental no Residencial Reserva da Pitanga I.

1.8 SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA

As Soluções baseadas na Natureza (SbN) são abordagens e ações que se inspiram e contam com o apoio da natureza para trazer benefícios ambientais, sociais e econômicos de forma simultânea. Essas soluções são projetadas para enfrentar diversos desafios interligados, como as mudanças climáticas, a disponibilidade de recursos naturais, a preservação da qualidade ambiental e questões socioeconômicas em escalas variadas. Ao implementar as SbN, busca-se utilizar os princípios da natureza, como sua capacidade de regeneração, adaptação e equilíbrio, para enfrentar as problemáticas atuais. Isso envolve reconhecer o valor dos ecossistemas e sua importância para a vida humana, bem como integrá-los às atividades

humanas de maneira sustentável (CGEE, 2022).

Essas soluções podem abranger uma ampla gama de estratégias, como a restauração de ecossistemas naturais, a criação de espaços verdes urbanos, o uso sustentável de recursos naturais, a gestão inteligente da água, a proteção de áreas de recarga de aquíferos, o estabelecimento de corredores ecológicos, entre outras ações (CGEE, 2022).

As (SbN) tem dentro dos seus objetivos solucionar problemas como o manejo das águas no meio urbano, através da natureza e seus processos, como o do ciclo d'água. Substituindo sistemas humanos poluidores ou ambientalmente agressivo por práticas ecológicas focando em ecossistemas saudáveis. Além de arborização urbana, manutenção de planícies aluviais e traçados fluviais originais, sistema de áreas verdes vinculados a paisagens com água; infraestruturas verde e azul e paredes e telhados verdes. (Devecchi *et al.*, 2020).

Há perspectivas de adoção dessas soluções em escalas intermunicipais, pensamentos provocados pela pandemia da COVID-19. Esta pandemia chamou a atenção para questionamentos antigos de soluções urbanas que realização intervenções drásticas na natureza. A criação de espaços com a função de incorporar o ciclo d'água no território urbano é essencial para transição dos modelos tradicionais de construção ao sistema de SBN. Além de contribuir com soluções para a crescente poluição e de drenagem nos centros urbanos. Quando parques e áreas verdes são criados em áreas ribeirinhas ou associados a lagos, conferem à área o mesmo benefício de um piscinão, mas sem causar os diversos problemas da estrutura construída (Devecchi *et al.*, 2020).

1.8.1 Lagoas de Detenção e Infiltração

A construção de lagoas ou reservatórios para reter e infiltrar águas pluviais é relativamente antiga. Nos Estados Unidos, desde a década de 1970, esse sistema tem sido amplamente utilizada para prevenir enchentes. As lagoas de detenção e de infiltração são estruturas abertas que fazem parte do sistema de macrodrenagem de águas pluviais da cidade. O objetivo de uma lagoa ou reservatório é minimizar a capacidade natural de armazenamento da bacia hidrográfica e reduzir seu impacto hidrológico. As lagoas de detenção e infiltração podem ser usadas para controle de fluxo máximo (por amortecimento da vazão de fluxos de pico a jusante), controle de volume, controle de materiais sólidos de erosão e controle de qualidade da água (Cardoso, 2015).

1.8.1.1 Recarga de Aquíferos

A água subterrânea se move em uma direção da zona de alimentação para a zona de descarga. O reabastecimento de um aquífero pode ser natural, exemplos da precipitação e loas de captação infiltração, ou antropogênico, como poços ou sumidouros. Os locais de descarga também podem ser divididos em naturais e artificiais. O mar é um bom exemplo de local de liberação natural, e os poços podem ser classificados como locais de descarga artificial (Cardoso, 2015).

1.8.1.2 Infiltração

Devido à complexidade de caracterizar o processo de infiltração, os valores níveis aceitáveis de infiltração no balanço hídrico dos reservatórios e a infiltração de águas pluviais é considerada permanente e resulta de testes de permeabilidade realizados “in loco” na área reservada à sua construção. Portanto, o processo de penetração precisa ser melhor compreendido. É possível desenvolvendo um modelo matemático unidimensional capaz de simular o processo de escoamento em um meio não saturado (Cardoso, 2015).

1.8.2 Telhado Verde

O sistema construtivo conhecido como "telhado verde" é caracterizado por ter uma camada de vegetação instalada sobre telhados, coberturas ou lajes de edificações. A origem do telhado verde moderno remonta ao início do século XX, na Alemanha, onde a vegetação foi direcionada nos telhados com o objetivo de reduzir os efeitos negativos da radiação solar e proteger as coberturas impermeabilizadas com piche. Atualmente, esse método é amplamente utilizado para proporcionar conforto térmico nos edifícios e transformar superfícies antes impermeáveis em áreas capazes de reter, filtrar e reutilizar águas pluviais, tornando-se um sistema mais sustentável. Além disso, tornou-se uma medida cada vez mais popular para aumentar a presença de vegetação em áreas urbanas densamente povoadas (CGEE, 2022).

1.8.3 Jardim de Chuva

O jardim de chuva é um tipo de jardim com o propósito de auxiliar na captação das águas pluviais, criando espaços de armazenamento para o escoamento superficial, facilitando

a infiltração no solo e contribuindo para a recarga do lençol freático (CGEE, 2022).

Essa solução baseada na natureza é ideal para áreas urbanas, permitindo que a água de superfícies impermeáveis como telhados, pátios, gramados, calçadas e ruas seja absorvida e filtrada pela vegetação e solo antes de escoar para a rede de drenagem (CGEE, 2022).

A técnica dos jardins de chuva, também conhecida como sistema de biorretenção, é uma solução sustentável que utiliza a ação conjunta de plantas e microrganismos para promover a remoção de poluentes presentes nas águas pluviais, além de auxiliar na infiltração e retenção do volume precipitado. Essas estruturas consistem, geralmente, em depressões rasas no solo, onde a água do escoamento superficial se acumula temporariamente, sendo posteriormente infiltrada no solo, promovendo a recarga de aquíferos ou sendo direcionada a sistemas de microdrenagem. Sua eficácia está associada a processos como filtração, adsorção, troca iônica, decomposição e volatilização, sendo indicadas para áreas urbanas com características específicas, como calçadas largas, pátios e ruas com pouco tráfego. Além de contribuir para a mitigação de inundações e melhoria da qualidade da água, os jardins de chuva também promovem benefícios paisagísticos, embora apresentem limitações quanto à área de contribuição e exigências quanto ao espaço disponível (Yazaki et al., 2013).

1.8.4 Alagado Construído

Os alagados construídos são estruturas projetadas e instaladas na paisagem com a função principal de tratar água poluída, utilizando processos físicos, químicos e biológicos. Nessa SbN, a vegetação desempenha um papel crucial como reator natural na remoção de poluentes e interage com o meio ambiente, o suporte, a água, os microrganismos e os contaminantes (CGEE, 2022).

Esses sistemas, também conhecidos como *wetlands* construídos ou jardins filtrantes, podem ser empregados para o tratamento de águas de diversas fontes, incluindo efluentes domésticos e industriais, drenagem ácida de mineração, águas subterrâneas contaminadas e águas pluviais nas áreas urbanas. Além de contribuírem para a melhoria da qualidade da água, os alagados construídos proporcionam outros benefícios ambientais nas cidades, como a redução do risco de inundação, a criação de habitats para a vida selvagem e o combate aos efeitos das ilhas de calor urbanas. Além disso, eles valorizam os parques e espaços abertos, tornando-os mais atraentes para visitação e lazer, e assim, proporcionando melhor qualidade de vida, saúde e bem-estar para a comunidade local (CGEE, 2022).

1.8.5 Praça Úmida

As praças úmidas são espaços com solo permeável e com predominância de vegetação, o que contribui para a infiltração e o escoamento mais lento das águas das chuvas. Além disso, elas atuam como verdadeiros oásis no ambiente urbano e têm efeitos positivos no clima, na recreação e na biodiversidade das áreas residenciais próximas. Essas praças proporcionam aos moradores locais a oportunidade de desfrutar de áreas naturais e apreciar paisagens verdes, fauna e flora sem a necessidade de percorrer grandes distâncias. Como resultado, as praças tornam-se importantes espaços onde a população urbana pode desenvolver sua relação com a natureza, desempenhando um papel crucial na conscientização ambiental (CGEE, 2022).

1.8.6 Parque Linear Multifuncional

Segundo CGEE (2022), os parques lineares multifuncionais abrigam diversas funções além do interesse ecológico e paisagístico, como a gestão das águas, a proteção da biodiversidade, a recreação, a cultura, a educação, o turismo e o desenvolvimento econômico. Devido à sua localização, esses parques proporcionam aos moradores de áreas urbanas a oportunidade de desfrutar de áreas naturais com paisagens verdes, fauna e flora sem precisar sair dos centros urbanos. Além disso, podem ter temas específicos para enriquecer sua essência, destacando fatos históricos, homenageando etnias ou personalidades, por exemplo. Os parques lineares também desempenham um papel importante na conexão da população urbana com a natureza, servindo como ferramentas cruciais para a conscientização ambiental.

É válido ressaltar que os parques urbanos, ou parte deles, podem ser designados como Unidades de Conservação (UC), seguindo regras específicas estabelecidas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) – Lei nº 9.985/2000. Essa designação vincula seu uso a ações destinadas à preservação dos ecossistemas naturais por meio do desenvolvimento de atividades recreativas, educativas e de interpretação ambiental.

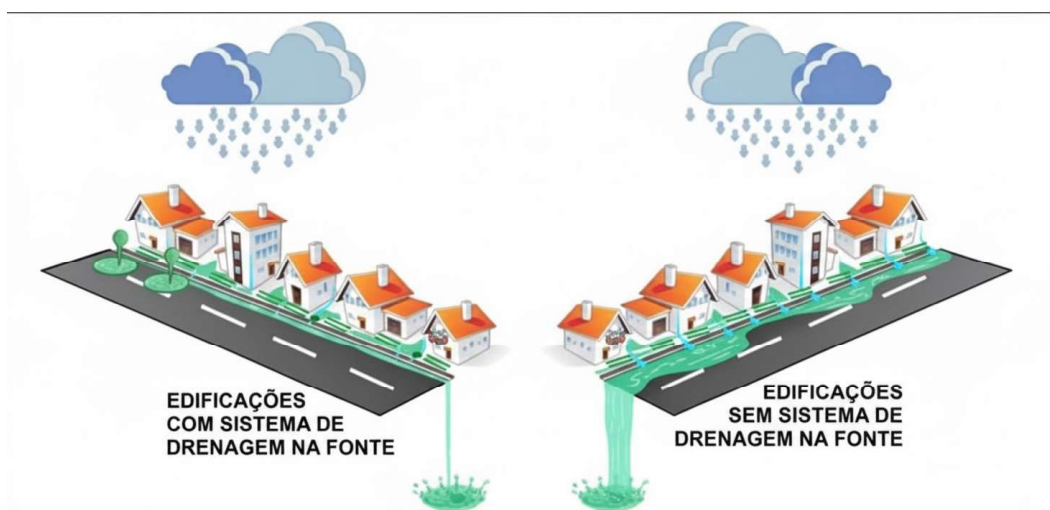
1.8.7 Técnicas compensatórias de drenagem

Os sistemas de drenagem compensatória são uma solução sustentável para o gerenciamento de águas pluviais. Emprega tecnologias que visam reduzir o escoamento superficial e o escoamento para os sistemas de drenagem tradicionais, reduzindo assim os

impactos ambientais, sociais e econômicos. As técnicas de equilíbrio na drenagem urbana são conhecidas por diferentes termos em diferentes países, como controle na fonte, melhores práticas de gestão, desenvolvimento de baixo impacto, infraestruturas verdes, sistema de drenagem sustentáveis, projeto de controle de águas pluviais. Tais sistemas ainda são chamados de sistemas auxiliares de drenagem complementares ou sistemas de drenagem compensatória. Esses sistemas visam compensar a perda da capacidade de drenagem natural devido à urbanização, e a instalação de sistemas de grande porte que não atendam às necessidades propostas pelo ritmo de crescimento e expansão cidades (Santos; Calvario; Souza, 2021).

As técnicas compensatórias evitam o movimento rápido de águas pluviais em corpos d'água, utilizando armazenamento temporário e infiltração, reduzindo assim a quantidade de água enviada para sistemas convencionais, reduzindo o escoamento superficial e destina-se a aumentar a capacidade dos sistemas temporários que após reter água infiltra-se no solo. (Santos; Calvario; Souza, 2021) A figura a seguir mostra a comparação de uma edificação com sistema de drenagem de nascentes e uma edificação que utiliza apenas sistema convencional. Como a água da chuva estagnada leva tempo para drenar naturalmente, os sistemas tradicionais não podem absorver o escoamento, resultando em picos de escoamento.

Figura 5. Comparativo entre sistemas de drenagem



FONTE: Adaptada de Santos; Calvario; Souza, 2021

1.9 VANTAGENS DAS SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA FRENTE AOS MÉTODOS TRADICIONAIS DE INFRAESTRUTURA

A gestão do saneamento urbano historicamente se estruturou sobre sistemas convencionais de infraestrutura cinza, como redes tubulares enterradas, canais de concreto e estações mecanizadas de bombeamento e tratamento. Esse modelo, embora amplamente difundido, apresenta limitações importantes, especialmente em áreas urbanas de rápida expansão e baixa capacidade de manutenção pública. Entre os principais problemas associados está a rigidez operacional, a transferência do pico de escoamento para áreas a jusante e os elevados custos de operação e manutenção, que tendem a se acumular ao longo do ciclo de vida da infraestrutura (WORLD BANK, 2021).

A adoção de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) tem se destacado como alternativa às infraestruturas hídricas e urbanas convencionais, por apresentarem maior eficiência, resiliência e viabilidade econômica em diferentes contextos de aplicação. Conforme Corgo et al. (2024), essas soluções configuram-se como instrumentos estratégicos capazes de enfrentar simultaneamente desafios ambientais, sociais e econômicos, proporcionando benefícios como restauração da biodiversidade, regulação hídrica e mitigação das mudanças climáticas, com custos inferiores aos dos sistemas tradicionais. Tal vantagem decorre da multifuncionalidade dos ecossistemas naturais, que oferecem serviços integrados sem demandar grandes intervenções tecnológicas ou elevados gastos de manutenção.

Estudos recentes reforçam a eficácia das SbN para a redução de riscos associados a eventos hidrológicos extremos. Marino et al. (2025), ao avaliarem a aplicação de barreiras vegetadas e zonas úmidas costeiras como soluções para contenção de inundações, demonstraram que tais estratégias não apenas superaram os métodos tradicionais em termos de performance técnica, como também apresentaram melhor capacidade adaptativa diante de cenários climáticos futuros. O estudo ainda evidenciou que a adoção de SbN pode reduzir significativamente os custos de manutenção a longo prazo, além de gerar benefícios colaterais como lazer, paisagismo e valorização do solo urbano.

A revisão sistemática de Debele et al. (2023) analisou mais de 500 casos de aplicação de SbN em diferentes contextos globais, indicando que, em 70% dos casos, os sistemas naturais substituíram ou complementaram com sucesso as infraestruturas cinzas, aumentando a resiliência urbana e melhorando a qualidade de vida da população. A pesquisa também destacou a importância da flexibilidade e da adaptabilidade das SbN, características frequentemente ausentes em sistemas tradicionais, que geralmente exigem alto investimento inicial e apresentam baixa eficiência diante de mudanças nas condições ambientais.

Balzan (2021) reforça que os serviços ecossistêmicos devem ser considerados como parte do processo de planejamento urbano e ambiental, uma vez que as SbN oferecem

externalidades positivas muitas vezes ignoradas pelas abordagens convencionais. A valorização econômica desses serviços tem revelado que os custos evitados com saúde pública, enchentes e degradação ambiental superam significativamente os investimentos em infraestrutura verde.

Além disso, Cohen-Shacham et al. (2019) argumentam que, para que as SbN sejam efetivamente adotadas em substituição aos métodos tradicionais, é necessário que haja uma integração entre políticas públicas, ciência e participação comunitária. A legitimidade social das SbN, aliada ao seu potencial de promover justiça ambiental e inclusão social, constitui um diferencial que vai além da eficiência técnica ou financeira.

Fu (2023) salienta que o sucesso das SbN está diretamente relacionado ao seu potencial de promover sinergias intersetoriais, articulando soluções para questões ambientais, urbanas e sociais. Em sua revisão abrangente, o autor identificou que os projetos mais eficazes são aqueles que integram educação ambiental, gestão participativa e restauração ecológica, resultando em impactos duradouros e sustentáveis.

Do ponto de vista econômico, a infraestrutura cinza pode apresentar menores custos iniciais (CAPEX), porém tende a demandar altos custos de operação e manutenção (OPEX), especialmente em sistemas sujeitos a entupimentos e degradação recorrente. Já as SbN, embora possam exigir investimentos iniciais equivalentes ou ligeiramente superiores, apresentam menor custo de ciclo de vida, especialmente quando são considerados os co-benefícios ecossistêmicos, como melhoria microclimática, saúde urbana e valorização imobiliária (WRI BRASIL, 2020).

Nesse sentido, autores e instituições convergem para a adoção de modelos híbridos, que combinem infraestrutura cinza necessária à segurança hidráulica com SbN capazes de aumentar resiliência, reduzir custos ao longo do tempo e promover qualidade socioambiental. Para o Residencial Reserva da Pitanga I, essa abordagem híbrida se mostra estratégica diante das limitações existentes da rede coletora, da fragilidade do solo e da necessidade de reduzir a sobrecarga da drenagem urbana.

1.10 PAVIMENTAÇÃO COM BLOCOS INTERTRAVADOS: ASPECTOS TÉCNICOS E VANTAGENS AMBIENTAIS

A pavimentação com blocos intertravados apresenta-se como uma alternativa sustentável aos métodos tradicionais de revestimento, sobretudo em áreas urbanas que enfrentam problemas de drenagem, ilhas de calor e desgaste precoce do pavimento. De acordo

com Ghisi, Belotto e Thives (2020), esse tipo de solução não apenas exerce função estrutural, mas também atua como sistema de filtração primária das águas pluviais, alcançando taxas de infiltração superiores a 80%. Os autores destacam ainda que a adoção de blocos permeáveis possibilita o reaproveitamento da água em usos não potáveis, como irrigação e descargas sanitárias, além de reduzir significativamente a presença de sólidos suspensos, fósforo e coliformes, contribuindo para a melhoria da qualidade hídrica e para a eficiência dos sistemas urbanos de saneamento.

No âmbito internacional, a pesquisa desenvolvida no Chile por Olivares et al. (2023) destacou o desempenho de sistemas de pavimentação permeável intertravada como estratégia de adaptação às mudanças climáticas, particularmente em cidades vulneráveis a enchentes. O estudo evidenciou que a porosidade intrínseca dos blocos, associada a um projeto adequado de sub-base drenante, possibilita a redução significativa do volume de escoamento superficial e a recarga dos aquíferos subterrâneos. Tais características colocam os blocos intertravados como instrumentos de mitigação dos impactos das chuvas intensas e da impermeabilização crescente das superfícies urbanas.

A revisão de Silva et al. (2023) também oferece uma análise comparativa entre a pavimentação intertravada e a pavimentação asfáltica tradicional, apontando vantagens adicionais no ciclo de vida do pavimento. Entre os aspectos destacados, estão a durabilidade estrutural, a facilidade de manutenção modular e o menor custo operacional a longo prazo, uma vez que os blocos podem ser removidos e substituídos individualmente sem comprometer a integridade do restante da via. Ademais, o estudo destaca que a aplicação de blocos intertravados fabricados com subprodutos industriais e materiais reciclados potencializa os ganhos ambientais, reduzindo a demanda por recursos naturais e a pegada de carbono associada ao processo construtivo.

1.11 PARQUES LINEARES E PRAÇAS ÚMIDAS

As praças úmidas e os parques lineares configuram-se como relevantes Soluções Baseadas na Natureza (SbN), ao aliarem funções ecológicas e sociais no espaço urbano, sobretudo na gestão sustentável da água. De acordo com Fabbri et al. (2020), esses dispositivos funcionam como zonas de amortecimento capazes de absorver volumes excessivos de água durante chuvas intensas, reduzindo alagamentos e a sobrecarga dos sistemas convencionais de drenagem. Complementarmente, Santos et al. (2021) ressaltam que tais estruturas favorecem a infiltração no solo, promovendo a recarga de aquíferos e

contribuindo para a mitigação dos impactos da impermeabilização urbana.

