



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA

CELINO JUVÊNCIO RIBEIRO PEREIRA JUNIOR

BACIAS DE DETENÇÃO COMO ALTERNATIVA DE DRENAGEM
SUSTENTÁVEL PARA O CONTROLE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E
CRIAÇÃO DE ÁREAS VERDES E DE LAZER

BOA VISTA, RR

2025

CELINO JUVÊNCIO RIBEIRO PEREIRA JUNIOR

**BACIAS DE DETENÇÃO COMO ALTERNATIVA DE DRENAGEM
SUSTENTÁVEL PARA O CONTROLE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E
CRIAÇÃO DE ÁREAS VERDES E DE LAZER**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Roraima, como requisito para obtenção de título de mestre profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Orientador: Dr. Pedro Alves da Silva Filho.
Coorientadora: Dra. Ofélia de Lira Carneiro Silva

BOA VISTA, RR

2025

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

P436b Pereira Junior, Celino Juvêncio Ribeiro.

Bacias de retenção como alternativa de drenagem sustentável para o controle de escoamento superficial e criação de áreas verdes e de lazer / Celino Juvêncio Ribeiro Pereira Junior. – Boa Vista, 2025.
123 f. : il. Inclui Apêndices.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho.

Coorientadora: Profa. Dra. Ofélia de Lira Carneiro Silva.

Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Roraima. Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Águas - PROFÁGUA.

1. Drenagem. 2. Gestão hídrica. 3. Infraestrutura. 4. Sustentabilidade. 5. Urbanização. I. Título. II. Silva Filho, Pedro Alves da (orientador). III. Silva, Ofélia de Lira Carneiro (coorientadora).

CDU (2. ed.) 556.51

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária/Documentalista (UFRR):
Maria de Fátima Andrade Costa - CRB-11/453-AM

CELINO JUVÊNCIO RIBEIRO PEREIRA JUNIOR

**BACIAS DE DETENÇÃO COMO ALTERNATIVA DE DRENAGEM
SUSTENTÁVEL PARA O CONTROLE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E
CRIAÇÃO DE ÁREAS VERDES E DE LAZER**

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, para a obtenção do grau de mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Roraima. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos. Defendida em 05 de novembro de 2024 e avaliada pela seguinte banca examinadora:



Documento assinado digitalmente

PEDRO ALVES DA SILVA FILHO

Data: 28/01/2025 16:04:03-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Dr. Pedro Alves da Silva Filho
Orientador

Documento assinado digitalmente



OFELIA DE LIRA CARNEIRO SILVA

Data: 27/01/2025 18:39:36-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Ofélia de Lira Carneiro Silva
Coorientadora

Documento assinado digitalmente



VLADIMIR DE SOUZA

Data: 21/01/2025 21:20:55-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Vladimir de Souza
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente



ADRIANO FRUTUOSO DA SILVA

Data: 27/01/2025 16:41:59-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente



CARLOS EDUARDO LUCAS VIEIRA

Data: 27/01/2025 21:56:00-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Eduardo Lucas Vieira
Examinador

BOA VISTA, RR

2025

AGRADECIMENTOS

A Deus Pai, Deus Filho, Deus Espírito Santo.

Aos meus pais por todo amor, compreensão e encorajamento em todos os momentos da minha vida.

À minha irmã.

À Universidade Federal de Roraima e ao Programa de Pós-graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, por possibilitar a oportunidade de qualificação.

Ao Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho, meu orientador, e à Profa. Dra. Ofélia de Lira Carneiro Silva, minha coorientadora, pela paciência e orientação deste trabalho.

A todos que, direta e indiretamente, contribuíram no meu crescimento pessoal e profissional ao longo dos últimos 2 anos.

“Você não é derrotado quando perde, mais sim quando você desiste.”

Vegeta

RESUMO

A crescente urbanização na zona Oeste de Boa Vista, Roraima, tem intensificado problemas de inundações e alagamentos, em grande parte devido à impermeabilização do solo e à carência de uma infraestrutura de drenagem eficaz. Este estudo explora a viabilidade da implementação de bacias de retenção como uma estratégia sustentável para mitigar o escoamento superficial e desenvolver espaços verdes e de lazer no loteamento Monte Caburaí. Este trabalho objetiva avaliar a viabilidade técnica e os benefícios socioambientais da instalação dessas bacias no loteamento Monte Caburaí, propondo diretrizes para sua incorporação no planejamento urbano de Boa Vista. Para isso, realizou-se uma análise detalhada da área de estudo, considerando aspectos topográficos, geotécnicos e hidrológicos. Foram aplicados métodos consagrados para o dimensionamento das bacias, como o Método Racional e o Método do PDDU de Curitiba, PR, levando em conta a frequência e a intensidade das precipitações na região. Os resultados demonstraram que as bacias de retenção projetadas no Monte Caburaí são tecnicamente viáveis e eficazes para a gestão de cheias. Em particular, as bacias no Caburaí I, que inclui uma praça com pista de *cooper* e reservatório a céu aberto, e no Caburaí II, que possui uma quadra poliesportiva, foram integradas de forma harmoniosa ao tecido urbano. Além de desempenharem seu papel na prevenção de inundações, essas estruturas oferecem benefícios socioambientais relevantes, como a criação de áreas recreativas e a elevação da qualidade de vida dos residentes. As áreas verdes associadas contribuem para a redução das ilhas de calor urbano, promovem a biodiversidade e melhoram a qualidade do ar. As considerações finais do estudo recomendam que a integração dessas bacias de retenção no planejamento urbano sustentável de Boa Vista siga diretrizes que assegurem a proteção dos pedestres e o cumprimento das normas ambientais. Ademais, é recomendado o controle rigoroso do aporte de sedimentos e lixo, bem como a escolha adequada de locais onde o solo suporte a presença de água sem riscos de contaminação. Para estudos futuros, sugere-se aprofundar a investigação sobre os impactos socioambientais de longo prazo dessas bacias e realizar uma análise comparativa de custos e desempenho técnico em diferentes cidades da Amazônia.

Palavras-chave: Drenagem. Gestão Hídrica. Infraestrutura. Sustentabilidade. Urbanização.

ABSTRACT

The growing urbanization in the western area of Boa Vista, Roraima, has intensified flooding problems, largely due to soil impermeability and the lack of effective drainage infrastructure. This study explores the feasibility of implementing detention basins as a sustainable strategy to mitigate surface runoff and develop green and recreational spaces in the Monte Caburaí subdivision. This work aims to evaluate the technical feasibility and socio-environmental benefits of installing these basins in the Monte Caburaí subdivision, proposing guidelines for their incorporation into the urban planning of Boa Vista. To this end, a detailed analysis of the study area was carried out, considering topographic, geotechnical and hydrological aspects. Established methods for sizing the basins, such as the Rational Method and the PDDU Method of Curitiba, PR, were applied, considering the frequency and intensity of rainfall in the region. The results demonstrated that the detention basins designed in Monte Caburaí are technically feasible and effective for flood management. In particular, the basins in Caburaí I, which includes a plaza with a jogging track and an open-air reservoir, and in Caburaí II, which has a multi-sports court, were harmoniously integrated into the urban fabric. In addition to playing a role in preventing flooding, these structures offer relevant socio-environmental benefits, such as creating recreational areas and improving the quality of life of residents. The associated green areas contribute to the reduction of urban heat islands, promote biodiversity and improve air quality. The final considerations of the study recommend that the integration of these detention basins into the sustainable urban planning of Boa Vista follow guidelines that ensure the protection of pedestrians and compliance with environmental standards. Furthermore, strict control of the contribution of sediment and waste is recommended, as well as the appropriate selection of locations where the soil supports the presence of water without risk of contamination. For future studies, it is suggested to further investigate the long-term socio-environmental impacts of these basins and to conduct a comparative analysis of costs and technical performance in different cities in the Amazon.

Keywords: Drainage. Water Management. Infrastructure. Sustainability. Urbanization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Notícia de chuva acima da média em Boa Vista, Roraima, em 2023.....	15
Figura 2 - Alagamento em bairros da zona Oeste de Boa Vista, Roraima, em 2022.	15
Figura 3 - Alagamento em bairros da zona Oeste de Boa Vista, Roraima, em 2024.	17
Figura 4 - Áreas inundadas na cidade de Boa Vista (a) e de trecho da BR-174 com tráfego interrompido (b) devido à enchente do Rio Branco em 2011.....	18
Figura 5 - Enchente, inundação e alagamento.	22
Figura 6 - Ciclo hidrológico.	24
Figura 7 - Bacia hidrográfica.	25
Figura 8 - Desenho esquemático de pavimentos semipermeáveis.	31
Figura 9 - Ilustração de trincheiras de infiltração.	32
Figura 10 - Esquema de uma vala de infiltração entre pistas de rodovias.....	33
Figura 11 - Ilustração de poços de infiltração.	33
Figura 12 - Estrutura do telhado verde.	34
Figura 13 - Faixas gramadas utilizadas em parques de Bristol, Inglaterra.	35
Figura 14 - Praça Júlio Andreatta, Porto Alegre, RS, durante o dia (março/2022).	37
Figura 15 - Praça Júlio Andreatta, Porto Alegre, RS, durante a noite (março/2023).	37
Figura 16 - Esquema em planta e em corte de uma bacia de retenção.	39
Figura 17 - Vista superior e lateral de uma bacia de detenção.	43
Figura 18 - Bacia de detenção em São Paulo, SP.	44
Figura 19 - Bacia de detenção em Porto Alegre, RS.	45
Figura 20 - Valores do coeficiente de descarga para orifícios.	49
Figura 21 - Praça Júlio Andreatta, Porto Alegre, RS.	55
Figura 22 - Reservatório de Detenção de Cheias (RDC) do Córrego Água Vermelha.	56
Figura 23 - Vista superior do Conrad Sauer Detention Basin Park.	57
Figura 24 - Fluxograma inicial.	58
Figura 25 - Fluxograma detalhado.	60
Figura 26 - Mapa de localização da área de estudo.	63
Figura 27 - Coordenadas geográficas do loteamento Monte Caburaí.	64
Figura 28 - Mapa hipsométrico e localização da bacia do Rio Cauamé e Rio Branco III.	66
Figura 29 - Mapa de solos do Estado de Roraima com destaque para a área das bacias do Rio Branco III e Cauamé.	68
Figura 30 - Mapa de inundação do Loteamento Monte Caburaí no cenário pré-urbanizado. ...	70
Figura 31 - Mapa de inundação do Loteamento Monte Caburaí no cenário pós-urbanizado. .	71
Figura 32 - Indicação das áreas de implantação das bacias de detenção.	73
Figura 33 - Vista aérea parcial do loteamento Monte Caburaí.	74
Figura 34 - Vista aérea do local de implantação da bacia de detenção 1.	75
Figura 35 - Vista aérea do local de implantação da bacia de detenção 2.	76
Figura 36 - Hidrograma dos cenários pré e pós-urbanização.	84
Figura 37 - Vista das áreas de contribuição e dos locais de implantação das BDs.	84
Figura 38 - Trechos para determinação do comprimento de escoamento.	85
Figura 39 - Resumo do dimensionamento da BD do Caburaí I.	91
Figura 40 - Simulação hidrológica da bacia de detenção 1.	93
Figura 41 - Resumo do dimensionamento da BD do Caburaí II.	95
Figura 42 - Simulação hidrológica da bacia de detenção 2.	96
Figura 43 - Matriz SWOT resultante.	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação da Drenagem Urbana tradicional e Sustentável.	28
Quadro 2 - Restrições à implantação e operação dos tipos de SUDS.	30
Quadro 3 - Uso dos tipos de SUDS.	31
Quadro 4 - Características de cada tipo de bacia de retenção.	40
Quadro 5 - Vantagens e desvantagens das bacias de retenção.....	42
Quadro 6 - Indicação para escolha do método de determinação da vazão.	46
Quadro 7 - Passo a passo do dimensionamento da bacia de retenção pelo método racional...	47
Quadro 8 - Valores do Coeficiente de escoamento superficial.	48
Quadro 9 - Período de retorno.	49
Quadro 10 - Passo a passo do dimensionamento da bacia de retenção por Ven Te Chow.....	50
Quadro 11 - Passo a passo do dimensionamento da bacia de retenção por I Pai Wu.....	51
Quadro 12 - Passo a passo do dimensionamento da bacia de retenção pelo método triangular.	52
Quadro 13 - Métodos simplificados de dimensionamento da bacia de retenção.	53
Quadro 14 - Valores médios mensais e anuais de temperatura do ar, precipitação, evapotranspiração potencial e real e deficiência e excesso hídrica para a cidade de Boa Vista, Roraima nos períodos de 1961-1990 e 1991-2020.	65
Quadro 15 - Condições básicas de viabilidade de uma bacia de retenção.	77
Quadro 16 - Fatores condicionantes para a implantação e operação de uma bacia de retenção.	78
Quadro 17 - Modelo adaptado da Matriz de Leopold para a análise de impactos ambientais nas BDs.	80
Quadro 18 - Matriz SWOT.....	81
Quadro 19 - Vazões de entrada e saída da BD1.	89
Quadro 20 - Volume detido na BD1.....	89
Quadro 21 - Resultados das condições de viabilidade da bacia de retenção 1.	97
Quadro 22 - Resultados das condições de viabilidade da bacia de retenção 2.	98
Quadro 23 - Resultados dos fatores condicionantes de viabilidade da bacia de retenção 1. ...	99
Quadro 24 - Resultados dos fatores condicionantes de viabilidade da bacia de retenção 2. .	100
Quadro 25 - Matriz de Leopold das bacias de retenção do Loteamento Caburaí.	102
Quadro 26 - Estrutura de entrevista com stakeholders.	104
Quadro 27 - Estrutura da pesquisa de satisfação com moradores.	105
Quadro 28 - Sugestão de metas de curto, médio e longo prazo e diretrizes correspondentes para o PDDU de Boa Vista, Roraima.	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	área
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BD	bacias de detenção
BHRC	Bacia hidrográfica do rio Cauamé
BV	Boa Vista
C	Coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de Run-off
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minera
CSO	Transbordamentos de esgoto combinado
DF	Distrito Federal
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
h	hora
ha	hectare
hab	habitante
i	intensidade máxima de chuva
Ibeav	Índice de bem-estar em áreas verdes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
L	comprimento total do escoamento
LID	<i>Low Impact Development</i>
m	metro
min	minuto
mm	milímetro
MP	megapixel
OGU	Orçamento Geral da União
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
PMBV	Prefeitura municipal de Boa Vista
RDC	Reservatório de Detenção de Cheias
RR	Roraima
RS	Rio Grande do Sul
s	segundo
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SUDS	Sistemas sustentáveis de drenagem urbana
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats
TC	Técnicas Compensatórias
TR	Tempo de retorno
WSUD	<i>Water Sensitive Urban Design</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem
I_d	declividade do curso d'água
Q_p	vazão de pré-urbanização
Q_s	vazão de pós-urbanização
T_b	tempo de duração da bacia
V_{detido}	volume de retenção
t_c	tempo de concentração
ΔH	Desnível altimétrico
km ²	quilometro quadrado
m ²	metro quadrado
m ³	metro cúbico
°C	grau Celsius ou grau centígrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	CONTEXTO DA DRENAGEM URBANA	20
2.1.1	Inundações urbanas.....	21
2.2	HIDROLOGIA APLICADA.....	23
2.2.1	Ciclo hidrológico	23
2.2.2	Bacia hidrográfica e Balanço hídrico.....	25
2.3	SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM URBANA.....	26
2.3.1	Definições e princípios.....	26
2.3.2	Técnicas compensatórias em drenagem urbana	29
2.3.3	Tipos de sistemas.....	30
2.3.4	Áreas verdes públicas	35
2.3.5	Benefícios e desafios dos SUDS.....	38
2.4	BACIA DE RETENÇÃO	39
2.4.1	Tipos de bacia de retenção	40
2.4.2	Dimensionamento	41
2.4.3	Vantagens e desvantagens.....	41
2.5	BACIAS DE DETENÇÃO.....	42
2.5.1	Vantagens e desvantagens.....	42
2.5.2	Tipos e composição estrutural básica	43
2.5.3	Funcionamento e aplicabilidade.....	44
2.5.4	Dimensionamento	45
2.5.5	Método Racional	47
2.5.6	Método de Ven Te Chow.....	49
2.5.7	Método de I Pai Wu.....	50
2.5.8	Método Triangular	51
2.5.9	Métodos estatísticos diretos	52
2.5.10	Métodos adotados no Brasil.....	52
2.5.11	Vantagens e desvantagens.....	53
2.5.12	Integração com outros métodos.....	54
2.5.13	Casos bem-sucedidos	55
2.6	PLANEJAMENTO DE DRENAGEM URBANA.....	57
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
3.1.1	Fluxo do processo de pesquisa	58
3.2	ÁREA DE ESTUDO	59
3.2.1	Escolha da área	59

3.2.2	Caracterização da área de estudo	61
3.3	ÁREA DE IMPLANTAÇÃO	72
3.4	SELEÇÃO DO MÉTODO	77
3.5	ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA	77
3.6	AVALIAÇÃO DE BENEFÍCIOS SOCIOAMBIENTAIS	78
3.6.1	Benefícios ambientais	79
3.6.2	Benefícios sociais	80
3.7	INTEGRAÇÃO NO PLANEJAMENTO DE DRENAGEM URBANA	80
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
4.1	VIABILIDADE TÉCNICA	83
4.1.1	Análise hidrológica	83
4.1.2	Análise hidráulica	86
4.1.3	Viabilidade.....	97
4.2	BENEFÍCIOS SOCIOAMBIENTAIS	101
4.2.1	Benefícios ambientais	101
4.2.2	Benefícios sociais	103
4.3	DIRETRIZES DE INTEGRAÇÃO	107
4.3.1	Aprimoramento.....	110
4.3.2	Metas.....	111
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	113
	REFERÊNCIAS	115
	APÊNDICES	123

1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho, serão utilizadas as bacias de retenção (BR), que são estruturas de drenagem utilizadas devido à sua eficiência na minimização de inundações em espaços densamente urbanizados.

A BR tem aplicação junto ao sistema de macrodrenagem da cidade, bem como em espaços abertos de condomínios privados ou espaços públicos, logo, pode facilmente ser incorporada ao ambiente urbano de maneira funcional (Nascimento et al., 1999), por meio da conformação de áreas verdes de lazer e esportes e harmonia paisagística nos entornos de tais áreas (Araujo et al., 2022), beneficiando a saúde e favorecendo a percepção e a ocorrência de benefícios sociais e psicológicos aos frequentadores (Bell et al., 2017).

A escolha do tema de implantação de bacias de retenção é motivada por uma série de fatores ambientais, urbanísticos e sociais que visam garantir um desenvolvimento sustentável e resiliente da área. Ademais, Boa Vista enfrenta desafios únicos devido às chuvas intensas, típicas da região, que aumentam a necessidade de soluções eficazes para o manejo das águas pluviais. Somado a isso, o crescimento populacional e a expansão da cidade requerem uma infraestrutura adequada para suportar esse desenvolvimento de forma sustentável.

A adoção de bacias de retenção para o loteamento Monte Caburaí é uma decisão estratégica que não só protege a infraestrutura urbana e o meio ambiente, mas também assegura a conformidade com as normas regulatórias e promove a sustentabilidade e a qualidade de vida dos moradores. Ao adotar essa medida compensatória para o sistema de drenagem urbana local, o desenvolvimento do loteamento será mais seguro, eficiente e em harmonia com o meio ambiente.

Além desses benefícios, este trabalho está alinhado com vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) de forma direta:

- ODS 6 - Água Potável e Saneamento, ao propor uma solução eficaz para a gestão de águas pluviais em áreas urbanas, promovendo a redução de enchentes e a melhoria da qualidade da água;
- ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis, ao integrar áreas verdes e espaços de lazer ao ambiente urbano, melhorando a resiliência das cidades.

E indireta:

- ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima, uma vez que a implementação das bacias de retenção pode ajudar a mitigar os efeitos das mudanças climáticas, como inundações.

As BD são estruturas projetadas para mitigar eventos como enchentes, inundações e/ou alagamentos. Elas desempenham um papel importante na melhoria da qualidade da água. Ao armazenar temporariamente a água pluvial, elas permitem que os sedimentos e poluentes se depositem, ajudando a remover substâncias indesejadas antes que a água seja liberada para os corpos d'água naturais (Hernandez; Szigethy, 2021).

O uso de BD é amplamente adotado em todo o mundo. Em países altamente urbanizados, como os Estados Unidos, Canadá, Alemanha, Reino Unido, Austrália e Japão implementaram regulamentos e diretrizes específicas para o controle do escoamento pluvial, o que levou à ampla adoção de bacias de retenção em projetos de construção e renovação urbana (Nakazone, 2005).

As BD no Brasil tiveram início nas décadas de 1960 e 1970. Foram introduzidas como parte das soluções para os problemas de drenagem urbana. Inicialmente foram adotadas em larga escala nos grandes centros urbanos, onde o rápido crescimento populacional e a expansão urbana geraram demandas crescentes por sistemas de drenagem mais eficientes (Junior et al., 2023).

Elas foram desenvolvidas com conceitos e técnicas internacionais, para então ser adaptadas à realidade e às condições climáticas do país. Com o passar das décadas, a implementação das BD no Brasil evoluiu, acompanhando o desenvolvimento das técnicas de drenagem urbana. Com o avanço da engenharia e o aprimoramento das práticas de projeto, as bacias de retenção se tornaram uma solução amplamente adotada em diversas regiões do país (Hernandez; Szigethy, 2021).

Embora a extensão do uso e a adoção varie de acordo com a região e o nível de desenvolvimento, essas estruturas são cada vez mais consideradas como parte integrante dos sistemas de drenagem urbana (Rodríguez; Teixeira, 2021). A utilização de BD em projetos de drenagem urbana apresenta consideráveis vantagens econômicas e financeiras em comparação com métodos tradicionais. Em compensação, se integrada com esses métodos, agrega valor aos projetos urbanos, melhora a estética e a qualidade ambiental das áreas potencialmente aumentando o valor dos imóveis e atraindo investimentos adicionais.

A cidade de Boa Vista, Roraima, possui um Plano Diretor instituído pela Lei Municipal nº 924/2006. Entretanto, ainda carece de revisões para se adequar aos requisitos de sustentabilidade, incluindo a criação do PDDU. A discussão sobre a ocorrência de eventos de chuvas na cidade é essencial para a compreensão da necessidade e da eficácia de bacias de retenção no controle urbano de inundações.

A época de chuvas intensas acima da média na cidade de Boa Vista ocorre nos meses de maio e julho (Figura 1), onde drenagens lentas impactam no perímetro urbano, causando as inundações e alagamentos. A superfície aplainada da região também contribui para o acúmulo de águas. Ademais, fenômenos naturais como La Niña¹ potencializam a pluviosidade e, consequentemente, as inundações e alagamentos (Araújo Junior; Azevedo, 2023).

Figura 1 - Notícia de chuva acima da média em Boa Vista, Roraima, em 2023.



Instituto Nacional de Meteorologia
MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA

Tempo ▾ Clima ▾ Dados Meteorológicos ▾ Satélites ▾ Risco de Incêndio ▾ Previsão Numérica ▾ Sisdagro ▾ Publicações ▾ Sobre ▾ Informações ▾

Balanço: Boa Vista (RR) teve chuva acima da média em julho de 2023

O volume total na estação meteorológica da capital de Roraima foi de 388,8 milímetros (mm)

Publicado em 08/08/2023 13h52 · Última modificação 08/08/2023 14h06 ·

[Compartilhar](#) [Printar](#)

Em julho de 2023, o total de chuva na estação meteorológica convencional de Boa Vista (RR) foi de 388,8 milímetros (mm). Esse valor ficou acima 26,2% da média climatológica (1991 a 2020), que é de 308,1 mm.

O maior volume em 24 horas foi de 68,6 mm no dia 1º de julho. Nos últimos 34 anos, o maior total registrado no mês foi de 97,1 mm, em julho de 1995.

Em julho, a média das temperaturas mínimas e máximas foram 23,9°C e 35,2°C, respectivamente.

A **menor** temperatura **mínima** foi de 22,7°C no dia 19. A **maior** temperatura **máxima** foi de 38,1°C, no dia 20. Esse valor de temperatura foi o maior registrado no mês de julho, dos últimos 63 anos. Antes dele, havia sido 37,1°C em julho de 2018.

Fonte: INMET (2023).

A zona Oeste da cidade de Boa Vista, Roraima tem sofrido todos os anos com inundações e alagamentos recorrentes no período chuvoso (Figura 2) e a falta de um sistema de drenagem eficiente aliado às características do relevo predominantemente plano do município. Um dos bairros que mais é acometido com este tipo de evento é o Alvorada, sendo um exemplo típico com inundações de estabelecimentos comerciais e residências como noticiados nos jornais locais (Rodrigues, 2022).

Figura 2 - Alagamento em bairros da zona Oeste de Boa Vista, Roraima, em 2022.



RORAIMA 

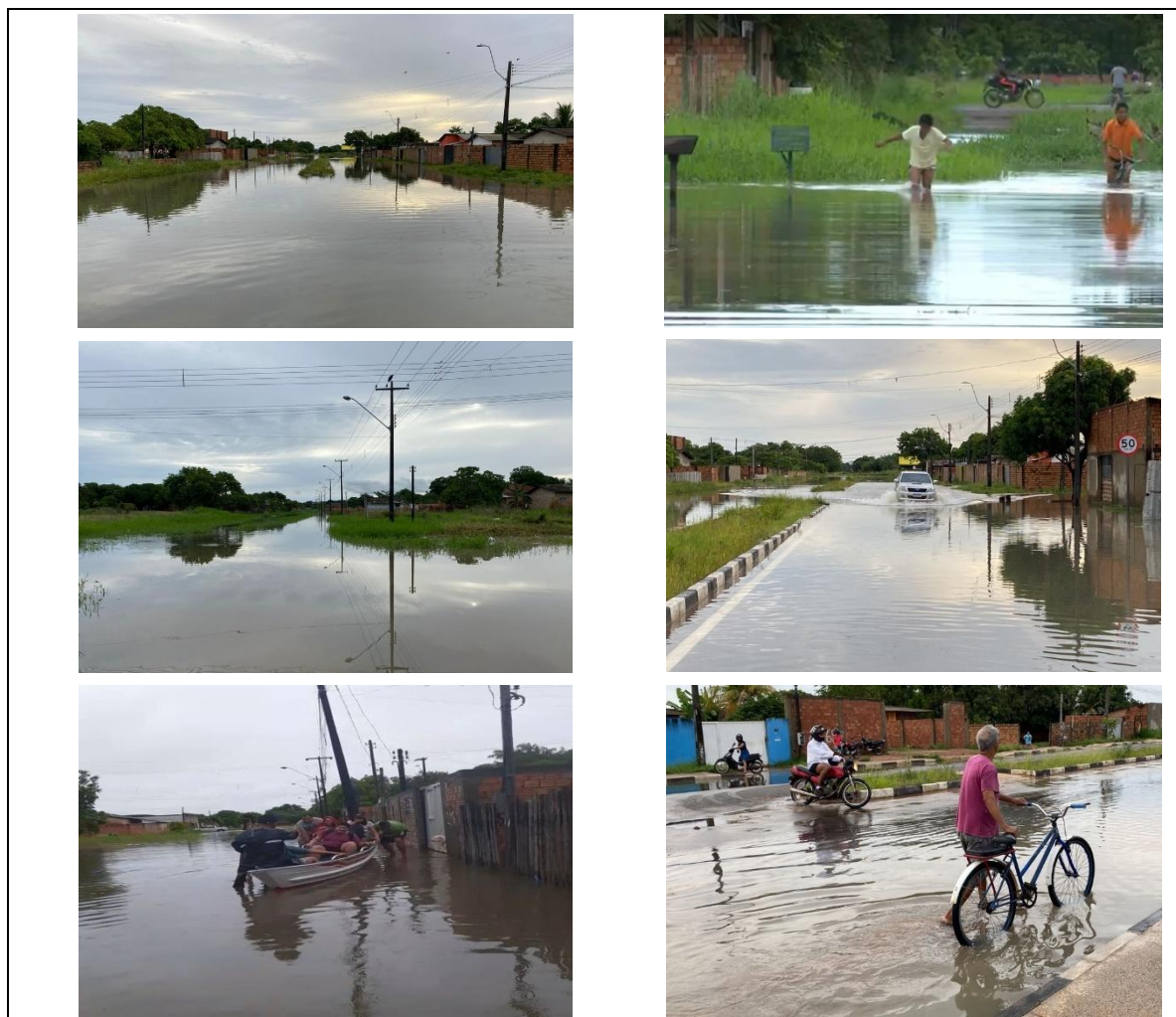
Moradores ficam com água até os joelhos em bairros inundados por chuvas em Boa Vista: 'ilhados'

Moradores dos bairros Senador Hélio Campos, Santa Luzia, Cidade Satélite e Jardim Olímpico relatam alagamentos e prejuízos por conta das chuvas. Em 19 dias, choveu quase todo o volume previsto para o mês de maio.

Por Calque Rodrigues, g1 RR — Boa Vista
21/05/2022 11h44 · Atualizado há 2 anos



¹ Atua nos índices pluviométricos mais elevados



Fonte: Adaptado de Rodrigues (2022).

Problemas enfrentados pela população devido à ocorrência desses eventos, como lixo, doenças, isolamento, abandono (Rodrigues, 2022), impedimento de funcionamento de serviços públicos e de lojas etc. (Salustiano, 2024) afetam, especialmente, os moradores da zona Oeste da cidade (Figura 3).

Figura 3 - Alagamento em bairros da zona Oeste de Boa Vista, Roraima, em 2024.

FOLHA BV

Rádio

Política

Opinião

Cultura

Editais

A

Início

Últimas Notícias

Cotidiano

TRANSTORNOS A MORADORES

Tempestade causa alagamento de casas e ruas em Boa Vista

De acordo com a Agência Nacional de Águas, Boa Vista registrou 75,80 milímetros de chuva na madrugada desta segunda-feira (24)



Camilla Salustiano

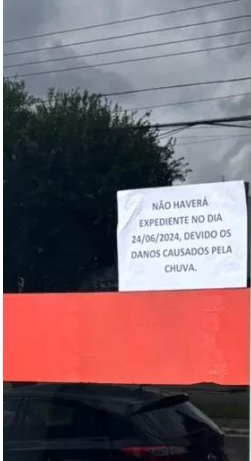
🕒 24/06/2024 10:57





Segundo o Boletim Hidrometeorológico da Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Femarh), em junho, choveu 341,6 mm em Boa Vista. Mostrou ainda que a previsão para julho e agosto é de chuvas acima da normal climatológica em Roraima. A Defesa Civil divulgou uma lista de bairros onde o volume de chuva, nas últimas 12h, foi maior, sendo o Olímpico o mais afetado. São eles:

- Olímpico: 92,67 mm
- Caraná: 75,34 mm
- Calungá: 63,8 mm







Fonte: Adaptado de Salustiano (2024).

Em junho de 2011, Roraima registrou uma das piores enchentes desde 1976 (Figura 4). Quase todos os quinze municípios do Estado decretaram emergência e muitas comunidades ficaram totalmente isoladas. Na capital, 113 pessoas ficaram desabrigadas e 238 desalojadas. O Rio Branco, principal da região, subiu 10,04 m acima do limite normal e o tráfego na BR-174 foi interrompido (G1 Roraima, 2011).

Figura 4 - Áreas inundadas na cidade de Boa Vista (a) e de trecho da BR-174 com tráfego interrompido (b) devido à enchente do Rio Branco em 2011.



Fonte: G1 Roraima (2011).

É notório que a cidade de Boa Vista enfrenta desafios climáticos e ambientais específicos como crescimento urbano desordenado e a variabilidade de chuvas. Neste sentido, é importante que haja uma integração da drenagem urbana sustentável ao Plano Diretor da cidade para que seja possível a inclusão de soluções baseadas na natureza, como as bacias de retenção conjugadas com alternativas de drenagem sustentável.

Experiências bem sucedidas de outras cidades brasileiras como Curitiba (Lei complementar nº 14.771/2015² e Lei nº 15.511/2019³), São Paulo (Manual de drenagem e manejo de águas pluviais de São Paulo, 2012), São José do Rio Preto (Decreto Municipal nº 10.290/2008), Rio de Janeiro (Resolução Conjunta SMG/SMO/SMU nº 001/2005), Vitória (PMSB Vitória, 2014) e Porto Alegre (Decreto Municipal nº 18.611/2014), que já possuem seus PDDUs e que são nacionalmente conhecidas pelo planejamento urbano inovador, podem servir de exemplo para a capital roraimense, de maneira que esta consiga adaptar as práticas sustentáveis às realidades locais, incorporando tecnologias e estratégias que atendam às suas particularidades.

Com base nisso, a pergunta que norteia esta pesquisa é: Como o uso de bacias de retenção pode servir como uma alternativa eficaz de drenagem sustentável para controle de inundações urbanas e criação de áreas verdes ou de lazer no loteamento Monte Caburaí, na cidade de Boa Vista, Roraima?

² Revisão do Plano Diretor do município de Curitiba, Paraná

³ Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo do município de Curitiba, Paraná

Dada a crescente urbanização e a consequente impermeabilização do solo, observa-se um aumento na frequência e severidade de inundações e alagamentos, especialmente em áreas urbanas como o loteamento Monte Caburaí, na cidade de Boa Vista, Roraima. Este cenário reforça a necessidade de medidas que mitiguem os impactos do escoamento superficial inadequado. Assim, este estudo busca avaliar o uso de bacias de retenção como alternativa de drenagem sustentável, com potencial para controlar o escoamento superficial, reduzir o risco de inundações e alagamentos e, simultaneamente, promover a criação de áreas verdes e de lazer, contribuindo para a resiliência urbana e a qualidade de vida.

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a viabilidade técnica da implementação de bacias de retenção para o controle de inundações na área proposta.
- Sugerir uma metodologia para avaliação dos benefícios socioambientais decorrentes da criação de áreas verdes e de lazer associadas às bacias de retenção em áreas urbanas.
- Propor diretrizes para a integração de bacias de retenção no planejamento de drenagem urbana sustentável de Boa Vista, Roraima.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico desta dissertação aborda o contexto da drenagem urbana, evidenciando os desafios crescentes decorrentes da urbanização intensiva e a necessidade de soluções inovadoras para gerenciar o escoamento superficial. No campo da hidrologia aplicada, explora-se a compreensão dos processos do ciclo hidrológico e sua interação com o ambiente urbano, fornecendo as bases científicas para o desenvolvimento de sistemas de drenagem eficientes.