No contexto internacional, estudos apontam que parques lineares são eficazes na restauração de ecossistemas urbanos e na valorização ambiental de áreas degradadas, aliando desempenho ecológico à qualidade de vida urbana (KIM et al., 2016; MEHRDAD et al., 2020). Essas áreas verdes conectadas a corpos hídricos naturais também servem como corredores ecológicos, promovendo a biodiversidade e a resiliência ambiental em cidades densamente urbanizadas (Coutts et al., 2016).

Outro aspecto relevante é o valor social e cultural desses espaços. Parques lineares e praças úmidas atuam como espaços públicos multifuncionais que oferecem lazer, bem-estar e educação ambiental, promovendo maior integração entre comunidades e natureza (Gonçalves et al., 2017). A presença desses espaços em áreas urbanas é frequentemente associada à redução das ilhas de calor e à melhoria da saúde física e mental da população.

1.12 FOSSA ECOLÓGICA

Segundo Bassani et al. (2024), os wetlands construídos aplicados ao tratamento descentralizado de esgoto, como as fossas ecológicas ou fossas verdes, apresentam elevada eficiência na remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos suspensos totais (SST) e nutrientes, quando comparados às soluções convencionais. Essa eficiência resulta da combinação de processos de sedimentação, adsorção e absorção pelas raízes das plantas, além da atividade microbiana associada à rizosfera, o que torna esses sistemas alternativas sustentáveis e de baixo custo, capazes de integrar tratamento de efluentes e paisagismo urbano de forma eficaz.

No contexto brasileiro, o e-book *Wetlands Brasil — Experiências Brasileiras* (GESAD/UFSC, 2021) documenta casos de aplicação bem-sucedida em diferentes regiões, evidenciando sua viabilidade técnica e social. O material destaca que, além do tratamento, esses sistemas favorecem o reaproveitamento paisagístico, reduzem odores e demandam menor frequência de limpeza, o que reduz custos operacionais para comunidades rurais e periurbanas.

A chamada “fossa verde” é particularmente adaptada para regiões de baixa infraestrutura, como aponta Silva et al. (2018), pois além de realizar o tratamento do efluente de forma eficiente, permite a produção de biomassa ornamental ou utilitária, evitando a poluição de corpos hídricos e aumentando a aceitação social da tecnologia. Essa integração com espécies vegetais adaptadas ao meio aquático garante desempenho contínuo e resistência

a variações de carga hidráulica.

No cenário internacional, estudos como o de Zhang et al. (2024) demonstram que wetlands construídos, quando projetados adequadamente, podem atingir níveis de remoção de DBO superiores a 80%, além de contribuir para o controle de coliformes e a estabilização de sólidos, oferecendo desempenho equivalente ou superior às fossas tradicionais em termos de qualidade do efluente final. Complementando, o manual técnico da EPA (2015) fornece parâmetros precisos de dimensionamento (profundidade média entre 0,3 e 0,6 m, granulometria controlada do meio filtrante e escolha de espécies tolerantes a ambientes saturados), essenciais para garantir eficiência e durabilidade do sistema.

Já Kadlec e Wallace (2009) consolidam, em sua revisão, que a presença das plantas não apenas atua na absorção direta de nutrientes, mas também aumenta a oxigenação da zona radicular e favorece a precipitação de compostos, criando um ambiente mais estável e resiliente frente a sobrecargas temporárias.

De forma comparativa, enquanto a fossa séptica tradicional opera majoritariamente por sedimentação e degradação anaeróbia, necessitando de limpezas frequentes e podendo gerar odores e vetores, a fossa ecológica amplia os mecanismos de tratamento, reduz a necessidade de manutenção, melhora a qualidade paisagística e promove benefícios ambientais colaterais, como a criação de habitats e o aproveitamento do efluente para irrigação não potável (Bassani et al., 2024; GESAD/UFSC, 2021; Silva et al., 2018; Zhang et al., 2024; EPA, 2015; kadlec; wallace, 2009).

Assim, as evidências científicas apontam que a fossa ecológica representa uma solução técnica mais sustentável, eficiente e socialmente aceita para o tratamento descentralizado de efluentes domésticos, configurando-se como uma alternativa vantajosa e alinhada aos princípios das Soluções Baseadas na Natureza.

1.13 TUBOS DE PEAD EM SISTEMAS DE DRENAGEM

A escolha dos materiais para sistemas de micro e macrodrenagem influencia diretamente na durabilidade, eficiência hidráulica e custo global das obras. Nos últimos anos, os tubos de polietileno de alta densidade (PEAD) têm se consolidado como alternativa técnica e econômica superior aos tubos de concreto tradicionais, especialmente em aplicações de drenagem pluvial e esgotamento sanitário.

Segundo Marotta (2022), o PEAD apresenta alta resistência mecânica associada a uma significativa redução no peso do material, o que permite otimizar o transporte e a instalação,

diminuindo o tempo de execução e os custos indiretos da obra. Essa leveza é apontada também por Silva Júnior et al. (2020), que destacam que, além de mais fáceis de manusear, os tubos corrugados em PEAD oferecem maior flexibilidade, permitindo melhor adaptação às irregularidades do terreno, minimizando cortes e ajustes na obra.

Do ponto de vista econômico, Pereira (2019) demonstrou que, em análises de viabilidade, o PEAD apresentou menor custo global quando considerados não apenas o valor de aquisição, mas também o tempo de instalação e a durabilidade, que ultrapassa 50 anos sem necessidade de intervenções significativas. Essa durabilidade decorre, em parte, de sua resistência química e à abrasão, características já evidenciadas em estudos internacionais (Pedroso, 2024; ASCE, 2024).

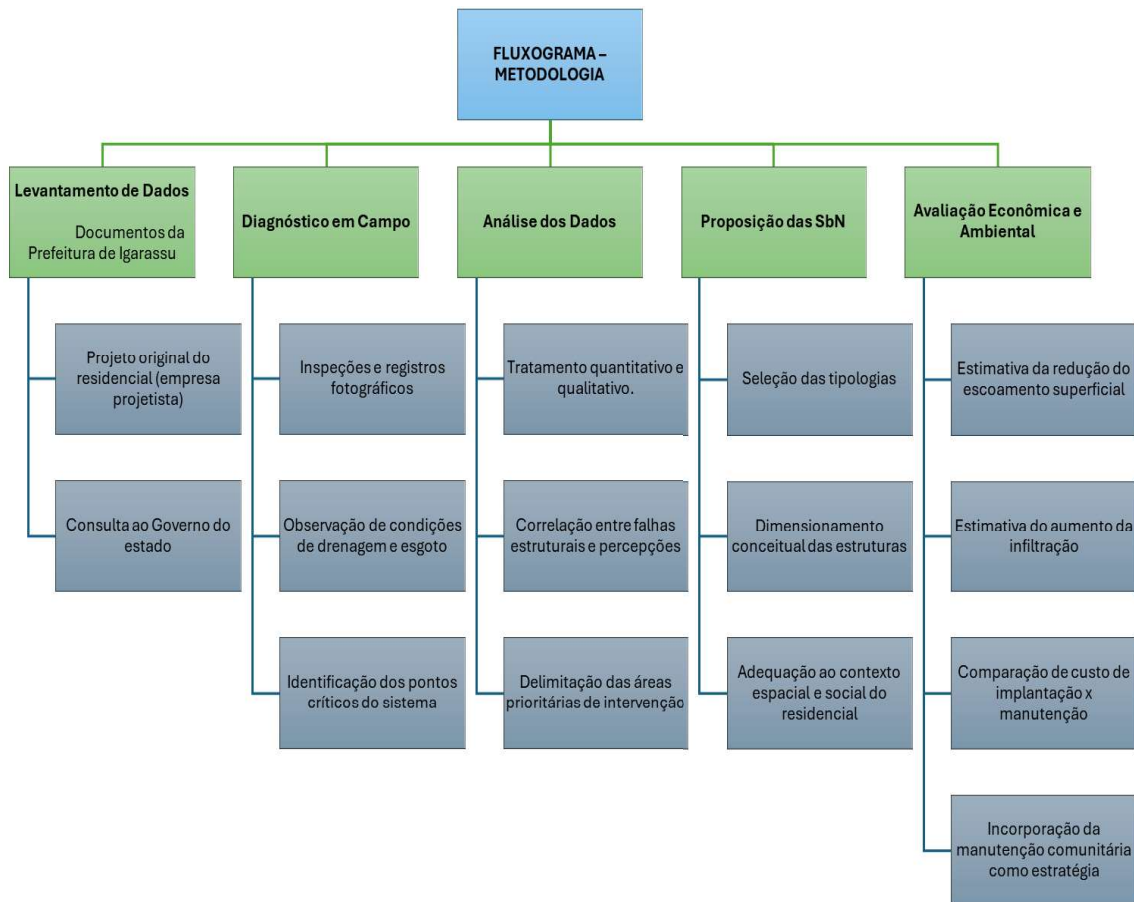
Além da resistência e durabilidade, a eficiência hidráulica do PEAD é maior devido à menor rugosidade interna, proporcionando escoamento mais rápido e reduzindo a possibilidade de obstruções. A ASCE (2024) aponta que os tubos de PEAD apresentam até 0 % de vazamento quando adequadamente selados, devido à precisão das conexões, e exigem de 40 % a 60 % menos emendas em comparação aos tubos de concreto, o que reduz a possibilidade de falhas e infiltrações no sistema.

Estudos de campo, como o realizado pela BFS Engenharia (2024), evidenciam que a instalação de tubos de PEAD pode aumentar a produtividade da equipe em até 80 %, uma vez que demanda menor escavação e menor tempo de manuseio em relação aos tubos de concreto. Pedroso (2024) reforça que, além da leveza e resistência, o PEAD apresenta excelente comportamento frente a agentes químicos presentes em águas pluviais contaminadas ou efluentes, ampliando ainda mais sua vida útil.

2 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi organizada em três etapas principais: levantamento de dados, diagnóstico participativo e proposição de soluções. No levantamento de dados, foram consultados projetos, informações institucionais e bases técnicas que permitiram compreender a infraestrutura existente. Em seguida, realizou-se o diagnóstico participativo, incluindo mapeamento territorial, análise topográfica e identificação da bacia de contribuição. Com base nesses resultados, foram elaboradas propostas de intervenção com enfoque em Soluções Baseadas na Natureza (SbN), acompanhadas de modelagem tridimensional e renderização para facilitar a visualização das melhorias sugeridas. A Figura 6 apresenta de forma sintetizada essa sequência metodológica.

Figura 6. Fluxograma da Metodologia



Fonte: O autor (2025).

O fluxograma demonstra a sequência lógica adotada na pesquisa: inicia-se pela obtenção de informações institucionais e técnicas, avança para a análise da área e suas condições ambientais, e culmina na formulação de soluções sustentáveis adequadas ao contexto. A etapa final, com modelagem 3D e renderização, permite uma representação visual clara das propostas, contribuindo para a comunicação com gestores públicos e comunidade. Assim, o fluxograma evidencia o encadeamento das atividades e a integração entre diagnóstico e proposta.

2.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

O levantamento de dados buscou reunir informações essenciais sobre o Residencial Reserva da Pitanga I, combinando fontes documentais e técnicas. Foram consultados os projetos originais de saneamento e infraestrutura junto à Prefeitura de Igarassu e à empresa responsável pela execução, além de registros de manutenções e reclamações dos moradores.

Complementarmente, utilizaram-se dados do Governo do Estado sobre o fornecimento de água tratada e a operação da rede de esgoto, fornecendo uma visão inicial da situação atual do empreendimento e subsidiando as etapas seguintes da pesquisa.

2.2 DIAGNÓSTICO PARTICIPATIVO

O diagnóstico participativo foi desenvolvido com o objetivo de compreender de forma integrada os problemas enfrentados pelos moradores do Residencial Reserva da Pitanga I e subsidiar propostas de intervenção. Essa etapa consistiu na aplicação de questionários junto aos moradores, possibilitando a identificação das principais dificuldades enfrentadas quanto aos alagamentos, vazamentos de esgoto e qualidade da água, bem como a compreensão das percepções e expectativas da comunidade em relação à infraestrutura urbana existente. Em paralelo, realizou-se o mapeamento das infraestruturas, com destaque para pontos de vazamentos, ligações irregulares e aspectos topográficos relevantes para a implantação de sistemas de tratamento. Para aprofundar a análise, foram obtidas curvas de nível da área de estudo por meio de ferramentas como Google Earth, QGIS e AutoCAD, resultando em uma base altimétrica precisa e de fácil integração aos projetos. Por fim, foi realizada a delimitação da bacia hidrográfica de contribuição no QGIS, possibilitando identificar os limites naturais de drenagem e os caminhos do escoamento superficial. Assim, o diagnóstico combinou a percepção comunitária com métodos técnicos de geoprocessamento, assegurando uma visão completa das condições ambientais e urbanas do residencial.

2.2.1 Mapeamento das Infraestruturas:

Foi realizada a identificação dos pontos críticos de vazamento e das adaptações irregulares que conectam a drenagem pluvial à rede de esgoto (Apêndice B), além do levantamento topográfico da área de estudo, visando definir as zonas mais adequadas para a implantação da rede de tratamento e manejo das águas residuárias

2.2.2 Obtenção de curvas de nível

Para a obtenção das curvas de nível da área de estudo (Apêndice A), utilizou-se um procedimento baseado na metodologia apresentada por Ribas (2021), que integra ferramentas gratuitas como Google Earth, GPS Visualizer, QGIS e AutoCAD, proporcionando uma

solução prática e acessível para a geração de modelos altimétricos. Inicialmente, a delimitação da área de interesse foi realizada no Google Earth Pro, onde se traçou um polígono sobre o loteamento estudado, o qual foi exportado no formato KMZ. Esse arquivo serviu de base para a extração dos pontos altimétricos.

Em seguida, o arquivo KMZ foi convertido para o formato CSV utilizando a plataforma online GPS Visualizer, que permite associar coordenadas geográficas (latitude e longitude) aos valores de altitude, com base em bancos de dados públicos de relevo. O arquivo CSV gerado contém as colunas de latitude, longitude e elevação, sendo compatível com o QGIS. No ambiente do QGIS, o arquivo CSV foi importado como uma camada de pontos, respeitando os campos X (longitude), Y (latitude) e Z (altitude). Para garantir a conformidade espacial com o restante do projeto, a camada foi reprojetada para o sistema de coordenadas UTM, correspondente à zona de localização do loteamento.

Com os pontos altimétricos corretamente georreferenciados, foi realizada a interpolação da superfície utilizando o método TIN (Triangular Irregular Network), que é adequado para áreas urbanas e com variações de relevo discretas, como o caso em análise. A partir da superfície interpolada, foi possível gerar o Modelo Digital de Elevação (MDE), representado por uma imagem raster com variações altimétricas contínuas. Sobre esse modelo raster, aplicou-se a ferramenta de extração de contornos altimétricos (Raster > Extração > Contorno), com intervalos definidos conforme a escala e a declividade do terreno, resultando na vetorização das curvas de nível.

As curvas de nível obtidas foram posteriormente exportadas em formato DXF, possibilitando sua manipulação em ambiente CAD. No AutoCAD, as curvas foram organizadas em layers distintos para facilitar a leitura técnica e a posterior utilização em projetos de engenharia e modelagem urbana. Caso necessário, essa base vetorial também pode ser importada em softwares de modelagem tridimensional, como o SketchUp, para a construção de modelos volumétricos ou simulações visuais do relevo.

Essa metodologia demonstrou-se eficiente para estudos urbanos e ambientais que exigem compreensão do comportamento altimétrico do terreno, especialmente em contextos de planejamento urbano, drenagem pluvial e ocupação do solo, como é o caso do Residencial Reserva da Pitanga I. Além disso, o uso de ferramentas acessíveis e de domínio público reforça o caráter replicável da abordagem, permitindo sua aplicação em outras localidades com recursos técnicos semelhantes.

Para a etapa de cotagem das curvas de nível, adotou-se o procedimento apresentado pelo canal Jovens Agrimensores (2022), o qual consiste na utilização de um script em

linguagem LISP no ambiente AutoCAD. Inicialmente, importaram-se as curvas de nível geradas anteriormente em formato DXF. Em seguida, realizou-se o carregamento do arquivo LISP específico, disponibilizado pelo canal, por meio do comando APPLOAD, configurando o ambiente CAD para identificar automaticamente as curvas e gerar cotas em pontos estrategicamente distribuídos ao longo dos contornos altimétricos.

Após a carga do script, utilizou-se o comando personalizado “COTALIS” — conforme designação do programa LISP — para acionar o processo de cotagem automática. O algoritmo executa análise da geometria dos contornos e posiciona as cotas aproximadamente no centro do arco correspondente, com a simbologia e orientação padronizada conforme convenções técnicas. O usuário pode, ainda, ajustar parâmetros como espaçamento entre cotas, altura de desnível mínima para inclusão de novos valores e estilos de texto, garantindo flexibilidade e adequação ao projeto específico.

O resultado desse procedimento foi a produção de cotas legíveis e tecnicamente consistentes, distribuídas por todas as curvas de nível, o que facilita a leitura altimétrica no desenho e contribui para a interpretação do relevo. A utilização do script Lisp otimizou o processo, aumentando a eficiência em relação à execução manual, reduzindo possibilidades de erros e padronizando o layout gráfico da prancha final.

Assim, a cotagem das curvas de nível mostrou-se eficaz e reproduzível, integrando-se ao fluxo metodológico de modelagem do terreno. Adicionalmente, o uso de um recurso automatizado reforça o rigor técnico e a escalabilidade do procedimento, características essenciais para aplicações em engenharia civil e estudos ambientais.

2.2.3 Delimitação da Bacia Hidrográfica de contribuição

Para a delimitação da bacia de contribuição da área em estudo, foi utilizada a metodologia proposta por Siguel (2021), por meio do software QGIS. A técnica consiste em empregar ferramentas de análise hidrológica a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE), permitindo identificar automaticamente os limites naturais da bacia hidrográfica, a rede de drenagem e o ponto de exutório.

O primeiro passo consistiu na importação do MDE para o QGIS, assegurando que o arquivo estivesse corretamente georreferenciado no sistema de coordenadas UTM, compatível com a localização geográfica do Residencial Reserva da Pitanga I. Em seguida, aplicaram-se os processos de preenchimento de depressões (fill sinks), geração da direção do fluxo (flow direction) e cálculo da acumulação de fluxo (flow accumulation), os quais são fundamentais

para simular o comportamento da água sobre o relevo e mapear os caminhos naturais de escoamento.

Após a obtenção do raster de acumulação de fluxo, foi definido manualmente o ponto de exutório, ou seja, o ponto de saída das águas da bacia, com base em características morfológicas visíveis no terreno e nos dados do modelo digital. Com o exutório definido, utilizou-se a ferramenta de delimitação de bacia (watershed), que permite ao QGIS traçar automaticamente os limites da bacia hidrográfica, identificando sua área de drenagem com base no comportamento topográfico da superfície.

Essa abordagem foi inteiramente realizada com o uso de ferramentas nativas do QGIS, possibilitando um mapeamento preciso, técnico e replicável da área de contribuição (Apêndice C). A metodologia adotada é particularmente adequada para estudos ambientais urbanos, pois fornece base espacial detalhada para diagnósticos de drenagem, planejamento de soluções sustentáveis e avaliação de impactos em áreas densamente ocupadas.

2.3 CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO

Para a seleção e priorização das Soluções Baseadas na Natureza (SbN) propostas, foram considerados critérios técnicos e operacionais que permitiram avaliar a viabilidade e o impacto esperado das intervenções no Residencial Reserva da Pitanga I. Os critérios adotados envolveram: (i) área necessária para implantação; (ii) custo estimado de execução e manutenção; (iii) efetividade esperada na redução do escoamento superficial e da sobrecarga na rede de drenagem; e (iv) potencial de benefício socioambiental para a comunidade. A aplicação desses critérios possibilitou classificar as soluções de acordo com sua capacidade de mitigação dos problemas identificados e sua viabilidade prática no contexto urbano e socioeconômico local. O quadro 1 ilustra os critérios de priorização.

Quadro 1. Critérios de Priorização

Quadro de Critérios de Priorização			
Critério	Descrição	Justificativa	Peso Indicativo*
Área Necessária	Espaço físico mínimo para instalação da solução	Áreas disponíveis são limitadas no residencial	Médio
Custo de Implantação e Manutenção	Estimativa de recursos financeiros e esforço operacional	Necessidade de adequação ao orçamento municipal e comunitário	Alto

Impacto Hidrológico Esperado	Capacidade de reduzir escoamento e aumentar infiltração	Relação direta com o objetivo central do estudo	Muito alto
Benefício Socioambiental	Potencial de melhorar o ambiente, convivência e qualidade de vida	Amplia aceitação social e sustentabilidade da solução	Alto

Fonte: O autor (2025).

Com base nos critérios do quadro 1, foram priorizadas as soluções que apresentaram maior eficácia hidrológica combinada com custos reduzidos e aplicabilidade em áreas já consolidadas. Essa abordagem assegura que as intervenções propostas sejam tecnicamente consistentes, financeiramente viáveis e socialmente aceitas, fortalecendo sua possibilidade real de implementação pelo poder público ou pela comunidade organizada.

2.4 PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES

A proposição de soluções envolveu a aplicação de Soluções Baseadas na Natureza (SbN), como jardins filtrantes, biovaletas e trincheiras de infiltração, visando melhorar a drenagem e o tratamento de esgoto no Residencial Reserva da Pitanga I. Também foi planejada a criação de áreas permeáveis para reduzir a sobrecarga da rede. Para facilitar a visualização, as propostas foram representadas em modelagem 3D no SketchUp e renderizadas no Enscape, garantindo clareza, realismo e aplicabilidade das intervenções sugeridas.

2.4.1 Elaboração da Modelagem 3D e Renderização das Propostas

Para elaborar os resultados apresentados no capítulo 4.3.3 baseou-se em um processo metodológico que integrou análise técnica, seleção de soluções sustentáveis e representação gráfica tridimensional, de modo a assegurar a clareza, realismo e aplicabilidade das intervenções propostas para o Loteamento Residencial Pitanga I. Com todo os dados coletados nas etapas anteriores, foi elaborada uma modelagem tridimensional.

2.4.1.1 Modelagem tridimensional

- Para representar as intervenções, foi elaborado um modelo 3D no SketchUp 2021,

utilizando:

- Planta-base georreferenciada para posicionamento fiel das edificações, vias e áreas verdes;
- Modelagem volumétrica dos equipamentos urbanos, áreas de lazer e estruturas hidráulicas;
- Inserção de texturas e elementos de vegetação para aproximar o modelo da realidade local;
- Escala proporcional e alinhamento com as dimensões reais obtidas nas plantas oficiais.

2.4.1.2 Renderização realista

O modelo tridimensional foi exportado para o Enscape, onde foram aplicadas técnicas de renderização para gerar imagens com maior realismo e impacto visual. Os ajustes contemplaram:

- Configuração de iluminação natural compatível com a latitude e condições climáticas locais;
- Aplicação de texturas de alta resolução em pavimentação, vegetação e mobiliário urbano;
- Definição de enquadramentos estratégicos que destacassem a integração das Sbn's com o tecido urbano;
- Uso de ângulos aéreos e perspectivas humanas para melhor compreensão espacial.

2.5 PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E MANUTENÇÃO COMUNITÁRIA

A análise da viabilidade econômica das Soluções Baseadas na Natureza (SbN) propostas foi conduzida a partir de uma abordagem comparativa entre os custos de implantação e manutenção da infraestrutura verde e aqueles associados à infraestrutura cinza convencional. Para isso, foram considerados custos de referência provenientes de relatórios de instituições nacionais e internacionais, tais como WRI Brasil (2020), ANA (2021) e Fiocruz (2022), que apresentam indicadores de custo-benefício e dados de desempenho operacional ao longo do ciclo de vida das soluções.

Além da avaliação técnico-econômica, também foram analisados modelos de gestão

comunitária e manutenção participativa, com base em experiências reais implementadas em cidades brasileiras, como os programas: Adote o Verde, de Belo Horizonte, e projetos de jardins de chuva e hortas comunitárias desenvolvidos pela Prefeitura do Recife. A metodologia consistiu na identificação e análise de documentos oficiais, relatórios técnicos e estudos de caso publicados por instituições e órgãos municipais, de modo a estimar o potencial de adaptação dessas estratégias ao contexto do Residencial Reserva da Pitanga I.

Assim, a avaliação da viabilidade considerou três dimensões principais:

- (a) custos diretos de implantação e manutenção;
- (b) benefícios ambientais e operacionais associados à redução de alagamentos e menor pressão sobre sistemas de drenagem;
- (c) capacidade de mobilização e engajamento comunitário, como fator determinante para a sustentabilidade das soluções no longo prazo.

2.6 PROCEDIMENTOS DE ESTIMATIVA DE IMPACTO AMBIENTAL DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS

As estimativas de impacto ambiental das SbN foram realizadas com base em indicadores de desempenho amplamente utilizados em projetos de drenagem sustentável, associados à redução do escoamento superficial, aumento da capacidade de infiltração e eficiência operacional ao longo do tempo.

A análise adotou parâmetros de referência obtidos em literatura especializada e relatórios técnicos da ANA (2021), WRI Brasil (2020) e Fiocruz (2022), que fornecem coeficientes médios de redução de escoamento e ampliação da infiltração para diferentes tipos de intervenções, tais como jardins de chuva, pavimentos permeáveis, bacias de amortecimento e wetlands construídas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O capítulo de resultados e discussão apresenta o diagnóstico da situação atual do Residencial Reserva da Pitanga I, evidenciando falhas no sistema de saneamento, como ligações irregulares de águas pluviais à rede de esgoto, acúmulo de resíduos sólidos e vazamentos de água tratada, que comprometem a infraestrutura e a saúde pública. A partir dos levantamentos documentais, técnicos e participativos, foram propostos cenários de intervenção por meio de Soluções Baseadas na Natureza (SbN), incluindo jardins de chuva,

biovaletas, wetlands e áreas permeáveis. A modelagem 3D e as renderizações realistas permitiram visualizar a integração dessas soluções ao espaço urbano, demonstrando benefícios como redução de alagamentos, filtragem da água, valorização ambiental e fortalecimento comunitário. Os resultados indicam que a adoção de SbN é tecnicamente viável, ambientalmente eficaz e socialmente relevante, configurando-se como alternativa replicável em outros contextos de habitação popular.

É importante destacar que a análise realizada neste estudo se concentrou prioritariamente nos aspectos qualitativos do sistema de saneamento do Residencial Reserva da Pitanga I, fundamentada em observações de campo, levantamento documental e diagnóstico participativo. Embora dados quantitativos como vazões de escoamento, coeficientes de impermeabilização e taxas de infiltração sejam reconhecidamente relevantes para validação técnica aprofundada das soluções, sua obtenção foi limitada pela ausência de medições hidrológicas locais, indisponibilidade de séries históricas consolidadas e inconsistências nos registros oficiais. Dessa forma, as soluções propostas foram estruturadas com base em diretrizes normativas, experiências comprovadas em estudos de caso e parâmetros técnicos de referência, preservando a viabilidade prática e a coerência metodológica do trabalho.

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

O Departamento Municipal de Planejamento e Controle Urbano (DECONUR), autarquia vinculada à Prefeitura Municipal de Igarassu, é responsável pela gestão e fiscalização de controle urbano, regularização fundiária, gestão urbanística, parcelamento, uso e ocupação do solo, elaboração de planos e projetos e pela implementação de políticas públicas de ordenamento urbano.

Por meio dessa instituição, foi possível obter os projetos originais e impressos do loteamento em estudo. A partir desses documentos, realizou-se o levantamento dos dados apresentados a seguir.

3.1.1 Áreas

O empreendimento é composto por 463 unidades habitacionais, cada uma com área construída de 43,57 m² e área coberta de 55,65 m². A área total construída do conjunto residencial é de 20.172,91 m², enquanto a área total coberta soma 25.765,95 m². As habitações

foram edificadas com paredes de concreto moldado in loco, com 10 cm de espessura. Os muros divisórios e o fechamento perimetral foram executados em alvenaria convencional.

A seguir, a Tabela 2 sintetiza a distribuição das áreas do loteamento, evidenciando o equilíbrio entre espaços destinados às unidades habitacionais, áreas verdes, sistema viário, equipamentos comunitários e infraestrutura técnica:

Tabela 2. Áreas do loteamento

Tabela de áreas - Loteamento				
nº de quadras			19	
nº de lotes			463	
Área do Terrenos	118.630,00	m ²	100,00%	
Área de Lotes	66.436,98	m ²	56,00%	
Área Verde	13.986,24	m ²	11,79%	
Área do Sistema Viário (Ruas Projetadas + Calçadas)	25.857,84	m ²	21,80%	
Área de Domínio da Celpe	5.401,05	m ²	4,55%	
Área Equipamento Comunitário 01	4.026,43	5.972,34	m ²	5,03%
Área Equipamento Comunitário 02	1.945,91		m ²	
Área destinada a reservatório d'água	100,00	m ²	0,09%	
Área para SFES (Sistema Final de Esgotamento Sanitário)	875,55	m ²	0,74%	

Fonte: Adaptada pelo Autor (Projeto C. M. Costa Mendonça empreendimentos imobiliários Ltda, 2013).

Observa-se que mais da metade da área total do empreendimento (56%) foi destinada aos lotes, enquanto cerca de 12% foram reservados para áreas verdes, assegurando a presença de espaços livres de uso coletivo. O sistema viário ocupa aproximadamente 22% da área, refletindo a importância da mobilidade e do acesso interno. Já os equipamentos comunitários, domínios técnicos e áreas de infraestrutura complementam a ocupação, garantindo suporte às necessidades urbanísticas e sociais da comunidade.

Na sequência, a Tabela 3 apresenta os dados relativos às áreas residenciais, detalhando as dimensões médias das unidades habitacionais e a proporção entre área construída e área coberta:

Tabela 3. Áreas Residencial

Tabela de áreas - Residencial		
nº de unidades habitacionais	463,00	
Área do terreno (loteamento)	118.630,00	m ²
Área de cada unidade habitacional	43,57	m ²
Área de Coberta de cada unidade Habitacional	55,65	m ²
Área Total de Coberta	25.765,95	m ²

Área Total de Construção	20.172,91	m ²
--------------------------	-----------	----------------

Fonte: Adaptada pelo Autor (Projeto C. M. Costa Mendonça empreendimentos imobiliários Ltda, 2013).

A análise dos dados mostra que o projeto priorizou a padronização das unidades, com dimensões semelhantes para todas as habitações. Essa uniformidade contribui para otimização do processo construtivo e redução de custos, aspectos comuns em empreendimentos habitacionais de interesse social. No entanto, a área coberta representa valor significativamente superior à área construída, indicando o uso de elementos adicionais de cobertura que ampliam a proteção das unidades, sem necessariamente aumentar a área útil interna.

Por fim, destaca-se que foi realizada comunicação formal com a empresa responsável pela elaboração e execução dos projetos, com o objetivo de obter os dados em formato digital. Entretanto, a solicitação não foi atendida, restringindo a análise documental ao material impresso disponível na DECONUR.

3.1.2 O loteamento

A Tabela de Quadras e Lotes apresenta a distribuição espacial das áreas destinadas às unidades habitacionais, aos equipamentos comunitários, ao reservatório de água e ao sistema final de esgotamento sanitário (SFES) no loteamento estudado, conforme a figura a seguir. Ao todo, o empreendimento é composto por 19 quadras, identificadas pelas letras de A a S, totalizando 463 lotes, conforme já detalhado anteriormente.

Figura 7. Imagem do Projeto do Loteamento Residencial Pitanga I



Fonte: Projeto físico disponível (DECONUR, 2013).

O projeto físico do loteamento Residencial Pitanga I (figura 7), disponibilizado pela DECONUR, constitui uma base essencial para compreender a distribuição espacial das unidades habitacionais, áreas institucionais, vias e sistemas de saneamento. A análise evidencia uma organização funcional planejada, com setorização equilibrada entre moradia, infraestrutura e espaços coletivos, mas revela lacunas significativas quanto ao sistema de drenagem pluvial, sem detalhamento dos pontos de captação e redes de escoamento, o que compromete a eficiência do escoamento de águas pluviais. Embora forneça dimensões precisas de lotes, quadras e equipamentos, o projeto não garante, por si só, a operação adequada da infraestrutura, sendo necessária a proposição de soluções complementares,

especialmente baseadas na natureza, para reduzir impactos ambientais, corrigir falhas estruturais e promover melhorias na qualidade de vida dos moradores. Dessa forma, o projeto físico serve como referência técnica e legal, permitindo correlacionar o planejamento original com os problemas observados em campo e orientar intervenções sustentáveis e integradas.

A Tabela 4 – Quadras e Lotes apresenta a distribuição espacial das áreas destinadas às unidades habitacionais, aos equipamentos comunitários, ao reservatório de água e ao Sistema Final de Esgotamento Sanitário (SFES). Ao todo, o empreendimento é composto por 19 quadras (A a S), totalizando 463 lotes.

Tabela 4. Quadras e Lotes

Tabela de Quadras e Lotes				
A	Área destinada ao reservatório d'água e equipamento comunitário		4.025,43	m ²
B	15	Lotes	2.085,70	m ²
C	21	Lotes + SFES	3.847,28	m ²
D	26	Lotes	3.785,64	m ²
E	29	Lotes	4.137,09	m ²
F	32	Lotes	4.622,51	m ²
G	19	Lotes	2.751,96	m ²
H	19	Lotes	2.073,11	m ²
I	35	Lotes	4.958,83	m ²
J	18	Lotes + Equipamento Comunitário 02	4.407,37	m ²
K	27	Lotes	3.827,63	m ²
L	23	Lotes	3.278,17	m ²
M	10	Lotes	1.411,74	m ²
N	14	Lotes	2.008,84	m ²
O	33	Lotes	4.685,58	m ²
P	37	Lotes	5.137,04	m ²
Q	40	Lotes	5.611,65	m ²
R	43	Lotes	6.063,11	m ²
S	22	Lotes	3.061,64	m ²

Fonte: Adaptada pelo Autor (Projeto C. M. Costa Mendonça empreendimentos imobiliários Ltda, 2013).

A análise da tabela evidencia que algumas quadras possuem uso misto, associando residências a áreas institucionais ou de infraestrutura, enquanto a maioria é de uso estritamente habitacional. A Quadra A (4.025,43 m²) foi reservada exclusivamente para fins institucionais, abrigando o reservatório de água e parte da área destinada a equipamentos

comunitários. A Quadra C (3.847,28 m²) reúne 21 lotes residenciais e o SFES, integrando moradia e infraestrutura sanitária. Já a Quadra J (4.407,37 m²) combina 18 lotes com o Equipamento Comunitário 02, o que reforça a intenção de oferecer espaços coletivos integrados à malha habitacional.

As demais quadras apresentam configuração exclusivamente residencial. A Quadra R é a maior, com 6.063,11 m² e 43 lotes, seguida pela Quadra Q (40 lotes, 5.611,65 m²) e pela Quadra P (37 lotes, 5.137,04 m²). No extremo oposto, a Quadra M é a menor, com apenas 10 lotes distribuídos em 1.411,74 m², resultando em um arranjo mais compacto.

Essa variação de tamanhos demonstra a adaptação do traçado urbanístico às condições locais de topografia e à necessidade de funcionalidade do espaço. O projeto buscou equilibrar a setorização entre moradia, infraestrutura e áreas de uso coletivo, de forma a atender tanto à demanda habitacional quanto às exigências de qualidade urbana.

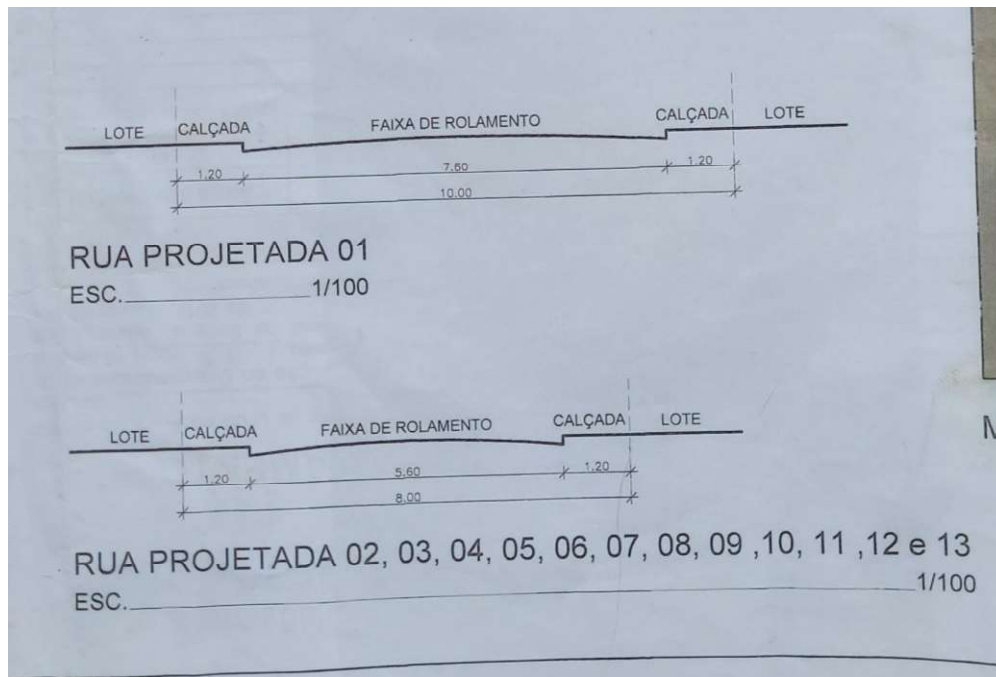
Essa configuração, que alia padronização construtiva a pontos de diversidade funcional, será fundamental para as análises posteriores desta dissertação, especialmente no que se refere ao desempenho ambiental, social e infraestrutural do loteamento.

3.1.3 Sistema Viário (Ruas Projetadas + Calçadas)

O sistema viário do Loteamento Residencial Pitanga I é composto por 13 vias internas, planejadas para garantir a fluidez do tráfego e o acesso eficiente a todas as unidades habitacionais. A Rua Projetada 01, localizada centralmente, funciona como via principal de circulação, com faixa de rolamento de 7,60 metros e calçadas de 1,20 metro em cada lado, totalizando 10 metros de seção transversal. As demais vias, identificadas como Ruas Projetadas 02 a 13, possuem faixa de rolamento de 5,60 metros e calçadas de 1,20 metro, resultando em 8 metros de largura total por via.

Essa hierarquização viária atende aos princípios de acessibilidade, segurança e otimização do uso do solo, além de organizar o fluxo interno e integrar as áreas residenciais com equipamentos coletivos.

Figura 8. Seção Transversal do Sistema Viário



Fonte: Projeto físico disponível (DECONUR, 2013).

A figura 8 apresenta a configuração típica das ruas do loteamento, evidenciando a diferenciação entre via principal e vias secundárias, com destaque para a largura das faixas de rolamento e calçadas. Essa representação permite compreender como o projeto busca conciliar mobilidade, segurança e integração urbana.

3.1.4 Sistema de Drenagem e Esgotamento Sanitário

Durante a análise do projeto físico do loteamento Residencial Pitanga I, disponibilizado pela DECONUR, observou-se que o sistema de drenagem pluvial da região não está completamente detalhado. O projeto não especifica com clareza qual o tipo de sistema de drenagem utilizado (se superficial ou subterrâneo), tampouco indica, de forma precisa, os pontos de captação e o destino final das águas pluviais. As figura 8 e 9, correspondentem ao traçado da drenagem no projeto apresenta informações genéricas e de difícil interpretação técnica, o que compromete a compreensão total do funcionamento e da eficiência do sistema projetado.

Figura 9. Desenho Técnico do Sistema de Drenagem do Loteamento



Fonte: Projeto físico disponível (DECONUR, 2013).

Durante a visita técnica ao local, foi constatado que o sistema de esgotamento sanitário está implantado conforme o projeto (figura 9), com tubulações de PVC interligadas ao SFES. Entretanto, a drenagem pluvial existente é exclusivamente superficial, com escoamento de águas pelas vias públicas, sem sarjetas bem definidas, bocas de lobo ou rede subterrânea.