Entre as soluções estudadas, destacam-se os sistemas sustentáveis de drenagem urbana (SUDS) que visam à redução do escoamento superficial e melhoria da qualidade da água. A revisão do estado da arte de estudos anteriores oferece uma visão abrangente das práticas e tecnologias desenvolvidas, enquanto a análise de casos bem-sucedidos ao redor do mundo e no Brasil, proporciona *insights* valiosos sobre a implementação prática e os benefícios das abordagens sustentáveis na drenagem urbana.

2.1 CONTEXTO DA DRENAGEM URBANA

De acordo com o censo de 2022, a população brasileira registrou um aumento de 6,45% em relação ao ano de 2010, com uma taxa de crescimento de 0,52% ao ano, sendo 66,58% dos novos habitantes se concentram no interior, longe dos grandes centros urbanos. Ademais, 5% das cidades brasileiras concentram 56% da população do país (IBGE, 2022).

À medida que a população se expande, os governos e a sociedade enfrentam problemas complexos, principalmente devido à pressão sobre os aparelhos urbanos, incluindo infraestrutura urbana, serviços públicos, habitação, transporte e recursos naturais.

Outro fator é o aumento da vulnerabilidade, visto que a urbanização é responsável pela impermeabilização do solo, a ocupação das faixas marginais de proteção dos rios, os desmatamentos, a canalização de rios e a quantidade crescente de resíduos sólidos que são jogados nesses corpos hídricos (Christofidis; Assumpção; Kligerman, 2019), o que contribui para o aumento do pico da vazão de cheia e antecipação do tempo desta vazão, aumentando o volume de escoamento superficial (Sousa, 2016), causando as enchentes.

A ocupação desordenada e não planejada traz consigo impactos no sistema de micro e macrodrenagem de uma cidade, tornando grande parte do solo impermeáveis com obras civis, como pavimentação de ruas, calçadas, passeios, construções de edificações, que promovem o impedimento da infiltração da água no solo (Junior et al., 2023).

Segundo Nascimento (2011), o sistema de drenagem das águas pluviais constitui-se num item fundamental para o funcionamento das cidades. Em uma microrregião, o sistema

favorece o esgotamento das águas pluviais quanto à capacidade de contenção rapidamente. Contudo, as águas tendem a escoar para uma mesma área, e tais locais, na maioria das vezes, não estão preparados para receber tamanha vazão, sendo um dos fatores, o subdimensionamento dos sistemas de drenagem antigos.

A partir disso, a utilização do sistema de drenagem convencional não se torna suficiente, necessitando da utilização de métodos alternativos para o controle de cheias. Dessa maneira, é fácil inferir que a forma como tem ocorrido o desenvolvimento urbano sobre a bacia hidrográfica e a população é insustentável, sendo extremamente necessária a ação coordenada de aspectos institucional, econômico e ambiental (Tucci, 2002).

Nascimento (2011) afirma ainda que as soluções para os problemas de drenagem são complexas e, na maioria das vezes, bastante custosas. Com isso, há uma urgente necessidade de o município realizar medidas de planejamento e de ordenamento territorial, a fim de minimizar os impactos recorrentes causados pelas inundações.

As soluções traçadas devem ser integradas e baseadas na natureza, de maneira a se obter cidades mais resilientes e sustentáveis e se tenha, à disposição, planos de adaptação a eventos extremos. Algumas das mais modernas e sustentáveis, chamadas de medidas compensatórias, são: bacias de retenção e retenção, jardins de chuva, telhados verdes, pavimentos permeáveis, valas de infiltração, trincheiras drenantes e poços de infiltração que podem ajudar a reduzir o escoamento superficial, melhorar a qualidade da água e promover a biodiversidade urbana.

Outra estratégia importante é a atualização e expansão da infraestrutura de drenagem existente, investimento em sistemas de drenagem mais robustos e adaptáveis, bem como priorizar o uso de tecnologias avançadas de monitoramento e gestão, como sensores de nível de água e modelagem preditiva (Christofidis; Assumpção; Kligerman, 2019).

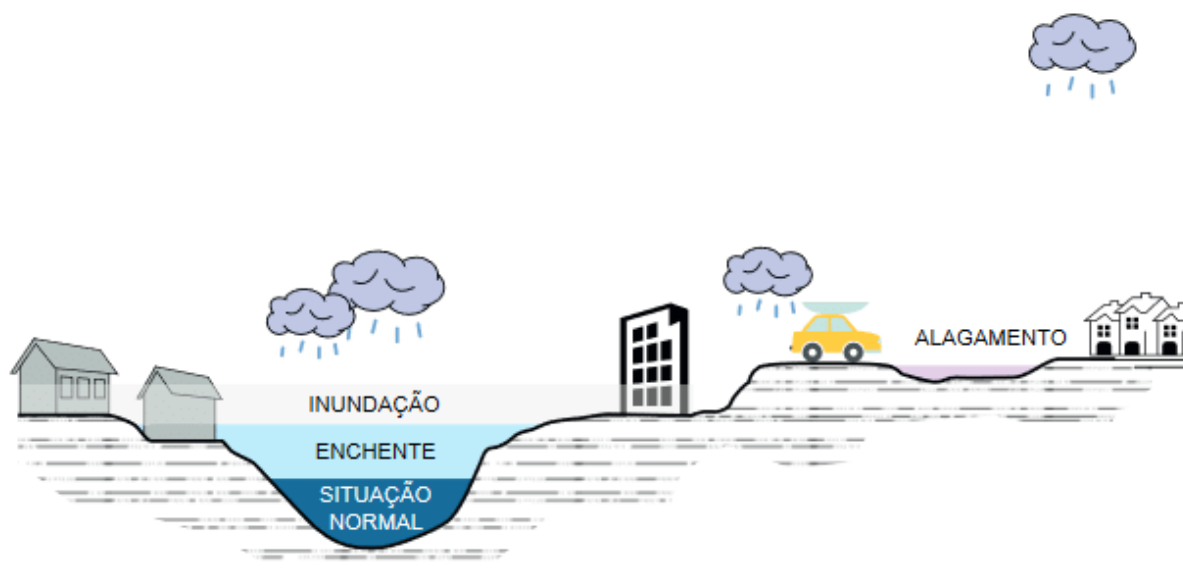
2.1.1 Inundações urbanas

A rápida urbanização intensifica enchentes e inundações devido à impermeabilização do solo, que aumenta o escoamento superficial e sobrecarrega sistemas de drenagem já obstruídos por resíduos. Esses problemas decorrem do acúmulo de água pluvial em áreas urbanizadas sem infraestrutura adequada, reflexo de um processo de urbanização desordenado que desconsidera os impactos ambientais e sociais sobre o ciclo hidrológico (Teixeira; Araújo, 2023).

A ocorrência e intensidades de eventos como enchentes, inundações e alagamentos (Figura 5) são exacerbados por mudanças climáticas, urbanização desordenada e sistemas de

drenagem ineficientes ou inadequados. A enchente, ou cheia, é o aumento temporário do nível da água de um rio, atingindo sua cota máxima, porém, sem transbordamento. A inundação se refere ao transbordamento da água, atingindo áreas marginais e causando alagamento em regiões próximas aos rios. Já o alagamento é o resultado de problemas de drenagem, causando o acúmulo de água nas áreas habitadas (Navega SP, 2023).

Figura 5 - Enchente, inundação e alagamento.



Fonte: Gonçalves; Baptista; Ribeiro (2018).

Tucci (2006) define enchente como a elevação do nível de água de um rio acima de sua vazão normal, ocorrendo em eventos hidrológicos específicos, já o processo de inundação ocorre quando as águas de um corpo hídrico saem de seu leito natural de escoamento devido à falta de capacidade de transporte de um destes sistemas, embora diversas vezes os dois termos sejam usados como sinônimos.

Dado o objetivo deste trabalho, que se concentra na análise e proposta de bacias de retenção como alternativas de drenagem sustentável, os termos alagamento e inundação serão os mais frequentemente empregados, considerando que tais infraestruturas são especialmente indicadas para mitigação desses eventos.

Segundo Tucci (2007), é raro que o poder público controle a urbanização ou que amplie a capacidade de macrodrenagem de forma eficiente, com isso as ocorrências das enchentes crescem gerando perdas sociais e econômicas. O estudo do impacto devido ao aumento da vazão máxima sobre a bacia não é avaliado pelo projetista ou exigido pelo município o que desencadeia no aumento da ocorrência de enchentes a jusante.

A administração pública em geral não conta com preparação técnica ou financeira para planejar e controlar esses impactos, de forma que os recursos hídricos são muitas vezes tratados de forma secundária, de maneira que o poder público somente reage a eventos críticos, ao invés de preveni-los.

2.2 HIDROLOGIA APLICADA

A Hidrologia é a ciência que estuda a água na superfície terrestre, nos solos e no subsolo, abordando sua ocorrência, circulação, distribuição, e propriedades físicas e químicas, além de sua relação com o meio ambiente e formas de vida. Utiliza conhecimentos de hidráulica, física e estatística, sendo essencial para áreas como geologia, geografia, agronomia e engenharia (Collischonn; Dornelles, 2013).

A Hidrologia Aplicada está voltada para os diferentes problemas que envolvem a utilização dos recursos hídricos, preservação do meio ambiente e ocupação da bacia. No primeiro caso estão envolvidos os aspectos de disponibilidade hídrica, regularização de vazão, planejamento, operação e gerenciamento dos recursos hídricos.

Dentro dessa perspectiva, projetos como drenagem urbana, controle de enchentes e qualidade da água frequentemente demandam a contribuição do hidrólogo, especialmente em cenários onde a urbanização desordenada intensifica os impactos no ciclo hidrológico. Questões como a impermeabilização do solo, o aumento do escoamento superficial e os impactos de obras hidráulicas nos ecossistemas aquáticos e terrestres são exemplos de problemas multidisciplinares em que a hidrologia tem papel essencial, contribuindo para soluções sustentáveis e a preservação ambiental (Teixeira; Araújo, 2023).

A ocupação da bacia pela população gera duas preocupações distintas: o impacto do meio sobre a população através de enchentes e; o impacto do homem sobre a bacia, mencionado na preservação do meio ambiente. A ação do homem no planejamento e desenvolvimento da ocupação do espaço na Terra requer cada vez mais uma visão ampla sobre as necessidades da população, os recursos terrestres e aquáticos disponíveis e o conhecimento sobre o comportamento dos processos naturais na bacia, para racionalmente compatibilizar necessidades crescentes com recursos limitados.

2.2.1 Ciclo hidrológico

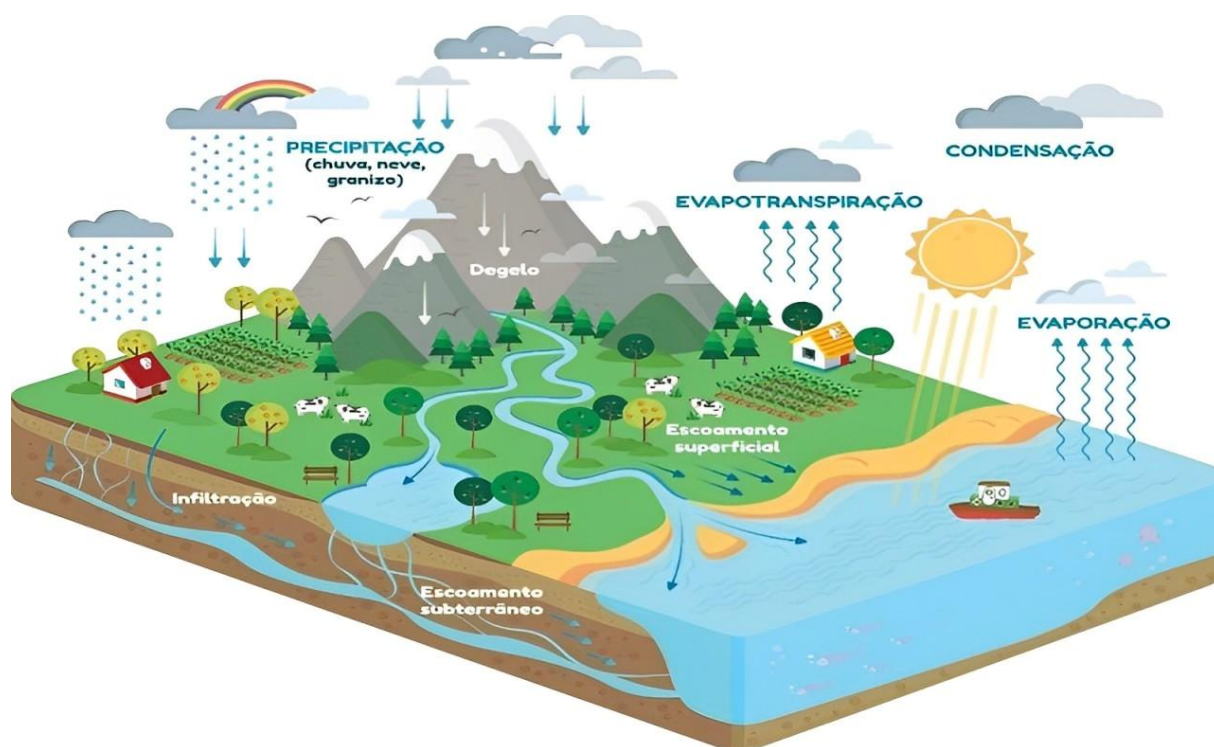
O ciclo da água, também conhecido ciclo hidrológico, pode ser descrito como um processo natural que ocorre em uma bacia hidrográfica e contém em sua composição os

processos de evaporação, condensação, detenção, precipitação, infiltração, percolação e escoamento superficial da água.

Por ser um processo cíclico não é possível identificar um início. Entretanto, pode-se considerar que o processo se inicia com o aquecimento do ar, solo e água por parte da energia irradiada pelo sol, que é responsável pela evaporação da água nos oceanos e evapotranspiração da água presente no solo e nas plantas. O vapor é transportado pelas massas de ar e sob determinadas condições condensa formando as nuvens e, conseqüentemente, precipita.

Segundo Collischonn e Dornelles (2013), a maior parte da água precipitada fica retida no solo e posteriormente retorna à atmosfera, outra parte escoar sob a superfície, e ainda outra parcela penetra profundamente no solo, abastecendo os aquíferos. Se considerado em escala global o ciclo (Figura 6) é sempre fechado em si, entretanto em escala regional podem existir alguns subciclos hidrológicos.

Figura 6 - Ciclo hidrológico.



Fonte: Santos (2018).

Os principais componentes associados ao ciclo hidrológico são a precipitação (P), a infiltração (I), a evapotranspiração (ET) e o escoamento superficial (ES). A equação do balanço hídrico para uma bacia hidrológica pode ser expressa por

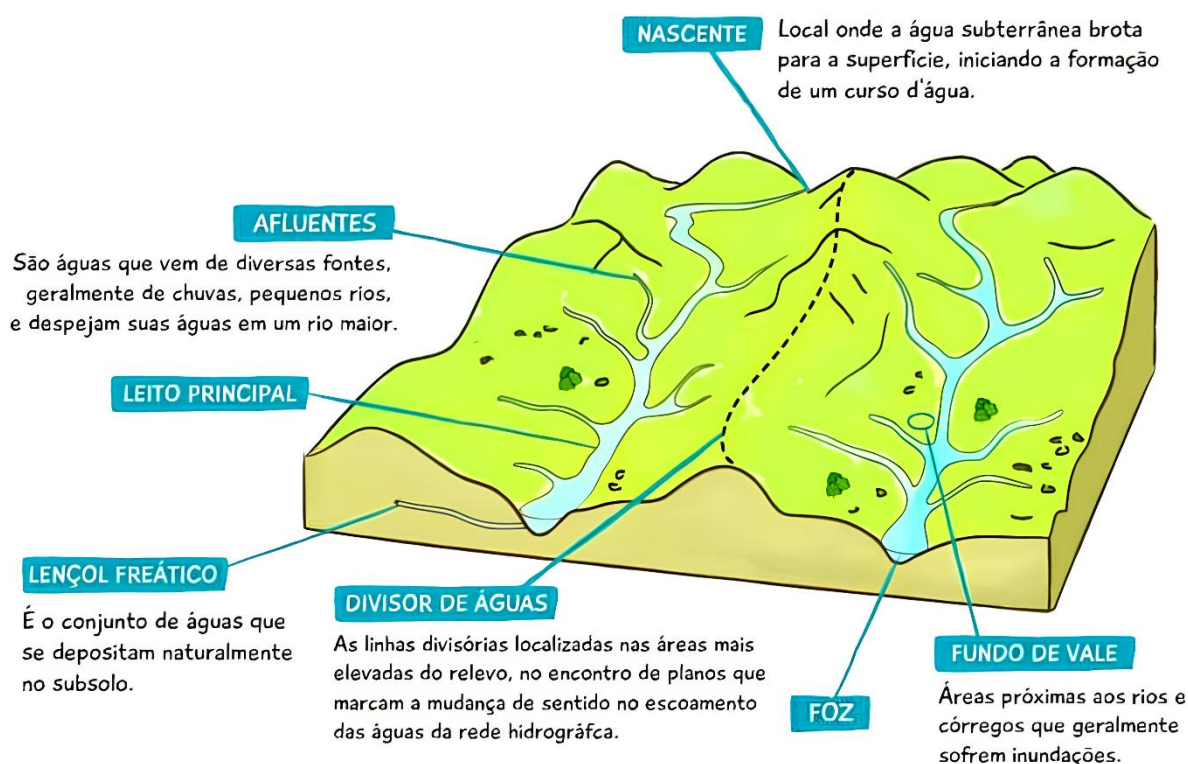
$$P + I = ET + ES$$

O entendimento do ciclo hidrológico é fundamental para a gestão eficiente dos recursos hídricos, principalmente na quantificação deles, na modelagem hidrológica, na previsão de eventos extremos, na gestão integrada de qualidade e quantidade e no suporte ao planejamento e outorga do direito de uso da água.

2.2.2 Bacia hidrográfica e Balanço hídrico

Segundo Collischonn e Dornelles (2013), a bacia hidrográfica (Figura 7) consiste na área de captação natural dos fluxos de água advindos da precipitação. Esses escoamentos convergem em um único ponto de saída denominado exutório. Também é considerada um sistema físico sujeito a entradas e saídas de água, sendo definida topograficamente por um curso d'água ou talvegue e limitada por um divisor de águas denominado espigão ou divisor topográfico.

Figura 7 - Bacia hidrográfica.



Fonte: Adaptado de História e Geografia (2018).

Segundo Cruciani (1976), microbacia hidrográfica é a área de formação natural, drenada por um curso d'água e seus afluentes, a montante de uma seção transversal considerada,

para onde converge toda a água da área considerada. A área da microbacia depende do objetivo do trabalho que se pretende realizar, não existindo consenso sobre qual o tamanho ideal.

2.3 SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM URBANA

A crescente demanda por desenvolvimento urbano sustentável tem influenciado significativamente a concepção dos sistemas de drenagem nos últimos anos. Embora haja uma busca gradual por soluções inovadoras de engenharia em projetos de saneamento, ainda há um longo percurso a ser percorrido em direção a um ambiente urbano mais saudável, no qual os principais objetivos incluem a promoção de um ambiente natural livre de agentes poluentes, a melhoria das condições de saúde e a economia de recursos humanos e financeiros empregados na manutenção do sistema (Righetto et al., 2009).

2.3.1 Definições e princípios

As *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), *Low Impact Development* (LID) ou *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), são termos distintos que denotam o mesmo conceito, sendo o primeiro amplamente utilizado no Reino Unido, o segundo nos Estados Unidos da América e o terceiro na Austrália (Lourenço, 2014). Devido à predominância da designação na literatura, será utilizada a terminologia adaptada do britânico, ou seja, SUDS.

Ferreira (2022), afirma que a filosofia por trás dos SUD) reside na reprodução, da maneira mais precisa possível, do ciclo hidrológico natural que existia antes da interferência humana. O objetivo é minimizar os impactos da urbanização tanto em termos de qualidade quanto de quantidade do escoamento. Especificamente, os SUDS têm como objetivos:

- Reduzir as taxas de escoamento e diminuir o risco de inundações a jusante.
- Reduzir os volumes adicionais de escoamento e as frequências de escoamento que tendem a aumentar como resultado da urbanização, o que pode agravar o risco de inundação e danificar a qualidade da água receptora.
- Incentivar a recarga natural de águas subterrâneas (quando apropriado) para minimizar os impactos nos aquíferos e no fluxo base dos rios na bacia receptora.
- Reduzir as concentrações de poluentes nas águas pluviais e proteger a qualidade do corpo d'água receptor.
- Atuar como um amortecedor para derramamentos acidentais, impedindo a descarga direta de altas concentrações de contaminantes no corpo d'água receptor.
- Reduzir o volume de escoamento de água superficial que se descarrega nos sistemas de esgoto combinado e reduzir os despejos de água poluída nos cursos d'água por meio de transbordamentos de esgoto combinado (CSO).

- Contribuir para a melhoria da ambiência e do valor estético das áreas desenvolvidas.
- Fornecer habitats para a vida selvagem em áreas urbanas e oportunidades para aprimoramento da biodiversidade (Ballard et al., 2007, p. 25).

A eficácia dos SUDS em reduzir as concentrações de poluentes e proteger a qualidade do corpo hídrico receptor está diretamente relacionada ao projeto e às características específicas do sistema adotado. Ballard et al. (2007) observam que os sistemas impermeabilizados podem conter e tratar contaminantes, prevenindo sua liberação no corpo hídrico receptor. No entanto, os sistemas que promovem a infiltração, como bacias de infiltração ou trincheiras drenantes, podem facilitar o contato ou o trânsito de poluentes transportados pelas águas pluviais para os aquíferos superficiais, tornando-os potenciais corpos d'água receptores.

Nesse contexto, além de mitigar os riscos relacionados ao impacto das águas pluviais, os SUDS se configuram como um conjunto de técnicas sustentáveis que integram controle hídrico, gestão ambiental e valorização paisagística. Esses sistemas, quando adequadamente projetados, apresentam potencial para reduzir os riscos de enchentes, promover a qualidade da água e incrementar os benefícios ecológicos e estéticos no ambiente urbano. No entanto, sua funcionalidade e segurança ambiental dependem de um planejamento criterioso (Junior; Longo; Lima, 2024).

Segundo Christofidis (2010), a drenagem urbana sustentável é recente e engloba um conjunto variado de medidas estruturais e não estruturais, que visam compensar os impactos da urbanização sobre os fenômenos do ciclo hidrológico em área urbana. Esse modelo sustentável preconiza o aumento de áreas permeáveis, redução de picos de cheia, aumento do tempo de concentração da água pluvial e manutenção da qualidade das águas, garantindo uma melhora no meio ambiente e meio urbano.

Os últimos 30 anos se caracterizaram por relevantes discussões acerca do estilo de desenvolvimento econômico adotado, resultando na proposição do desenvolvimento sustentável, um novo modelo de crescimento econômico, que prevê a integração equilibrada entre sociedade, economia e meio ambiente. A associação do termo sustentabilidade com a drenagem urbana (Quadro 1), contribui para uma melhor integração deste sistema à dinâmica urbana, reconhecendo a complexidade das relações existentes entre o meio natural, urbano e a sociedade (Pompêo, 2000).

Quadro 1 - Comparação da Drenagem Urbana tradicional e Sustentável.

Drenagem Urbana Tradicional	Soluções Alternativas
Drenagem rápida das águas pluviais.	Favorecimento à infiltração, ao armazenamento e ao aumento do tempo de percurso do escoamento.
Redes subterrâneas, canalização de cursos d'água naturais.	Valorização da presença da água na cidade, busca de menor interferência sobre o sistema natural de drenagem.
Associação do sistema de drenagem ao sistema viário.	Desenvolvimento de soluções técnicas multifuncionais, combinando o sistema de drenagem com a implantação de áreas verdes, terrenos de esportes, parques lineares etc.
Sistema de drenagem gravitacional, não controlado, configuração fixa da rede de drenagem.	Sistema de drenagem controlado, possibilidade de alteração na configuração da rede de drenagem.
Concepção e dimensionamento segundo um nível único de risco de inundação pré-estabelecido, para atender a um único objetivo.	Concepção e dimensionamento segundo diferentes níveis de risco de inundação, para atender a objetivos diferenciados.
Não previsão e inoperância em face de eventos de tempos de retomo superiores aos de projeto.	Avaliação do funcionamento do sistema para eventos de tempos de retomo superiores aos de projeto, gestão do risco de inundação.
Ênfase na garantia de condições de saúde pública e de conforto no meio urbano; Despreocupação com os impactos da urbanização sobre os meios receptores.	Preocupação com a garantia de condições adequadas de saúde pública e conforto no meio urbano e de redução dos impactos da urbanização sobre os meios receptores.

Fonte: Nascimento et al. (1999).

Segundo Sulzbach e Arantes (2016), a drenagem urbana sustentável, assim como o sistema tradicional, compreende a micro e a macrodrenagem, porém, agora de maneira mais integrada ao meio urbano, buscando complementar estas estruturas com soluções compensatórias que favoreçam a valorização da água em meio urbano e a criação de áreas verdes e espaços de convivência, garantindo à população maior segurança quanto às inundações e locais de recreação e lazer.

Algumas técnicas de medidas de controles são aplicadas para solucionar problemas de drenagem urbano. Segundo Tucci (2001), as medidas de controle que são utilizadas na drenagem urbana são classificadas como:

- a) Estruturais: obras que visam corrigir ou prevenir problemas relacionados a enchentes.
- b) Não estruturais: caracterizadas pela adoção de normas, regulamentos ou programas que procuram melhorar a relação população/enchente. Estas possuem custos mais baixos e horizontes de atuação mais longos que as estruturais.

As medidas estruturais são classificadas em extensivas e intensivas. As medidas estruturais extensivas atuam em toda a bacia hidrográfica alterando a resposta decorrente de

uma precipitação (Tucci, 2001). Já as intensivas agem no curso d'água, podendo acelerar, retardar ou ainda desviar o escoamento das águas. Segundo Canholi (2005), a classificação das medidas estruturais intensivas podem ser associadas as ações individuais que deixam a edificação à prova de enchentes.

Fonseca e Nascimento (2007) relatam que o controle de sistemas de drenagem urbana deve ser feito com auxílio de medidas estruturais e não estruturais, e o balanço entre as medidas deve ser realizado de maneira consciente e organizada, devendo levar em consideração aspectos de ordem sanitária e ambiental, de viabilidade técnica e econômica.

2.3.2 Técnicas compensatórias em drenagem urbana

Segundo Baptista et al. (2015), as Técnicas Compensatórias (TC) de drenagem, têm diferentes concepções quanto ao porte e localização das estruturas, sobretudo na Europa e na América do Norte. O objetivo delas é de compensar ou minimizar os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico urbano, agregando benefícios à qualidade de vida da população e a preservação do meio ambiente.

Segundo Righetto (2009), no princípio, as TC buscavam apenas o amortecimento das vazões por meio de estruturas de armazenamento ou de infiltração das águas pluviais, promovendo redução do escoamento superficial. Com ganho de experiência na aplicação destas técnicas, observou-se que a poluição de origem pluvial também poderia ser reduzida a partir destas soluções.

No Brasil, o emprego das bacias de retenção é a maneira mais frequente de aplicação de TC. Sua utilização se intensificou a partir dos anos 90, principalmente nas regiões metropolitanas de Porto Alegre, Curitiba, São Paulo e Belo Horizonte, com o principal objetivo de amortecimento de cheias, já que são únicas no controle de vazões de pico com tempos de retorno grande, de até 100 anos, característica primordial para minimizar os impactos da urbanização sobre as vazões e velocidades do escoamento superficial.

Segundo Baptista et al. (2015) estas bacias são estruturas de armazenamento temporário e/ou de infiltração das águas pluviais, denominado de volume de espera, compostas por estrutura de controle de saída e vertedor de emergência. Elas têm como função controlar as inundações pelo amortecimento de cheias em meio urbano, reduzir o volume de escoamento superficial pelo armazenamento e infiltração das águas pluviais e reduzir a poluição difusa.

Do ponto de vista urbanístico, Baptista et al. (2015) ressaltam ainda que, atualmente, novos esforços vêm sendo realizados para melhorar a integração destas estruturas com o projeto urbanístico local, vislumbrando usos múltiplos, como áreas de lazer e prática de esportes, áreas

verdes, praças, jardins etc., em conjunto com a função hidrológica. Porém são necessárias ações de saneamento, manutenção e limpeza para garantir a viabilidade desta combinação, a qual inclusive já é comprovada por vários estudos de casos positivos.

2.3.3 Tipos de sistemas

Os sistemas mais comumente utilizados são: pavimento permeável e semipermeável, trincheiras de infiltração, vala e valeta de infiltração, poço de infiltração, telhado verde, faixas gramadas e reservatórios de detenção e retenção (Agostinho; Poleto, 2012). São determinadas algumas restrições de acordo com a topografia e do tipo do solo do local da implantação (Quadro 2).

Quadro 2 - Restrições à implantação e operação dos tipos de SUDS.

Tipo	Restrição				
	Permeabilidade do solo	Declividade do terreno	Proximidade do lençol freático	Proximidade do leito de rocha	Aporte de sedimentos
Bacia de detenção ou retenção	Pequena	Pequena	Pequena	Média	Média
Bacia de infiltração	Grande	Pequena	Grande	Grande	Grande
Vala de infiltração	Grande	Grande	Grande	Grande	
Trincheira de infiltração	Grande	Grande	Grande	Grande	Pequena

Fonte: Adaptado de Batista et al. (2005).

As restrições listadas no Quadro 2 são predominantemente percebidas na área de estudo deste trabalho, incluindo baixa permeabilidade do solo, baixa declividade do terreno natural e proximidade do lençol freático. Essas características devem ser cuidadosamente consideradas no planejamento e dimensionamento de bacias de detenção ou retenção visto que podem interferir na eficiência e na viabilidade das intervenções propostas. As possibilidades de uso são função de qual objetivo se pretender atingir (Quadro 3).

Quadro 3 - Uso dos tipos de SUDS.

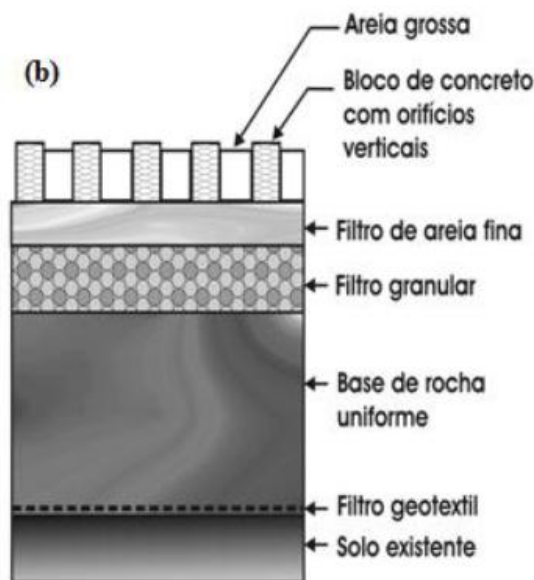
Tipo	Possibilidade de uso				
	Controle de vazão de pico	Controle de volume	Recarga do lençol freático	Reuso direto das águas	Controle de erosão à jusante
Bacia de detenção ou retenção	Bem adaptada	Pouco adaptada	Pouco adaptada	Pode ser adaptada	Pode ser adaptada
Bacia de infiltração	Pode ser adaptada TR < 30 anos	Bem adaptada	Bem adaptada	Pode ser adaptada	Bem adaptada
Vala de infiltração	Pouco adaptada	Bem adaptada	Bem adaptada	Pouco adaptada	Pode ser adaptada
Trincheira de infiltração	Pouco adaptada	Bem adaptada	Bem adaptada	Pouco adaptada	Pode ser adaptada

Fonte: Adaptado de Batista et al. (2005).

2.3.3.1 Pavimento permeável e semipermeável

As superfícies permeáveis permitem que a água da chuva se infiltre através da superfície em uma camada de armazenamento subjacente (Figura 8). A água é armazenada antes de ser infiltrada no solo, reutilizada ou liberada para águas superficiais (Ballard et al., 2007).

Figura 8 - Desenho esquemático de pavimentos semipermeáveis.



Fonte: Tassi; Poleto (2009).

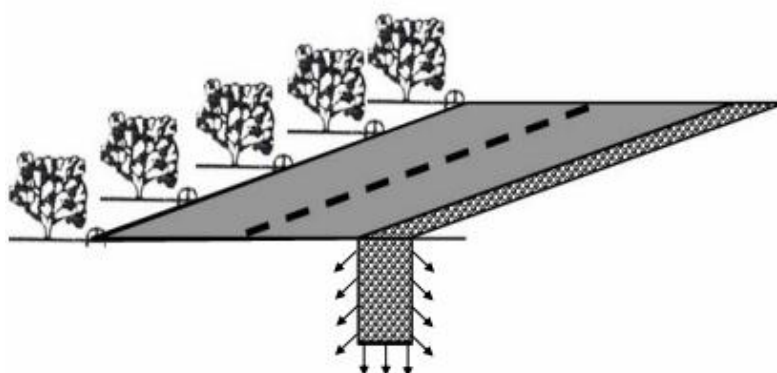
As superfícies permeáveis podem ser feitas de material poroso, que infiltram água em toda a sua superfície, superfícies de grama reforçada ou cascalho, concreto poroso e asfalto poroso ou pavimentos permeáveis são formados por material que é impermeável à água ou construídos como uma superfície permeável – neste caso, os materiais são dispostos de forma a fornecer espaço vazio através da superfície até a sub-base.

Estes pavimentos são adequados para uso em vias de tráfego leve, estacionamentos, calçadas, praças e quadras de esporte (Agostinho; Poleto, 2012).

2.3.3.2 Trincheiras de infiltração

As trincheiras de infiltração consistem em estruturas lineares projetadas para permitir a infiltração de água no solo (Figura 9). Sua forma e dimensões são determinadas pela capacidade de infiltração do solo e pela área disponível para a instalação. São comumente dimensionadas para lidar com grandes volumes de água (Silva, 2007).

Figura 9 - Ilustração de trincheiras de infiltração.



Fonte: Silva (2007).

As trincheiras podem ser superficiais ou enterradas, dependendo da disponibilidade espacial, bem como podem ter formatos diferenciados, como trapezoidais ou retangulares. Elas são comumente protegidas e separadas do solo natural por um geotêxtil, a fim de evitar a entrada de partículas finas e de elementos contaminantes (Melo et al., 2016).

2.3.3.3 Vala e valeta de infiltração

As valas e valetas são estratégias compensatórias que envolvem a criação de depressões simples escavadas no solo (Figura 10). Essas técnicas visam coletar águas pluviais, proporcionar armazenamento temporário e facilitar a sua infiltração no solo (Silva, 2007).

Figura 10 - Esquema de uma vala de infiltração entre pistas de rodovias.