Essa limitação provoca alagamentos em períodos de chuva intensa, mesmo em áreas com leve declividade, demonstrando baixa eficiência do escoamento superficial.

Figura 10. Projeto do Sistema de Drenagem do Loteamento

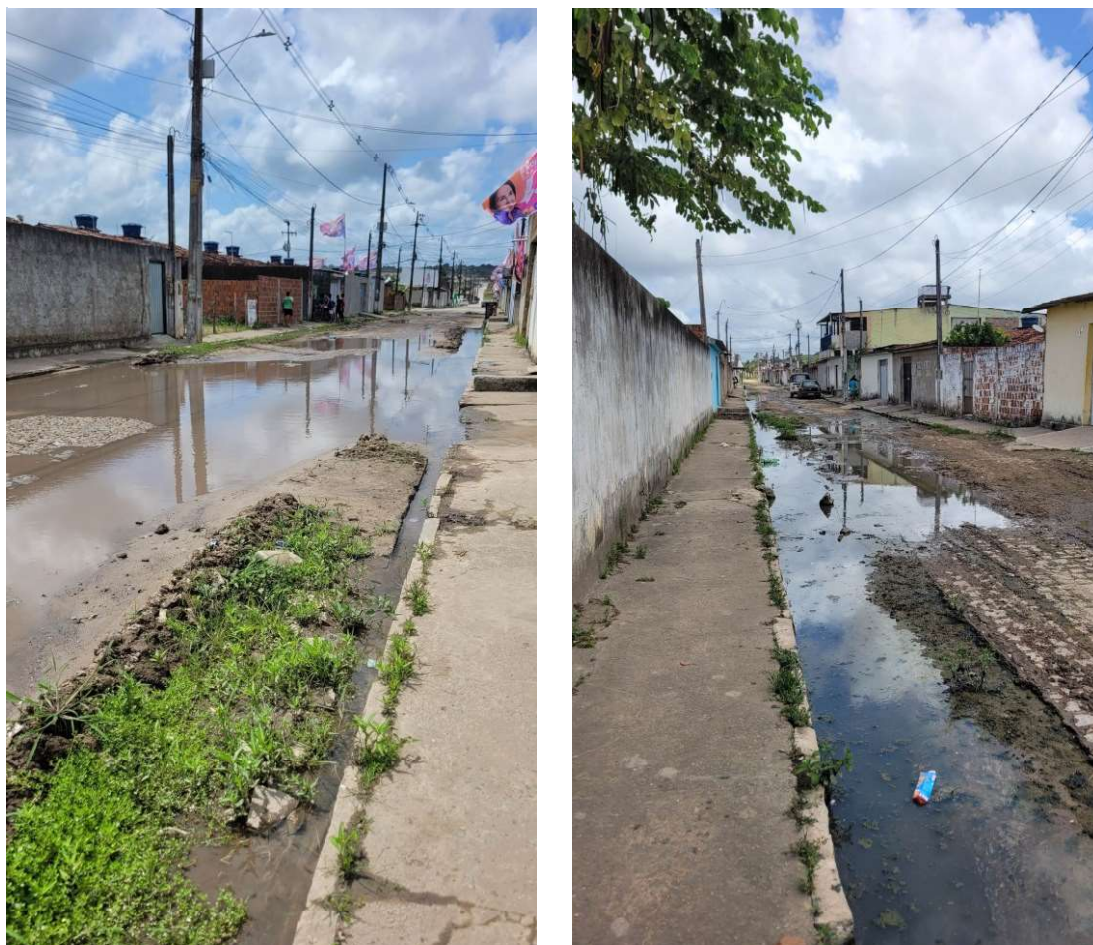


Fonte: Projeto físico disponível (DECONUR, 2013).

Para complementar a análise documental (figura 10), foi realizada visita técnica ao local, onde foi possível observar de forma mais clara a realidade da infraestrutura instalada. Constatou-se que o loteamento possui um sistema de esgotamento sanitário composto por tubulações de PVC, interligadas ao SFES (Sistema Final de Esgotamento Sanitário), conforme previsto no projeto. No entanto, o sistema de drenagem pluvial existente é apenas superficial, ou seja, baseia-se no escoamento das águas de chuva por meio das vias públicas, sem a presença de bocas de lobo, sarjetas bem definidas ou rede de drenagem subterrânea.

Essa limitação estrutural tem provocado sérios problemas de alagamento, especialmente nos períodos de chuva mais intensa. Contudo, mesmo em dias com sol firme, após episódios de chuva, foi possível identificar o acúmulo de água em diversos trechos do loteamento (FIGURA 11). Isso ocorre devido à baixa eficiência do escoamento superficial, que não consegue drenar adequadamente a água acumulada, agravando a situação em áreas com declividade insuficiente ou obstruções no percurso da água.

Figura 11. Foto registrada em períodos pós chuvas



Fonte: Foto registrada pelo autor no dia 03/10/2024

Um agravante identificado foi a presença de conexões inadequadas entre a drenagem superficial e o sistema de esgoto doméstico. Em alguns pontos do loteamento, a água da chuva acaba sendo direcionada para as tubulações de esgoto, provocando uma mistura entre esgoto doméstico e águas pluviais. Essa condição compromete o funcionamento do SFES, sobrecarregando a capacidade do sistema e gerando extravasamentos nas caixas de inspeção. Como resultado, há ocorrência frequente de esgoto a céu aberto nas vias, provocando mau cheiro, contaminação do ambiente e riscos sanitários à população residente.

Diante desse cenário crítico, a Prefeitura Municipal de Igarassu adotou uma medida emergencial, contratando um caminhão de hidrojateamento para realizar a desobstrução das tubulações do sistema de esgoto na área do loteamento (FIGURA 12). Essa ação teve como objetivo minimizar os extravasamentos e restabelecer, ainda que temporariamente, o fluxo adequado dos efluentes no sistema. Embora a medida tenha trazido algum alívio imediato, trata-se de uma solução paliativa, que não resolve o problema estrutural relacionado à

drenagem e ao lançamento irregular de águas pluviais na rede de esgoto.

Figura 12. Caminhão de Hidrojateamento



Fonte: Foto registrada pelo autor no dia 27/08/2024

Tais evidências apontam para uma falha na concepção ou na execução do sistema de drenagem, que não foi dimensionado adequadamente para atender à demanda hídrica da região, sobretudo considerando os eventos extremos de precipitação que têm se tornado mais comuns com as mudanças climáticas. A ausência de um sistema de drenagem pluvial eficiente também compromete a durabilidade do pavimento das vias, além de representar um risco à saúde pública e ao bem-estar da comunidade.

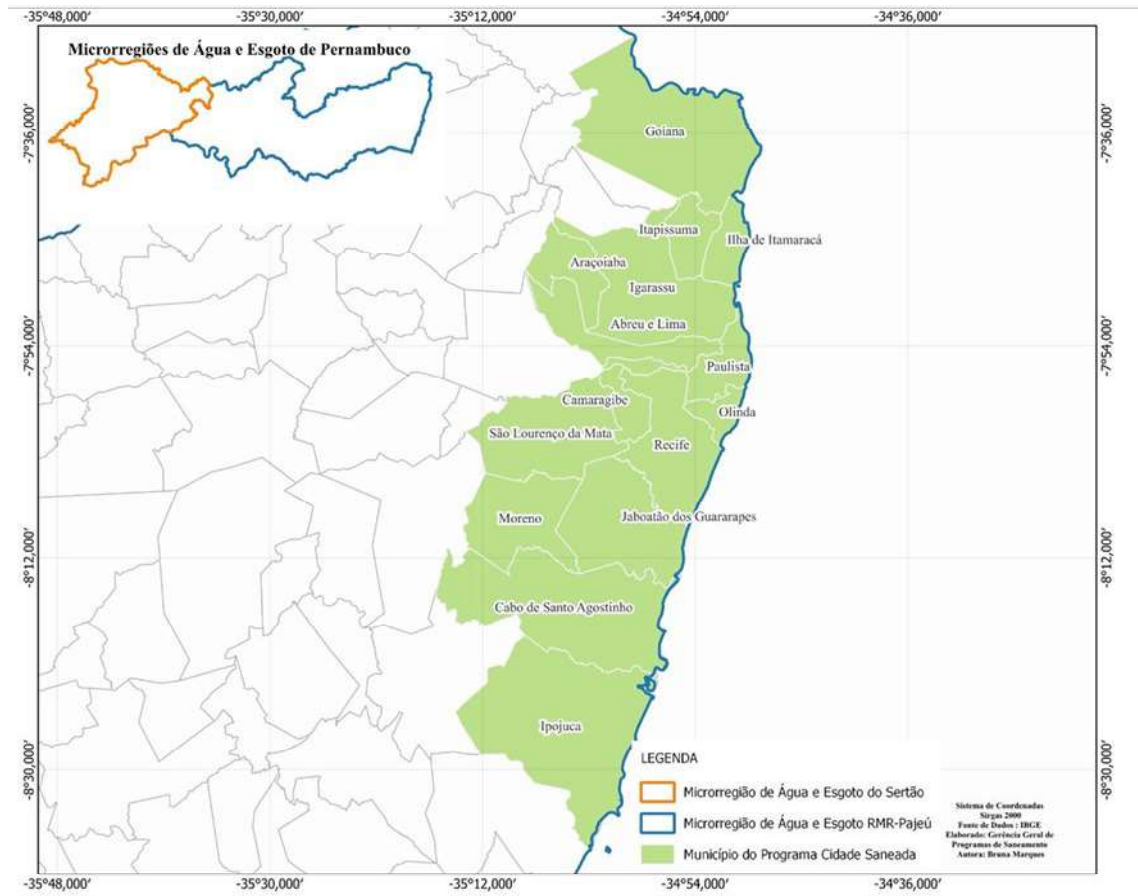
Esse cenário evidencia a importância de integrar, de forma eficaz, os sistemas de esgotamento sanitário e drenagem urbana nos projetos habitacionais, especialmente em empreendimentos voltados à habitação de interesse social. A análise dos impactos dessa deficiência será aprofundada nos capítulos seguintes, com foco nos aspectos ambientais, sociais e de gestão urbana.

3.1.5 Planejamento Estratégico

O Plano Regional de Saneamento Básico para as Microrregiões de Água e Esgoto (MRAE) desenvolvido pelo Governo do Estado de Pernambuco, incluindo a RMR-Pajeú, foi elaborado como um instrumento de planejamento estratégico de longo prazo, com o objetivo de universalizar o acesso aos serviços de água e esgotamento sanitário em todos os

municípios integrantes da microrregião. A elaboração do plano envolveu a identificação das deficiências atuais, o mapeamento das infraestruturas existentes e a proposição de intervenções técnicas e financeiras escalonadas no tempo, seguindo diretrizes nacionais e princípios de sustentabilidade ambiental e justiça social. A figura 13 mostra os Municípios contemplados no Programa Cidade Saneada.

Figura 13. Municípios contemplados no Programa Cidade Saneada



Fonte: Plano Regional de Saneamento Básico do Governo do Estado de Pernambuco, 2024.

Para a universalização dos serviços de esgotamento sanitário, o plano prevê a implantação, ampliação e adequação das redes coletoras, estações elevatórias, linhas de recalque e estações de tratamento de esgoto, com seus respectivos emissários finais. Estas ações estão organizadas por município, conforme os contratos de concessão e metas estabelecidas no Programa Cidade Saneada, em consonância com o cronograma de execução entre os anos de 2024 e 2047.

3.1.5.1 Aplicações no Município de Igarassu

No caso de Igarassu, o plano reserva investimentos significativos para os próximos anos, totalizando aproximadamente R\$ 352 milhões até 2047. O cronograma financeiro está dividido em três fases principais: curto prazo (1 a 7 anos), médio prazo (8 a 12 anos) e longo prazo (13 a 16 anos), como demonstrado no Quadro 2:

Quadro 2. Investimentos Previsto para o Sistema de Esgotamento Sanitário em Igarassu

Período	Valor Previsto (R\$)	Ações Previstas
Curto Prazo (2024-2030)	R\$ 120.088.083,00	Implantação e ampliação de redes coletoras, estações elevatórias, estações de tratamento
Médio Prazo (2031-2039)	R\$ 112.527.862,00	Expansão de capacidade e ajustes operacionais
Longo Prazo (2040-2047)	R\$ 4.467.112,00	Consolidação e manutenção de estruturas implantadas
Total Geral (2024-2047)	R\$237.083.057,00	

Fonte: Adaptado do Plano Regional de Saneamento Básico do Governo do Estado de Pernambuco, 2024.

Esses valores indicam um comprometimento concreto com a melhoria das condições sanitárias de Igarassu, especialmente em áreas com maior vulnerabilidade socioambiental, como o Loteamento Residencial Pitanga I, foco deste estudo. O plano considera a realidade de áreas urbanas periféricas que enfrentam deficiências históricas de infraestrutura, como ligações irregulares à rede, ausência de tratamento de esgoto, alagamentos frequentes e contaminação de recursos hídricos.

3.1.5.2 Aplicações Potenciais no Residencial Pitanga I

Com base nas diretrizes do plano, as intervenções propostas para Igarassu podem ser direcionadas de forma estratégica para o Loteamento Residencial Pitanga I. A área, atualmente impactada por lançamentos indevidos de água pluvial no sistema de esgoto, infiltrações de água tratada e ausência de tratamento eficiente, poderá ser beneficiada pelas seguintes ações presente no quadro 3:

Quadro 3. Aplicações Prioritárias do Plano no Loteamento Pitanga I

Eixo de Intervenção	Justificativa Técnica	Impactos Esperados
Ampliação da rede coletora de esgoto	A rede existente é insuficiente e mal dimensionada	Redução de extravasamentos e ligações clandestinas
Instalação de estações elevatórias locais	A topografia do loteamento requer bombeamento para escoamento eficiente	Garantia de fluxo contínuo e redução de refluxos
Implantação de sistema de tratamento local	A ausência de ETE contribui para a poluição de cursos d'água	Melhoria da qualidade ambiental e da saúde pública
Fiscalização e educação ambiental	Grande número de ligações irregulares e descarte de lixo na rede	Conscientização dos moradores e uso correto da rede

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025.

Além da infraestrutura, o plano prevê a articulação com políticas públicas de educação ambiental e fortalecimento da gestão comunitária dos sistemas implantados. Isso é fundamental para garantir a sustentabilidade dos investimentos e o uso adequado das estruturas por parte da população local.

A priorização do Pitanga I como área de aplicação direta dos recursos previstos pode ser justificada pelos seguintes fatores: (i) alto adensamento populacional, (ii) condições sanitárias precárias, (iii) impacto direto na bacia hidrográfica local, e (iv) vulnerabilidade social dos moradores. Nesse sentido, os investimentos programados para Igarassu devem ser direcionados com base em diagnósticos precisos e critérios de equidade territorial.

O Plano Regional de Saneamento da Microrregião RMR-Pajeú apresenta uma oportunidade única para a reestruturação do saneamento básico no município de Igarassu. A aplicação planejada e direcionada dos recursos poderá transformar realidades críticas, como a do Loteamento Pitanga I, garantindo não apenas o acesso à infraestrutura adequada, mas também promovendo saúde, dignidade e qualidade de vida para a população.

O uso estratégico das informações presentes no plano e a articulação com os entes operacionais locais permitirá que as obras previstas não apenas sejam executadas, mas produzam efeitos duradouros e mensuráveis no território.

3.2 DIAGNÓSTICO PARTICIPATIVO

O diagnóstico participativo utilizado neste estudo é uma abordagem metodológica que busca integrar os moradores na identificação dos problemas e na definição das soluções. Por

meio de sua participação ativa, os residentes contribuem com informações contextuais e subjetivas que complementam a análise técnica, garantindo que o planejamento das intervenções considere as reais necessidades da comunidade e promova inclusão social e engajamento local.

3.2.1 Mapeamento das Infraestruturas:

Durante a visita de campo, foi constatado que apenas a Rua Francisco Monteiro não apresenta ocorrência de alagamentos, em virtude de sua localização em uma cota mais elevada do terreno. Por outro lado, todas as demais vias do Residencial Reserva da Pitanga I sofrem com alagamentos e enchentes durante os períodos de chuva.

A partir da análise visual e da observação em campo, foram identificados diversos pontos críticos com deficiências nos sistemas de drenagem e saneamento básico (Apêndice B), inclusive em períodos de estiagem. Nestes locais, verificam-se vazamentos na rede de distribuição de água tratada e falhas estruturais na rede coletora de esgoto.

Especificamente, observou-se vazamento de água potável no início da Rua Nicolau Vieira de Fraga, no início da Rua Adiel Francisco de Oliveira e na Rua Nilson Monteiro, caracterizando perdas no sistema de abastecimento. Já nos trechos finais das ruas Nicolau Vieira de Fraga e Adiel Francisco de Oliveira, bem como nas ruas Núbia Carvalho de Oliveira, Wilson Luiz de Fraga e José Francisco de Paula, foram identificados extravasamentos da rede coletora de esgoto, os quais se espalham pelo pavimento, agravando ainda mais os problemas de salubridade.

Em alguns trechos, os vazamentos de água da rede de distribuição se misturam com os efluentes da rede de esgoto, intensificando os impactos negativos sobre a infraestrutura urbana e a qualidade de vida da população residente. Esses problemas, recorrentes e interconectados, evidenciam a precariedade do sistema de saneamento e a necessidade urgente de intervenções corretivas e planejadas. Na Figura 14. estão localizados dos pontos críticos de saneamento.

Figura 14. Localização dos Pontos Críticos de Saneamento



Fonte: O autor (2025).

3.2.2 Curvas de níveis

Com base nas metodologias usadas por Ribas (2021) e pelo canal Jovens Agrimensores (2022) obtemos a imagens das curvas de níveis do Residencial Reserva da Pitanga I e de seu entorno (Apêndice A).

Figura 15. Curvas de níveis do Limites do Residencial Pitanga I e seu entorno



Fonte: Autor (Google Earth, 2023).

A análise altimétrica do Residencial Reserva da Pitanga I e de seu entorno, com base na sobreposição das curvas de nível (FIGURA 15) sobre imagem de satélite e nos dados extraídos via interpolação topográfica, revelou variações significativas de relevo no interior e ao redor do loteamento. As altitudes registradas variaram entre aproximadamente 7 metros e 55 metros acima do nível do mar, evidenciando um desnível relevante ao longo da área urbanizada, com declividades acentuadas em alguns trechos periféricos e áreas de vegetação.

No centro do loteamento, onde se concentram as unidades habitacionais do programa Minha Casa Minha Vida, observam-se curvas de nível com espaçamento relativamente maior, indicando uma topografia mais plana, o que é característico de áreas previamente aterradas ou niveladas para implantação de habitação popular. Entretanto, nas extremidades norte e nordeste do loteamento, o adensamento das curvas de nível aponta para áreas de declividade acentuada, o que implica em maior escoamento superficial e, conseqüentemente, maior risco de processos erosivos e de sobrecarga na rede de drenagem existente.

As curvas de nível também revelam a existência de depressões topográficas em alguns pontos críticos do residencial, especialmente nas regiões em que se observam alagamentos

frequentes e acúmulo de águas residuais. Essa configuração morfológica sugere que parte da rede de drenagem pluvial pode estar sendo subdimensionada ou mal direcionada, permitindo que águas das chuvas escoem para os coletores de esgoto, agravando os problemas de saneamento relatados pela população local.

A partir da leitura das altitudes associadas às curvas, é possível constatar que a água da chuva tende a se concentrar nas partes mais baixas da malha urbana, o que coincide com os relatos de alagamentos constantes nas ruas próximas aos limites leste e sul do loteamento. Essa constatação reforça a necessidade de redimensionamento dos sistemas de captação de águas pluviais e a adoção de soluções baseadas na natureza, como jardins de chuva e valas de infiltração, para reduzir a carga hidráulica sobre as redes existentes.