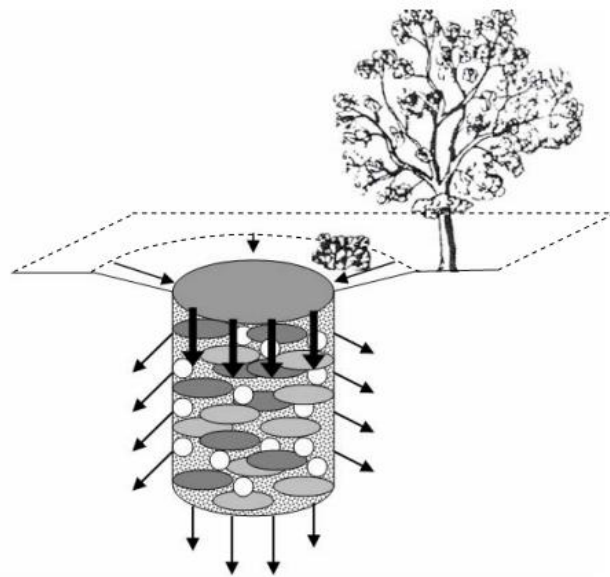


Fonte: Melo et al. (2016).

2.3.3.4 Poço de infiltração

Segundo Lourenço (2014), os poços de infiltração (Figura 11), também conhecidos como poços absorventes, são estruturas projetadas para facilitar a infiltração direta das águas pluviais no solo.

Figura 11 - Ilustração de poços de infiltração.



Fonte: Silva (2007).

A técnica visa mitigar os efeitos do escoamento superficial direto, infiltrando águas pluviais para reduzir picos de vazão no sistema de drenagem convencional. Também chamada de controle na fonte, busca reter o volume excedente de chuva no solo, diminuindo o escoamento superficial direto (Barbassa et al., 2014).

2.3.3.5 Telhado verde

Os telhados verdes são estruturas que envolvem a cobertura do telhado de um edifício com vegetação. Eles são instalados sobre uma camada de drenagem, com outras camadas que

forneem proteção, impermeabilização e isolamento superficiais (Ballard et al., 2007). Segundo Tassi et al. (2014), os telhados verdes (Figura 12) transformam a superfície de um telhado convencional em um espaço multifuncional.

Figura 12 - Estrutura do telhado verde.



Fonte: Ambiente Gaia (2013).

Existem três principais tipos de telhados verdes:

- **Extensivos:** Cobrem todo o telhado com plantas de baixo crescimento e manutenção mínima. São leves, econômicos e requerem pouca manutenção.
- **Intensivos:** São ambientes paisagísticos com alta variedade de plantas, árvores e acessíveis ao público. Exigem manutenção significativa e podem impor cargas pesadas na estrutura do telhado.
- **Intensivos simples:** São vegetados com gramados ou plantas rasteiras, demandam manutenção regular, mas têm menos exigências estruturais e são mais acessíveis.

2.3.3.6 Faixas gramadas

Segundo Lourencetti et al. (2020), as faixas gramadas ou arborizadas são extensões de vegetação cuja função é desacelerar e infiltrar, de forma moderada, os escoamentos superficiais originados em áreas urbanas impermeáveis, funcionam ainda como zona de escape em situações de enchentes (Figura 13).

Figura 13 - Faixas gramadas utilizadas em parques de Bristol, Inglaterra.



Fonte: Agostinho; Poletto (2012).

De acordo com Agostinho e Poletto (2012), as faixas gramadas oferecem um benefício crucial, pois não apenas reduzem a velocidade do escoamento superficial, mas também contribuem para diminuir os picos de vazão em áreas urbanas, especialmente quando são aplicadas em grandes extensões.

Além disso, é importante destacar que essas faixas possuem um valor estético significativo e, similarmente aos telhados verdes, desempenham um papel importante na mitigação das ilhas de calor em centros urbanos. Porém, deve-se considerar a sua necessidade de manutenção regular para evitar possíveis problemas de colmatção.

2.3.3.7 Reservatórios de retenção e detenção

Apesar de parecidas, as bacias de retenção e detenção possuem diferentes funcionamentos. Segundo Righetto et al. (2009), as bacias de detenção são capazes de capturar o volume escoado por certo período a fim de lançá-lo na rede de drenagem à jusante gradualmente, enquanto as bacias de retenção, têm como objetivo reter o volume de água escoada, mantendo uma lâmina d'água permanente ou reduzida por infiltração. Por sua relevância no trabalho, as definições relacionadas a estes sistemas serão detalhadas nas seções 3.4 e 3.5.

2.3.4 Áreas verdes públicas

Conforme Loboda e De Angelis (2005), a qualidade de vida nas áreas urbanas é influenciada por uma série de fatores, que incluem a infraestrutura, o desenvolvimento econômico-social e as questões ambientais. No contexto ambiental, as áreas verdes públicas

desempenham um papel fundamental no bem-estar da população, uma vez que têm um impacto direto na saúde física e mental das pessoas.

A definição de área verde pública engloba qualquer espaço aberto que foi designado como de uso comum e que contenha algum tipo de vegetação, seja ela espontânea ou plantada. Essas áreas desempenham funções ambientais como a realização de fotossíntese, evapotranspiração, sombreamento, aumento da permeabilidade do solo, conservação da biodiversidade e mitigação dos efeitos da poluição sonora e atmosférica. Além disso, as áreas verdes públicas também são utilizadas para propósitos sociais, ecológicos, científicos ou culturais (Benini, 2009).

2.3.4.1 Importância e benefícios

A vegetação urbana desempenha múltiplos papéis essenciais na vida nas cidades. Além de contribuir para equilibrar o ambiente urbano e fornecer espaços de lazer, também adiciona cores e formas que enriquecem o cenário urbano. Outra função crucial da vegetação é sua participação na arborização das vias públicas. Essa arborização funciona como um filtro que reduz o ruído, retém o pó, promove a reoxigenação do ar e oferece sombra, proporcionando uma sensação de frescor aos transeuntes e moradores da área (Lima; Amorim, 2011).

Benini (2015) destaca que as áreas verdes públicas em ambientes urbanos, tais como jardins, parques urbanos, parques lineares e corredores verdes, proporcionam uma gama de benefícios ambientais. Estes espaços ajudam na redução da poluição do ar por meio da fotossíntese das plantas, na regulação da umidade e temperatura do ar, e na promoção da permeabilidade, fertilidade e umidade do solo, o que previne processos erosivos. As áreas verdes auxiliam na diminuição dos níveis de ruído, atuando como um amortecedor do barulho típico das cidades. A soma desses benefícios contribui de maneira significativa para a qualidade ambiental urbana.

2.3.4.2 Integração com as bacias de retenção

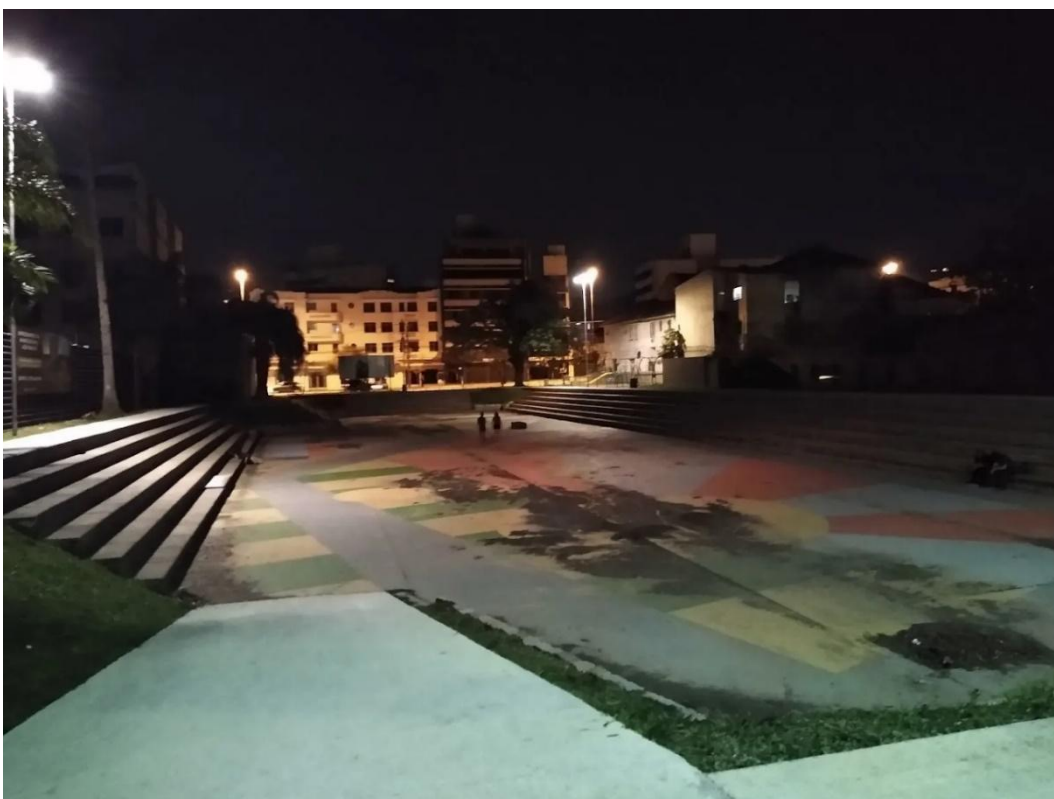
As bacias de retenção oferecem oportunidades para soluções integradas com o planejamento urbano, possibilitando o desenvolvimento de projetos multifuncionais. Um exemplo comum é a criação de praças e quadras esportivas rebaixadas, como é o caso da Praça Júlio Andreatta na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul (Figuras 14 e 15), que é um espaço multifuncional mesmo em períodos noturnos. Durante períodos de clima seco, elas proporcionam lazer e espaços de convivência, e em épocas de cheias funcionam como reservatórios temporários para armazenar o excesso de água pluvial (Battemarco et al., 2018).

Figura 14 - Praça Júlio Andreatta, Porto Alegre, RS, durante o dia (março/2022).



Fonte: Moreira (2022).

Figura 15 - Praça Júlio Andreatta, Porto Alegre, RS, durante a noite (março/2023).



Fonte: Moreira (2022).

Segundo Lee e Li (2009), as bacias de retenção de uso múltiplo oferecem benefícios multifuncionais, onde são integradas instalações recreativas e as bacias ao controle de águas pluviais pretendido. Esse tipo de bacia geralmente possui maiores dimensões, devido à inclusão de instalações recreativas, e são principalmente mantidas pelos governos municipais. -

2.3.4.3 Casos de sucesso

Campos et al. (2021) buscaram avaliar a qualidade de vida dos frequentadores dos dois parques urbanos em João Pessoa, Paraíba: Parque Solon de Lucena e o Parque Zoobotânico Arruda Câmara, a partir do desenvolvimento da metodologia denominada Índice de bem-estar em áreas verdes (Ibeav). Os resultados reforçaram a importância das áreas verdes em ambientes urbanos.

Ferraz et al. (2023) apontam que atividades culturais e educacionais em parques verdes são alternativas para desenvolver a educação ambiental, considerando que a interação com a natureza ajuda a conscientizar e melhorar os padrões de consumo da população.

Barreto et al. (2019) examinaram a relação entre a proximidade de áreas verdes às residências e a ocorrência de transtornos mentais comuns em adultos, levando em consideração distintos níveis de renda. Eles concluíram que áreas verdes urbanas têm um efeito positivo na saúde mental de pessoas com renda mais baixa.

2.3.5 Benefícios e desafios dos SUDS

Os benefícios do SUDS são: aumento nas taxas de infiltração das águas pluviais, resultando em uma melhoria na recarga de aquíferos; a redução do escoamento superficial por meio do retardo, retenção ou aumento da infiltração das águas pluviais, favorecendo o controle de processos erosivos e auxiliando no controle de problemas de inundações; a retenção da água pluvial para uso em atividades menos nobres; e a criação de áreas de lazer e melhoria do aspecto paisagístico das cidades (Agostinho; Poleto, 2012).

Quando bem projetados, construídos e mantidos, os SUDS demonstram ser mais sustentáveis do que os sistemas convencionais, mitigam os impactos negativos da urbanização no ciclo hidrológico e na qualidade da água.

Apesar de sua importância, a adoção de sistemas sustentáveis encontra muitos empecilhos no Brasil. Com relação a drenagem e manejo de águas pluviais no país, destacam-se dificuldades quanto às deficiências de gestão da infraestrutura, carência de dados, falta de

normas técnicas, ausência de padronização de terminologias, dificuldades na delimitação do território de planejamento⁴, entre outros (Brasil, 2020).

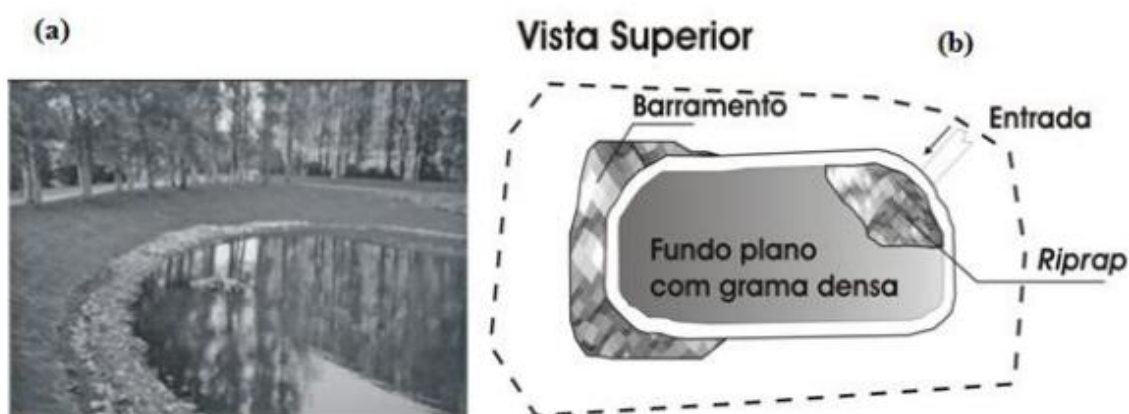
De acordo com Agostinho e Poletto (2012), os principais obstáculos para aprimorar o desempenho e promover a adoção dos SUDS incluem a exigência de manutenção regular, os custos elevados de implementação (especialmente ao adaptar sistemas pré-existentes) e a incompatibilidade com altas cargas de sedimentos, que aumentam o risco de colmatção.

2.4 BACIA DE RETENÇÃO

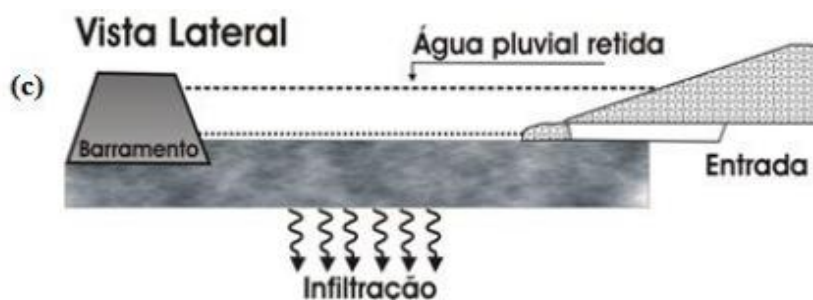
As bacias de retenção são estruturas de armazenamento de águas pluviais, que tem por finalidade a regularização dos caudais, viabilizando, desta forma, a restituição à jusante de fluxos compatíveis com os limites previamente estabelecidos ou determinados pela capacidade de vazão de um coletor já existente ou a ser construído (Matias, 2006).

Os sistemas de bacias de retenção geralmente possuem uma capacidade de armazenamento muito maior do que o volume permanente do lago. Isso resulta em alta eficiência no tratamento da água, além de proporcionar valorização paisagística e servir como habitat para a vida terrestre e aquática (Figura 16). Esses sistemas também permitem o depósito de sólidos em suspensão e a dissolução de poluentes por decomposição, melhorando a qualidade da água em uma ampla faixa de substâncias (Righetto et al., 2009).

Figura 16 - Esquema em planta e em corte de uma bacia de retenção.



⁴ Os limites da bacia hidrográfica, território de planejamento do sistema de drenagem, em geral, não coincide com os limites municipais



Legenda: Riprap de solo cimento⁵; (a) Foto de uma bacia de retenção; (b) Desenho esquemático de uma bacia de retenção em planta; (c) desenho esquemático de uma bacia de retenção em corte.

Fonte: Agostinho e Poleto (2012).

As bacias de retenção desempenham um papel crucial na gestão das águas pluviais, atuando como um mecanismo de controle e armazenamento que permite regular o fluxo de água dentro de uma bacia hidrográfica. Essas estruturas não apenas possibilitam a restituição das águas a jusante com caudais adequados ao meio receptor, mas também desempenham uma função qualitativa ao contribuir para a melhoria da qualidade da água armazenada, principalmente por meio da sedimentação dos materiais em suspensão (Lourenço, 2014).

2.4.1 Tipos de bacia de retenção

Segundo Matias (2006), as bacias de retenção podem classificar-se, quanto à sua implantação em bacias a céu aberto (a seco ou com nível de água permanente) ou enterradas. Também podem ser classificadas quanto à sua localização em relação ao coletor ou canal de drenagem principal em bacias em série ou bacias em paralelo (Quadro 4).

Quadro 4 - Características de cada tipo de bacia de retenção.

Tipo	Características
Bacias a céu aberto	- Geralmente construídas em terra, com taludes reforçados ou diques de proteção lateral; - Se subdivide em “secas” ou “com nível de água permanente”, neste caso a escolha do tipo depende principalmente da permeabilidade do solo e das variações do lençol freático local; - As “secas” são dimensionadas para acumular água apenas em períodos específicos (durante a ocorrência de precipitações e no máximo por alguns dias); - As bacias “com nível de água permanente” são concebidas para terem água continuamente, ainda que em períodos sem precipitação, sendo assim, o nível freático é seu principal condicionante.

⁵ De acordo com a especificação de serviço nº 072 (DNIT, 072), é definido como um “dispositivo interceptante construído de sacos de plástico ou aniagem, cheios de solo local misturado com cimento em proporções devidas para a sua consistência e dispostos formando uma parede como se fosse alvenaria, de modo a funcionar como uma contenção de peso contra o fluxo d’água das chuvas”.

Tipo	Características
Bacias enterradas	- Situam-se abaixo do nível do solo, comumente são construídas em concreto armado e assemelham-se a reservatórios de água; - São indicadas para zonas densamente urbanizadas, com limitação de terreno ou onde os custos são elevados.
Bacias em série	São alinhadas ao coletor ou canal, de forma que a totalidade do escoamento afluente passa pela bacia de retenção.
Bacias em paralelo	São construídas na lateral do coletor ou canal afluente, nesta configuração apenas parte do escoamento à montante chega até a bacia de retenção.

Fonte: Adaptado de Matias (2006).

2.4.2 Dimensionamento

O dimensionamento e a implementação de uma bacia de retenção exigem entendimento detalhado da topografia local, rede hidrográfica, clima (incluindo regime de precipitação), tipo de solo, uso da terra na bacia de drenagem, sistema de drenagem existente, plano de desenvolvimento local e condições do meio ambiente a jusante. Esses elementos são essenciais para garantir que a bacia de retenção seja projetada e implementada de forma eficaz e adequada às condições locais (Lima et al., 2006).

Alguns métodos de dimensionamento de bacias de retenção utilizados são: Método de hidrograma triangular simplificado, Método de regressão de Pagan, Método da duração crítica do acontecimento de precipitação, Método proposto por Debo e Reese em 1995 (baseado no método racional modificado) e Método de regressão proposto por Wycoff e Singh.

2.4.3 Vantagens e desvantagens

A integração das bacias de retenção na gestão das águas pluviais oferece vantagens multifacetadas, incluindo a melhoria do sistema de drenagem para prevenir inundações, a redução da carga poluente nas águas pluviais, e a criação de espaços recreativos e turísticos. Além disso, as bacias de retenção podem servir como reservatórios de água para várias atividades, desde agrícolas até industriais, e contribuir para a recarga dos aquíferos.

Há, porém, desvantagens que devem ser avaliadas: a ocupação de grandes áreas, o potencial para a proliferação de insetos e doenças, e a necessidade de proteger as margens para garantir a segurança e minimizar impactos negativos no ambiente urbano. Um cuidadoso planejamento e gestão são essenciais para maximizar os benefícios das bacias de retenção e mitigar seus impactos negativos (Lourenço, 2014).

2.5 BACIAS DE DETENÇÃO

Os sistemas de retenção são projetados para reter uma parte do volume escoado na bacia a montante, permitindo amortecer a vazão máxima causada pela chuva. Sendo assim, seu principal propósito é prevenir a inundação de áreas situadas a jusante. Esses sistemas são concebidos para operar em conjunto com a rede de drenagem e, por isso, esvaziam-se entre os eventos de chuva.

Como o tempo de retenção é curto, os sistemas não são eficazes na remoção de matéria sólida ou substâncias poluentes; em vez disso, funcionam como estruturas para suavizar a vazão máxima lançada no corpo receptor, reduzindo os impactos de inundação e protegendo a rede de drenagem a jusante (Righetto et al., 2009).

2.5.1 Vantagens e desvantagens

Uma das principais vantagens das bacias de retenção é que a área da bacia de contribuição a ser controlada pode ser bem maior⁶, se comparado às demais medidas de controle de inundações (SUDERHSA, 2002). As demais vantagens e desvantagens estão descritas no Quadro 5.

Quadro 5 - Vantagens e desvantagens das bacias de retenção.

Bacias de retenção	
Vantagens	• Prevenir impactos adversos da impermeabilização do solo pela restauração do armazenamento natural perdido; • Diminuir problemas de inundações localizadas; • Reduzir os custos dos sistemas de drenagem à jusante, pela redução nas suas dimensões ao precisar menor capacidade para transportar a água pluvial; • Controlar problemas de erosão em pequenos tributários através da redução das vazões; • Aumentar o tempo de resposta do escoamento superficial; • Incentivar o reuso e a recarga de aquíferos; • Melhorar a qualidade paisagística através do aumento de áreas verdes e parques, criando oportunidades de recreação à comunidade; • Entre outros.
Desvantagens	• Custo de Implementação e Manutenção: Demandam investimentos para construção e, periodicamente, precisam de manutenção para evitar assoreamento e degradação do espaço. • Possibilidade de Proliferação de Vetores de Doenças: Águas paradas, especialmente em áreas tropicais, podem facilitar a reprodução de vetores, como mosquitos, requerendo medidas de controle. • Limitações de Espaço em Áreas Urbanas: Necessitam de uma área considerável para armazenamento, o que pode ser um desafio em regiões urbanas densamente ocupadas. • Eficácia Condicionada às Características do Terreno: Em terrenos com baixa capacidade de infiltração ou onde o lençol freático é elevado, a funcionalidade da bacia pode ser comprometida, limitando sua eficiência em algumas regiões. • Complexidade na Gestão: A manutenção e operação adequadas demandam monitoramento técnico contínuo, com necessidade de profissionais capacitados para garantir o funcionamento ideal.

Fonte: Adaptado de Nakazone (2005).

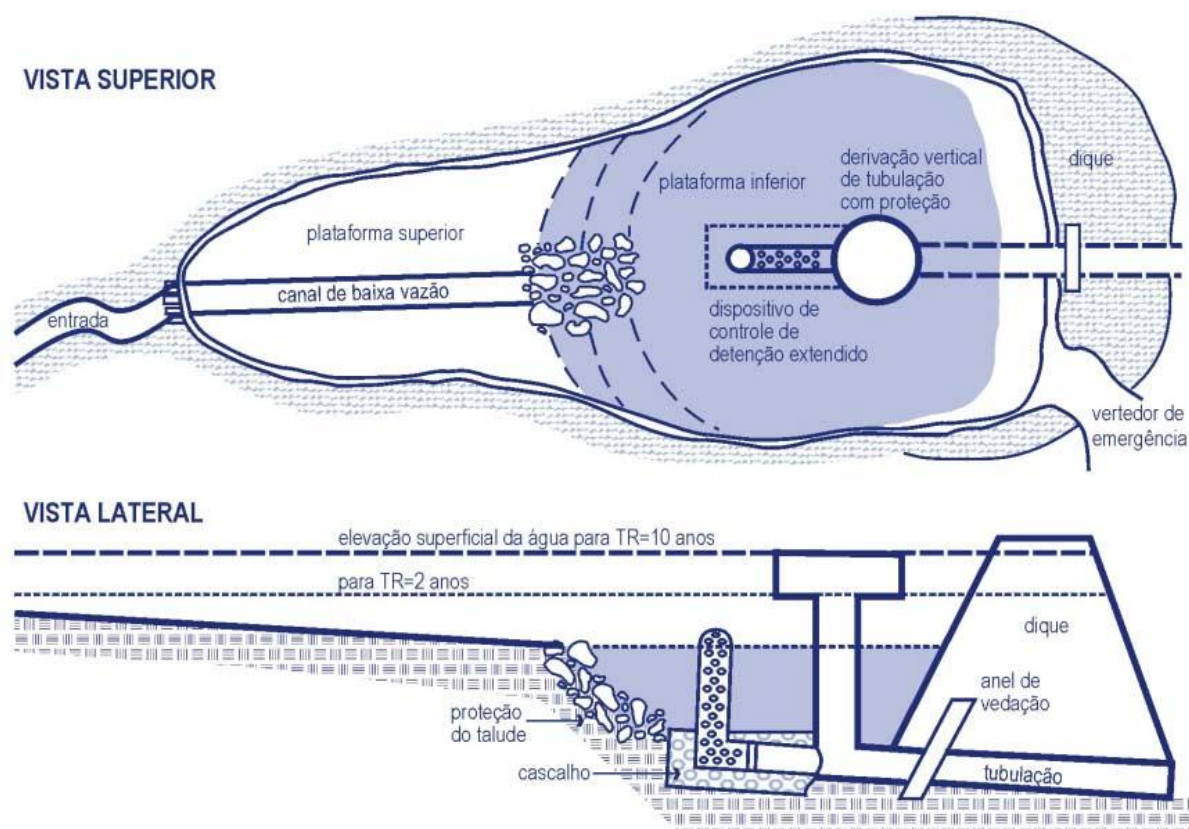
⁶ A área mínima é de 10 ha, podendo ultrapassar 40 ha

As bacias de retenção também apresentam algumas desvantagens, pois proporcionam pouca redução no volume de escoamento e as profundidades de retenção podem ser limitadas pelos níveis de entrada e saída do sistema (Ballard et al., 2007).

2.5.2 Tipos e composição estrutural básica

Segundo Nakazone (2005), os reservatórios de retenção classificam-se em abertos ou fechados, enterrados ou não. As bacias de retenção podem ser construídas como instalações “in-line” ou “off-line”, com base em como são integradas ao sistema de drenagem principal.

Figura 17 - Vista superior e lateral de uma bacia de retenção.



Fonte: SUDERHSA (2002).

As instalações “in-line” todo o escoamento superficial passa por elas durante eventos de precipitação, possuem uma saída restrita que permite que a bacia se encha, o que atenua os fluxos. Por sua vez, as instalações “off-line” geralmente recebem o escoamento através de um desviador de fluxo ou transbordamento, neste caso, a água da bacia de retenção é devolvida ao sistema principal quando a vazão cai abaixo do limite de desvio (Ballard et al., 2007).

Quanto à composição estrutural (Figura 17), as bacias de retenção são compostas de estruturas de entrada – por gravidade ou por bombeamento, conforme as condições locais; corpo

de armazenamento – responsável pela contenção dos volumes de água; estruturas de descarga – responsável por controlar a vazão de saída (assim como a estrutura de entrada pode ser por gravidade ou por bombeamento), e dispositivo de extravasão – elementos de segurança contra eventos extremos, que podem estar acoplados às estruturas de saída ou não (Nakazone, 2005).

2.5.3 Funcionamento e aplicabilidade

De acordo com Ballard et al. (2007), as bacias de detenção são estruturas de armazenamento na superfície ou instalações destinadas a controlar o fluxo através da atenuação do escoamento de águas pluviais, além disso são capazes de facilitar a sedimentação de poluentes particulados. Geralmente, permanecem secas, o que permite seu aproveitamento como espaço recreativo (Figura 18).

Quando equipadas com estruturas de retenção na saída, permitem a liberação gradual do volume retido, geralmente durante eventos de pequena magnitude. Essas estruturas retêm o volume por até 48 horas, controlando a vazão por meio de orifícios para a deposição de matéria sólida e poluentes. Podem operar em dois níveis: cota superior para eventos de grande magnitude e cota inferior para eventos mais frequentes. (Righetto et al., 2009).

Figura 18 - Bacia de detenção em São Paulo, SP.



Legenda: (a) Sem integração com o espaço urbano; (b) Com integração com espaço urbano.
Fonte: Cruz et al. (2001).

Segundo Cruz et al. (2001), no Brasil, as bacias de detenção ainda são implantadas apenas para desempenhar sua função hidrológica, não estando bem integradas com o espaço urbano, embora algumas cidades estejam se esforçando (Figura 19).

Figura 19 - Bacia de retenção em Porto Alegre, RS.



Fonte: Cruz et al. (2001).

Alguns critérios que devem ser avaliados para garantir a adequação das bacias de retenção para atender aos objetivos de drenagem em um determinado local como área de drenagem, espaço necessário para instalação, localização, inclinação do terreno e estabilidade e, condições de solos superficiais e de águas subterrâneas. Segundo eles, a forma e a aparência estética da instalação dependerão das características específicas do local, das preocupações públicas locais e dos critérios de *design* de desenvolvimento (Ballard et al., 2007).

2.5.4 Dimensionamento

O dimensionamento de uma bacia de retenção requer uma clara definição de seus objetivos, que podem variar desde o controle do escoamento para evitar alagamentos em determinados períodos de retorno até o controle da erosão dos cursos d'água a jusante, inclui ainda o controle da qualidade da água em diversos aspectos (Silva, 2009).

Outras informações necessárias ao projeto da estrutura que devem ser coletadas são:

- Controle das vazões de pico: são utilizados dados a respeito da bacia de contribuição, dados de uso do solo e de características de precipitação da região;
- Estimativas de volumes para controle das vazões de pico:
 - Método que relaciona a razão entre as vazões de pico de saída e entrada da bacia com a razão entre o volume reservado e o volume escoado superficialmente (*Natural Resources Conservation Service*);
 - Método baseado na ideia de que o volume a ser armazenado equivale a diferença entre os hidrogramas de pré e pós-urbanização, entre outros;
- Controle de erosão dos corpos receptores: como critério de projeto recomenda-se manutenção das vazões de picos (pré-urbanização) com períodos de retorno de 2 anos;

- Estruturas de entrada e saída das bacias: as estruturas de entrada são responsáveis por receber às águas em condições adequadas ao bom funcionamento da bacia, as estruturas de saída por sua vez, determinam seu comportamento hidráulico;
- Aspectos construtivos e de manutenção: diz respeito à forma da bacia, inclinação de taludes, estrutura do fundo da bacia, adoção de programas de manutenção contínua etc.

Segundo Nakazone (2005), para reservatórios de retenção, os parâmetros de projeto, incluindo informações sobre a bacia de contribuição, o período de retorno, os tempos de concentração, as equações de chuva, o dimensionamento hidráulico dos dispositivos, hidrogramas etc., são essenciais e seguem considerações semelhantes a outros tipos de dispositivos de drenagem.

2.5.4.1 Métodos de determinação das vazões

Para o dimensionamento de bacias de retenção são utilizados alguns métodos que auxiliam na determinação das vazões de projeto: Racional, Racional Modificado; Linear; Watkins; Ven Te Chow ou *Soil Conservation Service*; I Pai Wu, Triangular, Reservatório Linear.

A Instrução de Projeto IP-DE-H00/001 (DER-SP⁷, 2005) orienta que a escolha do método de determinação das vazões de projeto deve estar de acordo com as dimensões das bacias (Quadro 6) e os parâmetros de cálculo são fixados de acordo com as características da obra.

Quadro 6 - Indicação para escolha do método de determinação da vazão.

Método	Área
Racional	Menor que 2 km ²
• Ven Te Chow ou <i>Soil Conservation Service</i> (SCS) • I Pai Wu • Triangular	Entre 2 km ² e 50 km ²
Estatístico direto	Maior que 50 km ²

Fonte: Elaborado pelo autor (2024), adaptado de IP-DE-H00/001 (DER-SP, 2005).

Existem ainda os modelos computacionais mais complexos como o IPH2 (Junior et al., 2017), HEC-RAS (Engelhardt; Silva; Nóbrega, 2024), HMS (Sahu; Shwetha; Dwarakish, 2023), Mike 11 etc. É importante destacar que cada um dos métodos e modelos possuem particularidades de aplicação, adaptação e tipo de bacia, cabendo ao projetista avaliar com

⁷ Departamento de Estradas e Rodagem do Estado de São Paulo

cautela os critérios para a sua escolha. A consolidação da metodologia dos cálculos hidrológicos e a verificação dos elementos técnicos são regidos por consulta prévia e aprovação do órgão municipal de controle e fiscalização de águas e esgoto.

2.5.5 Método Racional

O Método Racional (Quadro 7) se baseia na ideia de que, à medida que a intensidade da precipitação diminui ao longo do seu desenvolvimento, haverá uma chuva cuja combinação de intensidade e duração resultará no maior volume de retenção, considerando o tempo de retorno fixo e a vazão de saída da bacia.

Franco (2004) observa que, através do Método Racional, fixando-se o tempo de retorno e a vazão efluente, é possível determinar a duração máxima da chuva crítica que conduz ao maior volume para o dimensionamento de BD.

Quadro 7 - Passo a passo do dimensionamento da bacia de retenção pelo método racional.

Passo	Variável	Como obter
1	Área da bacia hidrográfica (A)	Os limites da área da bacia são definidos a partir do mapa hipsométrico, considerando a planialtimetria do local de implantação
2	Coeficiente de escoamento superficial (C)	Extraído do Quadro 7 através do tipo de ocupação do solo.
3	Período de retorno (TR)	Extraído do Quadro 8 através do tipo de obra.
4	Tempo de concentração (t_c)	Pela fórmula empírica de Kirpich modificada: $t_c = 57 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$ L – Comprimento; H- Desnível.
5	Intensidade máxima de precipitação (i)	Utilizar a fórmula da equação da intensidade máxima de precipitação para o local de implantação da bacia de retenção
6	Área de contribuição	Considerar a topografia do local para esta determinação
7	Vazão	Do cenário de pré-urbanização (Q_p): $Q_p = \frac{C \times i \times A}{360}$ C –Coeficiente de <i>Run-off</i> ; i – Intensidade da chuva; A – Área;
		Do cenário de e pós-urbanizado (Q_s): $Q_s = \frac{C \times i \times A}{360}$
9	Volume de retenção V_{detido}	$Q_p - \text{vazão de pré-urbanização};$ $Q_s - \text{vazão de pós-urbanização}$ $T_b = 3 \cdot T_c$ $V_{detido} = 0,5 \times (Q_s - Q_p) \times T_b \times 60$

Passo	Variável	Como obter
10	Área de ocupação da bacia	Avaliar o critério geométrico do projeto da bacia.
11	Saída do reservatório	$Q = C_d \times A_0 \times \sqrt{2 \times g \times H}$ C_d – Coeficiente de descarga A_0 – Área do orifício g – Aceleração da gravidade H – Altura de lâmina d'água do reservatório
12	Viabilidade do projeto	Testar as condições de viabilidade do projeto (Quadro 9).

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O coeficiente de escoamento superficial, conhecido como *Run-off*, relaciona o volume de escoamento superficial com o volume precipitado e varia de acordo com o tipo de ocupação do solo na bacia de contribuição (Quadro 8).

Quadro 8 - Valores do Coeficiente de escoamento superficial.

Ocupação do solo	Valor de C
Edificação muito densa Partes centrais densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 a 0,95
Edificação não muito densa Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 a 0,70
Edificação com pouca superfície livre Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 a 0,60
Edificação com muitas superfícies livres Partes residenciais tipo cidade jardim, ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,25 a 0,50
Subúrbios com alguma edificação Partes de arredores com pequena densidade de construções	0,10 a 0,25
Matas, parques e campos de esporte Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques e campos de esporte sem pavimentação	0,05 a 0,20

Fonte: Adaptado de Tomaz (2002).

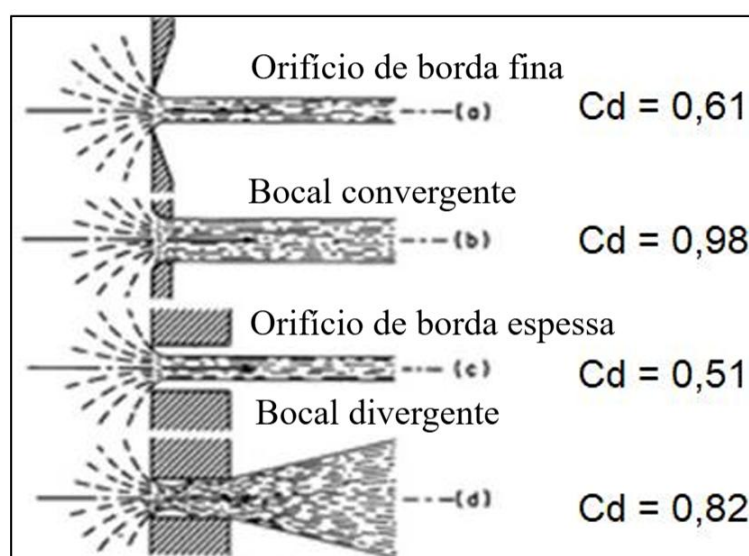
O tempo de retorno se refere à frequência com que um determinado evento de ocorrência, com uma intensidade específica, é inesperado. É ele quem dita a probabilidade de falhas aceitáveis na estrutura de drenagem. O tempo de retorno é obtido da relação entre os tipos de obras e os potenciais danos causados por inundação (Quadro 9).

Quadro 9 - Período de retorno.

Tipo de obra	Potenciais danos de inundação	Período de retorno
Coletor de águas pluviais em estradas	• Impede o tráfego • Custos de atrasos nos veículos devido a inundação	2 a 5 anos
Coletor urbano nas ruas	• Impede acesso de emergência • Custos de contorno devido a inundação • Custos de atrasos nos veículos devido a inundação	10 a 25 anos
Controle rural de inundação	• Danos a estradas de rodagem • Danos às plantações	25 a 50 anos
Controle urbano de inundação	• Danos às propriedades • Danos a infraestrutura	100 anos

Fonte: Adaptado de Tomaz (2002).

Figura 20 - Valores do coeficiente de descarga para orifícios.



Fonte: Coelho (2018).

O coeficiente de descarga do orifício assume valores de acordo com o tipo de orifício (Figura 20). Esse coeficiente é essencial para determinar a taxa de escoamento através do orifício, levando em conta fatores como a forma do orifício, o regime de escoamento, que neste projeto é turbulento, a viscosidade do fluido e a diferença de pressão entre os lados do orifício.

2.5.6 Método de Ven Te Chow

Amplamente utilizado para o cálculo de vazões em bacias de retenção, transformando a chuva em escoamento, é descrito no livro “*Open-Channel Hydraulics*” de Ven Te Chow (1959). O método deve ser aplicado (Quadro 10) conforme preconizado por Paulo Sampaio Wilken em sua obra “*Engenharia de Drenagem Superficial*”, edição de 1978. Para a

determinação do coeficiente de deflúvio (N)⁸ solicitada no método, deve-se considerar o complexo hidrológico do solo e a cobertura vegetal dados na Tabela 2 da IP-DE-H00/001 (DER-SP, 2005).

Quadro 10 - Passo a passo do dimensionamento da bacia de retenção por Ven Te Chow.

Passo	Variável	Como obter
1	Período de retorno (T)	Definir de acordo com o nível de segurança necessário para o projeto (Quadro 8).
2	Intensidade máxima de precipitação (i)	Utilizar os dados históricos de precipitação do local de implantação da bacia para o T escolhido.
3	Distribuição temporal da precipitação	Dividir a chuva de projeto em intervalos de tempo
4	Precipitação efetiva (P_e)	Obter a fração de chuva que se transforma em escoamento superficial, descontando perdas como infiltração, evapotranspiração e armazenamento temporário. $P_e = N \times P$ N- Coeficiente de precipitação efetiva (adimensional), também chamado de coeficiente de escoamento ou coeficiente de deflúvio; P- Precipitação total (mm ou m).
5	Hidrograma unitário	Calcular ou obter empiricamente o hidrograma para a bacia representando sua resposta a uma precipitação uniforme.
6	Hidrograma de escoamento total	Realizar a convolução do hidrograma unitário com a precipitação efetiva.
7	Volumes de entrada e saída	Entrada: Obter a partir do hidrograma de escoamento total Saída: Estimar a vazão de saída constante e limitada pela capacidade da bacia
8	Estrutura de controle	Dimensionar orifício, vertedor ou tubo de acordo com a vazão de saída
9	Verificação do desempenho	A bacia deve atender o volume de escoamento para o evento de projeto sem transbordar. Caso seja necessário, as dimensões da bacia ou da saída devem ser reajustadas ou as suposições iniciais devem ser revisadas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A abordagem deste método também cobre vários aspectos do escoamento em canais, incluindo o cálculo de perfis de superfície livre e a análise de ondas de enchente. É aplicado na modelagem de inundações e na previsão de perfis de enchente em rios e canais.

2.5.7 Método de I Pai Wu

⁸ Também conhecido como coeficiente de escoamento superficial, é um parâmetro usado em hidrologia para representar a fração da precipitação que se transforma em escoamento superficial. Ele é essencial no cálculo do volume de escoamento em áreas urbanas e rurais e é influenciado por vários fatores, como tipo de solo, cobertura do solo, topografia e uso do solo.

O método é baseado na análise estatística e na teoria das series temporais para prever o comportamento dos sistemas hidrológicos. Sua aplicação (Quadro 11) envolve a previsão de vazões, a modelagem de eventos extremos, como secas e inundações, bem como a avaliação de seus riscos e, conseqüentemente, auxilia na gestão de recursos hídricos. O método está descrito no livro “*Design Hydrographs for small Watersheds in Indian*” de I Pai Wu (1964).

Quadro 11 - Passo a passo do dimensionamento da bacia de detenção por I Pai Wu.

Passo	Variável	Como obter
1	Área de contribuição (A)	Identificar, a partir do exame da topografia do local de implantação, as áreas de contribuição da bacia de detenção $A = \sum A_i$
2	Hidrograma de entrada	Avaliar as características locais de precipitação, infiltração e escoamento superficial, escolhendo um método convencional (racional ou SCS) para a determinação do hidrograma de entrada
3	Período de retorno (T)	Definir de acordo com o nível de segurança necessário para o projeto (Quadro 8).
4	Volume da detenção	Calcular o volume de detenção considerando que a bacia deve armazenar o volume dado entre a diferença do volume total e o volume de água a ser liberado $V = \sum (Q_{entrada} - Q_{saída}) \times \Delta t$ $Q_{entrada}$ – Vazão de entrada $Q_{saída}$ – Vazão de saída Δt – Duração da precipitação
5	Vazão de saída	Calcular a vazão de saída limitando-a para que o escoamento não sobrecarregue o sistema de acordo com
6	Verificação	Comparar o hidrograma de saída com o de entrada para entrada para verificar se a bacia armazena o volume necessário sem exceder a capacidade máxima da estrutura

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Caso seja necessário, ao final do dimensionamento, são feitos ajustes para que a bacia de detenção atenda às restrições de controle de enchentes.

2.5.8 Método Triangular

Neste método, é feita uma abordagem simplificada para estimar o fluxo de água que sai de uma bacia de detenção, durante e após um evento de chuva (Quadro 12). A estimativa se baseia em um hidrograma adimensional utilizado para a definição de um hidrograma unitário sintético: geralmente se utiliza o do *Soil Conservation Service*, método descrito na seção 4 “*Hidrology*”, capítulo 2 “*Procedures*” do *National Engineering Handbook* (1972).

Quadro 12 - Passo a passo do dimensionamento da bacia de retenção pelo método triangular.

Passo	Variável	Como obter
1	Vazão de pico (Q_p)	Escolher um método (racional ou outro) para a determinar a vazão de pico.
2	Tempo de concentração	Utilizar métodos ou fórmulas empíricas baseando-se nas características da bacia: tamanho, tipo de solo, vegetação, uso do solo, declividade, e a precisão desejada no cálculo: Bransby Williams (1922), Giandotti (1934), Kirpich (1940), Izzard (1946), Ventura (1952), Kerby-Hathaway (1964), NRCS (1972).
3	Tempo de pico	Como é próximo do tempo de concentração, pode ser assumido igual a este.
4	Hidrograma Triangular	Construir considerando um crescimento linear da vazão até o pico e uma queda linear desta até zero.
5	Volume escoado (V)	Obter o volume escoado pela equação abaixo, considerando t como o tempo total até a vazão voltar a zero. $V = \frac{Q_p \times t}{2}$ Q_p – Vazão de pico de entrada t – Tempo total até a vazão voltar a zero
6	Estrutura de controle	Dimensionar orifício, vertedor ou tubo de acordo com a vazão de saída
7	Verificação	Verificar se o volume de armazenamento da bacia de retenção é suficiente para o volume V calculado sem causar transbordamentos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Caso o volume da BD não seja suficiente, pode-se iterar com diferentes parâmetros de projeto até que os requisitos de vazão e volume sejam atendidos. É importante considerar que aspectos como manutenção, tipo de solo, vegetação, uso do solo ao redor da bacia influenciam no escoamento e na eficiência do sistema.

2.5.9 Métodos estatísticos diretos

Esses métodos são baseados na análise probabilística dos registros fluviométricos e a frequência de cheias. A sequência mínima de procedimentos inclui a determinação da série de vazões máximas anuais, a análise de homogeneidade da série, a escolha da função de distribuição de probabilidade (Gumbel EV-1, Log-Pearson III, Log-Normal ou outras) e a determinação das vazões máximas.

2.5.10 Métodos adotados no Brasil

Uma prática comum adotada em muitos municípios brasileiros é a adoção de equações simplificadas no intuito de agilizar, facilitar e padronizar o dimensionamento de BDs para que

sejam minimizadas as incertezas de projetistas e de técnicos dos órgãos públicos responsáveis (Barros, 2015).

Cidades como Rio de Janeiro, São Carlos e São José do Rio Preto, ambas em São Paulo; Curitiba, no Paraná, Porto Alegre, no Rio Grande do Sul (Quadro 13) etc., por exemplo, estabeleceram métodos e parâmetros de acordo com o tipo e porte da obra. Já a cidade de Araraquara encarrega o projetista de escolher o método e os parâmetros hidrológicos (Peroni; Teixeira, 2023).

Quadro 13 - Métodos simplificados de dimensionamento da bacia de detenção.

Cidade	Legislação	Volume de detenção
Rio de Janeiro, RJ	Resolução Conjunta SMG/SMO/SMU nº 001/2005	$V = k \times A_i \times h$ k - constante dimensional, igual a 0,15
São José do Rio Preto, SP	Decreto Municipal nº 10.290/2008	Para A=40%: $V = [102,55 + 6,335 \times (A_i - 10)] \times A_t$ Para A>40%: $V = [292,60 + 6,938 \times (A_i - 40)] \times A_t$
Porto Alegre, RS	Decreto Municipal nº 18.611/2014	$V = 4,25 \times A_{impermeável}$
Curitiba, PR	Decreto Municipal nº 1.733/2020	$V = k \times I \times A$ k - constante dimensional, igual a 0,20
São Carlos, SP	Manual de drenagem e manejo de águas pluviais de São Paulo, 2012	$V = \frac{3 \times t_c \times \Delta Q}{2} \times 60$
Vitória, ES	Plano Municipal de Saneamento Básico de Vitória (2014)	$V = 0,02 \times A_t$ ou $V = 0,04 \times A_i$

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Apesar da simplicidade de alguns métodos, é sempre recomendável o uso de outros mais detalhados, ou ainda simulações hidrológicas que o complementem, para que se obtenha maior precisão e confiabilidade no projeto da bacia de detenção e melhor controle de inundações em cenários mais complexos (Sahu; Shwetha; Dwarakish, 2023).

2.5.11 Vantagens e desvantagens

As bacias de detenção podem lidar com uma ampla gama de eventos de chuva, sendo úteis mesmo em áreas onde o lençol freático é vulnerável, desde que sejam revestidas. Além disso, são simples de projetar e construir, oferecem potencial para uso duplo, são fáceis de manter e proporcionam uma captura segura e visível de derramamentos acidentais.

2.5.12 Integração com outros métodos

Silva et al. (2019) analisaram a qualidade da água em lagoas de retenção e observaram que as águas de algumas das lagoas estudadas são adequadas para utilização em piscicultura e em torres de resfriamento. Outras utilizações exigem tratamento prévio, principalmente para reduzir organismos patogênicos.

Rodríguez et al. (2021) avaliaram as bacias de retenção implantadas no município de São Carlos em São Paulo através de critérios relacionados à aspectos físicos de gestão e de integração urbana. Eles verificaram que as unidades eram utilizadas apenas para funções hidrológicas, havendo ainda evidências de falta de manutenção devido ao crescimento excessivo de vegetação nos locais analisados.

Lopes e Meneses Filho (2022), avaliaram o desempenho de diferentes tipos de instrumentos de saída de reservatórios de retenção. Seus estudos evidenciaram que o desempenho do reservatório varia conforme os critérios de dimensão e de dimensionamento dos instrumentos hidráulicos.

Rocha et al. (2022) estudaram a influência da determinação do tempo de concentração (parâmetro essencial na avaliação de cheias) no cálculo e dimensionamento de uma bacia de retenção. Eles observaram que ocorreu diferença de 40,84% entre os métodos avaliados (Kirpich e Carter). Ademais, concluíram que as equações são destinadas a áreas de clima temperado, e evidenciaram a necessidade de criar métodos adequados para regiões de clima tropical.

Araujo et al. (2022) realizaram o levantamento e avaliação dos impactos ambientais das obras da bacia de retenção do Córrego São Francisco/Assis das Chagas. Eles identificaram a eficácia quanto às fragilidades (dependência direta entre a variabilidade e a temporalidade características das dinâmicas de fenômenos ambientais e sociais) da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) da localidade.

Lins (2019) analisou diferentes cenários de escoamento: Cenário 1 – Canal em situação atual; Cenário 2 – Canal retangular com paredes revestidas em concreto e fundo em terra; e Cenário 3 – Canal nas condições do cenário 2, acrescido da implantação de uma bacia de retenção, à montante do escoamento. No cenário 3, foi necessária uma maior área de estudo, pois, nos 4.000 metros quadrados disponíveis à montante do canal a redução de pico do hidrograma não chegou a um resultado significativo.

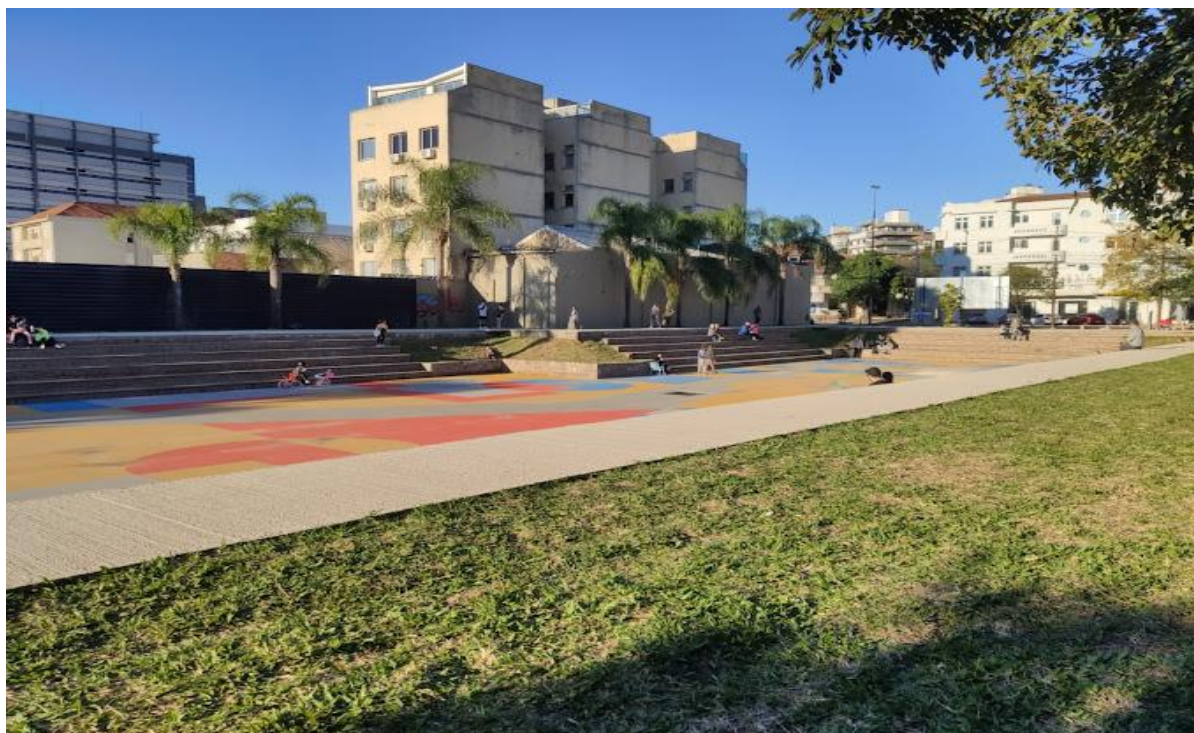
Paula (2019) avaliou como a presença da lagoa de retenção do Guará, Distrito Federal (DF) influenciava no comportamento quanti e qualitativo das ondas de cheia, através de um acompanhamento hidrológico e da qualidade da água. Entre seus resultados foram apontados

abatimento de 95,5% dos picos de vazão, além de grande eficiência na remoção de sólidos suspensos. A remoção de sólidos dissolvidos, porém, mostrou-se insatisfatória, inclusive com valores negativos (possivelmente causados por fluxos preferenciais e possível ressuspensão de partículas nessas trajetórias com maior velocidade).

2.5.13 Casos bem-sucedidos

A praça Júlio Andreatta (Figura 21), localizada na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul (RS), funciona como uma bacia de retenção de águas pluviais a céu aberto. Durante os períodos de chuva, a água das precipitações se acumula nessa área, antes de ser direcionada para as galerias e condutos pluviais localizados na avenida Polônia, que passam sob e ao redor da praça. Durante chuvas intensas, a praça atua como um reservatório significativo para o escoamento das águas. No entanto, nos dias secos, a população pode utilizar o local para diferentes atividades (Corrêa; Redin, 2021).

Figura 21 - Praça Júlio Andreatta, Porto Alegre, RS.



Fonte: Moreira (2022).

O local passou por uma revitalização e dispõe atualmente de academia ao ar livre, pracinha, “cachorródromo” e áreas de estar reformadas. Foram investidos mais de R\$ 2 milhões na região, porém o valor inclui a revitalização da praça São Geraldo e benfeitorias nas escolas municipais de Educação Infantil Passarinho Dourado e Patinho Feio (Polo, 2021).

Outro exemplo é o reservatório de retenção do Córrego Água Vermelha “Romeu Pires Osório” (Figura 22), localizado na cidade de Sorocaba, inaugurado em 15 de agosto de 2019, possui 29.900 m² e capacidade para armazenar 74.750 m³ de água.

A obra faz parte de um complexo que beneficiou quatro bairros Jardim dos Estados, Vila Mariana, Jardim Embaixador e Vila Jardini. Foram investidos 9 milhões de reais com grande parte com recursos oriundos do Orçamento Geral da União (OGU) e serviços realizados pela autarquia.

Figura 22 - Reservatório de Detenção de Cheias (RDC) do Córrego Água Vermelha.



Fonte: SAAE (2019).

O entorno do complexo foi transformado em um parque que conta com árvores, pista de caminhada, ciclovia, calçadas, área gramada, bancos, academia ao ar livre e playground, formando o Parque dos Estados (SAAE, 2019).

Outro exemplo de aplicação é o *Conrad Sauer Detention Basin Park* (Figura 23), um parque que inclui uma bacia de retenção de águas pluviais localizada em Houston, Texas, nos Estados Unidos da América. Após sua remodelação possuiu a possuir espaço verde público acessível e resiliente, e maior capacidade de captura de águas pluviais (OJB, 2020).

Figura 23 - Vista superior do *Conrad Sauer Detention Basin Park*.



Fonte: OJB (2020).

2.6 PLANEJAMENTO DE DRENAGEM URBANA

O Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) é um documento técnico e normativo que estabelece diretrizes e normas para o manejo das águas pluviais em áreas urbanas. Ele é um instrumento da política urbana, possui base legal no Plano Diretor, que foi instituído pela Lei Federal nº 10.257/2001, conhecida como o Estatuto da Cidade.

O PDDU tem origem na necessidade da criação de um planejamento eficiente capaz de lidar com o crescimento das cidades e o produto desse crescimento: o aumento da impermeabilização do solo, que gera o risco de inundações. Dessa forma, abrange a gestão de bacias hidrográficas, sistemas de drenagem, áreas de retenção e infraestrutura urbana, garantindo o desenvolvimento urbano sustentável e a segurança da população em situações de risco.

Com o objetivo de prevenir e mitigar os impactos negativos oriundos de inundações, enchentes e cheias, o PDDU deve contemplar estratégias para reduzir a ocorrência e a gravidade desses eventos, incluindo a implementação de bacias de amortecimento (retenção e detenção), a criação de áreas verdes permeáveis e a modernização de sistemas de drenagem existentes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

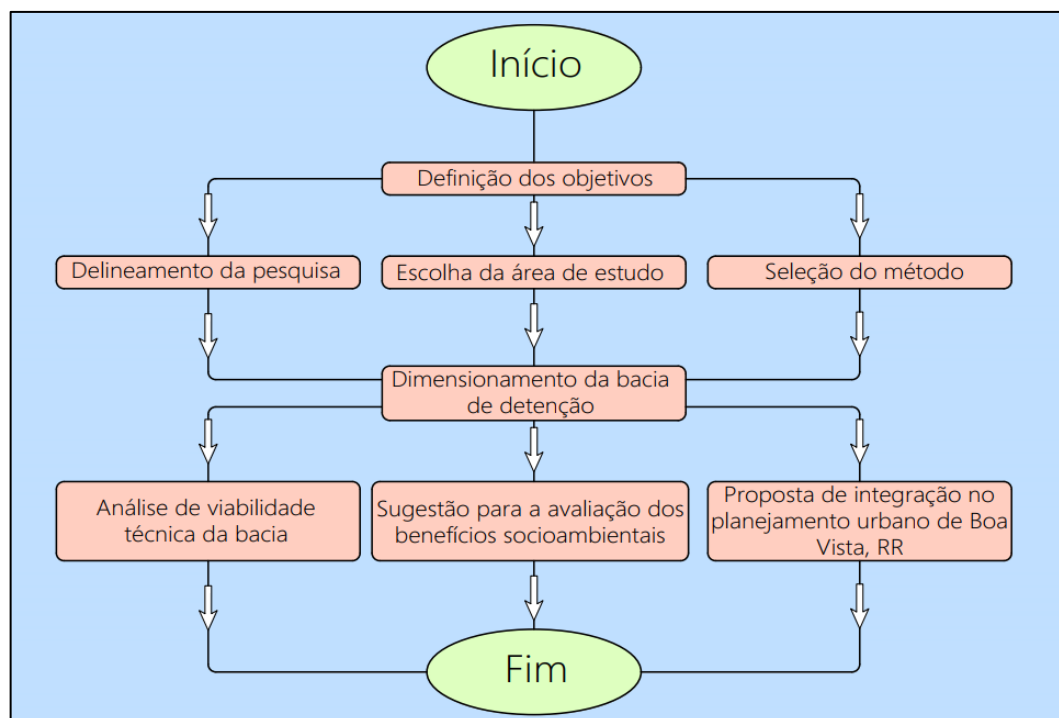
Este trabalho é uma pesquisa aplicada, descritiva, experimental e explicativa. Aplicada em razão de gerar conhecimento científico e tecnológico com aplicação hipotética da implantação de uma bacia de retenção (BR) no residencial Monte Caburaí, localizado no bairro Murilo Teixeira, na cidade de Boa Vista, Roraima. Quanto aos objetivos, é descritiva, pois foram descritas as características da BR em questão.

Experimental, visto que foram utilizados os *softwares*: AutoCad 2024 para a elaboração do projeto e detalhamento da BR; Sketchup 2024 para modelagem do terreno e dos componentes da BR; e o ArcGis 2020, versão 10.8, para a elaboração dos mapas do entorno da bacia do rio Cauamé numa escala temporal de 10 anos, de 2011 a 2024, englobando o ano 1 de implantação do Loteamento Monte Caburaí. É ainda uma pesquisa explicativa, uma vez que foram caracterizados os fatores determinantes para a concepção do projeto da BR.

3.1.1 Fluxo do processo de pesquisa

Este trabalho tem como objetivo explorar um tema específico, definido a partir de uma revisão bibliográfica abrangente e selecionado por meio de critérios rigorosos. A partir da definição dos objetivos específicos, foi realizado o delineamento da pesquisa, a escolha da área de estudo e a seleção do método mais adequado para o dimensionamento da bacia de retenção (Figura 24).

Figura 24 - Fluxograma inicial.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Após isso, foram seguidas as etapas subsequentes, que correspondem diretamente aos três objetivos específicos da pesquisa:

1. Viabilidade técnica: foi conduzida uma análise da eficácia e da funcionalidade das bacias de retenção, conforme os critérios estabelecidos pela SUDERHSA (2002) e pela SMDU (2012);
2. Benefícios socioambientais: aqui, foi proposta uma metodologia para a avaliação dos benefícios sociais e ambientais que as bacias de retenção podem proporcionar na área de implantação;
3. Integração com o planejamento urbano de drenagem: Foram analisadas as diretrizes existentes e desenvolvido um modelo para a integração das bacias de retenção no planejamento urbano sustentável de Boa Vista, Roraima.

As etapas mencionadas são constituídas por sub etapas interdependentes, que se articulam, criando um processo cíclico e contínuo de execução, iniciando-se pelo dimensionamento das bacias de retenção (Figura 25). Esse arranjo proporcionou uma base sólida para as análises realizadas e as considerações finais.

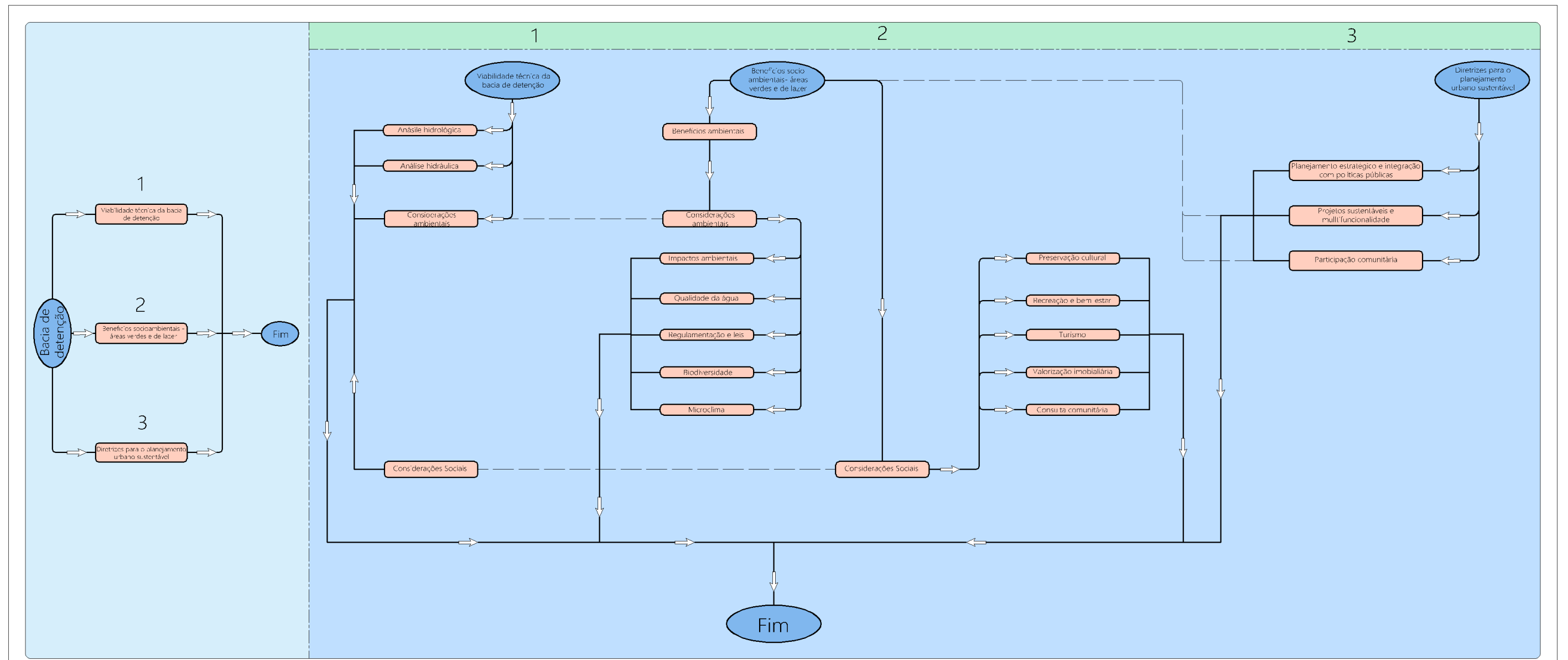
3.2 ÁREA DE ESTUDO

Esta seção inicia com a escolha da área e finaliza com a caracterização da área, justificando a seleção do local com suporte de mapas temáticos e registros fotográficos.

3.2.1 Escolha da área

A escolha da área de estudo foi feita a partir da aplicação de filtros como: zoneamento urbano, planejamento de urbanização, tempo de criação e ocupação do bairro. Então, optou-se por um bairro que estivesse localizado na zona Oeste, visto que esta, em relação às demais zonas, é a que possui maior extensão em área e é a mais habitada, abrigando mais de 75% da população boa-vistense (Silva; Almeida; Rocha, 2009).

Figura 25 - Fluxograma detalhado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em seguida, aplicou-se o filtro de planejamento de urbanização, ou seja, se o bairro foi ou não planejado e se cumpria o plano diretor da cidade, possuindo um projeto urbanístico contemplado com os serviços de saneamento ambiental. Os bairros descendentes de áreas periféricas invadidas foram desconsiderados. Por último, considerou-se o tempo de criação máximo de 10 anos e assim, selecionando bairros tipicamente novos e com menor índice de densidade populacional.

Dessa forma, decidiu-se por utilizar o residencial Monte Caburaí que está localizado no bairro Murilo Teixeira, na cidade de Boa Vista, capital do Estado de Roraima. O bairro Murilo Teixeira está dentro da zona Oeste da cidade. O loteamento Monte Caburaí possui projeto de urbanização e ainda se encontra em formação. Atualmente está em sua segunda fase de implantação.

Ressalta-se que, para bairros novos na cidade, é especialmente indicada a bacia de retenção devido à sua capacidade de se integrar de forma eficiente e sustentável ao planejamento urbano desde o início. Como o loteamento Monte Caburaí encontra-se em desenvolvimento, é possível projetar e implementar essas bacias de maneira estratégica, otimizando o uso do solo e assegurando que a infraestrutura de drenagem seja adequada para suportar o crescimento populacional e a urbanização.

Além disso, a inclusão de bacia de retenção no loteamento Monte Caburaí ajudará a prevenir problemas futuros de enchentes, protegendo a propriedade e a infraestrutura pública, o que facilita a conformidade com regulamentos ambientais modernos, promovendo um desenvolvimento urbano mais resiliente, melhorando a qualidade de vida dos moradores ao proporcionar áreas verdes e espaços de lazer integrados ao sistema de drenagem.

Feita a escolha da área, foi realizada a divisão do loteamento em duas subáreas. Cada uma constituída por quadras e ruas asfaltadas ou apenas com revestimento primário. A delimitação de cada uma foi obtida de acordo com o mapa de uso e ocupação da Prefeitura Municipal de Boa Vista, Roraima (PMBV).

3.2.2 Caracterização da área de estudo

O residencial Monte Caburaí está localizado no bairro Murilo Teixeira na zona Oeste da cidade de Boa Vista, capital do Estado de Roraima, Brasil (Figura 26) nas coordenadas 2°49'29.85" N e 60°47'12.62" O (Figura 27). Possui uma área aproximada de 167,28 ha, que foi dividida em subáreas para o loteamento, sendo a primeira, denominada Caburaí I, igual a 74,53 ha, e a segunda, Caburaí II, igual a 92,75 ha.

Boa Vista está situada na porção centro-oriental do Estado de Roraima, limitada ao Norte pelo município de Amajari, a Leste com o Bonfim e Cantá, Oeste com Alto Alegre e ao Sul com Mucajaí. A cidade de Boa Vista está localizada nas margens do Rio Branco, principal curso hídrico regional e entre seus afluentes, dos quais se destacam o Rio Cauamé e o Igarapé Grande (Farias; Veras; Paixão, 2013).