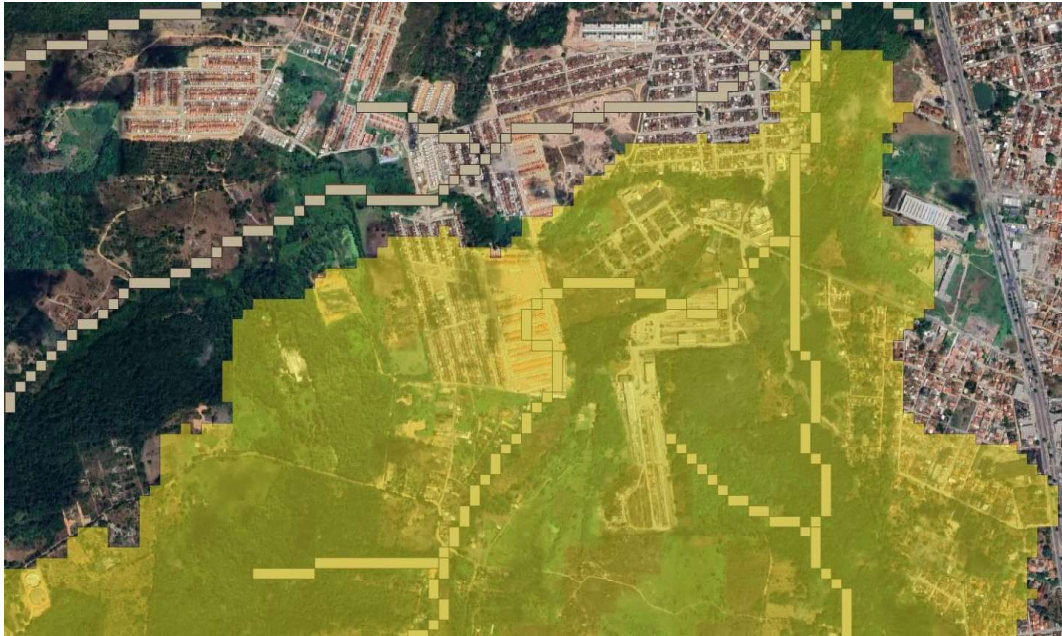
Adicionalmente, os dados demonstram que há um gradiente suave de elevação na direção sudoeste-nordeste, o que deveria ter orientado o planejamento das ruas e das redes de drenagem para aproveitar o escoamento natural do terreno. No entanto, a urbanização não seguiu esse padrão topográfico, resultando em ruas transversais à declividade e acúmulo de água em áreas sem saída adequada.

Portanto, a interpretação das curvas de nível, aliada à visualização geoespacial da área, fornece subsídios fundamentais para o diagnóstico ambiental e para a proposição de intervenções sustentáveis, que considerem tanto a morfologia do terreno quanto a realidade urbana do Residencial Reserva da Pitanga I.

3.2.3 Delimitação da Bacia Hidrográfica

A delimitação da bacia hidrográfica a partir do exutório posicionado após o Residencial Reserva da Pitanga I resultou em uma área de contribuição de 7.547,66 hectares, abrangendo um vasto território com diferentes características físicas e ocupacionais (Apêndice C). Este resultado evidencia a expressiva extensão da bacia, cuja dinâmica de drenagem influencia diretamente o comportamento hidrológico de toda a região a jusante do loteamento.

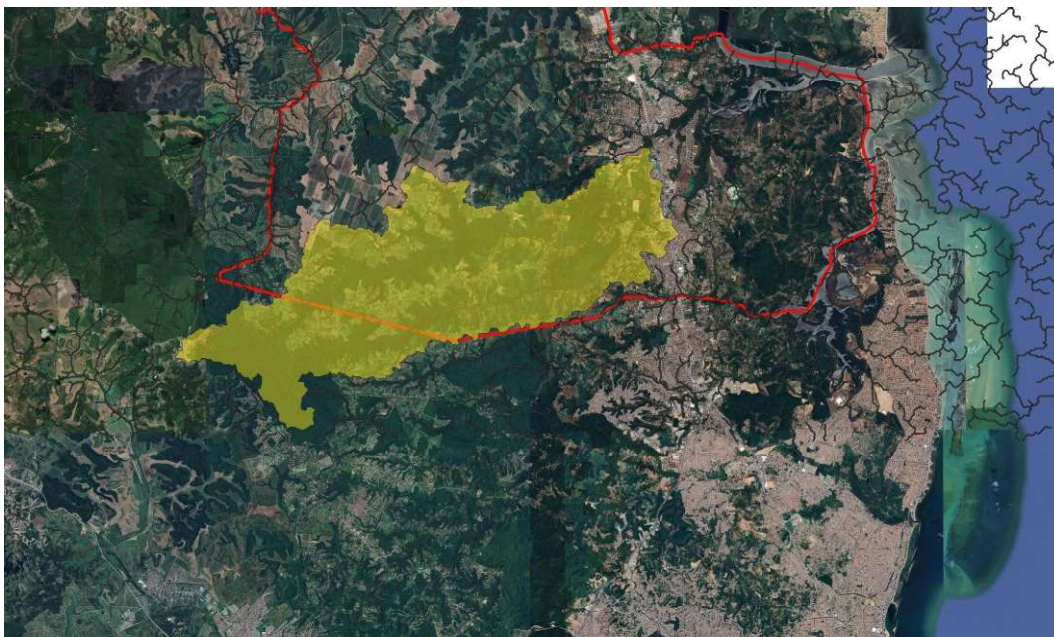
Figura 16. Ponto do exutório pós o Loteamento Residencial Pitanga I



Fonte: Autor (QGIS 3.40.8, 2025).

A Figura 16 apresenta a localização do ponto de exutório da bacia hidrográfica correspondente ao Loteamento Residencial Pitanga I. Esse ponto representa a área de saída natural do escoamento superficial após atravessar o conjunto habitacional, concentrando o fluxo de águas pluviais que percorrem o relevo local. Sua identificação é fundamental para compreender a dinâmica de drenagem da área, uma vez que permite delimitar a bacia de contribuição e planejar medidas de controle hídrico. A análise desse ponto evidencia a necessidade de soluções que minimizem a sobrecarga do sistema de esgotamento e reduzam os impactos de alagamentos, reforçando a importância das propostas de infraestrutura sustentável e das Soluções Baseadas na Natureza para o gerenciamento adequado das águas no residencial.

Figura 17. Bacia de contribuição do exutório pós o Loteamento Residencial Pitanga I



Fonte: Autor (QGIS 3.40.8, 2025).

A análise espacial da bacia (FIGURA 17) mostra que o loteamento se encontra em uma posição crítica no sistema de drenagem, funcionando como um ponto intermediário de concentração e redistribuição do escoamento superficial. As imagens analisadas demonstram que a urbanização na parte superior da bacia é baixa, o que favorece a permeabilidade natural do solo, permitindo a infiltração da água da chuva e, conseqüentemente, reduzindo o volume e a velocidade do escoamento superficial, principalmente durante eventos pluviométricos intensos. Essa condição contribui positivamente para a retenção hídrica a montante, atuando como um fator de amortecimento natural.

Entretanto, ao alcançar o trecho urbanizado do Residencial Reserva da Pitanga I, observa-se um aumento na impermeabilização do solo, o que compromete a capacidade de infiltração e gera um aumento significativo do escoamento superficial, com impactos diretos sobre o sistema de drenagem urbana. A ausência de dispositivos de controle de vazão, como bacias de retenção, canais de infiltração ou pavimentações permeáveis, favorece a ocorrência de alagamentos, erosão de vias e sobrecarga das redes de esgotamento e águas pluviais.

Outro aspecto relevante revelado pelos dados é que a bacia de contribuição ultrapassa os limites geográficos do município de Igarassu, estendendo-se para territórios vizinhos. Esse fator amplia a escala de impacto do escoamento superficial e reforça a necessidade de uma gestão integrada e intermunicipal dos recursos hídricos. A ocupação desordenada, o avanço urbano sem infraestrutura adequada e a ausência de planejamento ambiental podem

comprometer não apenas o bairro em estudo, mas também áreas situadas em municípios adjacentes, aumentando o risco de inundações, assoreamento de corpos d'água e degradação ambiental em pontos críticos da bacia.

Dessa forma, o mapeamento da bacia de contribuição reforça a urgência de ações estruturantes baseadas em planejamento territorial, infraestrutura verde e Soluções Baseadas na Natureza (SbN). Medidas como sistemas de drenagem sustentável (SuDS), valas de infiltração, zonas de amortecimento e corredores ecológicos são fundamentais para garantir o equilíbrio hídrico e ambiental da região, promovendo a resiliência urbana diante das mudanças climáticas e da pressão antrópica sobre os sistemas naturais.

3.3 PRIORIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA

Para definir a ordem de implementação das soluções, foram considerados critérios técnicos e operacionais, relacionados à disponibilidade de área, custo de implantação, eficiência na mitigação dos problemas identificados e benefícios socioambientais. Com base nesses parâmetros, foi possível priorizar intervenções que combinam alto impacto hidrológico, viabilidade prática e aceitabilidade social (QUADRO 4) no contexto do Residencial Reserva da Pitanga I.

Quadro 4. Priorização das Soluções Baseadas na Natureza Propostas

Priorização das Soluções Baseadas na Natureza Propostas					
Solução Proposta	Área Necessária	Custo de Implantação / Manutenção	Impacto Hidrológico Esperado	Benefícios Socioambientais	Prioridade Final
Jardins de Chuva	Baixa (podem ser implantados em pequenos canteiros e calçadas)	Baixo a moderado (construção simples e manutenção comunitária)	Alta (aumenta infiltração e retém água de chuva)	Alta (melhora estética e microclima)	Prioritária
Pavimento Intertravado Permeável	Média (ruas e áreas de circulação existentes)	Moderado (varia conforme base e sub-base)	Alta (reduz escoamento superficial e recarrega lençol)	Média (melhora mobilidade e conforto urbano)	Prioritária
Parque/Praça Alagável (Área Inundável Controlada)	Alta (necessita área pública disponível)	Moderado a alto (depende de terraplenagem e drenagem natural)	Muito Alta (regula picos de cheia e cria bacia de retenção natural)	Muito Alta (lazer, convivência, saúde urbana)	Prioritária Estratégica

Fossa Ecológica / Sistema de Tratamento Local	Baixa (adaptação em lotes existentes)	Baixo (manutenção local e componentes simples)	Média (reduz carga no sistema, mas depende de adesão dos moradores)	Média (melhora condições sanitárias domiciliares)	Suplementar
Tubos Corrugados de PEAD (Substituição de Rede/Coletoras)	Baixa a média (em trechos pontuais)	Moderado (custo médio por metro, mas alta durabilidade)	Média (melhora escoamento e reduz infiltrações indesejadas)	Baixa (pouco visível socialmente)	Suporte Estrutural
Wetland Construída	Média a alta (exige área contínua para canal/valeta filtrante)	Moderado (implantação com materiais naturais e vegetação)	Alta (filtra e trata efluentes, reduz poluição difusa)	Alta (cria habitat e paisagem ambientalmente qualificada)	Prioritária em Áreas Críticas

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025.

Observa-se, no quadro 4, que jardins de chuva, pavimento intertravado permeável e a criação de um parque/praça alagável apresentam maior potencial de impacto positivo, pois atuam diretamente na redução do escoamento superficial e no aumento da infiltração, além de promoverem benefícios ambientais e sociais associados à melhoria do espaço urbano. As soluções de suporte, como a fossa ecológica, os tubos corrugados de PEAD e a wetland construída, desempenham papel complementar, reforçando a eficiência do sistema de saneamento e o tratamento da água, especialmente em áreas críticas. Dessa forma, a priorização apresentada orienta a implementação gradual e integrada das intervenções, garantindo coerência técnica, viabilidade econômica e sustentabilidade ao longo do tempo.

3.4 PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES

A partir do diagnóstico realizado, foram elaboradas propostas de intervenção com foco na melhoria das condições de saneamento e drenagem do Residencial Reserva da Pitanga I (Apêndice D). As soluções apresentadas buscam integrar aspectos técnicos, ambientais e sociais, de forma a reduzir os impactos negativos do sistema atual e promover maior sustentabilidade urbana. Nesse contexto, a adoção de estratégias inovadoras torna-se essencial para garantir eficiência no manejo das águas e qualidade de vida para os moradores.

3.4.1 Soluções Baseadas na Natureza (SbN)

Entre as alternativas propostas, destacam-se as Soluções Baseadas na Natureza (SbN),

que se fundamentam no uso de processos naturais para enfrentar desafios urbanos, especialmente os relacionados à drenagem pluvial e ao esgotamento sanitário. Essas soluções aliam eficiência técnica e benefícios ambientais, favorecendo a infiltração da água, a retenção de poluentes e a valorização do espaço urbano, ao mesmo tempo em que fortalecem a resiliência da comunidade frente a eventos climáticos extremos.

3.4.1.1 Jardins de Chuva

No contexto do Residencial Reserva da Pitanga I, a implantação de jardins de chuva mostra-se uma alternativa eficaz para enfrentar os problemas recorrentes de alagamento e poluição hídrica causados pelo lançamento inadequado de águas pluviais no sistema de esgotamento sanitário. Esses dispositivos, também conhecidos como sistemas de biorretenção, promovem a infiltração e o tratamento das águas pluviais por meio da ação de plantas e microrganismos, que atuam na remoção de poluentes através de processos como filtração, adsorção, troca iônica e decomposição. Além de reduzir significativamente o volume do escoamento superficial e melhorar a qualidade da água, essas estruturas ainda oferecem ganhos estéticos à paisagem urbana. No caso do Pitanga I, sua implementação pode ser estratégica em calçadas amplas, áreas internas dos lotes e pátios públicos, contribuindo não apenas para o controle das enchentes, mas também para a recarga do lençol freático e para a valorização ambiental da comunidade (FCTH et al., 2013).

A expansão urbana desordenada tem gerado impactos significativos sobre os corpos hídricos urbanos, especialmente pela intensificação da poluição difusa proveniente do escoamento superficial. Nesse contexto, as infraestruturas verdes vêm sendo cada vez mais empregadas como estratégias sustentáveis para o controle da poluição e a adaptação das cidades às mudanças climáticas. Dentre essas soluções, os jardins de chuva se destacam pela capacidade de reduzir o volume do escoamento e filtrar poluentes físicos, químicos e biológicos. Embora desenvolvida nos Estados Unidos nos anos 1990, essa técnica ainda é considerada recente em diversos centros urbanos, demandando maior divulgação e aplicação, sobretudo em países tropicais como o Brasil (GONDIM; OHNUMA JÚNIOR; OBRACZKA, 2023).

Estudos internacionais indicam que os jardins de chuva apresentam um bom custo-benefício em comparação com outras infraestruturas verdes, como telhados verdes e pavimentos permeáveis. Os custos de instalação variam conforme o país e as características do projeto, indo de US\$50/m² na China a US\$200/m² na Polônia, sendo estimado em

US\$115/m² no Brasil. Além disso, destacam-se pela eficácia na retenção de poluentes como coliformes fecais, metais pesados e pesticidas, sendo recomendados especialmente para áreas urbanas compactas. No entanto, a manutenção periódica é essencial para garantir sua eficiência, o que reforça a importância de políticas públicas que incentivem sua implementação e operação de forma contínua (GONDIM; OHNUMA JÚNIOR; OBRACZKA, 2023).

A partir da revisão de literatura e da realidade diagnosticada no Residencial Reserva da Pitanga I, verificou-se que os Jardins de Chuva configuram-se como uma das estratégias mais promissoras dentro das Soluções Baseadas na Natureza (SbN) para mitigação dos problemas de drenagem urbana, esgotamento sanitário e vazamentos de água tratada. O estudo de Gondim, Ohnuma Júnior e Obraczka (2023) apresenta uma análise abrangente sobre a técnica, apontando sua eficácia no controle do escoamento superficial e na filtragem de poluentes difusos transportados pelas águas pluviais.

Em contextos urbanos como o do Residencial Pitanga I, onde a impermeabilização do solo, a deficiência na cobertura da rede de esgoto e a ausência de drenagem pluvial adequada contribuem para alagamentos recorrentes e contaminação ambiental, a implantação de infraestruturas verdes como os Jardins de Chuva pode atuar como estratégia de mitigação e requalificação ambiental.

A pesquisa mencionada identificou que, entre os anos de 2011 a 2022, houve um crescimento significativo na produção científica sobre o tema, especialmente em países como os Estados Unidos (48% das publicações), China (15%), Austrália (11%) e Canadá (8%). Esse avanço se deve à urgência de soluções resilientes frente às mudanças climáticas e à degradação hídrica urbana. Os principais temas abordados foram: (1) custos de instalação e operação, (2) capacidade de retenção de água, (3) controle da poluição, (4) aspectos construtivos e operacionais, e (5) fatores socioambientais.

No tocante à viabilidade econômica, os custos de instalação variam de acordo com o contexto local, dimensão do projeto e tipos de vegetação e substrato utilizados. Nos Estados Unidos, os valores estimados para jardins de até 18,5 m² situam-se entre US\$ 54/m² e US\$ 70/m², enquanto na China os custos giram em torno de US\$ 50/m² (MENG & HSU, 2019; HAN et al., 2021). No Brasil, o custo médio estimado é de US\$ 115/m², considerando um projeto com tempo de retorno de 2 anos (MELO et al., 2014). No contexto do Pitanga I, adaptações de escala e escolha de materiais locais podem reduzir substancialmente esses custos, viabilizando a implementação em áreas estratégicas.

A manutenção periódica também se apresenta como fator determinante para o sucesso

desses sistemas. Apesar de sua simplicidade, o Jardim de Chuva necessita de cuidados contínuos para manter sua capacidade de retenção e filtragem, com custos estimados de US\$ 39 a US\$ 50 anuais nos países analisados (GONDIM et al., 2023). Ainda segundo os autores, a adoção de tecnologias automatizadas pode gerar economia de recursos hídricos e humanos, mesmo exigindo investimentos iniciais mais altos.

Do ponto de vista ambiental, os Jardins de Chuva apresentam elevada eficiência na retenção de poluentes físicos, químicos e biológicos, incluindo *Escherichia coli*, metais pesados e pesticidas, por meio da filtragem em substratos vegetados e da ação da biodiversidade local (ZHANG et al., 2015; SØBERG et al., 2017). Tal funcionalidade é especialmente relevante para áreas como o Pitanga I, onde águas pluviais são desviadas para a rede de esgoto de forma irregular, acarretando sobrecarga e vazamentos constantes.

Modelagens computacionais recentes indicam que, quando utilizados em combinação com outras infraestruturas verdes (telhados verdes e pavimentos permeáveis), os Jardins de Chuva podem reduzir até 73,7% do escoamento superficial e 77,7% dos sólidos em suspensão (GAO et al., 2021). Tais evidências sustentam a proposta deste trabalho de utilizar essas soluções de forma integrada ao sistema urbano do Residencial Pitanga I, promovendo uma requalificação efetiva do saneamento ambiental.

Ainda que a ausência de dados hidrológicos detalhados reduza a possibilidade de modelagem numérica precisa das intervenções, as Soluções Baseadas na Natureza propostas apresentam comprovada capacidade de redução de escoamento superficial e aumento da infiltração, conforme documentado em experiências consolidadas em contextos urbanos brasileiros e latino-americanos. Além disso, o enfoque adotado prioriza ações de baixo custo, execução simples e manutenção comunitária, o que reforça sua viabilidade em áreas de vulnerabilidade socioambiental, como o Residencial Reserva da Pitanga I.

Portanto, a partir dos resultados discutidos, conclui-se que há evidências técnicas, econômicas e ambientais que fundamentam a viabilidade da adoção de Jardins de Chuva como instrumento de saneamento sustentável no Residencial Reserva da Pitanga I. Essa proposta se alinha às diretrizes contemporâneas de gestão urbana resiliente e às metas de desenvolvimento sustentável, reforçando a importância de políticas públicas que incentivem o uso de SbN em contextos de vulnerabilidade socioambiental.

3.4.1.2 Pavimento Intertravado para a Drenagem Sustentável

A análise dos dados obtidos no diagnóstico técnico e documental do Residencial

Reserva da Pitanga I revelou uma situação crítica relacionada à drenagem pluvial. Observou-se a ocorrência de alagamentos frequentes, devido à ausência de infraestrutura adequada de escoamento, associada ao lançamento irregular de águas pluviais na rede de esgoto. Esse cenário, somado à baixa permeabilidade do solo urbano e à impermeabilização crescente das superfícies, contribui para a sobrecarga do sistema e a degradação das condições sanitárias e ambientais do loteamento.