É uma cidade parcialmente planejada, possui uma área territorial de 5.687,037 km², e é a mais populosa do Estado com 413,4 mil habitantes e densidade demográfica de 72,71 hab/km² (IBGE, 2022). Geograficamente, é a única capital brasileira localizada no Hemisfério Norte, acima da linha do Equador e está inserida no bioma amazônico, caracterizando-se pelo crescimento dendrítico (Junior et al., 2024).

De acordo com a classificação de Koppen, o clima boa-vistense é Am, interpretado como tropical úmido, com chuvas de verão e temperatura média anual de 28,2°C, com médias mensais oscilando entre 26,8°C (julho) e 29,3°C (outubro). A pluviosidade média anual 1761,8 mm/ano, com a menor precipitação mensal em janeiro com 29,1 mm, e a maior frequentemente observada em maio com 347,3 mm (Araújo et al., 2024).

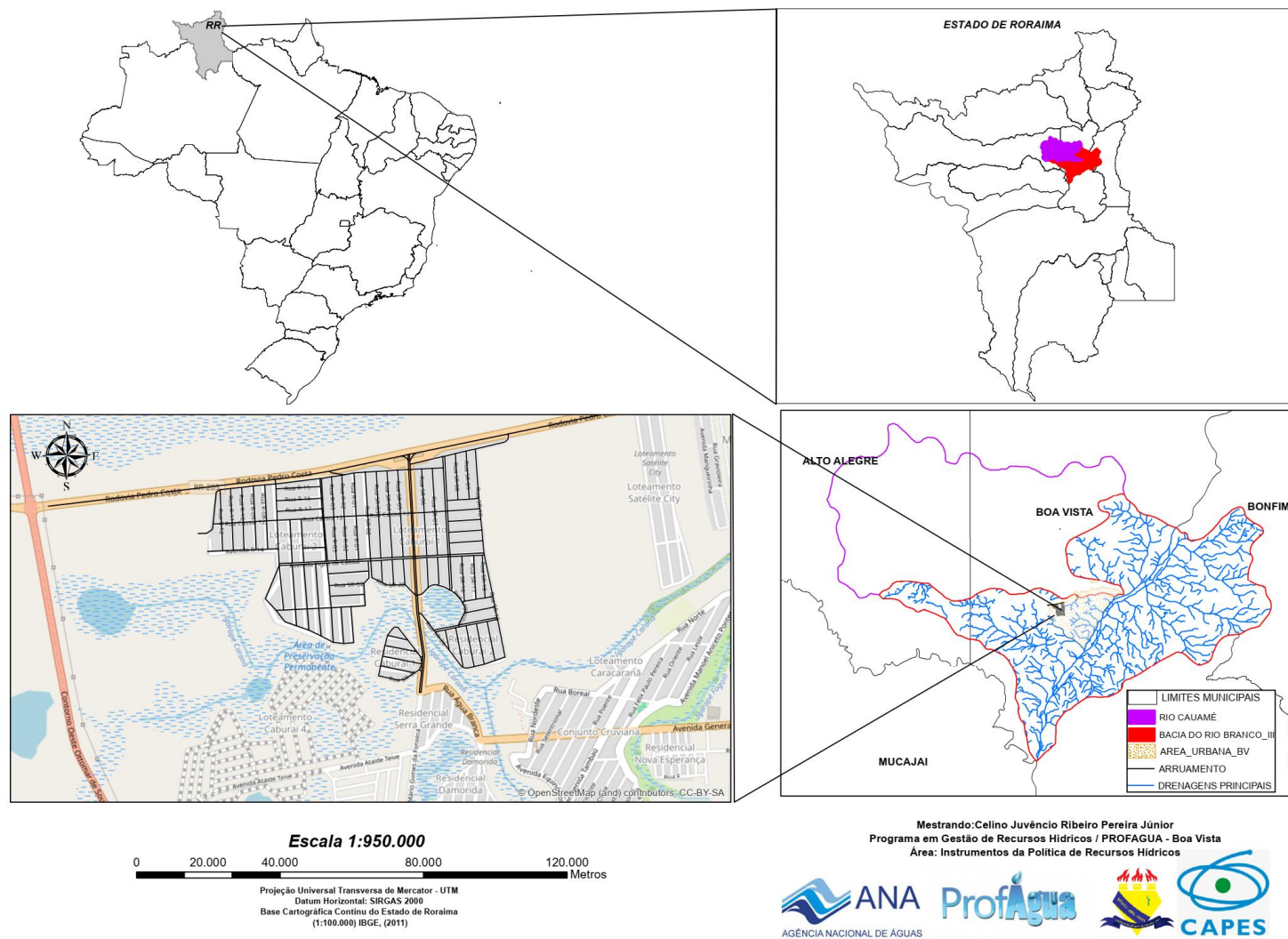
Os valores de temperatura do ar, precipitação e balanço hídrico climatológico (BHC) - contendo dados de evapotranspiração potencial e real, deficiência e excesso hídrico - para as duas séries normais climatológicas (1961-1990 e 1991-2020) da cidade de Boa Vista são apresentados no Quadro 14.

Para o período de 1991-2020, que já abrange a implantação do Loteamento Monte Caburaí, foi observado por Araújo et al. (2024): o índice hídrico anual (Ih) é de 42,9%, o de aridez (Ia) é de 26,4% e o de umidade (Iu) é de 27,0%; a evapotranspiração potencial é de 1512,4 mm e a evapotranspiração real de 1077,2 mm; a deficiência hídrica é de 399,8 mm e o excesso hídrico de 649 mm; a relação ETp verão / ETp anual é de 24,5%.

Boa Vista possui dois períodos bem definidos anualmente: estiagem com média de 4 meses, entre dezembro e março (Araújo et al., 2024), e chuvoso nos demais meses, onde se concentra 80% do volume total de precipitação. Essa é uma das divergências em relação às demais cidades da Amazônia, onde o período chuvoso ocorre entre outubro e março (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007).

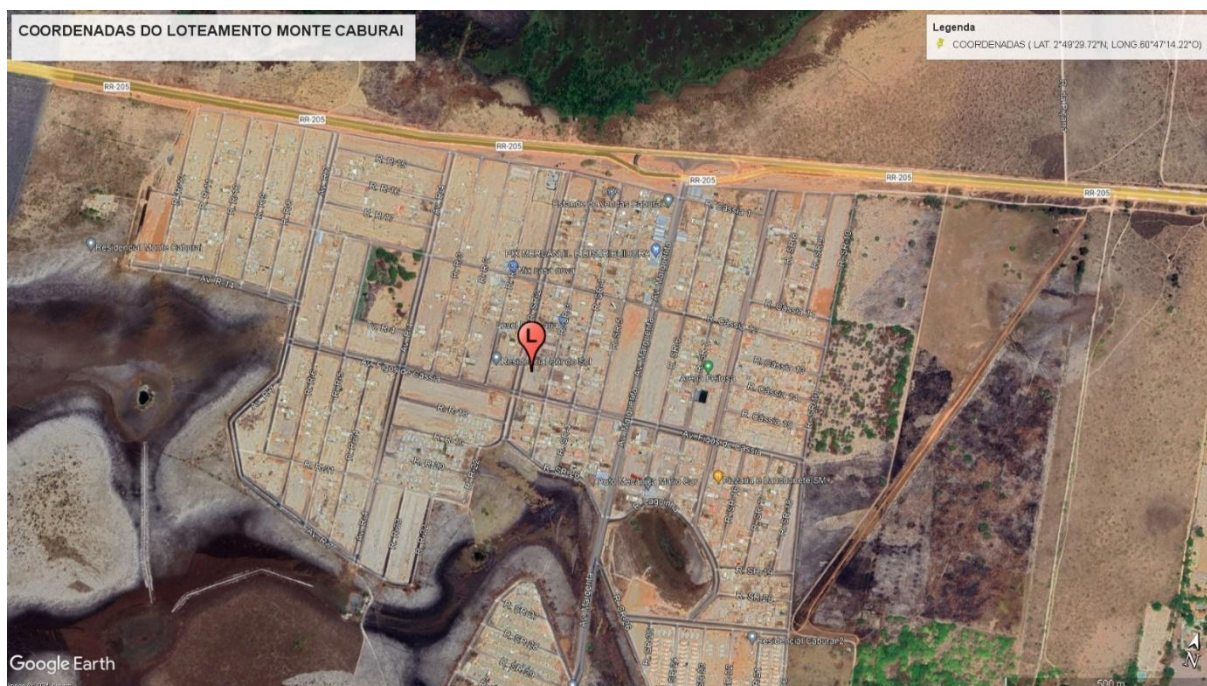
Figura 26 - Mapa de localização da área de estudo.

BACIA DO RIO BRANCO III E BACIA DO RIO CAUAMÉ



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 27 - Coordenadas geográficas do loteamento Monte Caburaí.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A cidade de Boa Vista possui relevo plano levemente ondulado, com dissecação variando entre fraca e muito fraca e desenvolvida sobre rochas sedimentares. Ocorrem ainda planos arenosos e morros isolados, campos naturais e colinas isoladas com cota média de 120 m.

Apesar do loteamento Monte Caburaí estar geograficamente inserido na bacia do Rio Branco III (Figura 26), de acordo com a base dados do IBGE (2011), a caracterização morfométrica deste trabalho foi focada na bacia hidrográfica do rio Cauamé (BHRC), pois o loteamento é drenado por um tributário dessa bacia: o igarapé Caranã.

A BHRC está situada na porção Nordeste do Estado de Roraima entre as coordenadas UTM: 680.000-309.000, 680.000-364.000, 767.000-309.000 e 767.000-364.000 (Figura 28), abrangendo os municípios de Boa Vista e Alto Alegre (Neto; Costa, 2010).

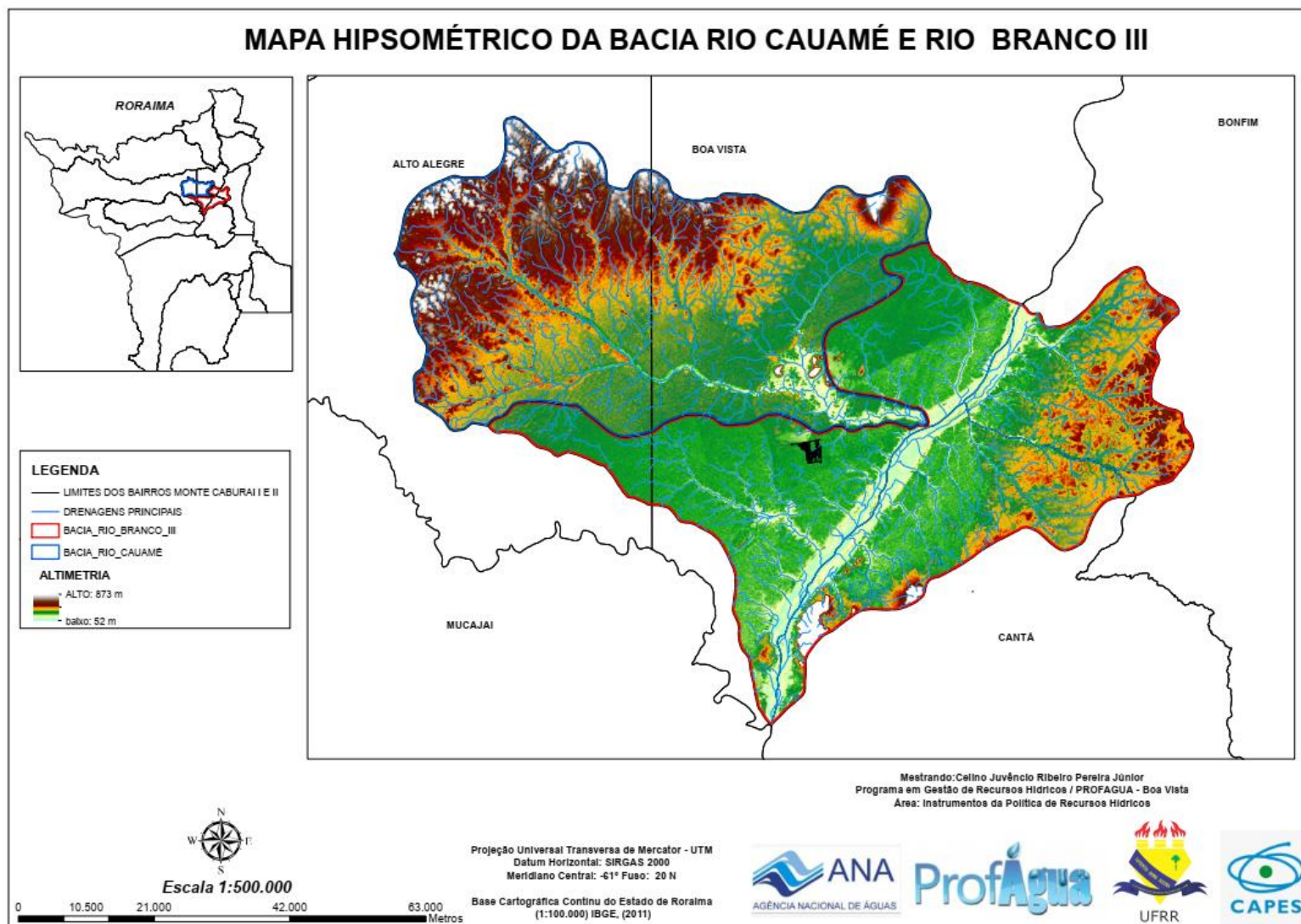
Quadro 14 - Valores médios mensais e anuais de temperatura do ar, precipitação, evapotranspiração potencial e real e deficiência e excesso hídrica para a cidade de Boa Vista, Roraima nos períodos de 1961-1990 e 1991-2020.

Mês	Temperatura (°C)		Precipitação (mm)		ETP		ETr		DEF		EXC	
	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
jan	27,5	28,1	25,1	29,1	120,2	122,8	30,9	35,7	89,1	87,1	0,0	0,0
fev	28,0	28,5	18,1	31,4	115,0	117,0	20,4	33,9	94,5	83,2	0,0	0,0
mar	28,4	29,0	30,9	39,2	134,3	137,1	32,3	40,3	102,4	96,8	0,0	0,0
abr	28,0	28,5	88,5	147,7	129,2	131,5	88,5	131,5	40,5	0,0	0,0	0,0
maio	26,9	27,3	213,0	347,3	124,0	125,9	124,0	125,9	0,0	0,0	0,0	140,3
jun	25,9	26,8	321,3	335,7	110,6	114,5	110,6	114,5	0,0	0,0	200,0	221,2
jun	25,8	26,8	267,8	308,1	112,7	117,0	112,7	117,0	0,0	0,0	155,1	191,1
ago	26,6	27,6	188,0	220,7	119,8	124,3	119,8	124,3	0,0	0,0	68,2	96,4
set	27,7	28,8	99,4	98,1	125,5	130,5	122,4	125,8	3,1	4,7	0,0	0,0
out	28,2	29,3	63,5	68,5	132,9	138,0	102,1	104,8	30,8	33,3	0,0	0,0
nov	28,0	29,2	60,8	75,3	123,6	128,8	78,8	90,3	44,8	38,6	0,0	0,0
dez	27,6	28,5	44,0	58,7	121,1	125,0	55,0	68,9	63,7	56,1	0,0	0,0
Média	27,4	28,2	-	-	122,4	126,0	83,1	97,9	39,1	33,3	35,3	54,1
Total	-	-	1420,4	1761,8	1468,7	1512,4	997,4	1077,2	468,9	399,8	423,3	649,0

Legenda: ETP – evapotranspiração potencial; ETr – evapotranspiração real; DEF – deficiência hídrica; EXC – excesso hídrico.

Fonte: Adaptado de Araújo et al. (2024).

Figura 28 - Mapa hipsométrico e localização da bacia do Rio Cauamé e Rio Branco III.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O volume total anual autorizado para uso na bacia do rio Cauamé é igual é de 561.153.115,3 m³ (Lima; Vital, 2022). Seu principal corpo hídrico é o rio Cauamé⁹ que possui extensão de 120 km. A dimensão areal¹⁰ da BHRC é de cerca de 3.159,23 km² (>1000 km²), onde são encontrados 1.942 canais (Strucker; Neta; Junior, 2022). Sua extensão é de 114,6 km. Seu nível apresenta variação média de 5 m no seu baixo curso ao longo do ano hidrológico (Magalhães; Wankler; Sander, 2022). Possui drenagem predominantemente dendrítica¹¹ e subdendrítica¹² de pouco entalhe e rede constituída por igarapés, de maioria intermitentes, e marcadas por veredas de *Mauritia flexuosa*¹³ (Santos; Wankler; Sander, 2022).

A geomorfologia da bacia está relacionada à Depressão Boa Vista (trechos médio e inferior), com relevos de cotas variando entre 90 e 120 m (Magalhães; Wankler; Sander, 2022). O relevo da área é predominante aplainado, onde se desenvolvem tipos diferenciados de Latossolos (Figura 28) recobertos por uma vegetação savânica (Strucker; Neta; Junior, 2022). É notada a presença de *inselbergs* que se elevam na região. As áreas planas possuem altitudes variando de 80 m a 160 m e são constituídas pelo pediplano da cobertura sedimentar neogeno-pleistocênica da Formação Boa Vista (Santos; Wankler; Sander, 2022).

A BHRC “possui múltiplos usos estabelecidos, sendo aquicultura em tanque escavado, irrigação e criação animal as classes com maior número de usuários” (Lima; Vital, 2022), “contribui para o abastecimento de água na capital, balneabilidade, pesca e captação de recursos hídricos para fins agropecuários” (Strucker; Neta; Junior, 2022).

A bacia é “um dos locais onde teve início a colonização do estado de Roraima. Atualmente [...] sofre pressão no espaço urbano com o crescimento da cidade de Boa Vista [...] no seu extremo sudeste e rural com a implantação de projetos agrícolas” (Neto; Costa, 2010).

Loura e Filho (2022), assinalam que a área urbana da BHRC situada na zona Leste e Norte de Boa Vista, apresenta alto e médio risco de inundação resultante das diversas formas de uso e ocupação do solo como construções residenciais e comerciais irregulares que desrespeitam o Código Florestal¹⁴ e o Plano Diretor Municipal da capital¹⁵.

⁹ Importante afluente da margem direita do alto rio Branco

¹⁰ Área total da bacia

¹¹ Densidade média

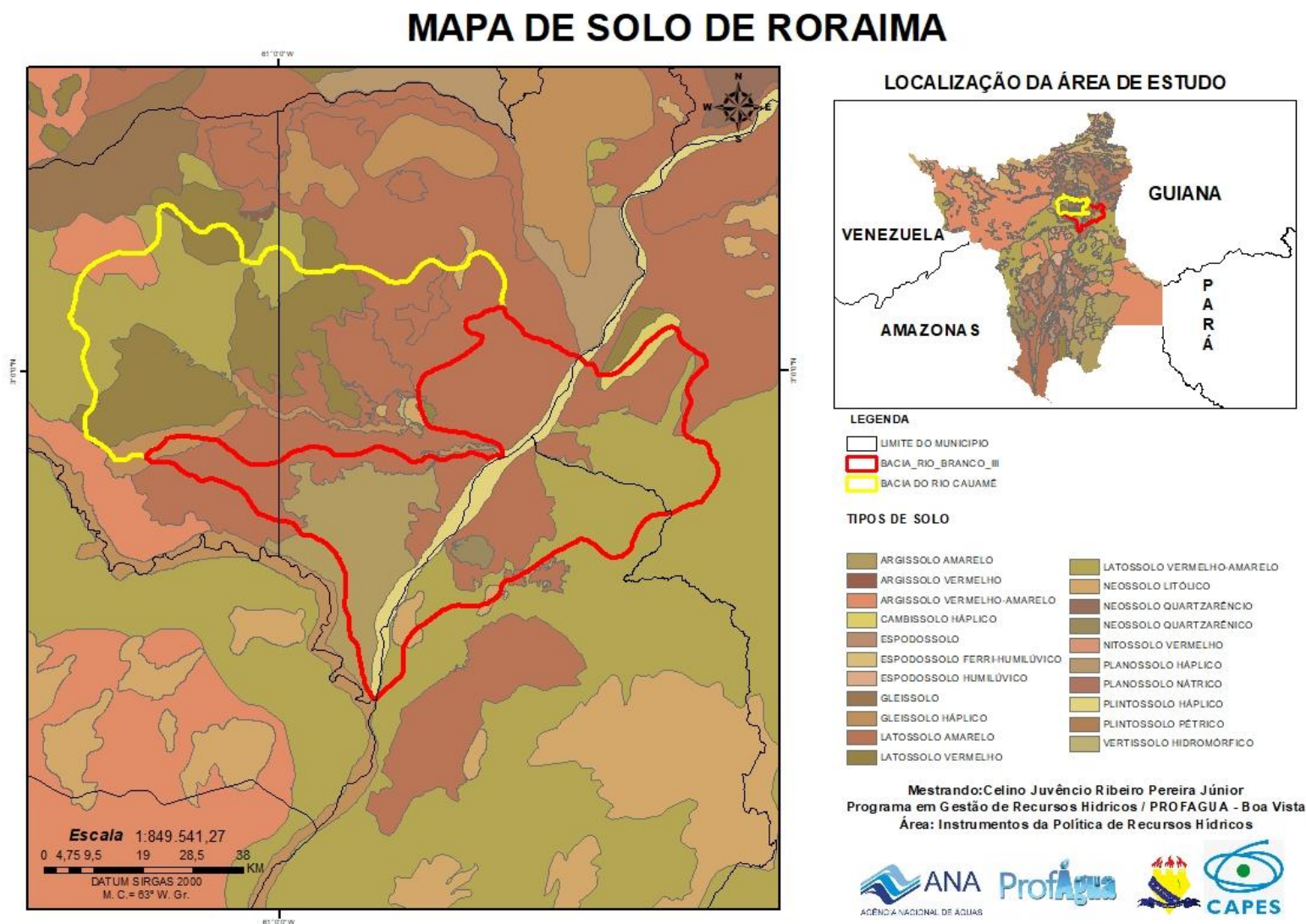
¹² Densidade baixa

¹³ Espécie de palmeira comumente conhecida como buriti. Ela proporciona beleza cênica à paisagem.

¹⁴ Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

¹⁵ Lei nº 924, de 28 de novembro de 2006.

Figura 29 - Mapa de solos do Estado de Roraima com destaque para a área das bacias do Rio Branco III e Cauamé.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3.2.2.1 Mapas temáticos

O estudo do escoamento superficial das bacias de retenção deve abranger características fisiográficas das bacias, o tipo de solo e sua cobertura, bem como a estimativa da evolução futura do uso e ocupação do solo (DER-SP, 2005). Com base nisso, foram elaborados mapas temáticos da área urbana que contém o loteamento Monte Caburaí e a cidade de Boa Vista com o objetivo de relacionar a morfodinâmica atual e as áreas com risco de enchentes, inundações e alagamentos.

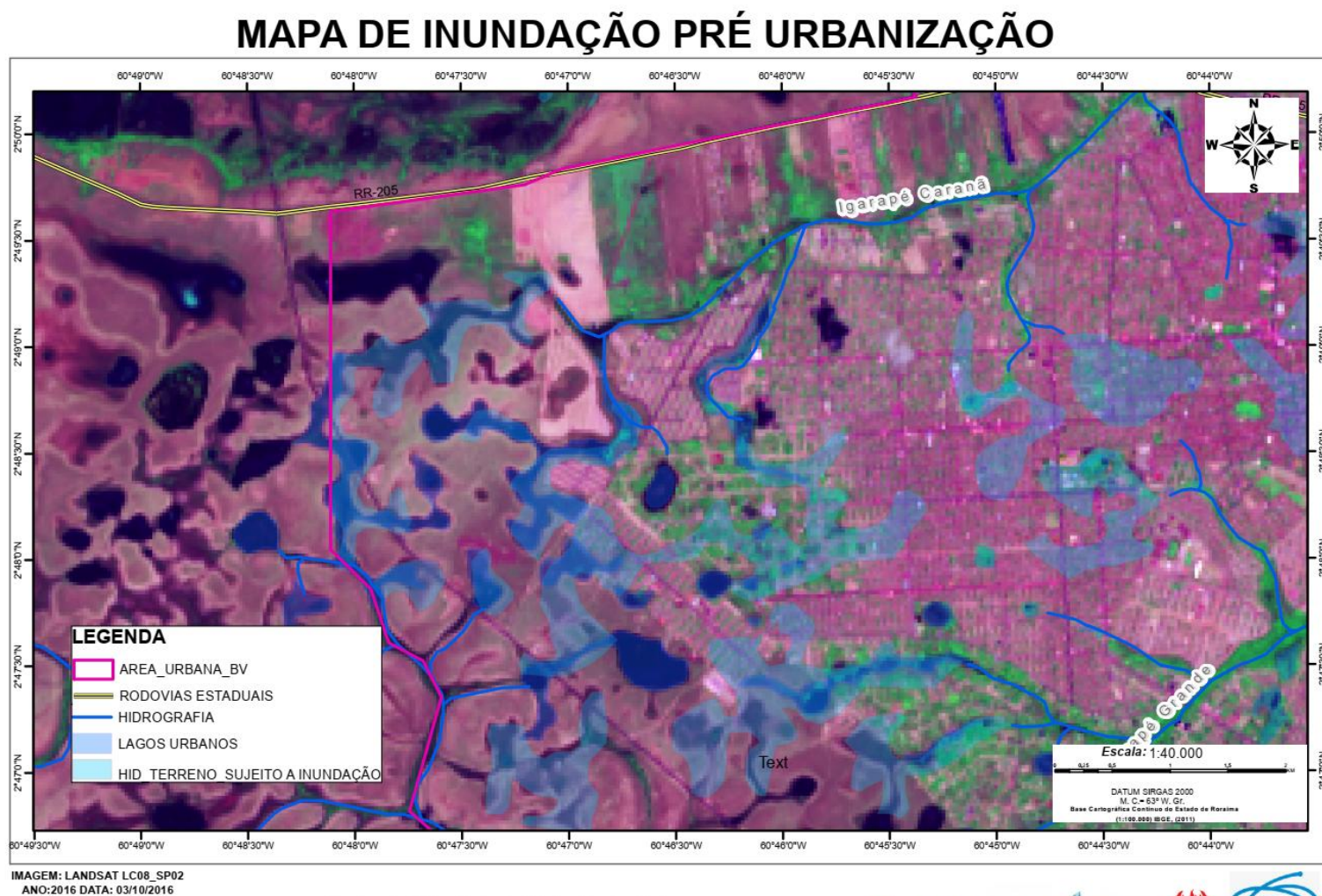
Com o auxílio do *software* ArcGIS e a partir da importação de dados oficiais do CPRM, da ANA, da EMBRAPA e do IBGE, foram desenvolvidos os mapas temáticos espacializando informações hipsométricas e de solo, para a área do Loteamento Monte Caburaí no município de Boa Vista, Roraima. Ademais, para fundamentar os estudos da área urbana foram elaboradas cartas de localização e manchas de inundação de cenários pré e pós urbanização utilizando informações dos mapas de vulnerabilidade do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Os mapas hipsométrico (Figura 28), de solos (Figura 29), de pré-urbanização (Figura 30) e pós-urbanização (Figura 31) do loteamento Monte Caburaí oferecem uma visão geoespacial da área, permitindo a avaliação de mudanças e de uso do solo ao longo do tempo. Ademais, através deles, foi possível identificar as áreas mais adequadas para a implantação das BDs.

3.2.2.2 Registros fotográficos

Foi realizado o registro fotográfico (Figuras 33, 34 e 35) da área do loteamento Monte Caburaí no dia 22 de março de 2024, utilizando um drone de pequeno porte, DJI Mini 3 Pro, munido de câmera MOS de 1/2,3 polegadas com 12 MP. Definiu-se um plano de voo livre com altura de 500 m. Não havia restrições impostas ao voo na área de estudo.

Figura 30 - Mapa de inunda  o do Loteamento Monte Caburaí no cenário pr  -urbanizado.

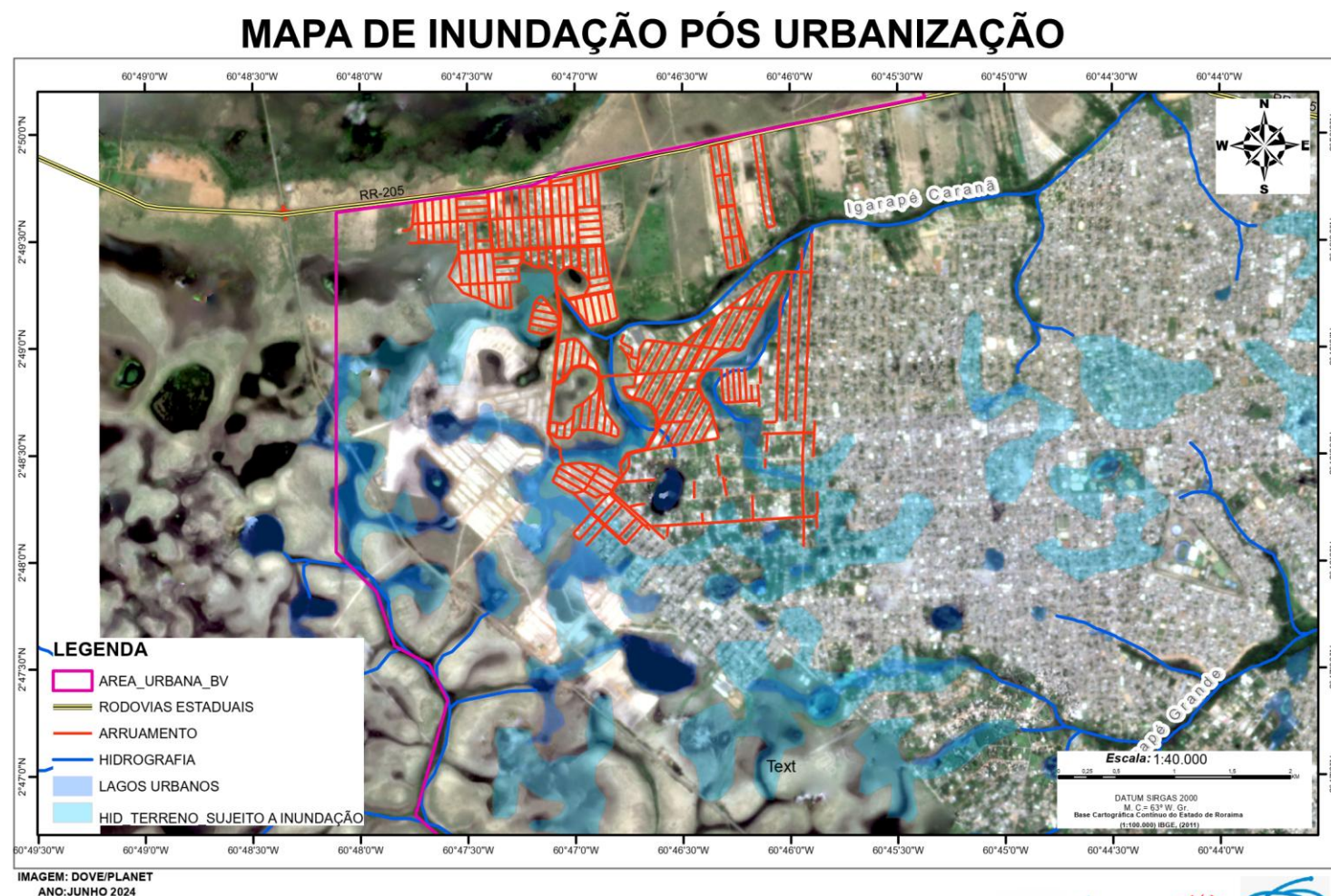


Mestrando: Celino Juvêncio Ribeiro Pereira Júnior
Programa em Gestão de Recursos Hídricos / PROFAGUA - Boa Vista
 rea: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 31 - Mapa de inundação do Loteamento Monte Caburaí no cenário pós-urbanizado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3.3 ÁREA DE IMPLANTAÇÃO

O refinamento da seleção das áreas para implantação das BDs foi conduzido considerando tanto os desafios levantados na introdução quanto critérios técnicos. Entre os desafios, destacaram-se a baixa permeabilidade do solo no loteamento Monte Caburaí, a ausência de um PDDU e a ocorrência de inundações intensificadas por fatores climáticos, como o fenômeno La Niña.

Para superá-los, foram adotadas estratégias como a escolha de áreas de depressão natural, que coincidem com afluentes intermitentes do igarapé Caranã, otimizando a capacidade de armazenamento de água e mitigando alagamentos. Adicionalmente, o uso de áreas institucionais permitiu a integração das bacias com espaços verdes e de lazer, promovendo um uso multifuncional alinhado aos ODS 6, 11 e 13.

Esses critérios garantiram a sustentabilidade do projeto, ao mesmo tempo em que respeitam restrições ambientais, como a não interferência em Áreas de Preservação Permanente (APPs). Assim, a seleção das áreas atende aos objetivos técnicos e socioambientais, assegurando que as bacias de retenção sejam integradas ao ambiente urbano de forma funcional e sustentável.

Geograficamente, a bacia de retenção I foi posicionada nas coordenadas 2°49'18.60"N 60°47'0.66"O e a bacia de retenção II nas coordenadas 2°49'23.80"N 60°47'20.42"O. Os pontos de descarga das duas bacias de retenção foram estrategicamente localizados em uma área de depressão natural, que coincide com a presença de um dos afluentes intermitentes do igarapé Caranã, caracterizado como um ponto natural de alagamento (Figura 32).

Figura 32 - Indicação das áreas de implantação das bacias de detenção.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 33 - Vista aérea parcial do loteamento Monte Caburaí.



02° 49'29,72" N 60° 47'14,22" O

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 34 - Vista aérea do local de implantação da bacia de retenção 1.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 3535 - Vista aérea do local de implantação da bacia de retenção 2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3.4 SELEÇÃO DO MÉTODO

Para o dimensionamento das BDs deste trabalho foram utilizados os métodos: Racional, para a bacia do Caburaí I e o do Decreto Municipal de Curitiba nº 1.733/2020, para a bacia do Caburaí II. As memórias de cálculo foram detalhadas no item 4.1.1 deste trabalho.

A memória de cálculo é um procedimento que registra detalhadamente as etapas e os critérios adotados no dimensionamento hidrológico e no projeto hidráulico da BD. Ela assegura a exatidão e a rastreabilidade das informações empregadas, garantindo que o projeto seja sólido e eficiente na mitigação dos efeitos de precipitações intensas, promovendo a segurança e a sustentabilidade do Loteamento Monte Caburaí.

3.5 ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA

De acordo com o Manual de Drenagem Urbana de Curitiba, Paraná, as condições básicas de viabilidade técnica para o projeto e implantação de uma bacia de retenção (BD) são apresentadas no Quadro 15.