Nesse contexto, a adoção de pavimentação com blocos intertravados permeáveis representa uma solução eficaz e de baixo impacto ambiental para mitigar os problemas associados ao escoamento superficial e à sobrecarga das redes de drenagem existentes. Como demonstrado nos estudos de Ghisi, Belotto e Thives (2020), esse tipo de pavimentação permite a infiltração direta da água da chuva na superfície do solo, reduzindo o volume de água que esco superficialmente e, conseqüentemente, os riscos de alagamento. Em sua pesquisa, os autores identificaram uma eficiência de infiltração superior a 80% em sistemas bem projetados, além da capacidade de retenção de poluentes, como sólidos suspensos e fósforo, o que contribui para a melhoria da qualidade da água infiltrada.

A aplicação dos blocos intertravados no loteamento poderia ser direcionada prioritariamente às ruas de maior inclinação e nas áreas críticas de acúmulo de água, permitindo a infiltração direta no solo e a recarga do lençol freático. Como reforçado por Olivares et al. (2023), esse tipo de pavimentação é particularmente eficaz em contextos de urbanização desordenada, como o verificado no Pitanga, onde a rede de drenagem convencional é ausente ou insuficiente. Ao permitir que a água seja absorvida no próprio local da precipitação, o sistema contribui para a redução da velocidade de escoamento, evitando a erosão, o transporte de sedimentos e a entrada de detritos na rede de esgoto.

Além dos benefícios hidrológicos, o uso de blocos intertravados se mostra vantajoso do ponto de vista operacional e financeiro. Como apontado por Silva et al. (2023), a manutenção modular desse tipo de pavimento permite intervenções pontuais, com a substituição apenas das peças danificadas, sem a necessidade de recapeamento total da via, o que reduz significativamente os custos ao longo do tempo. Ainda, a possibilidade de incorporar materiais reciclados na fabricação dos blocos promove ganhos ambientais adicionais, em consonância com os princípios das Soluções Baseadas na Natureza.

Portanto, a pavimentação intertravada se apresenta como uma alternativa viável, sustentável e tecnicamente eficiente para a requalificação das vias do Residencial Pitanga I. Sua implementação, aliada a um projeto de base drenante e à orientação adequada das cotas e declividades das ruas, poderia contribuir substancialmente para o controle do escoamento

superficial, reduzindo os impactos negativos associados às chuvas intensas e promovendo maior qualidade de vida aos moradores da região.

3.4.1.3 Parque Linear

A implantação de um parque linear na área de aproximadamente 3.890 m² localizada às margens do rio ao norte do Loteamento Pitanga I, cortada pela estrada de acesso principal, representa uma estratégia eficaz de requalificação ambiental e urbana fundamentada em Soluções Baseadas na Natureza (SbN). Os resultados levantados nas etapas diagnósticas indicam que essa área se configura como uma zona de transição entre o ambiente urbano e o curso d'água, sendo altamente vulnerável a processos erosivos, assoreamento e alagamentos, além de possuir potencial para a ampliação de serviços ecossistêmicos.

O parque linear, ao integrar vegetação nativa, áreas de infiltração e infraestrutura verde, contribuirá diretamente para a mitigação de enchentes, retenção e filtragem da água da chuva, além de favorecer a biodiversidade local, conforme apontam estudos como os de Coutinho e Kraemer (2020) e da Silva et al. (2018). Além disso, Oliveira e Santos (2021) destacam que praças úmidas projetadas em áreas ribeirinhas promovem a recuperação de matas ciliares e aumentam a resiliência urbana frente aos eventos climáticos extremos, especialmente em zonas urbanizadas sem drenagem adequada.

Em consonância, os artigos internacionais consultados também reforçam os benefícios hidrológicos e sociais dessas intervenções. Chen et al. (2022) demonstram que os parques lineares em áreas urbanas promovem uma melhora significativa na qualidade da água e reduzem os picos de escoamento superficial. Já Gong et al. (2021) apontam que zonas úmidas urbanas construídas junto a rios atuam como filtros naturais que removem nutrientes e poluentes, além de funcionarem como espaços recreativos e educativos. Por sua vez, Lee e Kim (2023) enfatizam o papel dessas estruturas na conectividade ecológica e na regulação microclimática em ambientes densamente urbanizados.

Assim, ao ser implantado em uma zona de interface hídrica, o parque linear funcionará como uma infraestrutura multifuncional que alia drenagem urbana, valorização paisagística, educação ambiental e inclusão social. A proposta poderá integrar áreas de lazer, trilhas ecológicas, bancos permeáveis, espécies vegetais nativas e espaços de convivência que reforcem o pertencimento da comunidade ao território.

Com base nesses estudos e na leitura técnica do território, conclui-se que a proposta de criação de um parque linear no Loteamento Pitanga I, além de ambientalmente viável,

representa uma solução economicamente mais acessível e de manutenção simplificada se comparada a obras de infraestrutura cinza tradicional. Adicionalmente, ela contribui para a resiliência urbana e a justiça socioambiental, promovendo bem-estar e sustentabilidade.

3.4.1.4 Substituição de Fossa Séptica por Fossa Ecológica no Loteamento Pitanga

No projeto original do Loteamento Pitanga, foi destinada uma área de 875,55 m² para a instalação de um sistema de tratamento de esgoto do tipo fossa séptica tradicional. Embora essa solução seja amplamente utilizada, sua eficiência depende majoritariamente de processos físicos de sedimentação e de degradação anaeróbia, apresentando limitações na remoção de nutrientes, coliformes e outros poluentes, além de demandar manutenções frequentes e apresentar risco de odores e contaminação de águas superficiais e subterrâneas (EPA, 2015).

Com base nas evidências apresentadas por Bassani et al. (2024), wetlands construídos que, fundamentam a concepção da fossa ecológica, promovem remoções significativas de DBO, SST e nutrientes, muitas vezes superando 80% de eficiência, e mantendo essa performance mesmo sob variações de carga hidráulica. Esse desempenho é potencializado pela interação entre substratos filtrantes, micro-organismos presentes na rizosfera e vegetação adaptada a ambientes saturados, como apontam Kadlec e Wallace (2009).

Além da eficiência, estudos brasileiros como GESAD/UFSC (2021) e Silva et al. (2018) demonstram que a adoção de fossas ecológicas reduz a frequência de limpeza, minimiza custos operacionais e integra o sistema ao paisagismo, possibilitando inclusive o aproveitamento de biomassa. Esse aspecto é relevante para o Loteamento Pitanga, pois a área destinada ao tratamento pode ser projetada de modo a ter dupla função: atender ao saneamento e oferecer um espaço verde integrado ao tecido urbano, o que eleva a valorização imobiliária e melhora a aceitação social do empreendimento.

Outro fator decisivo é a mitigação de impactos ambientais. A fossa séptica convencional, quando mal dimensionada ou mal operada, pode contribuir para a eutrofização do rio localizado ao norte do loteamento, situação que é minimizada com o uso da fossa ecológica, já que a vegetação do sistema atua na absorção de nutrientes, reduzindo a carga poluidora do efluente final (ZHANG et al., 2024).

Do ponto de vista de dimensionamento, a área prevista de 875,55 m² é suficiente para a implantação de um sistema de fossa ecológica do tipo wetland construído de fluxo horizontal ou vertical, conforme parâmetros de projeto apresentados pela EPA (2015), garantindo tratamento adequado para a demanda estimada e permitindo flexibilidade para

futuras ampliações.

Portanto, a substituição da fossa séptica tradicional pela fossa ecológica no Loteamento Pitanga se mostra vantajosa tanto tecnicamente maior eficiência, menor risco de contaminação e maior estabilidade operacional quanto ambientalmente integração paisagística, criação de habitat e redução da poluição hídrica, além de proporcionar benefícios sociais e econômicos ligados à aceitação comunitária e à valorização urbana.

3.4.1.5 Aplicação de Tubos Corrugados de PEAD no Loteamento Pitanga

A aplicação de tubos corrugados em PEAD no sistema de drenagem do Loteamento Pitanga apresenta-se como solução técnica vantajosa em comparação ao uso tradicional de tubos de concreto, considerando aspectos estruturais, hidráulicos, operacionais e de custo.

Segundo Pedroso (2024), a estrutura corrugada confere ao PEAD elevada rigidez anelar e resistência à carga de solo, mesmo com menor espessura de parede, o que garante segurança estrutural mesmo em solos menos estáveis. Essa característica é particularmente importante no Loteamento Pitanga, onde parte das vias cruza áreas com presença de lençol freático mais superficial e solos de baixa coesão, exigindo sistemas que mantenham estabilidade a longo prazo.

BFS Engenharia (2024) demonstra que a leveza dos tubos corrugados reduz significativamente o tempo e o custo de instalação, permitindo transporte mais simples e utilização de equipamentos menores para assentamento. No caso do Loteamento Pitanga, essa vantagem implicaria menor interferência no cronograma da obra e menor impacto logístico, já que o transporte de concreto pré-moldado em grandes dimensões exige maior esforço operacional e acessos mais robustos.

Do ponto de vista hidráulico, Silva Júnior et al. (2020) apontam que o PEAD corrugado possui superfície interna lisa, o que reduz o coeficiente de rugosidade e melhora o escoamento, evitando acúmulo de sedimentos e reduzindo a frequência de manutenção. Em um loteamento de uso residencial como o Pitanga, essa característica pode contribuir para a diminuição de alagamentos localizados e prolongar a vida útil da rede de drenagem.

Portanto, os corrugados de PEAD no Loteamento Pitanga, obtém-se um sistema de drenagem mais leve, rápido de instalar, com melhor desempenho hidráulico e vida útil prolongada, resultando em menor custo global de implantação e manutenção, além de maior confiabilidade operacional.

3.4.2 Comparação das Soluções Propostas com Experiências de Referência

A adoção de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) no Residencial Reserva da Pitanga I foi fundamentada tanto no diagnóstico técnico realizado em campo quanto na análise de experiências consolidadas em contextos urbanos semelhantes. A literatura e os casos de referência demonstram que intervenções que privilegiam a infiltração, a retenção de água e a recuperação de áreas de convergência hídrica apresentam melhores resultados na mitigação de alagamentos, na melhoria da qualidade ambiental e no fortalecimento da convivência comunitária, quando comparadas às infraestruturas exclusivamente cinzas.

No município de Curitiba, a implantação de parques lineares alagáveis ao longo de fundos de vale constituiu uma alternativa eficaz à canalização artificial de rios. Ao permitir que a água ocupe áreas verdes durante períodos de chuva intensa, o sistema passou a reduzir picos de escoamento, evitando alagamentos e, simultaneamente, criando espaços de lazer e convivência (CURITIBA, 2021). Esse princípio se relaciona diretamente com a proposta de criação de uma praça/parque alagável no Residencial Reserva da Pitanga I, que, a exemplo de Curitiba, busca transformar um problema recorrente, o acúmulo de água, em um elemento regulador e qualificador da paisagem urbana.

De forma semelhante, a experiência do Programa Capibaribe Melhor, no Recife, demonstra que intervenções como jardins de chuva e pavimentação permeável são estratégias eficazes para reduzir escoamento superficial e aliviar a sobrecarga da drenagem urbana convencional, sobretudo em bacias densamente ocupadas (RECIFE, 2020). No Residencial Reserva da Pitanga I, a proposição de jardins de chuva em pontos estratégicos e a substituição gradual de pavimento impermeável por pavimento intertravado permeável seguem o mesmo princípio: reter a água no local, aumentar a infiltração no solo e melhorar a permeabilidade da área construída.

Outro paralelo importante refere-se à utilização de wetlands construídas. Estudos desenvolvidos pelo CGEE (2022) destacam que wetlands urbanas são especialmente eficazes para o tratamento descentralizado de esgoto e águas cinzas, reduzindo a carga orgânica e o impacto sobre corpos hídricos urbanos. A proposta de wetland construída associada à fossa ecológica no Residencial Reserva da Pitanga I se aproxima dessa lógica, ao buscar uma solução de baixo custo, baixa complexidade operacional e adaptada ao contexto de vulnerabilidade socioambiental.

Em complemento, pesquisas do WRI Brasil (2020) apontam que SbN tendem a apresentar custo inferior de manutenção ao longo do ciclo de vida quando comparadas à

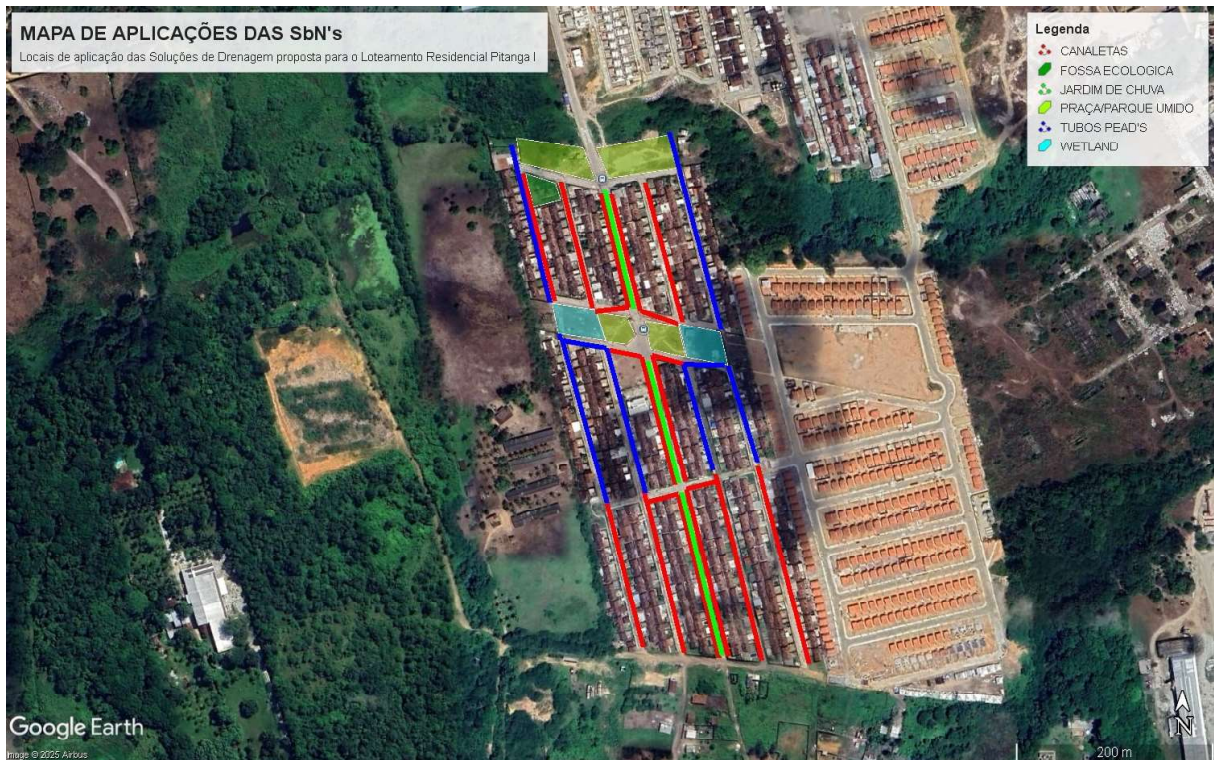
infraestrutura cinza tradicional, devido ao uso de vegetação, materiais naturais e à menor dependência de sistemas mecanizados. Isso reforça a adequação das soluções propostas no Residencial Reserva da Pitanga I, uma vez que o município dispõe de recursos financeiros limitados para manutenção de sistemas complexos e demanda intervenções com alta durabilidade e baixa necessidade de energia e operação especializada.

Desse modo, constata-se que as intervenções sugeridas para o Residencial Reserva da Pitanga I não apenas seguem tendências contemporâneas de gestão urbana sustentável, como também se apoiam em experiências consolidadas que comprovam sua eficácia, viabilidade e potencial de replicabilidade em municípios brasileiros de porte semelhante.

3.4.3 Aplicação da infraestrutura em SbN's no Loteamento Residencial Pitanga I

Com base nas soluções apresentadas no tópico anterior, nas visitas de campo, nas análises das curvas de nível e na delimitação da bacia hidrográfica, foi elaborado o Mapa de Locais Recomendados para Aplicação de Soluções Baseadas na Natureza (SbN's) no Loteamento Residencial Pitanga I (Figura 18).

Figura 18. Imagem do Projeto do Loteamento Residencial Pitanga I



Fonte: Autor (Google Earth, 2025).

Canaletas pré-moldadas de concreto (vermelho): Os trechos destacados em vermelho representam canaletas de pequeno porte que substituem o escoamento superficial por linha d'água. Embora não classifiquem como SbN's, são muito eficazes em áreas com baixa declividade. Normas como a NBR 10844/1989 orientam que condutores horizontais de drenagem (como calhas e canaletas) devem ser projetados com inclinação mínima de 0,5 %, atendendo ao critério técnico de escoamento gravítico eficaz.

Deságue das canaletas: Ao norte do loteamento, as canaletas direcionam o fluxo diretamente para as wetlands (em azul piscina). Ao sul, o escoamento é levado por canaletas até o sistema de tubos PEAD corrugados (em azul escuro), que conduzem a água até as wetlands centrais.

Wetlands centrais (áreas de tratamento): A wetland leste atende o sistema de drenagem da porção leste do lote. A wetland oeste é destinada ao sistema da porção oeste. Os efluentes tratados pelas wetlands são conduzidos por tubos PEAD até o rio que margeia a zona norte do loteamento.

Praças úmidas (verde claro): Localizadas junto às wetlands e as margens do rio, atuam como tanques de retenção em eventos de chuva intensa, reduzindo riscos de inundação.

Fossa ecológica (verde escuro): Proposta como substituição da fossa convencional, visa à melhoria do tratamento local dos efluentes, alinhada a práticas sustentáveis.

Jardim de chuva em canteiro central (verde – via principal): No trecho verde localizado na via principal do loteamento, é proposto um canteiro central ajardinado com sistema de biorretenção, que funcionará como jardim de chuva. Esse elemento receberá o escoamento superficial da via, permitindo infiltração, filtragem de poluentes e aporte paisagístico, além de contribuir para a redução da temperatura superficial e melhoria do microclima.

Repavimentação das vias: Todas as ruas do loteamento serão repavimentadas com tijolos intertravados, substituindo os paralelepípedos existentes. Essa solução contribui para Maior permeabilidade superficial, auxiliando na infiltração da água; Redução de escoamento superficial; Facilidade de manutenção, pois permite substituição pontual de peças; Melhoria estética e funcional das vias.

A proposta de aplicação de Soluções Baseadas na Natureza (SbN's) para o Loteamento Residencial Pitanga I demonstrou-se tecnicamente viável e ambientalmente estratégica, integrando elementos de drenagem convencional e natural em um sistema híbrido. O conjunto de intervenções — composto por canaletas com inclinação mínima de 0,5 %, jardins de chuva, wetlands, praças úmidas, fossas ecológicas e pavimento intertravado — atua de forma sinérgica para reduzir o escoamento superficial, promover infiltração, melhorar a qualidade da água e aumentar a capacidade de retenção durante eventos de chuva intensa (Apêndice D).

Além dos benefícios hidráulicos e ambientais, as intervenções propostas contribuem para a valorização urbanística do loteamento, oferecendo melhorias estéticas, maior conforto térmico e um espaço público mais funcional. O reposicionamento da drenagem para um modelo descentralizado, aliado à substituição do pavimento, favorece a resiliência frente às mudanças climáticas e atende às demandas de sustentabilidade e qualidade de vida da população local.

Dessa forma, os resultados obtidos reforçam que a adoção de SbN's, quando planejada de maneira integrada à infraestrutura existente, representa uma solução eficaz e de baixo impacto para a gestão de águas pluviais em áreas urbanas com baixa declividade, como é o caso do Residencial Pitanga I.

3.4.4 Projeto de Aplicação da Infraestrutura

Com base no diagnóstico e nas diretrizes sustentáveis apresentadas, foram elaboradas

propostas de intervenção que integram Soluções Baseadas na Natureza (SbN's) e melhorias de infraestrutura urbana para o Loteamento Residencial Pitanga I. Esta etapa contempla a representação visual dessas propostas por meio de modelagem tridimensional e renderização realista, permitindo compreender de forma clara a integração entre drenagem, áreas verdes, espaços de convivência e pavimentação permeável, alinhando funcionalidade, estética e sustentabilidade.