Essas diretrizes foram desenvolvidas para o contexto urbano de Curitiba, mas podem servir como referência para outros locais, dependendo das especificidades regionais. O não atendimento a qualquer uma dessas condições é considerado um fator preponderante para desaconselhar a implantação de uma BD. Além disso, o manual enfatiza a necessidade de medidas adicionais, como formas de proteção da população contra enchentes e estratégias para a remoção de lixo e detritos (SUDERHSA, 2002).

Quadro 15 - Condições básicas de viabilidade de uma bacia de retenção.

Condição	Resposta esperada	
	Sim	Não
A área de contribuição adequada?	X	
A capacidade de infiltração do solo está entre 1,0 e 2 200 mm/h?	X	
Coloca em risco a vida de pedestres na hora de eventos de chuva?		X
Possui harmonia urbanística, paisagística e estética?	X	
Há exutório definido*?	X	
Há aporte excessivo de sedimentos e lixo?		X
Há aporte de esgoto cloacal?		X
Há perigo de veiculação de doenças de contato hídrico?		X
O solo é propício à presença de água?	X	
Situada dentro de uma área proibida quanto ao risco de poluição do solo e freático?		X
Há risco de poluição crônica ou acidental significativa, caso a área não seja proibida?		X

Legenda: *Note-se que, em arroio, sempre há.

Fonte: Adaptado de SUDERHSA (2002) e (2012).

Em complemento, foram considerados na análise da viabilidade técnica os fatores condicionantes para a implantação de uma BD prescritos no Manual de Drenagem Urbana de São Paulo (Quadro 16).

Quadro 16 - Fatores condicionantes para a implantação e operação de uma bacia de detenção.

Fator	Condicionante	Viável	Viável condicionalmente*	Inviável
Solo-aquífero	Freático alto		X	
	Aquífero em risco		X	
	Solo frágil à água			X
	Subsolo impermeável		X	
Localização	Declividade alta		X	
	Ausência de exutório			X
	Restrição de área disponível			X
	Presença de instalações subterrâneas			X
	Restrição de urbanização	X		
Sanitárias e sedimentológicas	Afluência poluída			X
	Afluência com alta taxa de sedimentos e lixo		X	
	Risco sanitário por falha de operação			X
	Risco sedimentológico por falha de operação			X
Restrições estruturais e de desenho	Esforço e tráfego intensos	X		
	Flexibilidade de desenho	X		
	Limite da altura da MC			X

Legenda: *dependente de condição específica.

Fonte: Adaptado de SMDU¹⁶ (2012).

Esses fatores são específicos para o contexto da cidade de São Paulo, considerando suas características urbanas e ambientais. No entanto, assim como as diretrizes do Manual de Curitiba, eles podem ser adaptados e utilizados como referência para projetos em outras localidades, desde que respeitadas as particularidades locais (SMDU, 2012).

3.6 AVALIAÇÃO DE BENEFÍCIOS SOCIOAMBIENTAIS

Na avaliação dos benefícios socioambientais, a metodologia foi estruturada em duas subseções distintas: uma dedicada à análise dos benefícios ambientais e outra focada nos benefícios sociais.

¹⁶ Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano de São Paulo, SP.

3.6.1 Benefícios ambientais

No quesito ambiental, utilizou-se o modelo adaptado da Matriz de Leopold (Quadro 17), visando prever os impactos ambientais referentes aos cenários de instalação e operação das bacias de retenção no loteamento Monte Caburaí.

A Matriz de Leopold é uma ferramenta comumente usada na Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) para sistematizar a avaliação de impactos em diferentes componentes ambientais e atividades de um projeto. Ela envolve duas dimensões principais: ações do projeto (eixo horizontal) e componentes ambientais afetados (eixo vertical). As interseções deles indicarão um possível impacto.

O preenchimento da matriz envolveu a identificação das ações relacionadas à implantação das BDs como escavações, movimentação de terra, controle de escoamento, entre outros. Os componentes ambientais mapeados foram o solo, a água, a vegetação, a fauna e aspectos sociais, como a criação de áreas verdes e lazer. No fim, foi atribuída uma pontuação que representa esses dois aspectos para cada interação entre as ações do projeto e os componentes ambientais de acordo com a magnitude e a importância.

- Magnitude: Intensidade do impacto gerado pela ação do projeto;
- Importância ou Significância: A relevância do impacto para o ambiente ou sociedade.

Para o caso da operação das BDs, recomenda-se que sua aplicação seja feita por, no mínimo, quatro especialistas. Eles preencherão cada interseção da matriz com dois números: um que representa a intensidade do impacto observado e o outro se refere à significância dele no contexto local. Aqui foi utilizada a escala de 1 a 10, onde 1 indica impacto ou importância mínima e 10 será impacto ou importância máxima.

Na etapa de avaliação, o impacto foi considerado positivo ou negativo se derivado de como a ação afetou o componente. Por exemplo, o impacto sobre o solo durante a escavação pode ser avaliado como negativo, devido ao aumento da erosão, mas a presença de áreas verdes pode ser vista como um impacto positivo na qualidade de vida urbana e no microclima.

Para determinar a natureza positiva ou negativa do impacto, a magnitude da ação (ou seja, sua intensidade) foi combinada com a significância do impacto no contexto local. Se a magnitude é alta e a ação leva a um efeito negativo relevante, como a degradação do solo, o impacto é negativo. No caso das bacias de retenção, o controle do escoamento superficial tem alta magnitude e um impacto positivo para evitar enchentes.

Quadro 17 - Modelo adaptado da Matriz de Leopold para a análise de impactos ambientais nas BDs.

Ação	Componente Ambiental/Social	Magnitude	Importância	Impacto	Justificativa Técnica	Mitigação / Potencialização
Descrição da ação	Indicação do componente ambiental ou social diretamente afetado pela ação	O quanto a ação impacta o componente	A relevância do impacto para o ambiente ou sociedade.	Descrição do tipo de impacto (positivo ou negativo)	A justificativa de avaliação de cada impacto foi feita com base em critérios técnicos com a finalidade de aumentar a transparência do processo.	Essas medidas servem para eduzir ou neutralizar os impactos negativos. Para impactos positivos, os benefícios podem ser potencializados.

Fonte: Adaptado de Pinheiro et al. (2024).

3.6.2 Benefícios sociais

No âmbito social, foi elaborado um modelo de avaliação de *insights*¹⁷ de diferentes *stakeholders*¹⁸, incluindo planejadores urbanos, representantes governamentais e líderes comunitários. Propôs-se a condução de entrevistas semiestruturadas, que permitem a obtenção de perspectivas detalhadas e qualitativas. Além disso, foi elaborada uma pesquisa de satisfação para ser aplicada junto aos moradores, com o objetivo de avaliar suas reações e sentimento em relação à presença e funcionalidade das bacias de retenção, quando estas forem implantadas.

3.7 INTEGRAÇÃO NO PLANEJAMENTO DE DRENAGEM URBANA

Para a formulação das diretrizes de integração de bacias de retenção para o plano diretor de drenagem urbana de Boa Vista, Roraima, foi realizada, primeiramente, uma análise abrangente da situação atual de drenagem do município por meio da aplicação da matriz SWOT¹⁹ (Quadro 18). Esta análise considerou as infraestruturas existentes e as normas vigentes no âmbito municipal, bem como as diretrizes estabelecidas nas esferas estadual e federal.

¹⁷ percepções
¹⁸ partes interessadas
¹⁹ *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*

Quadro 18 - Matriz SWOT.

	Contribui	Dificulta
Fatores internos	FORÇAS <i>Strengths</i>	FRAQUEZAS <i>Weaknesses</i>
Fatores externos	OPORTUNIDADES <i>Opportunities</i>	AMEAÇAS <i>Threats</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A aplicação da matriz SWOT possibilitou a identificação e distinção dos fatores internos e externos, tanto positivos quanto negativos, permitindo a maximização das forças e oportunidades, além da mitigação das fraquezas e ameaças associadas ao sistema de drenagem atual.

A partir dos resultados obtidos, estabeleceram-se metas de curto, médio e longo prazo para orientar a escolha das diretrizes normativas. Essas diretrizes foram determinadas com base em critérios adotados em outros planos diretores de drenagem urbana já implementados em cidades brasileiras como Curitiba, São Paulo, Porto Alegre, Vitória, Brasília.

A escolha da quantidade de anos para as metas de curto, médio e longo prazo segue uma lógica baseada no grau de complexidade e na viabilidade de implementação das ações propostas. Cada prazo foi definido com o objetivo de permitir que as metas sejam atingidas de forma gradual, respeitando as capacidades técnicas, financeiras e institucionais do município de Boa Vista, Roraima.

- Curto prazo - até 5 anos: Considera a necessidade de ações imediatas que possam ser implementadas rapidamente, sem grandes exigências de planejamento ou recursos financeiros significativos. Geralmente envolvem medidas de emergência ou intervenções simples, como manutenção e desobstrução de sistemas existentes, capacitação técnica de equipes e pequenas obras de drenagem em áreas críticas;

- Médio prazo - de 5 a 10 anos: Envolve ações de maior complexidade técnica e logística, que necessitam de mais planejamento, elaboração de projetos e captação de recursos como a construção de novas bacias de retenção e outras infraestruturas de drenagem, atualização e implementação de legislações ambientais e urbanísticas e integração das bacias ao espaço urbano;
- Longo prazo – de 10 a 20 anos: Associada às ações estruturantes e sustentáveis, focadas na consolidação e manutenção das intervenções realizadas, além da expansão do plano para outras áreas do município como, por exemplo, monitoramento contínuo das bacias e sistemas de drenagem, expansão do PDDU para novas áreas da cidade e educação ambiental e conscientização contínua da população.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este tópico apresenta os resultados obtidos para a viabilidade técnica, benefícios socioambientais e diretrizes de integração na avaliação das bacias de retenção (BR) como alternativas de drenagem sustentável para o controle de escoamento superficial e criação de áreas verdes e de lazer no loteamento Monte Caburaí, em Boa Vista, Roraima.

4.1 VIABILIDADE TÉCNICA

Nesta seção está descrita a análise da viabilidade técnica das bacias de retenção projetadas para o Loteamento Monte Caburaí, em Boa Vista, Roraima. Através desta análise, foi possível verificar se as bacias atendem às exigências técnicas e regulamentares.

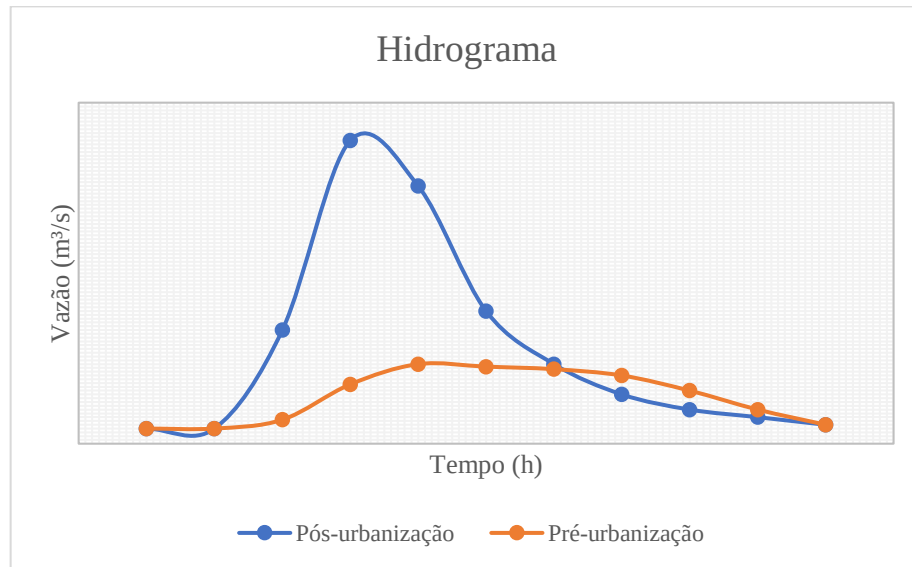
4.1.1 Análise hidrológica

Para a consecução dos objetivos, os subtópicos foram organizados da seguinte maneira: Ocorrência de eventos de chuva em Boa Vista, Roraima; Mapas hipsométrico, de solos e de pré e pós-urbanização; Viabilidade de projeto; Diretrizes de integração de BRs no planejamento urbano; Registros fotográficos da área de estudo.

4.1.1.1 Hidrograma

A análise comparativa entre os cenários hipotéticos de pré e pós-urbanização (Figuras 30 e 31) gerou o hidrograma da vazão de pico em função do tempo de concentração (Figura 36), evidenciando que o crescimento populacional no loteamento resultará em um aumento significativo do escoamento superficial, consequência direta da redução na taxa de infiltração do solo. A implementação das bacias de retenção demonstrou eficácia na mitigação dos impactos hidrológicos adversos. Observando os cenários comparados, verifica-se que o incremento na vazão máxima alcança aproximadamente 406%.

Figura 36 - Hidrograma dos cenários pré e pós-urbanização.

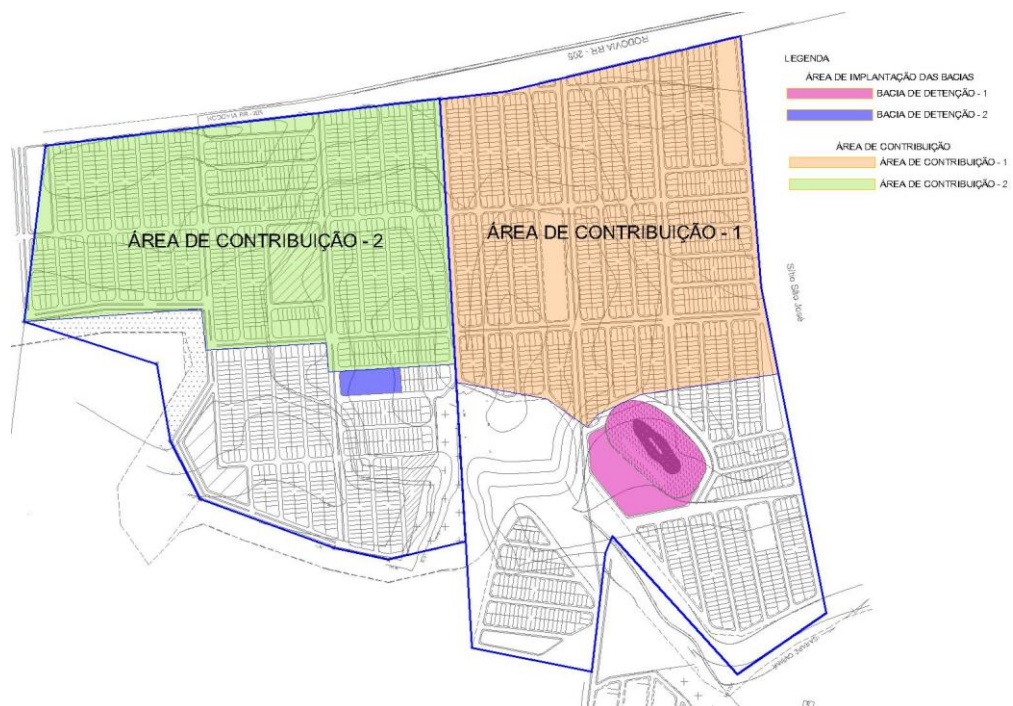


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.1.1.2 Área de contribuição

Considerando que o Loteamento possui uma área total dividida em duas subáreas - Caburaí I, com 74,53 ha, e Caburaí II, com 92,75 ha - foram estabelecidas duas áreas de contribuição para o projeto (Figura 37), levando também em conta a topografia do local. Assim, as áreas de contribuição serão:

Figura 37 - Vista das áreas de contribuição e dos locais de implantação das BDs.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

$$A_1 = 0,5123 \text{ km}^2$$

$$A_2 = 0,4578 \text{ km}^2$$

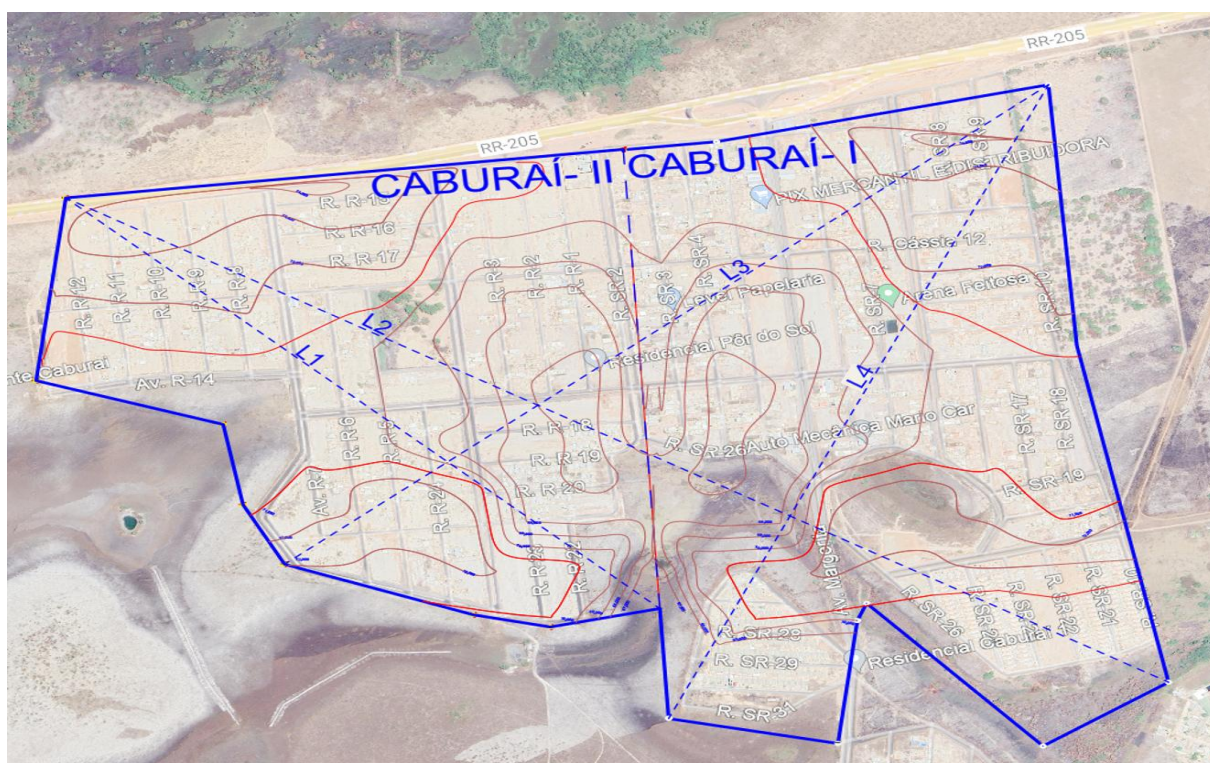
As áreas destinadas à implantação dos elementos projetados possuem limite de utilização, visto que possuem finalidade institucional. Neste caso, foi utilizado:

$$A_1 = 30.665,17 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 7.693,23 \text{ m}^2$$

Para a determinação do comprimento total médio de escoamento (L), foram analisados quatro trechos, levando em consideração a declividade do Loteamento, do ponto mais elevado ao ponto mais baixo (Figura 38). Observando que as distâncias medidas entre esses trechos são semelhantes, optou-se pela média aritmética dos valores obtidos.

Figura 38 - Trechos para determinação do comprimento de escoamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

$$L_1 = 1.303,97 \text{ m}$$

$$L_2 = 2.053,65 \text{ m}$$

$$L_3 = 1.606,21 \text{ m}$$

$$L_4 = 1.507,61 \text{ m}$$

$$L = \frac{1303.97 + 2053.65 + 1606.21 + 1507.61}{4}$$

$$L = 1.617,86 \text{ m}$$

Para a definição do ΔH , foram utilizadas as cotas altimétricas do terreno, considerando-se o ponto mais alto e o mais baixo do Loteamento.

$$\Delta H = 74 - 67$$

$$\Delta H = 7 \text{ m}$$

4.1.2 Análise hidráulica

Nesta seção, será apresentado o processo detalhado de dimensionamento das bacias de retenção propostas para o Loteamento Monte Caburaí, em Boa Vista, Roraima. O dimensionamento adequado dessas bacias é essencial para garantir que elas possam controlar eficazmente o escoamento superficial, minimizando os riscos de inundações.

Embora diversos métodos de dimensionamento sejam amplamente reconhecidos, este trabalho adota dois métodos específicos: o Racional para a bacia de retenção do Caburaí I (BD1) e o estabelecido no Plano de Drenagem Urbana (PDDU) de Curitiba, Paraná, para a bacia de retenção do Caburaí II (BD2).

Um motivo crucial para essa escolha é a representatividade e a adequação às características hidrológicas e urbanísticas distintas da área de estudo, permitindo uma comparação eficaz entre um método tradicional e amplamente utilizado, o Racional, e um método específico e contextualizado para a realidade local, o do PDDU de Curitiba.

A principal distinção entre esses métodos está na abordagem e nos parâmetros empregados para a estimativa do volume de retenção. O Método Racional é simples e direto, enquanto o do PDDU de Curitiba adota uma simplificação adicional. No entanto, ambos os

métodos compartilham uma base comum na formulação inicial dos cálculos, conforme apresentado a seguir.

Coeficiente de escoamento

Para estimar a taxa de ocupação do solo, foi utilizada uma imagem aérea Loteamento Monte Caburaí, obtida através do *Google Earth*. Analisou-se a situação atual e estimou-se a situação futura de ocupação do solo na região (Figura 30 e 31).

Na imagem do cenário atual do município, obteve-se uma taxa de impermeabilização de aproximadamente 60%. Assim, o coeficiente de escoamento, considerando a presença de edificações não muito densas, com partes adjacentes ao centro de menor densidade habitacional, mas com ruas e calçadas pavimentadas, além de áreas de matas densas e lotes sem construções (Quadro 8):

$$C = 0,60$$

No entanto, para o cenário futuro do município, foi considerada uma taxa mais elevada de urbanização, resultando em uma área de impermeabilização correspondente a 80%. Nas mesmas considerações, o coeficiente de escoamento (Quadro 8), no cenário pós-urbanizado será:

$$C = 0,80$$

Tempo de retorno

Para o tempo de retorno, foi adotado o tipo de obra de controle urbano nas vias (Quadro 9):

$$T = 25 \text{ anos}$$

Tempo de concentração

O tempo de concentração foi calculado pela fórmula de Kirpich modificada:

$$t_c = 57 * \left(\frac{L^2}{I_d}\right)^{0,385}$$

O valor da declividade do curso d'água (I_d), dado em m/km, foi calculado pela fórmula:

$$I_d = \frac{\Delta H}{L}$$

Onde:

- ΔH - Desnível altimétrico, ou seja, diferença entre as cotas topográficas do pico mais alto até o trecho da bacia de cota mais baixa (m);
- L - Comprimento do trecho (km);
- T - 25 anos.

$$t_c = 57 \times \left(\frac{L^3}{\Delta H}\right)^{0,385}$$

$$t_c = 57 \times \left(\frac{1,61786^3}{7}\right)^{0,385}$$

$$t_c = 46,97 \text{ min}$$

Intensidade máxima de precipitação

A intensidade máxima de precipitação foi calculada utilizando a fórmula proposta por Tischer (2015):

$$I = \frac{813,87 \times T^{0,21}}{(t + 9,52)^{0,72}}$$

$$I = \frac{813,87 \times 25^{0,21}}{(46,97 + 9,52)^{0,72}}$$

$$I = 87,640 \text{ mm/h}$$

$$I = 1,4606 \text{ mm/min}$$

4.1.2.1 Bacia 1

Para a área de contribuição do Caburaí I (A_1), foi projetada uma praça circundada por uma pista de *cooper*²⁰, com um reservatório a céu aberto.

Vazão

Com base nas áreas de contribuição, foram calculadas as vazões de escoamento para as condições de pré e pós-urbanização (Quadro 19).

²⁰ Método de condicionamento aeróbico baseado nas propostas do médico e preparador físico norte-americano Kenneth H. Cooper (1931-).

$$A_1 = 0,5123 \text{ km}^2$$

Quadro 19 - Vazões de entrada e saída da BD1.

Pré-urbanização	Pós-urbanização
$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$ $Q_{p1} = \frac{0,60 \times 87,64 \times 0,5123}{3,6}$ $Q_{p1} = 7,483 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$ $Q_{s1} = \frac{0,80 \times 87,64 \times 0,5123}{3,6}$ $Q_{s1} = 9,977 \text{ m}^3/\text{s}$

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Volume de detenção

O volume de detenção (Quadro 20) foi calculado pela equação de Tomaz (2013):

$$V_{detido} = 0,5 \times (Q_s - Q_p) \times T_b \times 60$$

Onde:

- V_{detido} - Volume necessário para deter inundação (m^3);
- Q_s - Vazão de pico no pós-desenvolvimento (m^3/s);
- Q_p - Vazão de pico no pré-desenvolvimento (m^3/s);

O tempo de detenção na bacia (T_b) foi o valor mais crítico entre:

- $T_b = 2 * T_c$;
- $T_b = 3 * T_c$;
- $T_b = 2,67 * T_c$.

Quadro 20 - Volume detido na BD1.

Pré-urbanização	Pós-urbanização
$Q_{p1} = 7,483 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{s1} = 9,977 \text{ m}^3/\text{s}$
$V_{detido} = 0,5 \times (9,977 - 7,483) \times 3 \times 46,97 \times 60$ $V_{detido} = 10.544,48 \text{ m}^3$	

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O volume a ser detido para evitar o acúmulo de água da inundação é de $10.544,48\text{m}^3$. Levando em consideração o tempo de permanência na bacia de detenção igual a 60 minutos, tem-se:

$$Q = \frac{10.544,48}{60}$$

$$Q = 2,929 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como a vazão Q foi inferior à vazão Q_p , para efeito de projeto, foi utilizada Q_p como vazão de referência para o dimensionamento da bacia de detenção:

$$Q = Q_{p1} = 7,483 \text{ m}^3/\text{s}$$

Assim, o volume de detenção da área de contribuição do Caburaí I, com um tempo de detenção de 1 hora, será:

$$V_1 = Q_{p1} \times 3600$$

$$V_1 = 26.938,14 \text{ m}^3$$

Área da bacia de detenção

A profundidade média da bacia foi determinada com base na área de implementação delimitada. Assim,

$$H_{B1} = 3,50 \text{ m}$$

A área total da bacia de detenção do Caburaí I é de:

$$A = \frac{V_1}{H_{B1}}$$

$$A = \frac{26.938,14}{3,00}$$

$$A = 8.979,38 \text{ m}^2$$

Saída do reservatório

$$Q = C_d \times A_0 \times \sqrt{2 \times g \times H}$$

A altura da lâmina d'água para cada bacia foi:

$$H_1 = 3,00 \text{ m}$$

No caso do coeficiente de descarga (C_d), adotou-se o valor de 0,61, ou seja, um orifício padrão, que é caracterizado por bordas agudas e está afastado da superfície da água, das paredes e do fundo.

$$7,48 = 0,61 \times A_0 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 3,00}$$

$$A_0 = 1,60 \text{ m}^2$$

Assim,

$$1,60 = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$D = 1,43 \text{ m}$$

No projeto da bacia I, foram utilizados dois tubos com diâmetro de 1 m cada, garantindo uma margem de segurança.

Resumo do dimensionamento

Para melhor compreensão, todo o dimensionamento da bacia 1 (Figura 39) foi sintetizado em planilha.

Figura 39 - Resumo do dimensionamento da BD do Caburaí I.

TEMPO DE CONCENTRAÇÃO		
DADOS DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO		
VARIÁVEIS	VALORES	UNIDADE
COT MAX	74	m
COT MIN	67	m
H	7	m
L	1617,86	m
L	1,61786	km
S	4,326703176	m/km

MÉTODO	tc	UNIDADE
Kirpch I	46,97198281	min

California	46,97198281	min
Kirpch modificado	70,21075325	min
Kirpch modificado -h	1,170179221	horas

CÁLCULO DA INTENSIDADE (I)		
INTENSIDADE	mm/h	mm/min
	87,63789407	1,460631568

CÁLCULO DE VAZÕES (Q)				
Q (m³/s)		DADOS DE ENTRADA		
		c	I (mm/h)	A (km²)
Qpré	7,482815522	0,6	87,63789407	0,5123
Qpós	9,977087363	0,8	87,63789407	0,5123

VOLUME DE DETENÇÃO - Vs(m³)	
Vs	10.544,48

VAZÃO QUE DEVERÁ SER RETIDO EM 60 MIN			
TEMPO DE DETIDO (S)	3.600,00	Qs=Vs/TD (m³/s)	2,92902235
Para o projeto, analisou- se que, como QD<Qpré, adotou-se para o projeto Qpré como vazão de utilização de dimensionamento para o reservatório de detenção			

VOLUME DE PROJETO (m³) PARA 60 MIN			
QP (m³/s)	7,48	VP (m³)	26.938,14

ÁREA DA BACIA DE DETENÇÃO - m²			
H	3,50 m	ÁREA	7.696,61 m²
DIMENSIONAMENTO DA SAÍDA DO RESERVATÓRIO			
QP (m³/s)	7,48		
CD	0,61		
ÁREA O ORIFICIO (m)	1,60	DIAMETRO DO ORIFICIO (m)	1,43
G (m/s²)	9,81	Adotar dois tubos de diâmetros de 1,00m	
H (m)	3		

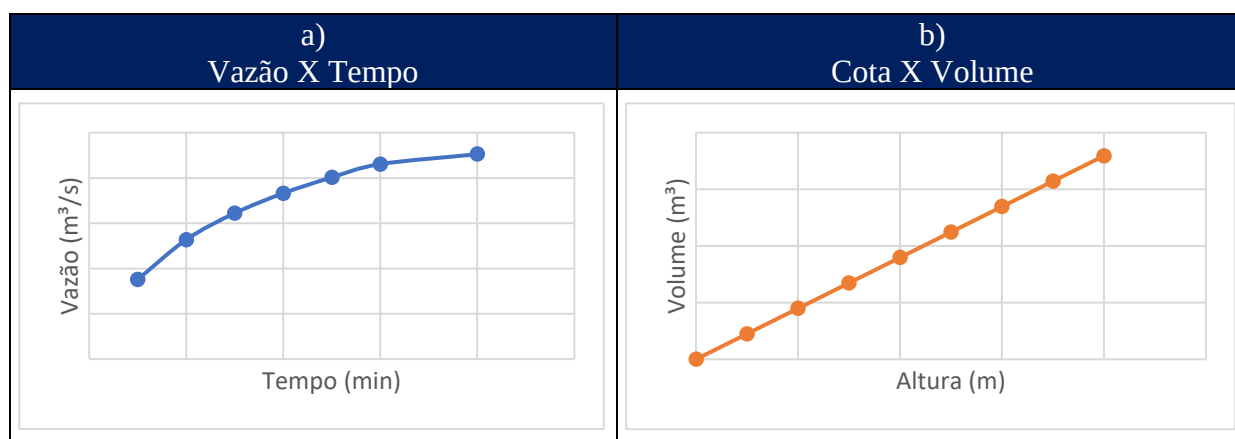
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Comportamento da bacia

O comportamento das BDs pode ser analisado através da estruturação dos dados de simulações hidrológicas que modelam o escoamento superficial e a capacidade de armazenamento da bacia. Neste trabalho, essa discussão é feita a partir da simulação de Vazão X Tempo e Cota X Volume de cada uma das bacias.

A praça com pista de *cooper* foi projetada para atuar como uma área verde multifuncional. A vegetação e a topografia da praça facilitam o armazenamento temporário. Espera-se que a vazão inicial aumente rapidamente com o início da chuva (Figura 40a).

Figura 40 - Simulação hidrológica da bacia de retenção 1.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Já na Figura 40b, verifica-se que a relação é inicialmente linear, mas pode se tornar não linear à medida que a bacia se aproxima da sua capacidade máxima de armazenamento. A vegetação ajudará a espalhar a água, mantendo níveis mais baixos de cota por mais tempo.

4.1.2.2 Bacia 2

Para a área de contribuição do Caburaí II (A_2), considerou-se a implementação de um complexo de quadras poliesportivas que servirá como BD propriamente dita.

Volume de retenção

O volume de retenção foi calculado pela equação de Tomaz (2013):

$$V_{detido} = k \times I \times A$$

Onde:

- V_{detido} - Volume detido para dimensionamento (m^3)

- k - coeficiente dimensional, já estabelecido previamente 0,20;
- I - Intensidade (m/h);
- A - área (m²)

$$V_{detido} = 0,2 \times 0,087637 \times 45.7800$$

$$V_{detido} = 8.024,13 \text{ m}^3$$

Área da bacia de detenção

A profundidade média da bacia foi determinada com base na área de implementação delimitada. Assim,

$$H_{B2} = 3,00 \text{ m}$$

A área total da bacia de detenção do Caburaí 2 é de:

$$A = \frac{V_{detido}}{H_{B2}}$$

$$A = \frac{8.024,13 \text{ m}^3}{3,00} =$$

$$A = 2.674,71 \text{ m}^2$$

Vazão de projeto para 60min

$$Q_P = \frac{8.024,13 \text{ m}^3}{3600} =$$

$$Q_P = 2,23 \text{ m}^3$$

Saída do reservatório

$$Q = C_d \times A_0 \times \sqrt{2 \times g \times H}$$

A altura da lâmina d'água para cada bacia foi:

$$H_2 = 2,50 \text{ m}$$

No caso do coeficiente de descarga (C_d), adotou-se o valor de 0,61, ou seja, um orifício padrão, que é caracterizado por bordas agudas e está afastado da superfície da água, das paredes e do fundo.

$$7,48 = 0,61 \times A_0 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 2,50}$$

$$A_0 = 0,52 \text{ m}^2$$

Assim,

$$0,52 = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$D = 0,82 \text{ m}$$

No projeto da bacia II, foi utilizado um tubo com diâmetro de 1m cada, garantindo uma margem de segurança.

Resumo do dimensionamento

Para melhor compreensão, todo o dimensionamento da bacia 2 (Figura 41) foi sintetizado em planilha.

Figura 41 - Resumo do dimensionamento da BD do Caburaí II.

TEMPO DE CONCENTRAÇÃO		
DADOS DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO		
VARIÁVEIS	VALORES	UNIDADE
COT MAX	74	m
COT MIN	67	m
H	7	m
L	1617,86	m
L	1,61786	km
S	4,326703176	m/km

MÉTODO	tc	UNIDADE
Kirpch I	46,97198281	min
California	46,97198281	min
Kirpch modificado	70,21075325	min
Kirpch modificado -h	1,170179221	horas

CÁLCULO DA INTENSIDADE (I)			
INTENSIDADE	mm/h	mm/min	m/h
	87,63789407	1,460631568	0,087637894

CÁLCULO DE VOLUME DETIDO(V)				
V (m³)		DADOS DE ENTRADA		
		k	I (m/h)	A (m²)
V	8.024,13	0,2	0,087637894	457800

ÁREA DA BACIA DE DETENÇÃO - m²			
H	3,00 m	ÁREA	2.674,71 m²

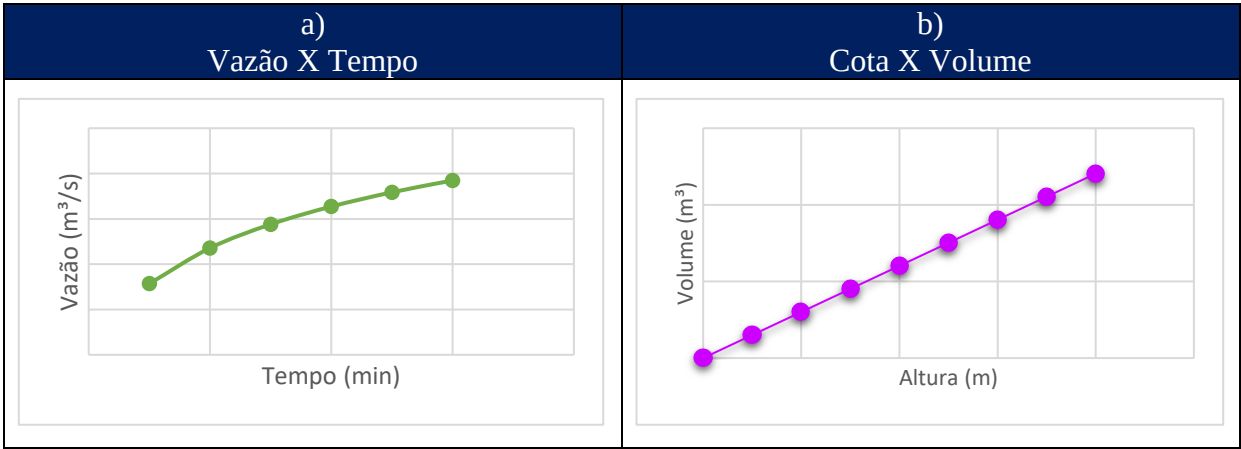
DIMENSIONAMENTO DA SAÍDA DO RESERVATÓRIO			
QP	2,23 m³/s		
CD	0,61		
ÁREA O ORIFICIO	0,52 m²	DIAMETRO DO ORIFICIO (m)	0,82 m
G	9,81 m/s²	Adotar 1 tubo de diâmetros de 1m	
H	2,50 m		

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Comportamento da bacia

O complexo de quadras poliesportivas tem uma superfície impermeável comparada à praça, devido ao pavimento das quadras. Isso resulta em um maior volume de retenção.

Figura 42 - Simulação hidrológica da bacia de retenção 2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O volume de retenção aumenta gradativamente com o início de chuva, atingindo um pico mais alto e mais rapidamente do que a praça (Figura 42a). A redução da vazão após o pico

será mais rápida, devido um controle no lançamento do sistema de drenagem, sendo lançado de forma gradativa e controlada para não sobrecarga do sistema de descarga (Figura 42b).

4.1.3 Viabilidade

Para viabilizar a implementação do projeto das BDs propostas neste estudo, foram consideradas todas as condições básicas e fatores condicionantes descritos nos Quadros 19 a 22.

A viabilidade técnica das BDs no Loteamento Monte Caburaí foi avaliada com base em aspectos hidrológicos, geotécnicos e urbanísticos. As bacias propostas conseguem atenuar os picos de vazão com eficiência, contribuindo para a redução dos riscos de enchentes e alagamentos, principalmente durante eventos de alta precipitação. Os Quadros 21 a 24 indicam que as bacias 1 e 2 atendem aos requisitos mínimos de volume de detenção e conseguem regular as vazões de escoamento conforme o previsto no dimensionamento.

Fatores como a topografia plana, a permeabilidade dos solos e a presença de áreas urbanizadas densamente impermeabilizadas foram condicionantes fundamentais. As bacias de detenção I e II incluem exutórios claramente definidos e delineados para garantir a eficiência na drenagem da água.

Quadro 21 - Resultados das condições de viabilidade da bacia de detenção 1.

Condição		Resposta esperada	
		Sim	Não
1	A área de contribuição adequada?	X	
2	A capacidade de infiltração do solo está entre 1,0 e 2 200 mm/h?	X	
3	Coloca em risco a vida de pedestres na hora de eventos de chuva?		X
4	Possui harmonia urbanística, paisagística e estética?	X	
5	Há exutório definido*?	X	
6	Há aporte excessivo de sedimentos e lixo?		X
7	Há aporte de esgoto cloacal?		X
8	Há perigo de veiculação de doenças de contato hídrico?		X
9	O solo é propício à presença de água?	X	
10	Situada dentro de uma área proibida quanto ao risco de poluição do solo e freático?		X
11	Há risco de poluição crônica ou acidental significativa, caso a área não seja proibida?		X

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Quadro 22 - Resultados das condições de viabilidade da bacia de retenção 2.

Condição		Resposta esperada	
		Sim	Não
1	A área de contribuição adequada?	X	
2	A capacidade de infiltração do solo está entre 1,0 e 2 200 mm/h?	X	
3	Coloca em risco a vida de pedestres na hora de eventos de chuva?		X
4	Possui harmonia urbanística, paisagística e estética?	X	
5	Há exutório definido*?	X	
6	Há aporte excessivo de sedimentos e lixo?		X
7	Há aporte de esgoto cloacal?		X
8	Há perigo de veiculação de doenças de contato hídrico?		X
9	O solo é propício à presença de água?	X	
10	Situada dentro de uma área proibida quanto ao risco de poluição do solo e freático?		X
11	Há risco de poluição crônica ou acidental significativa, caso a área não seja proibida?		X

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A localização e o *design* das praças e das quadras poliesportivas e de tênis foram cuidadosamente escolhidas para refletirem as práticas de segurança para os transeuntes e usuários durante os eventos de chuva. A praça com a pista de *cooper*, e as quadras se integram ao ambiente, promovendo a estética urbana e a gestão da água e, por conseguinte, incentivam o uso corrente e lazer aos habitantes do Loteamento Caburaí.

O fator declividade do terreno não impôs grandes restrições, mas a necessidade de controlar o aporte de sedimentos e lixo é um aspecto crítico para a viabilidade de longo prazo dessas bacias. Para o projeto se considerou que houvesse manutenção periódica para que as bacias funcionem de maneira eficaz e se evite problemas de aporte excessivo de sedimentos e de lixo, conforme discutido na Matriz de Leopold (Quadro 25).

Quanto ao tipo de solo da localização da bacia, os Latossolos, cobertos por uma vegetação savânica (Figura 29), demonstram excelente capacidade de armazenamento de água. Ademais, na escolha das áreas de implantação, optou-se pelas áreas institucionais, que já são previamente locais que respondem aos critérios de distanciamento de poluição e riscos.

Quadro 23 - Resultados dos fatores condicionantes de viabilidade da bacia de detenção 1.

Fatores		Condicionante	Viável	Viável condicionalmente*	Inviável
1	Solo-aquífero	Aquífero não estará em risco	X		
		Solo com capacidade de armazenamento de água	X		
		Subsolo permeável		X	
2	Localização	Declividade baixa	X		
		Ausência de exutório			X
		Sem restrição de área disponível	X		
		Não há presença de instalações subterrâneas	X		
		Restrição de urbanização	X		
3	Sanitárias e sedimentológicas	Afluência poluída			X
		Afluência com alta taxa de sedimentos e lixo			X
		Risco sanitário por falha de operação			X
		Risco sedimentológico por falha de operação			X
4	Restrições estruturais e de desenho	Esforço e tráfego intensos	X		
		Flexibilidade de desenho	X		
		Limite da altura da MC			X

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Quadro 24 - Resultados dos fatores condicionantes de viabilidade da bacia de detenção 2.

Fatores		Condicionante	Viável	Viável condicionalmente*	Inviável
1	Solo-aquífero	Aquífero não estará em risco	X		
		Solo com capacidade de armazenamento de água	X		
		Subsolo permeável		X	
2	Localização	Declividade baixa	X		
		Ausência de exutório			X
		Sem restrição de área disponível	X		
		Não há presença de instalações subterrâneas	X		
		Restrição de urbanização	X		
3	Sanitárias e sedimentológicas	Afluência poluída			X
		Afluência com alta taxa de sedimentos e lixo			X
		Risco sanitário por falha de operação			X
		Risco sedimentológico por falha de operação			X
4	Restrições estruturais e de desenho	Esforço e tráfego intensos	X		
		Flexibilidade de desenho	X		
		Limite da altura da MC			X

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O layout das bacias de detenção I e II, incluindo suas especificações técnicas e configurações de implantação, pode ser consultado na Nota Técnica (Apêndice A). Esse material fornece uma visualização clara das estruturas projetadas, facilitando a compreensão dos parâmetros adotados para o dimensionamento e a integração dessas bacias ao espaço urbano.

4.2 BENEFÍCIOS SOCIOAMBIENTAIS

Esta seção aborda a análise dos benefícios socioambientais das bacias de detenção.

4.2.1 Benefícios ambientais

Da aplicação da Matriz de Leopold (Quadro 25) espera-se que, durante a instalação e operação das bacias de detenção no loteamento Monte Caburaí, predominem os impactos ambientais positivos, especialmente no que tange à redução da erosão do solo, melhoria da qualidade da água e mitigação do risco de enchentes. Esses efeitos são fundamentais para a preservação dos ecossistemas locais, uma vez que a regulação do fluxo hídrico contribui para manter a integridade dos corpos d'água e prevenir a degradação dos habitats naturais.

Quadro 25 - Matriz de Leopold das bacias de retenção do Loteamento Caburaí.

Ação	Componente Ambiental/Social	Magnitude	Importância	Impacto	Justificativa Técnica	Mitigação / Potencialização
Escavação de bacias	Solo	Moderada	Alta	Negativo	Aumento da erosão e compactação do solo devido à movimentação de terra.	Revegetação com espécies nativas e uso de técnicas de controle de erosão, como geotêxteis.
Controle de escoamento pluvial	Qualidade da Água	Alta	Alta	Positivo	Redução da carga de poluentes e sedimentos, retenção temporária de águas pluviais.	Implementação de <i>wetlands</i> para otimizar a filtragem de poluentes.
Criação de áreas verdes	Vegetação e Fauna	Moderada	Alta	Positivo	Melhoria no habitat e promoção da biodiversidade. Novas áreas vegetadas podem atrair fauna local.	Criação de corredores ecológicos conectando áreas verdes urbanas.
Movimentação de terra	Qualidade do Ar	Moderada	Moderada	Negativo	Aumento temporário da poluição do ar por poeira durante a fase de construção.	Uso de barreiras anti-pó e pulverização de água em áreas de escavação.
Construção das bacias	Solo	Moderada	Alta	Negativo	Possível perda de capacidade de infiltração devido à compactação do solo.	Técnicas de permeabilização e plantio de vegetação nas margens das bacias.
Criação de áreas de lazer	Qualidade de Vida (Social)	Alta	Alta	Positivo	Proporciona novos espaços recreativos para a população, melhora da saúde e bem-estar.	Potencializar áreas de convivência com equipamentos recreativos adequados.
Redução do risco de inundações	Infraestrutura Urbana	Alta	Alta	Positivo	Diminuição de danos à infraestrutura urbana, redução do custo de manutenção devido a inundações.	Fortalecer a comunicação com a população sobre os benefícios das bacias.
Operação das bacias	Fauna Aquática	Moderada	Moderada	Positivo	Melhoria na qualidade da água, que favorece a fauna aquática em corpos receptores.	Monitoramento contínuo da qualidade da água e da fauna aquática para manter os benefícios.
Controle de sedimentos	Corpos d’água	Alta	Alta	Positivo	Redução da deposição de sedimentos nos corpos d’água a jusante, melhora na preservação do ecossistema hídrico.	Instalação de barreiras de sedimentos e manutenção regular das bacias.
Criação de áreas de lazer	Clima Local (Microclima)	Alta	Moderada	Positivo	Redução das temperaturas locais devido ao aumento de áreas vegetadas, mitigação das ilhas de calor.	Aumentar o número de árvores de grande porte nas áreas verdes para potencializar o efeito.
Implantação de bacias	Paisagem Urbana	Alta	Alta	Positivo	Integração harmoniosa com o espaço urbano, melhora na estética da área.	Incentivar o uso de elementos paisagísticos e áreas multifuncionais nas bacias.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os benefícios ambientais proporcionados pela bacia de retenção estão alinhados aos princípios da ecologia da paisagem, conforme descrito por Pellegrino et al. (2006). Eles incluem a preservação e conectividade de fragmentos de vegetação, essenciais para a manutenção da biodiversidade e facilitação dos fluxos hídricos. Além disso, a integração da bacia de retenção com áreas verdes desempenha um papel crucial como corredor ecológico, mitigando os efeitos da fragmentação e isolamento dos ecossistemas urbanos. Isso também contribui para a absorção de carbono e mitigação das emissões de gases de efeito estufa, fortalecendo a sustentabilidade urbana.

A vegetação associada à bacia de retenção é um componente vital da infraestrutura urbana, pois favorece a resiliência ecológica e amplia os benefícios ambientais no contexto urbano. Essas funções são indispensáveis para a sustentabilidade e segurança hídrica da área, integrando processos bióticos e abióticos que são essenciais para a manutenção de um ambiente urbano equilibrado e saudável.

Segundo Araújo, Campante e Pinheiro (2024), os sistemas de áreas verdes são fundamentais na mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Quando associados às bacias de retenção, como parte da infraestrutura urbana, esses sistemas regulam o escoamento das águas pluviais, diminuem o risco de inundações e contribuem para a recarga do lençol freático. Além disso, promovem a preservação da biodiversidade e a manutenção de microclimas urbanos mais amenos.

Por fim, Pinheiro (2019) destaca que a utilização de sistemas sustentáveis de drenagem urbana, como as bacias de retenção, melhora significativamente a qualidade das águas pluviais ao reduzir a poluição difusa nos corpos d'água receptores. Quando integradas a áreas verdes, essas bacias oferecem benefícios adicionais, como a criação de habitats para a fauna nativa e a valorização paisagística das cidades, promovendo um ambiente urbano mais saudável e atraente.

4.2.2 Benefícios sociais

A inclusão de *stakeholders* no processo de planejamento e avaliação das bacias de retenção é crucial para garantir a aceitação, a eficácia e a sustentabilidade do projeto. Através da aplicação de uma entrevista semiestruturada (Quadro 26), espera-se obter uma compreensão detalhada de como os *stakeholders* valorizam a segurança proporcionada pela redução do risco de enchentes e a importância percebida das bacias na melhoria da infraestrutura local.

Quadro 26 - Estrutura de entrevista com *stakeholders*.

PERGUNTAS NORTEADORAS PARA A ENTREVISTA	
Nome:	
Cargo:	
1. Perguntas Gerais	
1.1. Qual é a sua relação com a área onde as bacias de retenção foram implantadas?	
1.2. Como você descreveria o impacto das bacias de retenção no bairro Monte Caburaí?	
2. Bacia a Céu Aberto com Praça	
2.1. Como você avalia a praça em torno da bacia a céu aberto em termos de espaço público e lazer?	
2.2. Quais são os benefícios que você percebeu para a comunidade desde a implementação dessa bacia?	
2.3. Houve alguma mudança na segurança ou bem-estar dos moradores após a criação da praça?	
2.4. Como você avalia a manutenção da praça e da bacia? Há algo que poderia ser melhorado?	
3. Complexo de Quadras Poliesportivas	
3.1. Como você avalia o complexo de quadras poliesportivas em termos de uso pela comunidade?	
3.2. Quais atividades são mais comuns nas quadras? Como isso afetou a coesão social no bairro?	
3.3. Na sua opinião, o complexo tem incentivado a prática de atividades físicas na comunidade?	
3.4. Como você avalia a manutenção e segurança do complexo? Quais melhorias você sugeriria?	
4. Comparação e Considerações Finais	
4.1. Qual das duas bacias (a céu aberto com praça ou com quadras poliesportivas) você considera que teve maior impacto social positivo? Por quê?	
4.2. Quais desafios você vê na continuidade desses projetos? Quais são as suas sugestões para o futuro?	
4.3. Há algum aspecto do projeto que não foi mencionado e que você gostaria de comentar?	

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Pinheiro (2019) observa que sistemas sustentáveis de drenagem urbana não apenas fortalecem a resiliência das cidades, mas também criam ambientes mais sustentáveis para seus habitantes. Na implementação das bacias de retenção deste trabalho, especialmente da BD1, integrada a uma área verde, espera-se transcender os benefícios ambientais.

Esses sistemas são esperados para oferecer benefícios sociais significativos, como a redução do risco de inundações, a melhoria das áreas de lazer e a valorização do espaço urbano. Tais benefícios devem ser confirmados pela percepção positiva da comunidade local, conforme se pretende evidenciar pelas respostas coletadas na pesquisa de satisfação (Quadro 27).

Quadro 27 - Estrutura da pesquisa de satisfação com moradores.

PESQUISA DE SATISFAÇÃO COM USUÁRIOS	
1. Informações Demográficas:	
1.1. Faixa etária:	
()	Menos de 18 anos
()	18-30 anos
()	31-45 anos
()	46-60 anos
()	Mais de 60 anos
1.2. Sexo:	
()	Masculino
()	Feminino
()	Outro
1.3. Rua onde reside:	
2. Uso das Infraestruturas	
2.1. Com que frequência você visita a praça?	
()	Diariamente
()	Semanalmente
()	Mensalmente
()	Raramente
()	Nunca
2.2. Com que frequência você utiliza o complexo de quadras poliesportivas?	
()	Diariamente
()	Semanalmente
()	Mensalmente
()	Raramente
()	Nunca
3. Satisfação com a Bacia a Céu Aberto com Praça	
3.1 Como você avalia a qualidade da praça em termos de limpeza e manutenção?	
()	Muito satisfeito
()	Satisfeito
()	Neutro
()	Insatisfeito
()	Muito insatisfeito
3.2 A praça é um local seguro para você e sua família?	
()	Concordo totalmente
()	Concordo
()	Neutro
()	Discordo
()	Discordo totalmente
4. Satisfação com o Complexo de Quadras Poliesportivas	
4.1 Como você avalia a qualidade das quadras poliesportivas?	

PESQUISA DE SATISFAÇÃO COM USUÁRIOS	
()	Muito satisfeito
()	Satisfeito
()	Neutro
()	Insatisfeito
()	Muito insatisfeito
4.2 Você acha que as quadras incentivam a prática de esportes no bairro?	
()	Concordo totalmente
()	Concordo
()	Neutro
()	Discordo
()	Discordo totalmente
5. Benefícios Percebidos	
5.1 Desde a implementação das bacias, você percebeu alguma melhoria na qualidade de vida da comunidade?	
()	Concordo totalmente
()	Concordo
()	Neutro
()	Discordo
()	Discordo totalmente
5.2 Quais dos seguintes benefícios você associa às bacias de retenção? (Marque todos que se aplicam)	
()	Melhoria na segurança pública
()	Aumento das áreas verdes
()	Mais opções de lazer
()	Maior interação social
()	Valorização imobiliária
()	Outro: _____
6. Sugestões e Comentários Finais	
6.1 Você gostaria de deixar um comentário ou alguma sugestão relacionada à praça e à quadra poliesportiva?	

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

No entanto, alguns desafios também são esperados como por exemplo a necessidade de manutenção contínua das bacias e a importância de um planejamento integrado com as demais obras de infraestrutura existentes, possíveis e desejáveis no loteamento.

Pellegrino et al. (2006) defendem que os sistemas de áreas verdes devem ser planejados de forma que a vegetação seja tratada como uma rede de infraestrutura urbana, e que a manutenção do ecossistema natural seja conciliada com espaços destinados à ocupação humana.

Relacionando isso aos benefícios sociais das bacias de retenção, pode-se afirmar que, ao integrar áreas verdes no contexto urbano, como é o caso, não apenas se controla o risco de inundações, mas também se cria um ambiente que promove o bem-estar da população. Essas áreas podem ser usadas como espaços de lazer e convivência, melhorando a qualidade de vida, promovendo a saúde e fortalecendo o senso de comunidade. Assim, a conciliação entre ecossistema natural e áreas de uso humano gera impactos sociais positivos, valorizando o espaço público e incentivando práticas de convivência mais sustentáveis e saudáveis.

4.3 DIRETRIZES DE INTEGRAÇÃO

A análise SWOT realizada para a situação atual de drenagem da cidade de Boa Vista, Roraima (Figura 43), identifica diversos fatores internos e externos que influenciam diretamente a gestão municipal de drenagem, considerando as estruturas e normas estabelecidas pela Prefeitura Municipal de Boa Vista (PMBV), bem como as diretrizes de âmbito estadual e federal.

Figura 43 - Matriz SWOT resultante.

Fatores		Contribui	Dificulta
Fatores internos	Prefeitura Municipal	Forças	Fraquezas
	1 Estrutura de Planejamento Urbano	Existência de um Plano Diretor que estabelece diretrizes gerais para o uso do solo e o desenvolvimento urbano.	Plano Diretor pode estar desatualizado ou ser incompleto, faltando diretrizes específicas para drenagem urbana.
	2 Equipe Técnica Qualificada	Presença de profissionais capacitados na Prefeitura, especializados em urbanismo, engenharia e meio ambiente.	Recursos humanos limitados para a execução de projetos de grande escala, como a implementação de um sistema de drenagem abrangente.
	3 Experiência em Gestão Local	A Prefeitura possui experiência na gestão de projetos urbanos e ambientais, com capacidade de coordenação local.	Falta de integração e comunicação entre diferentes departamentos da Prefeitura, o que pode comprometer a execução de políticas integradas.
	4 Infraestrutura de Drenagem Existente	Algumas áreas já possuem infraestrutura básica de drenagem, que pode ser melhorada e expandida.	Infraestrutura existente é inadequada em várias áreas e carece de manutenção regular, levando a problemas recorrentes de alagamento.
Fatores Externos	Estadual e Federal	Oportunidades	Ameaças
	1 Legislação Ambiental e Urbana	As diretrizes estaduais e federais incentivam o uso de práticas sustentáveis e o desenvolvimento urbano integrado.	Mudanças frequentes na legislação podem causar incerteza e dificultar o planejamento de longo prazo.
	2 Programas de Financiamento e Parcerias	Existência de programas estaduais e federais que oferecem financiamento e apoio técnico para projetos de infraestrutura.	Restrição ou descontinuidade de recursos estaduais e federais pode impactar a capacidade de implementar soluções abrangentes.
	3 Inovações Tecnológicas e Sustentáveis	Incentivos federais e estaduais para adoção de tecnologias avançadas, como pavimentos permeáveis e sistemas de retenção.	Pressões políticas externas podem levar a decisões que priorizem interesses de curto prazo em detrimento de soluções de drenagem sustentável.
	4 Integração com Planos Estaduais	Possibilidade de alinhamento das políticas municipais com planos estaduais e federais, promovendo uma gestão integrada.	Dependência de políticas estaduais e federais pode limitar a autonomia municipal e atrasar a implementação de soluções locais.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Entre as forças identificadas, destaca-se a existência de um Plano Diretor (Lei Complementar nº 1.231/2018) que oferece uma base legal e técnica sólida para o uso do solo e o desenvolvimento urbano. Ele constitui uma plataforma importante para a implementação de políticas de drenagem urbana. Ademais, a presença de uma equipe técnica qualificada, com especialistas em urbanismo, engenharia e meio ambiente, fortalece a capacidade da PMBV de desenvolver e executar projetos com eficiência.

Em relação às fraquezas internas, estas precisam ser abordadas, pois embora o Plano Diretor (PD) seja uma ferramenta essencial, está em processo de atualização ou carece de orientações específicas voltadas para drenagem urbana, o que pode comprometer a eficácia das iniciativas municipais.

A infraestrutura de drenagem existente também apresenta deficiências, sendo frequentemente insuficiente e mal mantida, o que resulta em alagamentos recorrentes. A falta de integração entre os departamentos da PMBV e a limitação de pessoal são outras questões críticas que podem afetar a realização de projetos em larga escala e a implementação de políticas de maneira coesa e eficiente.

Nos fatores externos, a análise SWOT identifica diversas oportunidades que podem ser exploradas pela administração municipal. Leis como a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) e o Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001) incentivam práticas sustentáveis e promovem o desenvolvimento urbano de forma integrada. Essas normativas oferecem à PMBV a chance de atualizar seu PD e incorporar diretrizes mais robustas para a gestão da drenagem urbana. Além disso, o Código de Meio Ambiente de Roraima (Lei Complementar Estadual nº 40/2001) e o próprio PD de Boa Vista contêm elementos que podem ser adaptados para fortalecer essa gestão.

Programas de financiamento e parcerias oferecidos por esferas estaduais e federais representam uma oportunidade valiosa para modernizar a infraestrutura de drenagem. A adoção de inovações tecnológicas e sustentáveis, como pavimentos permeáveis e sistemas de retenção de águas pluviais, é facilitada por políticas estaduais e federais, permitindo a PMBV adotar soluções avançadas e mais eficazes. A integração das políticas municipais com planos estaduais pode promover uma gestão mais eficiente e alinhada às estratégias de desenvolvimento sustentável.

Por outro lado, a análise identifica ameaças externas que podem impactar negativamente a gestão de drenagem em Boa Vista. Mudanças frequentes na legislação geram incertezas que dificultam o planejamento de longo prazo e a execução de projetos consistentes. A dependência de recursos e políticas estaduais e federais limita a autonomia da PMBV,

expondo o município ao risco de descontinuidade no financiamento, o que comprometeria a implementação de soluções abrangentes. A pressão política externa também pode influenciar negativamente as decisões locais, priorizando interesses de curto prazo em detrimento de soluções sustentáveis para a drenagem urbana.

Conforme Araújo, Campante e Pinheiro (2024), é crucial que sistemas de drenagem sustentável sejam integrados ao PD e que o zoneamento urbano seja utilizado para essa finalidade. Os autores argumentam que o desafio não está na falta de planejamento ou de instrumentos técnicos, mas na definição clara dos objetivos e da abrangência das políticas urbanas. Eles sugerem que a integração dos sistemas de drenagem deve ser facilitada por meio da conexão com planos setoriais de saneamento, gestão de riscos geológicos-geotécnicos e de inundação, além de mobilidade urbana, cultura e lazer.

4.3.1 Aprimoramento

Ao analisar as diretrizes dos PDDU de Curitiba, São Paulo, São José do Rio Preto, Rio de Janeiro, Vitória e Porto Alegre, observou-se que diversas estratégias podem ser adaptadas e aplicadas ao contexto de Boa Vista, Roraima, para aprimorar a gestão das águas pluviais e mitigar os riscos de enchentes.

A Lei Complementar nº 14.771/2015 e a Lei nº 15.511/2019 de Curitiba enfatizam a importância do planejamento integrado de drenagem, que considera tanto o desenvolvimento urbano quanto as características naturais da região. Esse enfoque integrado pode ser adotado em Boa Vista para assegurar que novas áreas urbanizadas contenham infraestrutura adequada para o manejo das águas pluviais, evitando a sobrecarga do sistema de drenagem existente.

O Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São Paulo (2012) destaca a utilização de técnicas compensatórias, como pavimentos permeáveis e jardins de chuva, para reduzir o escoamento superficial. Tais soluções são especialmente relevantes para Boa Vista, onde a implementação de tecnologias de infiltração poderia ser eficaz, considerando o clima tropical e a necessidade de minimizar enchentes em áreas urbanas em expansão.

O Decreto Municipal nº 10.290/2008 de São José do Rio Preto aborda a importância do monitoramento contínuo das redes de drenagem e da manutenção preventiva. A adoção de práticas semelhantes em Boa Vista contribuiria para a identificação precoce de problemas no sistema de drenagem, garantindo intervenções mais rápidas e eficazes.

No Rio de Janeiro, a Resolução Conjunta SMG/SMO/SMU nº 001/2005 enfatiza a proteção das áreas verdes como estratégia para aumentar a capacidade de infiltração do solo e reduzir o escoamento superficial. Boa Vista, com sua vasta área verde, pode aproveitar essa

diretriz para proteger e expandir essas zonas, promovendo a infiltração natural e reduzindo a pressão sobre o sistema de drenagem urbano.

O PMSB de Vitória (2014) foca na integração do planejamento de drenagem com o PD da cidade, uma abordagem que seria benéfica para Boa Vista, permitindo que o desenvolvimento urbano seja realizado em consonância com as necessidades de drenagem, evitando áreas de risco e garantindo a sustentabilidade das soluções implementadas.

Por fim, o Decreto Municipal nº 18.611/2014 de Porto Alegre introduz diretrizes para a construção de bacias de retenção. A aplicação dessas e de outras estruturas semelhantes em Boa Vista é uma solução viável para mitigar os impactos de eventos de chuva intensa, especialmente em áreas onde a infraestrutura de drenagem é limitada.

4.3.2 Metas

As metas de curto, médio e longo prazo propostas (Quadro 28) para o PDDU de Boa Vista, Roraima, são essenciais para estabelecer diretrizes claras e escalonadas que promovam uma drenagem eficiente e sustentável. Essas metas foram elaboradas com o objetivo de abordar problemas de escoamento superficial e inundações de maneira sistemática e progressiva.

As metas de curto prazo são pragmáticas e focam na melhoria imediata da infraestrutura de drenagem, visando reduzir os impactos das enchentes que afetam a população de Boa Vista. O foco em capacitação é crucial para garantir que as fases subsequentes do PDDU sejam executadas com eficiência.

As metas de médio prazo apresentam um equilíbrio entre a expansão física das infraestruturas de drenagem e a atualização de políticas públicas, o que é essencial para criar um sistema robusto e sustentável. A integração das bacias ao espaço urbano também é um diferencial importante, promovendo tanto a drenagem quanto a qualidade de vida da população.

As metas de longo prazo refletem uma visão estratégica voltada para a manutenção e aprimoramento contínuo da infraestrutura de drenagem, garantindo a longevidade das soluções implementadas. A ampliação do PDDU e a inclusão de programas de conscientização são passos importantes para consolidar uma cultura de sustentabilidade e resiliência em Boa Vista.

Quadro 28 - Sugestão de metas de curto, médio e longo prazo e diretrizes correspondentes para o PDDU de Boa Vista, Roraima.

Horizonte	Metas	Diretrizes Correspondentes	PDDU de origem da meta
Curto prazo (até 5 anos)	Realizar diagnóstico completo do sistema de drenagem existente.	Implementar monitoramento contínuo das redes de drenagem	São José do Rio Preto, São Paulo
	Identificar áreas críticas sujeitas a alagamentos e enchentes.	Integrar o planejamento de drenagem com a análise de riscos em áreas urbanas	Curitiba, Paraná Vitória, Espírito Santo
	Implementar soluções imediatas para problemas críticos identificados.	Priorizar manutenção preventiva e intervenções rápidas	São José do Rio Preto, São Paulo
Médio prazo (de 5 a 10 anos)	Expandir e modernizar a infraestrutura de drenagem em áreas de maior risco.	Introduzir técnicas compensatórias, como pavimentos permeáveis e jardins de chuva	São Paulo, São Paulo
	Desenvolver projetos-piloto de soluções baseadas na natureza para infiltração de águas pluviais.	Proteção e expansão de áreas verdes para aumentar a infiltração	Rio de Janeiro, Rio de Janeiro
	Promover campanhas de conscientização pública sobre a importância do manejo adequado das águas pluviais.	Integração de iniciativas educativas e participação da comunidade	Curitiba, Paraná São Paulo, São Paulo
Longo prazo (de 10 a 20 anos)	Implementar um sistema de drenagem urbana sustentável e resiliente, integrado ao plano diretor da cidade.	Integração do planejamento de drenagem ao plano diretor municipal	Vitória, Espírito Santo Porto Alegre, Rio Grande do Sul
	Estabelecer reservatórios de retenção temporária (piscinões) em pontos estratégicos da cidade para controle de enchentes.	Construção de piscinões para retenção de águas pluviais em eventos de chuva intensa	Porto Alegre, Rio Grande do Sul
	Revisar e atualizar continuamente o plano de drenagem com base em novos dados climáticos e de uso do solo.	Adaptação e revisão contínua das diretrizes conforme mudanças climáticas e urbanização	Curitiba, Paraná São Paulo, São Paulo

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação das bacias de retenção no loteamento Monte Caburaí revelou-se tecnicamente viável, atendendo aos critérios essenciais de controle de cheias e gestão de escoamento superficial. A análise do dimensionamento confirmou que as bacias projetadas cumprem os requisitos técnicos necessários, assegurando o controle das vazões de pico e a minimização dos riscos associados a inundações.

Especificamente, as bacias de retenção no Caburaí I e II foram planejadas com uma dupla função: controle hidráulico e promoção de áreas verdes integradas ao ambiente urbano. A bacia no Caburaí I, composta por uma praça circundada por uma pista de *cooper* e um reservatório a céu aberto, e a bacia no Caburaí II, que integra uma quadra poliesportiva, foram estrategicamente posicionadas para maximizar a segurança dos pedestres durante eventos de precipitação, enquanto contribuem para a harmonia paisagística do entorno.

Além dos benefícios hidráulicos, a criação dessas áreas multifuncionais oferece significativos benefícios socioambientais, incluindo a melhoria da qualidade de vida dos moradores, ao proporcionar espaços para atividades recreativas e esportivas, como a pista de *cooper* e a quadra poliesportiva. Adicionalmente, essas áreas verdes contribuem para mitigar os efeitos das ilhas de calor urbano, melhorar a qualidade do ar e promover a biodiversidade local, ampliando a integração comunitária e a atratividade das áreas residenciais.

Para a efetiva integração das bacias de retenção no planejamento urbano de Boa Vista, Roraima, recomenda-se que as futuras intervenções considerem o planejamento harmonioso com o entorno, garantindo a segurança dos pedestres e a existência de exutórios adequados para a drenagem. É também fundamental o controle do aporte de sedimentos e lixo, a prevenção contra a contaminação por esgoto cloacal e a escolha de áreas onde o solo seja propício à presença de água, assegurando a conformidade com as regulamentações ambientais.

É importante destacar que o dimensionamento das bacias de retenção foi realizado com sucesso, atingindo integralmente o primeiro objetivo do estudo, que consistia em avaliar a viabilidade técnica da implementação de bacias de retenção para o controle de inundações no loteamento Monte Caburaí.

Esse objetivo foi alcançado, uma vez que dependia diretamente do dimensionamento e do projeto das bacias de retenção. No entanto, o segundo e o terceiro objetivos serão integralmente atendidos apenas após a implementação das bacias no loteamento Monte Caburaí, o que, por sua vez, está condicionado à adoção e regulamentação do uso de bacias de retenção no planejamento de drenagem urbana do município de Boa Vista, Roraima.