Para melhor visualização das intervenções propostas, foi desenvolvido o modelo tridimensional do Loteamento Residencial Pitanga I no software SketchUp 2021 e, posteriormente, renderizado no Enscape, possibilitando uma representação realista da aplicação das Soluções Baseadas na Natureza (SbN's) e demais melhorias de infraestrutura descritas no tópico anterior

Figura 19. Imagem renderizada Loteamento Residencial Pitanga I com aplicações das SbN's



Fonte: Autor (Enscape, 2025).

A imagem apresenta (Figura 19) a visão geral do loteamento com a disposição dos elementos projetados, permitindo compreender a integração entre drenagem, áreas verdes, equipamentos comunitários e pavimentação.

Figura 20. Jardim de Chuvas no canteiro central da avenida principal



Fonte: Autor (Enscape, 2025).

Na via principal (figura 20), foi proposto um canteiro central ajardinado com sistema de biorretenção (jardim de chuva), acompanhado de canaletas pré-moldadas substituindo as linhas d'água e pavimentação em tijolos intertravados para melhorar a infiltração e reduzir o escoamento superficial.

Figura 21. Pista de Cooper e Horta comunitária da praça úmida a Oeste



Fonte: Autor (Enscape, 2025).

A praça úmida do lado oeste (FIGURA 21) contempla pista de cooper pública e horta comunitária, ambos equipamentos projetados para suportar períodos de alagamento sem perda funcional, garantindo baixo custo de manutenção.

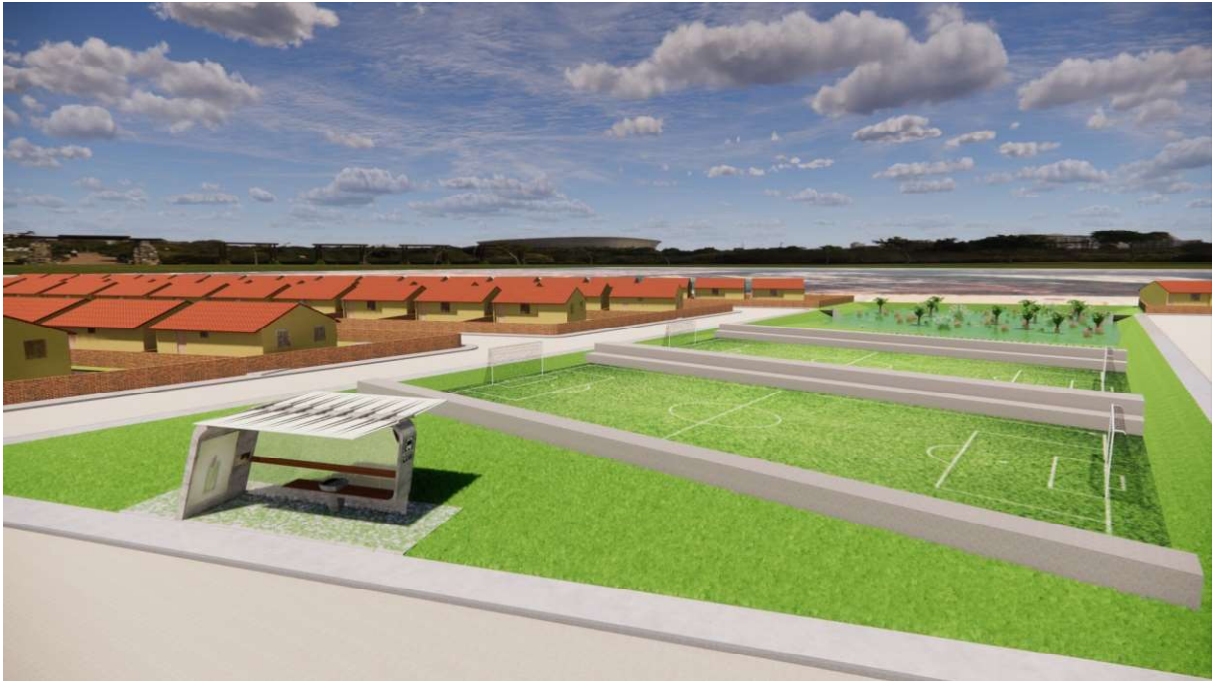
Figura 22. Local destina para Wetland do Lado Oeste



Fonte: Autor (Enscape, 2025).

A wetland oeste (FIGURA 22) atua no tratamento da água pluvial de toda a porção oeste do loteamento, promovendo retenção de sólidos, remoção de nutrientes e melhoria da qualidade da água antes do lançamento no rio ao norte.

Figura 23. Ponto de Ônibus e Campos de Futebol com arquibancada em concreto – Praça úmida do lado Leste



Fonte: Autor (Enscape, 2025).

A praça úmida oeste (FIGURA 23) também conta com ponto de ônibus em concreto, campo de futebol e arquibancada. Todos os elementos foram projetados em materiais resistentes a alagamentos ocasionais, minimizando a necessidade de reparos após cheias.

Figura 24. Horta comunitária da praça úmida lado leste e Wetland do lado leste



Fonte: Autor (Enscape, 2025).

A wetland leste (FIGURA 24) é responsável pelo tratamento da água pluvial coletada na porção leste do loteamento antes do descarte no rio. Ao lado, foi inserida uma horta comunitária na praça umida, incentivando o uso social e produtivo da área.

Figura 25. Pavimentação em tijolos intertravados



Fonte: Autor (Enscape, 2025).

O uso de pavimento intertravado (FIGURA 25) permite a infiltração parcial da água no solo, reduzindo o volume de escoamento direcionado ao sistema de drenagem e aumentando a permeabilidade do loteamento.

Figura 26. Fossa Ecológica



Fonte: Autor (Enscape, 2025).

A fossa ecológica (figura 26) combina tratamento eficiente de efluentes com produção de bananeiras no entorno, agregando benefícios como sombreamento, melhoria microclimática e estímulo à biofilia.

Figura 27. Parque Úmido as margens do Rio lado Oeste



Fonte: Autor (Enscape, 2025).

Espaço aberto com vegetação nativa e árvores (FIGURA 27), destinado à observação da natureza e atividades de lazer ao ar livre. Foi concebido para manter sua funcionalidade mesmo em períodos pós inundação.

Figura 28. Parque Úmido as margens do Rio lado Leste



Fonte: Autor (Enscape, 2025).

Além de vegetação nativa, o parque leste oferece mesas e bancos de concreto, brinquedos infantis também em concreto e campo de futebol, todos projetados para resistir a cheias sazonais (FIGURA 28).

Além dos benefícios técnicos, a modelagem 3D exerce papel relevante no impacto visual e urbanístico dos projetos. Ao permitir a visualização realista das intervenções antes de sua execução, ela auxilia na avaliação da harmonia arquitetônica com o entorno, na preservação de elementos paisagísticos e na adequação estética às diretrizes urbanísticas locais. Essa capacidade de antecipar a integração entre as novas estruturas e o espaço urbano existente contribui para decisões mais assertivas, minimizando conflitos visuais, valorizando o ambiente construído e fortalecendo a identidade urbana do local.

3.5 VIABILIDADE ECONÔMICA E MANUTENÇÃO COMUNITÁRIA DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS

A adoção de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) apresenta vantagens econômicas relevantes quando comparada à infraestrutura cinza convencional. De acordo com o World Resources Institute (WRI Brasil, 2020), intervenções como jardins de chuva, pavimentos permeáveis e wetlands construídas possuem custos de implantação semelhantes aos sistemas tradicionais, porém apresentam custos de manutenção até 40% menores ao longo do ciclo de vida, devido à baixa dependência de componentes mecanizados e energia.

Além disso, estudos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, ANA (2021) apontam que sistemas descentralizados de infiltração e retenção de águas urbanas, como praças alagáveis e valas vegetadas, contribuem para reduzir a sobrecarga da rede municipal, diminuindo a necessidade de obras de macrodrenagem de alto custo. Isso reforça a viabilidade econômica de sua adoção em municípios com limitações orçamentárias, como Igarassu.

Esses benefícios ampliam o retorno econômico de forma indireta, especialmente quando associados ao uso público de espaços como praças alagáveis, parques lineares e wetlands urbanas, que passam a atuar como equipamentos de convivência comunitária (CURITIBA, 2021).

A sustentabilidade dessas soluções está associada, ainda, à participação comunitária na manutenção. Pesquisas realizadas pela Fiocruz (2022) demonstram que projetos de gestão compartilhada de áreas verdes e infraestrutura ambiental urbana fortalecem laços sociais, diminuem vandalismo e aumentam a durabilidade das estruturas. Quando moradores participam do manejo da vegetação, limpeza de jardins de chuva e preservação de áreas permeáveis, os custos de manutenção pública são reduzidos e a infraestrutura se torna socialmente apropriada.

Experiências em diferentes municípios brasileiros demonstram que projetos de manutenção compartilhada são bem-sucedidos quando acompanhados de capacitação, transparência e corresponsabilização social. Por exemplo, em Recife, hortas urbanas e jardins de chuva implantados em áreas públicas são mantidos por associações de moradores com apoio técnico da prefeitura (RECIFE, 2020). Já em Belo Horizonte, programas de “adoção de praças” permitem que comunidades e coletivos assumam a manutenção cotidiana de áreas verdes, reduzindo custos municipais e aumentando o sentimento de pertencimento (BELO HORIZONTE, 2019).

Assim, a sustentabilidade das SbN propostas depende tanto de decisões de engenharia quanto da governança local. A construção de um plano de manutenção participativa, envolvendo moradores, escolas e agentes públicos, aumenta a vida útil das intervenções,

reduz custos operacionais e reforça o papel da comunidade na preservação do ambiente. Desse modo, a viabilidade econômica e social das soluções apresentadas para o Residencial Reserva da Pitanga I não se limita ao desempenho técnico, mas inclui sua capacidade de mobilizar, educar e integrar a população ao processo de cuidado coletivo do território.

3.6 ESTIMATIVAS DE IMPACTO AMBIENTAL DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS

A avaliação do potencial de melhoria proporcionada pelas Soluções Baseadas na Natureza (SbN) no Residencial Reserva da Pitanga I foi realizada por meio de indicadores de desempenho ambiental amplamente utilizados em projetos urbanos sustentáveis. Tais indicadores permitem estimar a redução do escoamento superficial, o aumento da capacidade de infiltração no solo e o benefício econômico associado à diminuição de intervenções corretivas de drenagem.

3.6.1 Redução do Escoamento Superficial

A substituição de áreas pavimentadas convencionais por pavimento intertravado permeável, aliada à implantação de jardins de chuva, permite uma redução expressiva do volume de água escoada durante eventos de chuva. Segundo o WRI Brasil (2020), intervenções desse tipo podem reduzir entre 35% e 70% do escoamento superficial, dependendo da declividade local e da profundidade do solo.

No caso do Residencial, considerando uma área crítica aproximada de 4.800 m² de pavimentação rígida, a implantação de pavimento intertravado e jardins de chuva pode resultar em uma redução estimada de 1.680 m² a 3.360 m² de escoamento direto, diminuindo alagamentos recorrentes na via principal e nas ruas transversais.

3.6.2 Ganho em Capacidade de Infiltração

A inclusão de parques/praças alagáveis e wetlands construídas favorece a recarga do solo e o equilíbrio hídrico local. Estudos da ANA (2021) indicam que áreas de biorretenção podem aumentar a infiltração da água em até 300% em comparação a superfícies impermeáveis.

Aplicando esse coeficiente às áreas propostas no bairro, estima-se que o volume infiltrado passe a absorver parcela significativa da chuva média anual, reduzindo a pressão

sobre a rede de drenagem e mitigando ocorrências de extravasamento e retornos de esgoto.

3.6.3 Estimativa Econômica e de Manutenção

De acordo com Fiocruz (2022), projetos de infraestrutura verde apresentam custos de manutenção até 40% menores ao longo do ciclo de vida quando associados a estratégias de mobilização comunitária. No contexto local, isso significa economia municipal e maior durabilidade das soluções implantadas, além de promover pertencimento e corresponsabilidade entre moradores.

Assim, a combinação entre baixos custos operacionais e alta eficiência na dissipação de águas pluviais confirma a viabilidade técnica e econômica da aplicação das SbN no Residencial Reserva da Pitanga I.

4 CONCLUSÃO

O estudo analisou as condições de saneamento e drenagem do Residencial Reserva da Pitanga I, evidenciando problemas relacionados ao lançamento inadequado de águas pluviais na rede de esgoto, infiltrações provenientes de vazamentos de abastecimento e elevada impermeabilização do solo. A partir desse diagnóstico, foram propostas Soluções Baseadas na Natureza (SbN), incluindo jardins de chuva, pavimento intertravado permeável, praça/parque alagável, fossa ecológica, tubos corrugados de PEAD e wetland construída, integradas ao contexto urbano e social do residencial.

Os resultados indicam que tais soluções possuem potencial para reduzir entre 35% e 70% do escoamento superficial e aumentar em até 300% a capacidade de infiltração nas áreas críticas, contribuindo para a mitigação de alagamentos e extravasamentos recorrentes. Além disso, verificou-se que a adoção dessas estratégias pode gerar redução de até 40% nos custos de manutenção do sistema de drenagem, especialmente quando associada à participação comunitária na conservação dos espaços.

Essas intervenções atuam de forma integrada para melhorar a qualidade da água, controlar enchentes e aumentar a resiliência urbana, ao mesmo tempo em que proporcionam benefícios. Além das análises e propostas apresentadas, esta dissertação gerou um conjunto de produtos técnicos reunidos nos apêndices (Apêndice E), que fortalecem a aplicabilidade prática dos resultados. As curvas de nível, pontos críticos e a delimitação da bacia de contribuição oferecem bases cartográficas para planejamento territorial e gestão das águas pluviais. O mapa de aplicação das Soluções Baseadas na Natureza sintetiza espacialmente as propostas de intervenção, enquanto a tabela de diretrizes de saneamento sustentável sistematiza recomendações técnicas que podem orientar gestores públicos e comunidades em processos de requalificação urbana. Esses produtos ampliam a utilidade da pesquisa, servindo como referência para futuras intervenções e estudos em saneamento ambiental sustentável. cios sociais e paisagísticos à comunidade.

Entre as principais contribuições do estudo, destacam-se: a elaboração de um diagnóstico integrado que articula drenagem, abastecimento e gestão comunitária; A aplicação de SbN como alternativa técnica viável para conjuntos habitacionais de interesse social; A proposição de critérios de priorização que incluem desempenho hidráulico, custo-benefício e aderência social. Entretanto, o trabalho apresenta limitações que devem ser reconhecidas. Não foram realizados ensaios de infiltração em campo ou modelagens hidrológicas detalhadas, o

que restringe a precisão das estimativas apresentadas. Além disso, os custos de implantação foram discutidos de forma comparativa, mas não detalhados em planilha orçamentária. Tais limitações decorrem do caráter exploratório e propositivo da pesquisa, voltada à geração de diretrizes preliminares.

A adoção de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) em contextos de habitação popular demonstra que é possível promover melhorias ambientais e sociais, reduzir custos de manutenção e estimular o engajamento comunitário com o território. Este estudo contribui para o avanço do conhecimento em gestão ambiental aplicada a áreas urbanas periféricas, servindo como referência para gestores públicos, profissionais de engenharia e pesquisadores interessados em alternativas sustentáveis para problemas históricos de saneamento.

Recomenda-se, como continuidade deste trabalho, a realização de medições diretas de vazão e infiltração em pontos críticos; modelagem hidrológica comparativa entre cenários com e sem SbN; levantamento de custos de implantação por unidade de intervenção; implementação piloto de ao menos uma das soluções propostas, acompanhada de monitoramento participativo.

Do ponto de vista das políticas públicas, os resultados obtidos podem subsidiar programas municipais de requalificação de conjuntos habitacionais e orientar atualizações dos Planos Municipais de Saneamento Básico e Drenagem Urbana, promovendo abordagens de baixo custo e alta eficiência ambiental. A replicabilidade das soluções também reforça a possibilidade de sua adoção em outros bairros com vulnerabilidade socioambiental semelhante.

Conclui-se, portanto, que a integração entre infraestrutura verde, participação comunitária e planejamento urbano sustentável constitui caminho viável para a melhoria das condições ambientais do Residencial Reserva da Pitanga I, ao mesmo tempo em que promove inclusão social, resiliência climática e fortalecimento do território.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10844:1989 – Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ABNT. NBR 12218:2017. Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Procedimento. Rio de Janeiro: *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, 2017. Disponível em: <http://www.emiliaweb.com.br/site/wp-content/uploads/2012/10/Nbr-12218-Projeto-De-Rede-De-Distribuicao-De-Agua-Para-Abastecimento-Publico.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2025.

ABNT. NBR 9649. Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Procedimento. Rio de Janeiro: *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, 2019. Disponível em: https://assem.org.br/associados-1/item/download/1492_db1ed5e8465aa1a3e11ad2b20f75367d. Acesso em: 04 nov. 2025.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Soluções Baseadas na Natureza para Gestão Hídrica Urbana*. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-saneamento/solucoes-baseadas-na-natureza.pdf> Acesso em: 04 nov. 2025.

ASCE – AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. HDPE and aging water management infrastructures. *Civil Engineering Source*, 28 out. 2024. Disponível em: <https://www.asce.org/publications-and-news/civil-engineering-source/article/2024/10/28/hdpe-and-aging-water-management-infrastructures/>. Acesso em: 9 ago. 2025.

BALZAN, M. V. Assessing ecosystem services for evidence-based nature-based solutions. *arXiv*, 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2105.05672>. Acesso em: 4 nov 2025

BASSANI, L.; PELISSARI, C.; SILVA, A. R.; SEZERINO, P. H. Constructed wetland for septic tank sludge management: drained water quality under different operating strategies on a bench-scale experiment. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 29, e20240040, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/cq7JH7syLMWYrPn48sZQgYm/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 9 ago. 2025.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Programa Adote o Verde. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/programa-da-pbh-adote-um-jardim-de-chuva-ja-tem-mais-de-110-pedidos-de-adesao>. Acesso em: 04 nov. 2025.

BFS ENGENHARIA. Concreto ou PEAD: qual o melhor para microdrenagem? Um estudo comparativo. *AECweb/BFS Engenharia*, 2024. Disponível em: <https://www.bfsengenharia.com.br/concreto-ou-pead-qual-o-melhor-material-para-redes-de-microdrenagem-um-estudo-comparativo>. Acesso em: 9 ago. 2025.

BOGOTÁ. Secretaría Distrital de Ambiente. Corredores Ecológicos y Humedales Urbanos

como Estratégia de Resiliência. Bogotá: *Governo Distrital*, 2022. Disponível em: <https://www.ambientebogota.gov.com>. Acesso em: 04 nov. 2025.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 08 jan. 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 04 nov. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico e altera as Leis nº 9.984/2000, nº 10.768/2003, nº 11.107/2005 e nº 11.445/2007. *Diário Oficial da União*, Brasília, 16 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 04 nov. 2025.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. *Diário Oficial da União*, Brasília, 1981.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2000.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Diagnóstico Temático – *Serviços de Água e Esgoto: Visão Geral*, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2023.pdf. Acesso em: 1 nov. 2025.

BRASIL. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, 07 mai. 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 04 nov. 2025.

CARDOSO, B. Desempenho de uma lagoa de infiltração na absorção de cheias e na recarga de aquífero. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/20780>. Acesso em: 13 jul. 2023.

CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Catálogo brasileiro de soluções baseadas na natureza. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, set. 2022. Disponível em: <https://catalogo-sbn-oics.cgee.org.br/solucoes/>. Acesso em: 31 jul. 2023.

COHEN-SHACHAM, E. et al. Understanding the value and limits of nature-based solutions to global societal challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2019.

CORGO, J. C.; SANTOS CRUZ, S.; CONCEIÇÃO, P. The evolution and future of research on Nature based Solutions to address societal challenges. *Communications Earth & Environment*, 2024.

COUTTS, C. et al. Green infrastructure and public health. *International Journal of*

Environmental Research and Public Health, v. 13, n. 3, p. 43–52, 2016. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/13/3/43>.

CURITIBA. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. Parques Lineares e Gestão de Rios Urbanos. Curitiba: *Prefeitura Municipal de Curitiba*, 2021. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br>. Acesso em: 04 nov. 2025.

DEBELE, S. E. et al. Nature-based solutions can help reduce the impact of natural hazards. *Science of the Total Environment*, 2023.

DEVECCHI, A.; CHIRMICI, A.; SIMONETTI, C.; CORRÊA, T. Desenhando cidades com Soluções baseadas na Natureza. *ResearchGate*, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/348910499>. Acesso em: 30 jun. 2023.

FABBRI, T. F. et al. Parques lineares como estratégia sustentável para áreas de preservação permanente urbanas. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, v. 9, n. 1, p. 121–139, 2020. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/rbpd/article/view/10839>.

FIOCRUZ. *Guia de Mobilização Comunitária para Sustentabilidade de Espaços Urbanos*. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://fiocruz.br/programa/programa-institucional-de-territorios-sustentaveis-e-saudaveis>. Acesso em: 04 nov. 2025.

FU, H. A comprehensive review of nature-based solutions: current status and future research. *AIMS Environmental Science*, v. 10, n. 5, p. 677–690, 2023.

GESAD/UFSC. Wetlands Brasil — experiências brasileiras. Florianópolis: UFSC, 2021. Disponível em: <https://gesad.ufsc.br/files/2021/02/E-book-WETLANDS-BRASIL-Experi%C3%Aancias-Brasileiras-1.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2025.

GHISI, E.; BELOTTO, T.; THIVES, L. P. The use of permeable interlocking concrete pavement to filter stormwater for non potable uses in buildings. *Water*, v. 12, n. 7, 2020.

GONÇALVES, C. A. et al. Parques lineares e a gestão ambiental urbana: perspectivas e desafios para as cidades brasileiras. *Revista Geografia em Questão*, v. 10, n. 1, p. 114–131, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/geografiaemquestao/article/view/1364>.

GONDIM, F. R.; OHNUMA JÚNIOR, A. A.; OBRACZKA, M. Jardins de chuva: atualizações sobre a técnica a partir de uma revisão sistemática. *Mix Sustentável*, v. 9, n. 5, p. 201–215, out. 2023.

IBGE. Censo 2022: rede de esgoto alcança 62,5% da população, mas desigualdades regionais e por cor e raça persistem. *Agência de Notícias IBGE*, 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39237-censo-2022-rede-de-esgoto-alcanca-62-5-da-populacao-mas-desigualdades-regionais-e-por-cor-e-raca-persistem>. Acesso em: 1 nov. 2025.

IBGE. *Perfil do município de Igarassu – PE*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/igarassu.html>. Acesso em: 1 nov. 2025.

JOVENS AGRIMENSORES. Lisp para cotar curvas de nível no AutoCAD. *YouTube*, 2022.

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DCGTH-VBIJY>. Acesso em: 15 jul. 2025.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. Constructed wetlands: a comprehensive review. 2009. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/3bb7/1f77a2b8a78729d61e070a36d3d0fc0e0430.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2025.

KIM, G. et al. Sustainable land development through the use of green infrastructure in urban stormwater management: a case study in Seoul, Korea. *Landscape and Urban Planning*, v. 148, p. 117–131, 2016.

LICCO, E.; DOWELL, S. Alagamentos, enchentes, enxurradas e inundações: digressões sobre seus impactos socioeconômicos e governança. *Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística – Sustentabilidade*, 2015. Disponível em: http://www1.sp.senac.br/hotsites/blogs/revistainiciacao/wp-content/uploads/2015/12/110_IC_artigo-.pdf. Acesso em: 28 jul. 2023.

MACHADO, C.; MACHADO, J. Análise teórica dos desastres naturais: gestão e política de assistência social. *Revista Grifos*, 2019. doi: <https://doi.org/10.22295/grifos.v28i46.4383>.

MARINO, M. et al. Nature based solutions as building blocks for coastal flood risk reduction: a model based ecosystem service assessment. *Scientific Reports*, v. 15, p. 12070, 2025.

MAROTTA, T. S. Drenagem pluvial: tubos de PEAD versus tubos de concreto. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Unesp, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/d74ac41c-6e43-433e-aff8-2ef040f940b3>. Acesso em: 9 ago. 2025.

MARTINI, R.; GALLO, M. Impactos econômicos de desastres naturais nos municípios brasileiros e a focalização do Programa BNDES PER. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 48., 2020, [S. l.]. Anais [...]. Disponível em: <https://www.anpec.org.br/encontro/2020/submissao/files/I/i11-9bb0f4fdb860632cf0ccaa4c855ea26c.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2023.

MEHRDAD, M. et al. Urban wetlands as green infrastructure for climate change adaptation. *Water*, v. 12, n. 9, p. 2536, 2020.

MORAIS, R. Qual é a diferença entre enchente, inundação e alagamento? *Canaltech*, 29 jun. 2023. Disponível em: <https://canaltech.com.br/meio-ambiente/voce-sabe-qual-e-a-diferenca-entre-enchente-inundacao-e-alagamento-235332/>. Acesso em: 29 jun. 2023.

OLIVARES, R.; MOLINA, M.; SALAS, C. Evaluation of the use of permeable interlocking concrete pavement in Chile: urban infrastructure solution for adaptation and mitigation against climate change. *Water*, v. 15, n. 24, 2023.

PEDROSO, H. Por que usar tubos corrugados em PEAD para drenagem e esgotamento sanitário. *AECweb*, 28 ago. 2024. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/tubos-corrugados-pead-drenagem-esgotamento-sanitario/25426>. Acesso em: 9 ago. 2025.

PEREIRA, J. G. Análise comparativa da viabilidade técnica, econômica e financeira utilizando manilhas de concreto e tubo corrugado PEAD para drenagem urbana. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2019. Disponível em: <https://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/123456789/21068>. Acesso em: 9 ago. 2025.

PERNAMBUCO (Estado). *Plano Regional de Saneamento Básico* – Microrregião RMR-Pajeú. Recife: Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Recursos Hídricos e de Saneamento, 2024.

RECIFE. Prefeitura Municipal. Programa Capibaribe Melhor: Infraestrutura Verde para Adaptação Climática. Recife: *Prefeitura do Recife*, 2020. Disponível em: <https://www2.recife.pe.gov.br>. Acesso em: 04 nov. 2025.

RIBAS, J. Como obter curvas de nível utilizando Google Earth + QGIS + AutoCAD. *YouTube*, 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=xekwB3d6e6c>. Acesso em: 15 jul. 2025.

RODRIGUEZ, A. et al. COVID-19 in Latin America: the implications of the first confirmed case in Brazil. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2020.101613>.

SANTOS, A. A.; CALVARIO, A. C.; SOUZA, J. F. Sistemas compensatórios de drenagem urbana: um estudo sobre a aplicabilidade de poços de infiltração. Projeto Multidisciplinar (Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura Urbana) – IFES, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/1647>. Acesso em: 20 jul. 2023.

SANTOS, J. V. M. et al. Praças e parques urbanos como infraestrutura verde: contribuição às cidades resilientes e sustentáveis. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 13, e202002, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbgu/a/8PwLb9Qg8LNVL5qxBJMXbDq/>.

SIGUEL, A. Delimitação de bacia hidrográfica no QGIS indicando o exutório! *YouTube*, 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VRn1BnbSB0g>. Acesso em: 15 jul. 2025.

SILVA JÚNIOR, T. L. et al. Comparativo no meio hidráulico das estruturas de PEAD e concreto para uso em redes de micro e macrodrenagem. *Caderno de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas*, UNIT-AL, v. 6, n. 2, p. 135, 2020. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/9209>. Acesso em: 9 ago. 2025.

SILVA, A. S. et al. Fossa verde como componente de saneamento rural para a região semiárida do Brasil. *ResearchGate*, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327104390_Fossa_verde_como_componente_de_saneamento_rural_para_a_regiao_semiarida_do_Brasil. Acesso em: 9 ago. 2025.

SILVA, W. et al. Assessment of interlocking concrete block pavement with by products and comparison with an asphalt pavement: a review. *Applied Sciences*, v. 13, n. 10, p. 5846, 2023.

SIVIRINO, K. J.; FISCHER, Y. P.; LINKE, P. P. Construção sustentável: uma revisão bibliográfica. *REMOA – Revista Monografias Ambientais*, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/download/64001/pdf/283456>. Acesso em: 2 jul. 2023.

SOUZA, R. Sustentabilidade: o que é, tipos, exemplos, empresarial. *Brasil Escola*, 28 jul. 2023. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/imprimir/11306>. Acesso em: 28 jul. 2023.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. A handbook of constructed wetlands. Washington, DC: EPA, 2015. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/constructed-wetlands-handbook.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2025.

WORLD BANK. Nature-Based Solutions for Urban Resilience. *Catalogue*. Washington, D.C., 2021. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/502101636360985715/pdf/A-Catalogue-of-Nature-based-Solutions-for-Urban-Resilience.pdf> Acesso em: 4 de nov de 2025

WRI BRASIL. Infraestrutura Verde para Cidades Resilientes. *Blog*. São Paulo, 2020. Disponível em: https://www.wribrasil.org.br/noticias/plantar-florestas-nativas-e-um-bom-negocio-conheca-4-modelos?utm_medium=cpc&utm_source=google&utm_campaign=Institucional&utm_content=WRI_Brasil&utm_term=wri%20brasil&gad_source=1&gad_campaignid=1672476694&gbr_aid=0AAAAADPBcM3-yxR4v3AqWGUT_jefEm7VW&gclid=Cj0KCQiA5abIBhCaARIsAM3-zFURWu3LkYx9gqfxoJtfZdqsq0wqroRLKCteLYbZrfpkoXmstt2Zg4aA1A_EALw_wcB. Acesso em: 4 de nov de 2025

WRI BRASIL. Infraestrutura Verde para Cidades Resilientes. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/solucoes-baseadas-na-natureza-podem-tornar-infraestruturas-urbanas-mais-verdes-e>. Acesso em: 04 nov. 2025.

YAZAKI, L. F. O. de et al. Ficha técnica de sistematização do projeto FCTH: projeto técnico – Jardins de Chuva. São Paulo: FCTH, 2013. Disponível em: https://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/04/AF_Jardins-de-Chuva-online.pdf.

ZHANG, X. et al. Constructed wetlands as a decentralized treatment option for domestic wastewater: a review. *Water*, v. 17, n. 10, p. 1451, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/17/10/1451>. Acesso em: 9 ago. 2025.

APÊNDICES

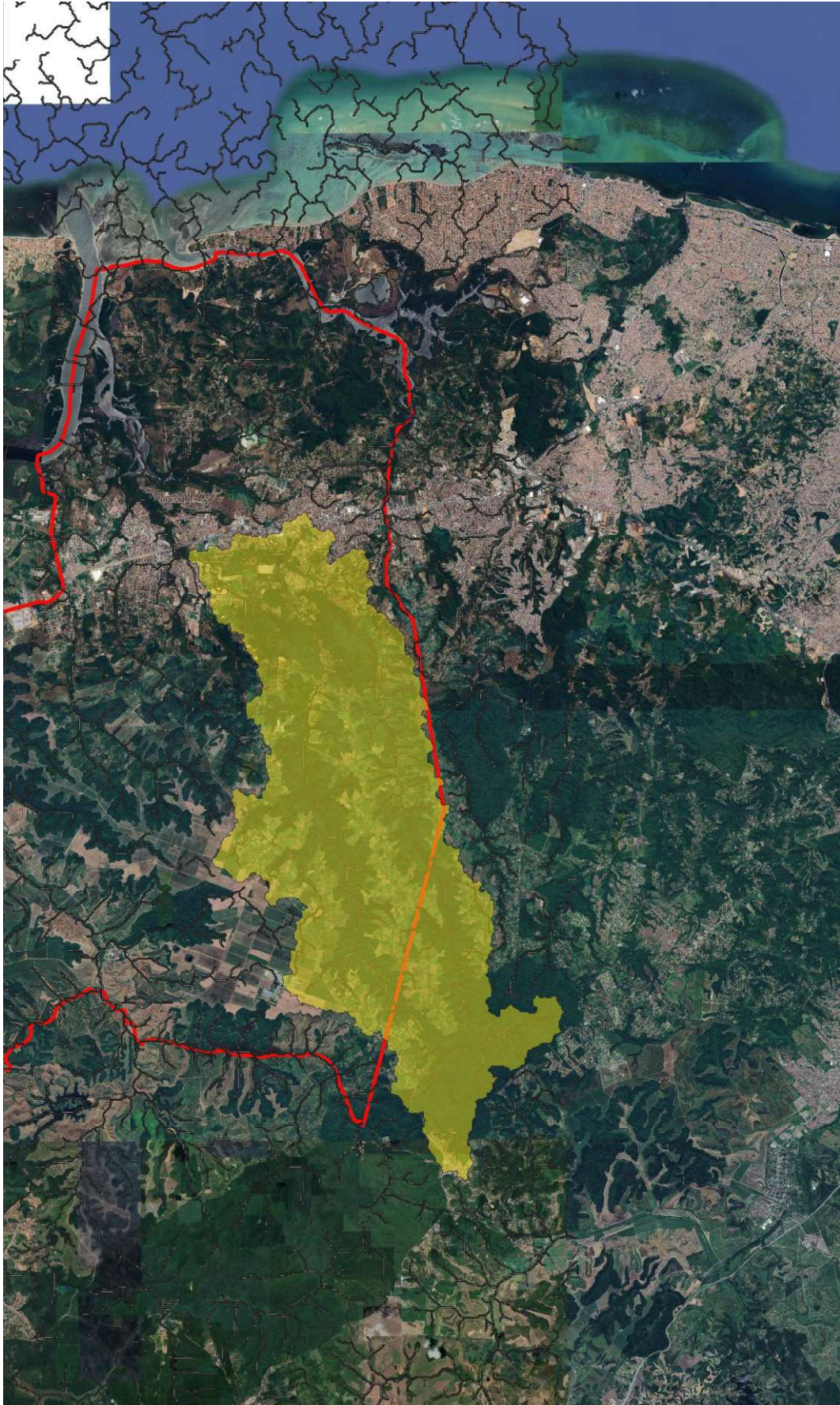
APÊNDICE A - CURVA DE NÍVEIS



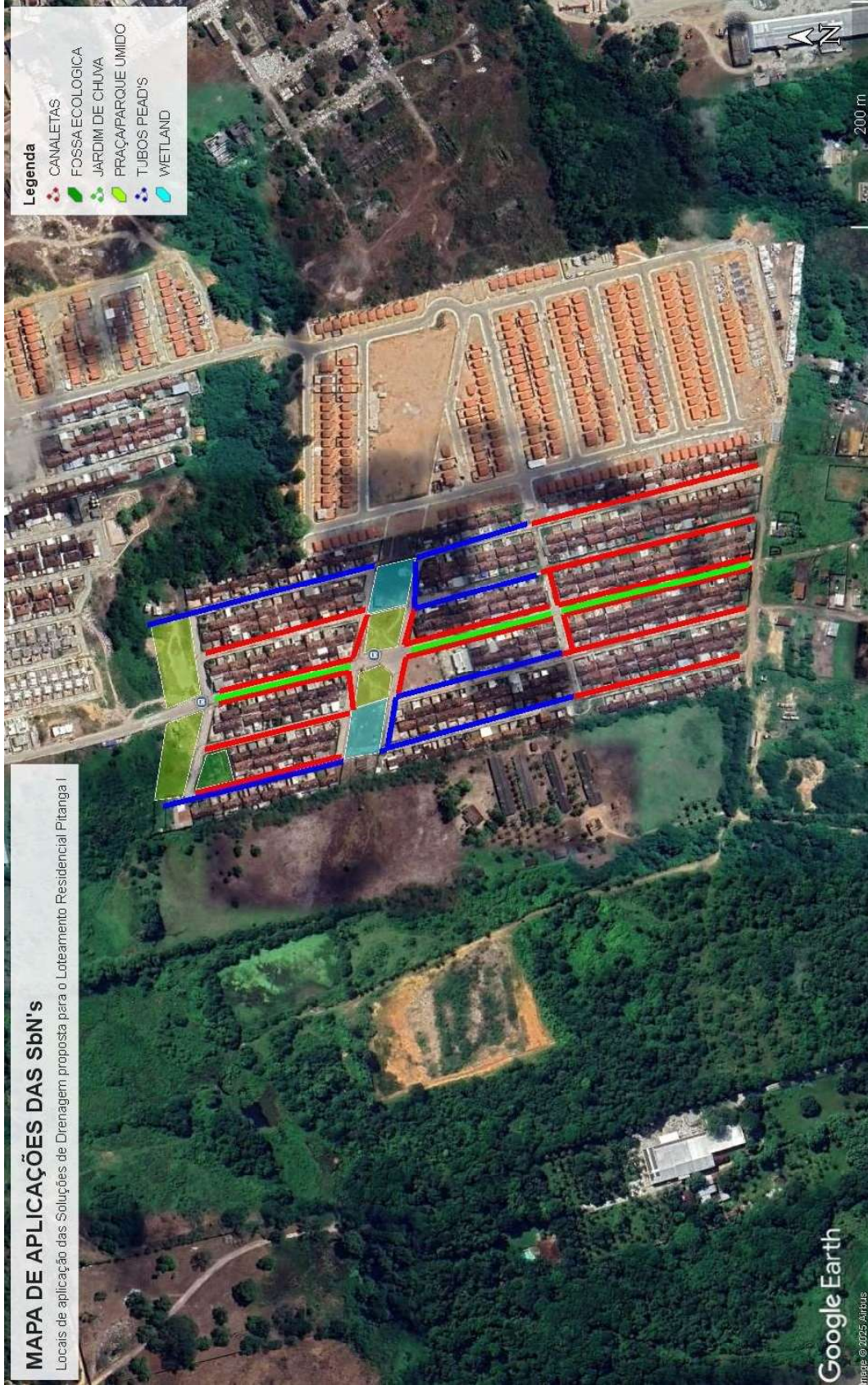
APÊNDICE B - PONTOS CRÍTICOS



APÊNDICE C - BACIA DE CONTRIBUIÇÃO



APÊNDICE D - MAPA DE APLICAÇÕES DA SBN'S



APÊNDICE E - DIRETRIZES PROPOSTAS PARA O SANEAMENTO SUSTENTÁVEL NO RESIDENCIAL PITANGA I

Diretrizes Propostas para o Saneamento Sustentável no Residencial Pitanga I		
Diretriz / Solução	Descrição	Benefícios esperados
Canaletas pré-moldadas com inclinação $\geq 0,5\%$	Instalação de canaletas de concreto substituindo o escoamento superficial por linhas d'água, garantindo escoamento gravítico eficiente.	Redução de alagamentos; condução controlada da água pluvial; durabilidade e menor custo de manutenção.
Wetlands (Leste e Oeste)	Áreas de tratamento natural que recebem águas pluviais conduzidas pelas canaletas e tubos PEAD.	Retenção de sólidos, remoção de nutrientes, melhoria da qualidade da água antes do lançamento no rio.
Praças úmidas	Áreas verdes multifuncionais junto às wetlands e margens do rio, que funcionam como reservatórios em períodos de chuva intensa.	Controle de cheias; aumento da capacidade de retenção hídrica; criação de espaços de lazer resilientes.
Jardins de chuva (biorretenção)	Implantação em canteiros centrais da avenida principal e em pontos estratégicos do loteamento.	Infiltração da água; filtragem de poluentes; redução do escoamento superficial; melhoria estética e microclimática.
Fossas ecológicas	Substituição das fossas sépticas convencionais por unidades mais sustentáveis.	Tratamento descentralizado de efluentes; redução da poluição difusa; menor risco de contaminação do solo e aquíferos.
Repavimentação com blocos intertravados	Substituição dos paralelepípedos por pavimento intertravado permeável.	Maior infiltração; menor escoamento superficial; fácil manutenção; valorização urbanística.
Tubulações em PEAD corrugado	Condução das águas pluviais até wetlands e rio.	Maior resistência, durabilidade e desempenho hidráulico em comparação ao concreto.
Parques úmidos e áreas de lazer resilientes	Espaços com vegetação nativa, hortas comunitárias, pista de cooper, brinquedos e equipamentos projetados para suportar inundações sazonais.	Integração social; educação ambiental; lazer seguro mesmo após chuvas; estímulo à biofilia.
Gestão comunitária e educação ambiental	Inclusão da população na gestão das infraestruturas e no uso correto dos sistemas.	Sustentabilidade a longo prazo; redução de descartes irregulares; fortalecimento do vínculo comunitário.