Para consolidar o conhecimento obtido neste estudo e ampliar as possibilidades de aplicação das bacias de retenção em diferentes contextos urbanos, é essencial continuar explorando e aprofundando as questões levantadas. Assim, como sugestões de pesquisas futuras e complementares a este trabalho, destacam-se:

- Mapeamento detalhado e caracterização geotécnica: Realizar um mapeamento detalhado e a caracterização geotécnica dos materiais presentes na bacia do Rio Cauamé. Este estudo permitiria a criação de um zoneamento preciso para a instalação de sistemas de drenagem sustentáveis que preservem a qualidade ambiental da região.
- Estimativa de custos e desempenho técnico: Desenvolver estudos que estimem os custos de implementação, manutenção e operação das bacias de retenção, aliados a uma análise comparativa do desempenho técnico, econômico e operacional dessas estruturas em diferentes cidades amazônicas. Este estudo poderia ajudar a entender como as características geográficas, edáficas e hidrológicas afetam esses fatores.
- Avaliação do impacto socioambiental de longo prazo: Investigar os impactos socioambientais de longo prazo das bacias de retenção em áreas urbanas, com foco em sua contribuição para a sustentabilidade urbana, qualidade de vida, e resiliência climática.

Por fim, ressalta-se que este trabalho confirma que as bacias de retenção, além de eficazes no controle de inundações, contribuem diretamente para os ODS 6 e ODS 11 ao melhorar a gestão hídrica e a resiliência urbana e, indiretamente, fortalecem o ODS 13 ao mitigar impactos climáticos. O que demonstra que soluções de drenagem podem ser integradas ao planejamento sustentável, promovendo benefícios técnicos e socioambientais essenciais para o desenvolvimento urbano sustentável.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, M. de S. P.; POLETO, C. Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana: Dispositivos. **Holos Environment**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 121-131, 2012. Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/3054>. Acesso em: 4 mar. 2024.

ARAUJO, R. P. Z.; CAMPANTE, A. L. G.; PINHEIRO, C. B. Planejamento urbano e a dimensão integradora da questão ambiental: Revisitando instrumentos de política urbana para o enfrentamento da emergência climática. **Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (Ipea)**: Brasília, v. 3, s. n., p. 13-30. 2024. DOI: <https://dx.doi.org/10.38116/978-65-5635-069-1/capitulo1>. Acesso em 24 ago. 2024.

ARAUJO JUNIOR, A. C. R.; AZEVEDO, A. K. A. Planejamento urbano ambiental de Boa Vista-RR: uma abordagem preliminar para prevenção do risco a inundação. **Ciência Geográfica**: Bauru, v. 27, n. 2, p. 1040-1054. jan./dez. 2023. DOI: <https://doi.org/10.57243/26755122.XXVII2041>. Acesso em: 04 jul. 2024.

ARAUJO, A. C. S. et al. Aplicação do método de Puls no amortecimento de cheias – Carangolas (MG). In: XIV Encontro Nacional de Águas Urbanas. **ABRHidro**, p. 1-9. 2022. Disponível em: https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/189/XIV-ENAU_IV-SRRU0016-1-0-20220818-222205.pdf. Acesso em: 29 jun. 2024.

ARAUJO, B. J. R. S. et al. Bacias de retenção e impactos ambientais: uma análise da intervenção sobre o córrego São Francisco/Assis das Chagas, Belo Horizonte – Minas Gerais. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 23, n. 87, p. 19–35, 2022. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/58797>. Acesso em: 7 mar. 2024.

ARAÚJO, W. F. et al. Atualização da classificação climática de Boa Vista, Roraima, Brasil. **Nativa**, Sinop, v. 12, n. 2, p. 236-240. 2024. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v12i2.16202>.

BALLARD, B. W. et al. **The SUDS Manual**. Londres: CIRIA – Construction Industry Research and Information Association, 2007. 599 p. Disponível em: <https://www.yumpu.com/en/document/view/25243837/suds-manual-c697>. Acesso em: 4 de mar. 2024.

BARBASSA, A. P. et al. Poço de infiltração para controle de enchentes na fonte: avaliação das condições de operação e manutenção. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 91-107, abr./jun. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000200007>. Acesso em: 4 de mar. 2024

BARRETO, P. A. et al. Morar perto de áreas verdes é benéfico para a saúde mental? Resultados do Estudo Pró-Saúde. **Revista de Saúde Pública**, [S.L.], v. 53:75, p. 1-10, set. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2019053001008>. Acesso em: 7 mar. 2024.

BATTEMARCO, B. P. et al. Sistemas de espaços livres e drenagem urbana. *Paisagem e Ambiente*, [S.L.], n. 42, p. 55-74, 19 dez. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i42p55-74>>. Acesso em: 4 de mar. 2024

BELL, S. et al. The importance of nature in mediating social and psychological benefits associated with visits to freshwater blue space. *Landscape and Urban Planning*, S. l., v. 167, s. n., p. 118-127, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.06.003>>. Acesso em: 25 jun. 2024.

BENINI, S. M. **Áreas Verdes Públicas: a construção do conceito e a análise geográfica desses espaços no ambiente urbano.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. 283 p., 2009.

BENINI, S. M. **Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana:** estudo de caso da cidade de Tupã/SP. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. 220 p., 2015.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **4º diagnóstico de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.** Brasília: SNS; MDR, 2020. 185 p.

CAMPOS, J. C. B. et al. Proposta de avaliação da qualidade de vida e do bem-estar em áreas verdes urbanas. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 97-115, jul./set. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000300540>. Acesso em: 7 mar. 2024.

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R. S. F. V., KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. *Saúde Debate*, Rio de Janeiro, v. 43, n. 3, p. 94-108, 2019. Disponível em: <DOI: 10.1590/0103-11042019S307>. Acesso em: 12 jun. 2024.

CORRÊA, A.; REDIN, R. **Prefeitura vai avaliar instalação de equipamentos na Praça Júlio Andreatta.** 2021. Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/smgov/noticias/prefeitura-vai-avaliar-instalacao-de-equipamentos-na-praca-julio-andreatta>. Acesso em: 7 mar. 2024.

CRUZ, M. A. S. et al. **Valorização da Água no Meio Urbano: Um Desafio Possível.** Porto Alegre, 2001.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.

ENGELHARDT, R. C. B.; SILVA, A. F.; NÓBREGA, S. L. Simulação de inundação utilizando software HEC-RAS e modelo de elevação MERIT, análise de situação em Boa Vista, Roraima, Brasil. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, São José dos Pinhais, v. 17, n. 4, p. 1-17, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.4-105.

FARIAS, M. V. A.; VERAS, A. S. S.; PAIXÃO, S. U. A. Degradação do corpo hídrico no urbano em Boa Vista, RR. *Texto e Debates*: Boa Vista, s. v., n. 18, p. 129-138. DOI: <https://doi.org/10.18227/2317-1448ted.v1i18.1174>. Acesso em: 27 jul. 2024.

FERRAZ, L. et al. How urban green areas influence different dimensions of sustainable behaviour. **Revista de Administração da UFSM**, [S.l.], v. 16, n. 1, e-6, mar. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1983465969508>. Acesso em: 7 mar. 2024.

FERREIRA, X. C. Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável como meio de controle de inundações. **Revista do Ministério Público do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, v. 1, n. 90, p. 257-273, set. 2022. Disponível em: <https://revistadomprs.org.br/index.php/amprs/article/view/253/137>. Acesso em: 4 mar. 2024.

FRANCO, E. J. **Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método Racional**. 2004. 155 f. dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Ambiental, 2004, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

GONÇALVES, L. M.; BAPTISTA, L. F. S.; RIBEIRO, R. A. **O uso de técnicas compensatórias de drenagem para controle dos impactos da urbanização**. In: OTTONI, A. B. et al. *Drenagem Urbana: Soluções alternativas sustentáveis*. Tupã: ANAP, 2018. 118 p.

G1 Roraima. **Roraima registra piores enchentes dos últimos 35 anos**. 2011. Disponível em: <https://g1.globo.com/brasil/noticia/2011/06/roraima-registra-piores-enchentes-dos-ultimos-35-anos.html>. Acesso em: 19 jun. 2024.

HERNANDEZ, Luis Carlos; SZIGETHY, Leonardo. **Controle de enchentes: exemplos do uso da tecnologia e inovação para o controle de enchentes**. 2021. In: INSTITUTO PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/en/topics/231-controle-de-enchentes>. Acesso em: 14 jan. 2024.

SILVA, P. R. F.; ALMEIDA, M. M.; ROCHA, R. A. A segregação como conteúdo da nova morfologia urbana de Boa Vista, Roraima. **Revista Acta Geográfica**: [S. l.], v. 3, n. 6, p. 47-53. dez. 2009. DOI: 10.5654/actageo2009.0306.0005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Panorama da cidade Boa Vista, Roraima 2022**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rr/boa-vista/panorama>. Acesso em: 26 jun. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Panorama Brasil: Censo 2022**. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 25 jun. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Balanço: Boa Vista (RR) teve chuva acima da média em julho de 2023**. 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/balan%C3%A7o-boa-vista-rr-teve-chuva-acima-da-m%C3%A9dia-em-julho-de-2023>. Acesso em: 04 jul. 2024.

JUNIOR, M. F. S. et al. **Desempenho do modelo IPH II para estimativa de vazões diárias na bacia do Rio Teles Pires – MT**. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis: ABRH. 2017. p. 1-8. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/60/PAP022130.pdf> >. Acesso em 7 jun. 2024.

JUNIOR, A. C. R. A. et al. Ocupação e uso na bacia hidrográfica do igarapé Grande - Boa Vista - Roraima - Brasil. **Revista Territorium Terram**: [S. l.], v. 7, n. 12, p. 393-413. mai. 2024.

JUNIOR, Celino Ribeiro Juvêncio. et al. **Bacias de retenção como alternativa de drenagem sustentável para o controle de escoamento superficial e criação de áreas verdes e de lazer**. In: V Seminário Nacional ProfÁgua. Agência Nacional de águas e Saneamento Básico (ANA). Brasília: 2023. Disponível em: https://www.feis.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/profagua/celino-juvencio-ribeiro-pereira-junior_ufr.pdf. Acesso em: 25 jan. 2024.

JUNIOR, C. A. B.; LONGO, R. M.; LIMA, G. T. N. P. Utilização de sistemas de drenagem urbana sustentável (SUDS) como ferramenta ao cumprimento ao ODS 11. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, Miami, v. 18, n. 10, p. 1-18., 2024.

LEE, J. S.; LI, M. The impact of detention basin design on residential property value: Case studies using GIS in the hedonic price modeling. **Landscape and Urban Planning**, v. 89, n. 1-2, p. 7-16, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.09.002>. Acesso em: 4 mar. 2024.

LIMA, H. M. et al. Bacias de retenção para gestão do escoamento: métodos de dimensionamento e instalação. **Revista Escola de Minas**, [S.l.], v. 59, n. 1, p. 97-109, mar. 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0370-44672006000100013>. Acesso em: 5 mar. 2024.

LIMA, V.; AMORIM, M. C. C. T. A importância das áreas verdes para a qualidade ambiental das cidades. **Formação**, [S. l.], v. 1, n. 13, 2011. DOI: 10.33081/formacao.v1i13.835. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/835>. Acesso em: 5 mar. 2024.

LIMA, M. F. S.; VITAL, M. J. S. **Distribuição especial e perfil de usos de Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, RR**. p. 3-19. 2022. In: WANKLER, F. L. et al. A bacia hidrográfica do Rio Cauamé. 1. ed. São Carlos: RiMa, 2022. 196 p.

LINS, R. C. **Modelagem hidráulica do canal Beira Rio nos cenários de requalificação do curso d'água e de implantação de bacia de retenção**. 2019. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/35809>. Acesso em: 6 mar. 2024.

LOBODA, C. R.; DE ANGELIS, B. L. D. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. **Ambiência**, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 125-139, jan./jul. 2005. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/viewFile/157/185>. Acesso em: 4 mar. 2024.

LOPES, G. S.; MENESES FILHO, A. de S. Análise de desempenho dos dispositivos de saída para reservatórios de retenção no controle de cheias urbanas em Fortaleza. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica**, [S.l.], p. 1058-1079, 6 dez. 2022. Universidad Nacional Autonoma de Mexico. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.3.80375>. Acesso em: 6 mar. 2024.

LOURENCETTI, A. J. et al. Técnicas Facilitadoras De Infiltração – Sistemas de Drenagem Alternativos. **Brazilian Journal Of Development**, [S.l.], v. 6, n. 4, p. 17572-17586, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-069>. Acesso em: 5 mar. 2024.

LOURA, A. P.; FILHO, P. A. S. **Ocupação urbana e usos do solo em um trecho do baixo Rio Cauamé, Zona Leste da cidade de Boa Vista, RR**. p. 83-103. In: WANKLER, F. L. et al. A bacia hidrográfica do Rio Cauamé. 1. ed. São Carlos: RiMa, 2022. 196 p.

LOURENÇO, R. R. de A. **Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis**. 2014. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Especialização em Construção Urbana, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2014. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/14071/1/Rossana-Lourenco.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2024.

MAGALHÃES, R. F.; WANKLER, F. L.; SANDER, C. **Hidrologia de superfície da bacia do Baixo Rio Cauamé**. p. 59-81. In: WANKLER, F. L. et al. A bacia hidrográfica do Rio Cauamé. 1. ed. São Carlos: RiMa, 2022. 196 p.

MATIAS, M. G. B. **Bacias de retenção estudo de métodos de dimensionamento**. 2006. 237 f. Dissertação (Mestrado) – Mestre em Engenharia Civil, especialidade de Vias de Comunicação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/11929?locale=pt>. Acesso em: 6 mar. 2024.

MELO, T. A. T. et al. Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 53-72, jul./set. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000300092>. Acesso em: 4 mar. 2024.

NAKADONE, Lucia Midori. **Implantação de reservatórios de detenção em conjuntos habitacionais: a experiência da CDHU**. 2005. 305 f. Universidade de São Paulo: Mestrado em Engenharia. 2005. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-13042006-210759/publico/ImplantacaoReservatoriosDetencao.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.

NASCIMENTO, N. O. et al. Using detention basins: operational experience and lessons. **Urban Water**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, p. 113-124, 1999. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00009-1](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00009-1)>. Acesso em: 25 jun. 2024.

NAVEGA SP. **Entenda as diferenças entre enchente, inundação e alagamento**. 2023. Disponível em: <<https://navegasp.org.br/entenda-as-diferencas-entre-enchente-inundacao-e-alagamento/>>. Acesso em: 04 jul. 2024.

NETO, R. A. R.; COSTA, J. A. V. Mapeamento de unidades geomorfológicas da bacia do Rio Cauamé – RR. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 3-10. 2010.

OJB. **Conrad Sauer Detention Basin Park**. 2021. Disponível em: <https://www.ojb.com/work/conrad-sauer-detention-basin-park/> Acesso em: 7 mar. 2024.

PAULA, A. C. V. **Estudo experimental e modelagem da lagoa de detenção do Guará – DF: comportamento no amortecimento de cheias e na alteração da qualidade da água**. 2019. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Tecnologia Ambiental e

Recursos Hídricos, Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2020/02/Disserta%C3%A7%C3%A3o-ANA-CAROLINA-226-19.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2024.

PELLEGRINO, P. R. M. et al. **A paisagem da borda: uma estratégia para a condução das águas, da biodiversidade e das pessoas**. p. 57-76. In: COSTA, L. M. S. Rios e paisagens urbanas em cidades brasileiras. Rio de Janeiro: PROURB, 2006. 192 p.

PERONI, C.S. L.; TEIXEIRA, B. A. N. Comparação de métodos para dimensionamento de bacias de retenção no manejo de águas pluviais: estudo de caso em Araraquara – SP. **Revista DAE**. São Paulo, v. 71, n. 241, p. 48-64. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.36659/dae.2023.038>. Acesso em: 26 jun. 2024.

PINHEIRO, Cristiane Borda. **Políticas urbanas de manejo de águas pluviais em Belo Horizonte: novos caminhos em meio a velhas práticas**. 2019. 291 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/30627>. Acesso em: 24 ago. 2024.

POLO, Fernanda. **Praça revitalizada do 4º Distrito será entregue no dia 20 de abril**. 2021. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/porto-alegre/noticia/2021/04/praca-revitalizada-do-4o-distrito-sera-entregue-no-dia-20-de-abril-cknhvi5jb000r01984u8h53c9.html>. Acesso em: 7 mar. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, RIO GRANDE DO SUL. **Decreto nº 18.611**, de 9 de abril de 2014. Regulamenta o controle da drenagem urbana e revoga os itens 4.8.6, 4.8.7 e 4.8.9 do Decreto nº 14.786, de 30 de dezembro de 2004 – Caderno de encargos do DEP – e o Decreto nº 15.731, de 17 de novembro de 2006. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/rs/p/porto-alegre/decreto/2014/1862/18611/decreto-n-18611-2014-regulamenta-o-controle-da-drenagem-urbana-e-revoga-os-itens-486-487-e-489-do-decreto-n-14786-de-30-de-dezembro-de-2004-caderno-de-encargos-do-dep-e-o-decreto-n-15371-de-17-de-novembro-de-2006>. Acesso em: 12 jul. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, PARANÁ. **Decreto nº 1.733**, de 18 de dezembro de 2020. Dispõe sobre os critérios para implantação dos mecanismos de contenção de cheias para retenção e/ou detenção de águas pluviais. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/decreto/2020/174/1733/decreto-n-1733-2020-dispoe-sobre-os-criterios-para-implantacao-dos-mecanismos-de-contencao-de-cheias-para-retencao-e-ou-detencao-de-aguas-pluviais>. Acesso em: 12 jul. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO, SÃO PAULO. **Decreto nº 10.290**, de 24 de dezembro de 2008. Cria no município o Programa Permanente de Gestão das Águas Superficiais (PGAS) da bacia hidrográfica do Rio Preto e dá outras providências. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/sp/s/sao-jose-do-rio-preto/lei-ordinaria/2008/1029/10290/lei-ordinaria-n-10290-2008-cria-no-municipio-o-programa-permanente-de-gestao-das-aguas-superficiais-pgas-da-bacia-hidrografica-do-rio-preto-e-da-outras-providencias?r=c>. Acesso em: 12 jul. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO, RIO DE JANEIRO. **Resolução SMG/SMO/SMU nº 001**, de 27 de janeiro de 2005. Disciplina os procedimentos a serem

observados no âmbito dessas secretarias para o cumprimento do Decreto nº 23940 de 30 de janeiro de 2004. Disponível em:

<http://www.rio.rj.gov.br/documents/91265/148105/21_ResConjsmsgsmosmu01-05-Dec23940.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA, ESPÍRITO SANTO. **Plano Diretor de Drenagem Urbana do Município de Vitória**. PMV: Vitória. 2008. 154 p. Disponível em: <https://sites.vitoria.es.gov.br/pddu/storage/2015/09/resumo_do_pddu.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2024.

RIGHETTO, A. M. et al. **Manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro: Abes, 2009. 396 p.

ROCHA, L. A. et al. Influência da estimativa do tempo de concentração no dimensionamento de um reservatório de retenção. **Revista Valores**, v.7, e-7008, 2022. Disponível em: <https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/614/928>. Acesso em: 6 mar. 2024.

RODRIGUES, Caíque. **Moradores ficam com água até os joelhos em bairros inundados por chuvas em Boa Vista: 'ilhados'**. G1 RORAIMA. 2022. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rr/roraima/noticia/2022/05/21/moradores-ficam-com-agua-ate-a-cintura-em-bairros-inundados-por-chuvas-em-boja-vista-ilhados.ghtml>>. Acesso em 04 jul. 2024.

RODRÍGUEZ, C. A. M.; TEIXEIRA, B. A. N. Avaliação de bacias de retenção de águas pluviais implantadas no município de São Carlos (SP), Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.l.], v. 26, n. 1, p. 143-150, fev. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1413-415220190034>. Acesso em: 7 mar. 2024.

RODRÍGUEZ, Carlos Andrés Martínez; TEIXEIRA, Bernardo Arantes do Nascimento. Avaliação de bacias de retenção de águas pluviais implantadas no município de São Carlos (SP), Brasil. **Engenharia Sanitária Ambiental**: [S. l.], v. 26, n. 1, p. 143-150, jan./fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-415220190034>.

SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sorocaba). **População comemora a entrega do Reservatório de Retenção de Cheias**. 2019 Disponível em: <https://www.saaesorocaba.com.br/populacao-comemora-a-entrega-do-reservatorio-de-detencao-de-cheias/>. Acesso em: 7 mar. 2024.

SAHU, M. K.; SHWETHA, H. R.; DWARAKISH, G. S. State-of-the-art hydrological models and application of the HEC-HMS model: a review. **Modeling Earth Systems and Environment**, [S. l.], v. 9, s.n., p. 3029-3051, 2023.

SALUSTIANO, Camilla. **Tempestade causa alagamento de casas e ruas em Boa Vista**. FOLHA BV. 2024. Disponível em: <<https://www.folhabv.com.br/cotidiano/tempestade-causa-alagamento-de-casas-e-ruas-em-boja-vista/>>. Acesso em: 04 jul. 2024.

SILVA, J. P. da. **Modelo para pré-dimensionamento de bacias de retenção para controle da poluição difusa das águas pluviais no município de Porto Alegre**. 2009. 140 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento

Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/34135/000786263.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2024.

SILVA, M. K. **Estudos preliminares para implantação de trincheiras de infiltração**. 2007. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.realp.unb.br/jspui/handle/10482/2655?locale=fr>. Acesso em: 5 mar. 2024.

SILVA, S. T. B. et al. Potencialidade de uso não potável de água de lagoa de retenção. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.l.], v. 24, n. 5, p. 1061-1070, out. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019190821>. Acesso em: 6 mar. 2024.

SOUSA, S. P. C. **Avaliação do impacto da urbanização sobre o escoamento superficial por meio de simulação hidrológica**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. 72 f. Disponível em: https://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/copy_of_2016.1/avaliacao-do-impacto-da-urbanizacao-sobre-o-escoamento-superficial-por-meio-de-simulacao-hidrologica.pdf. Acesso em: 25 jun. 2024.

STRUCKER, D.; NETA, L. C. B.; JÚNIOR, S. S. T. **Compartimentação da paisagem da bacia hidrográfica do Rio Cauamé, RR: uma análise da fragilidade à erosão do solo**. p. 21-37. 2022. In: WANKLER, F. L. et al. A bacia hidrográfica do Rio Cauamé. 1. ed. São Carlos: RiMa, 2022. 196 p.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL (SUDERHSA). **Plano diretor de drenagem para a bacia do rio Iguaçu na região metropolitana de Curitiba**. Curitiba: CH2MHILL, 2022. 150 p.

TASSI, R. et al. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 139-154, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000100012>

TISCHER, Equações de chuvas intensas no Estado de Roraima. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Roraima. 2015. 63 f.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-27, 2002. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/231957/000323373.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 jun. 2024.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos para obras municipais**. Urca: São Paulo, 2002. 452 p.

APÊNDICES

Apêndice A – Nota técnica: Viabilidade técnica e benefícios das bacias de retenção no Loteamento Monte Caburaí, Boa Vista, Roraima

VIABILIDADE TÉCNICA E BENEFÍCIOS DAS BACIAS DE DETENÇÃO NO LOTEAMENTO MONTE CABURAI, BOA VISTA-RR

2024

CELINO JUVÊNCIO RIBEIRO PEREIRA JUNIOR
PEDRO ALVES DA SILVA FILHO
OFÉLIA DE LIRA CARNEIRO SILVA



SUMÁRIO EXECUTIVO

A cidade de Boa Vista, Roraima, possui um Plano Diretor instituído pela Lei Municipal nº 924/2006. Entretanto, ainda carece de revisões para se adequar aos requisitos de sustentabilidade, incluindo a criação do Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU). A discussão sobre a ocorrência de eventos de chuvas na cidade é essencial para a compreensão da necessidade e da eficácia de bacias de retenção no controle urbano de inundações.

A zona Oeste da cidade de Boa Vista, Roraima, todos os anos, sofre com inundações e alagamentos recorrentes no período chuvoso e a falta de um sistema de drenagem eficiente aliado às características do relevo predominantemente plano do município.

A crescente urbanização no loteamento Monte Caburáí, Boa Vista, Roraima acrescenta a preocupação com os problemas de alagamento devido à impermeabilização do solo. Para mitigar esses eventos, foi avaliada a implementação de bacias de retenção como uma solução eficaz para o controle do escoamento superficial, proporcionando, ainda, a criação de áreas verdes e espaços de lazer.

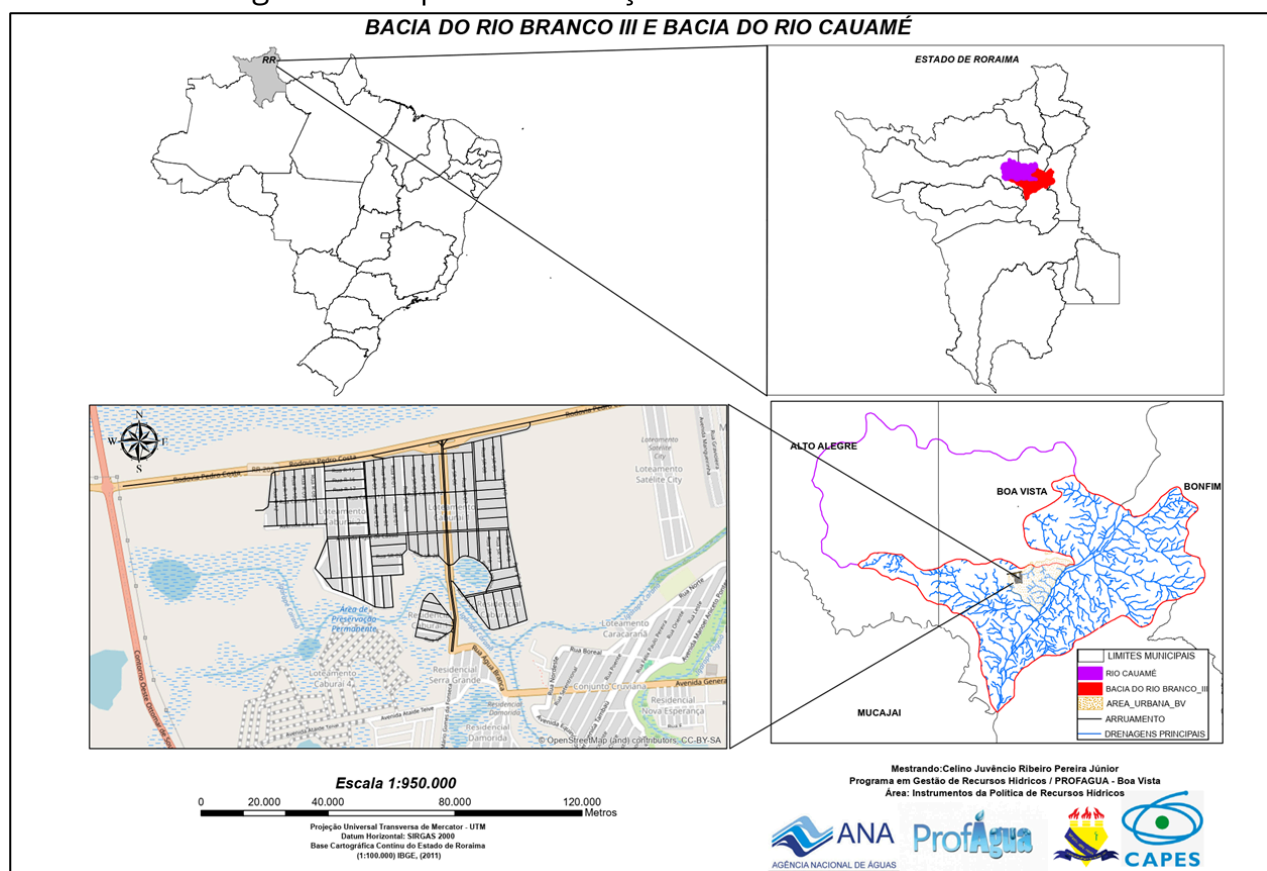
Dada a crescente urbanização e consequente impermeabilização do solo, o que provoca o aumento da frequência e a severidade de inundações e alagamentos, este documento se justifica pela importância da previsão de desafios significativos relacionados ao escoamento superficial inadequado no loteamento Monte Caburáí, na cidade de Boa Vista, Roraima. Assim ele avalia a viabilidade técnica da implementação de bacias de retenção como estratégia sustentável para mitigar inundações, melhorar a qualidade de vida dos moradores e criar áreas verdes e de lazer.

As bacias de retenção no Caburáí I e II foram planejadas com uma dupla função: controle hidráulico e promoção de áreas verdes integradas ao ambiente urbano. A bacia no Caburáí I, composta por uma praça circundada por uma pista de cooper e um reservatório a céu aberto, e a bacia no Caburáí II, que integra uma quadra poliesportiva, foram estrategicamente posicionadas para maximizar a segurança dos pedestres durante eventos de precipitação, enquanto contribuem para a harmonia paisagística do entorno.

VIABILIDADE TÉCNICA E BENEFÍCIOS DAS BACIAS DE DETENÇÃO NO LOTEAMENTO MONTE CABURAI, BOA VISTA, RORAIMA

O residencial Monte Caburaí está localizado no bairro Murilo Teixeira na zona Oeste da cidade de Boa Vista, capital do Estado de Roraima, Brasil (Figura 1) nas coordenadas 2°49'29.85" N e 60°47'12.62" O. Possui uma área aproximada de 167,28 ha, que foi dividida em subáreas para o loteamento, sendo a primeira, denominada Caburaí I, igual a 74,53 ha, e a segunda, Caburaí II, igual a 92,75 ha.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



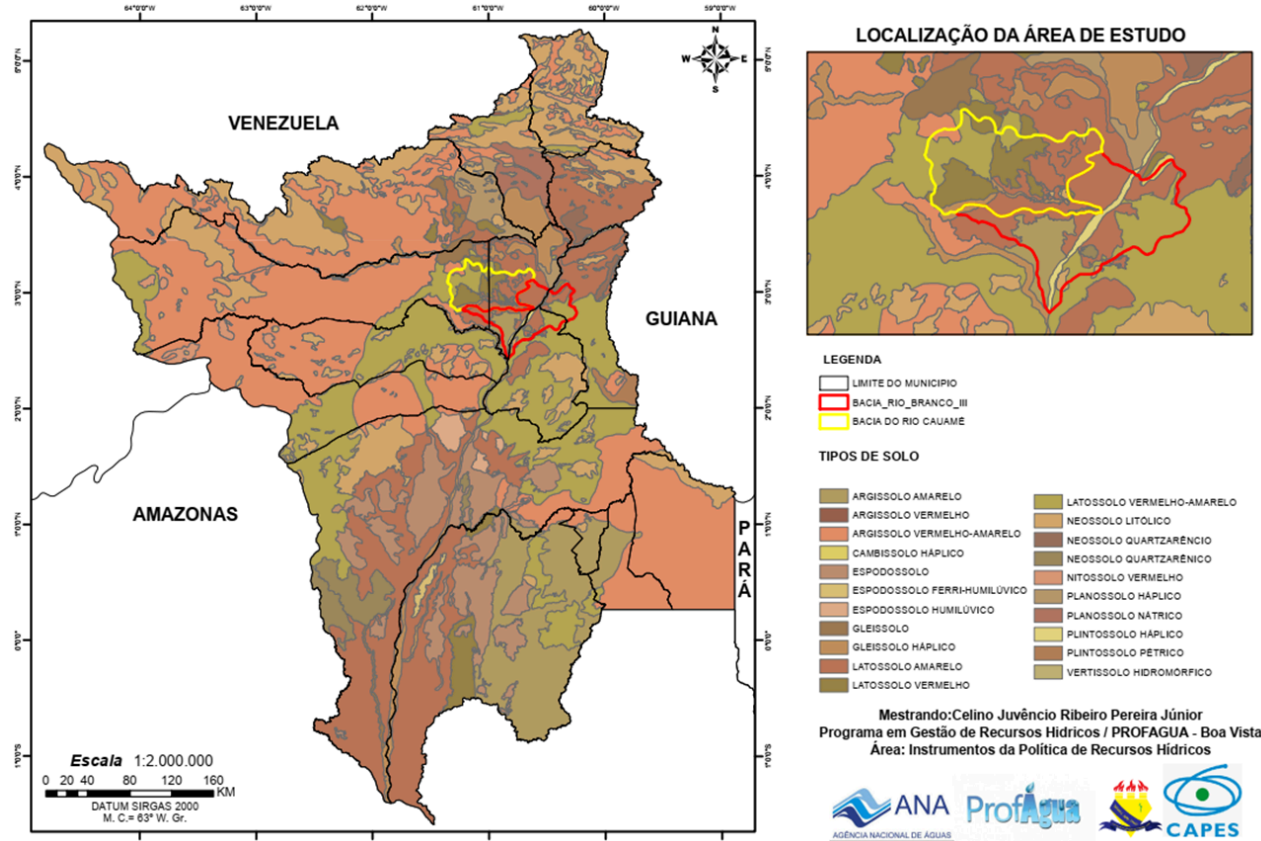
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O residencial Monte Caburaí está localizado no bairro Murilo Teixeira na zona Oeste da cidade de Boa Vista, capital do Estado de Roraima, Brasil (Figura 1) nas coordenadas 2°49'29.85" N e 60°47'12.62" O. Possui uma área aproximada de 167,28 ha, que foi dividida em subáreas para o loteamento, sendo a primeira, denominada Caburaí I, igual a 74,53 ha, e a segunda, Caburaí II, igual a 92,75 ha.

Boa Vista está situada na porção centro-oriental do Estado de Roraima, limitada ao Norte pelo município de Amajari, a Leste com o Bonfim e Cantá, Oeste com Alto Alegre e ao Sul com Mucajaí. A cidade de Boa Vista está localizada nas margens do Rio Branco, principal curso hídrico regional e entre seus afluentes, dos quais se destacam o Rio Cauamé e o Igarapé Grande.

É uma cidade planejada, possui uma área territorial de 5.687,037 km², e é a mais populosa do Estado com 413,4 mil habitantes e densidade demográfica de 72,71 hab/km² (IBGE, 2022). Geograficamente, é a única capital brasileira localizada no Hemisfério Norte, acima da linha do Equador e está inserida no bioma amazônico, caracterizando-se pelo crescimento dendrítico (Junior et al., 2024).

Figura 2 - Mapa de solos do Estado de Roraima com destaque para a área das bacias do Rio Branco III e Cauamé.

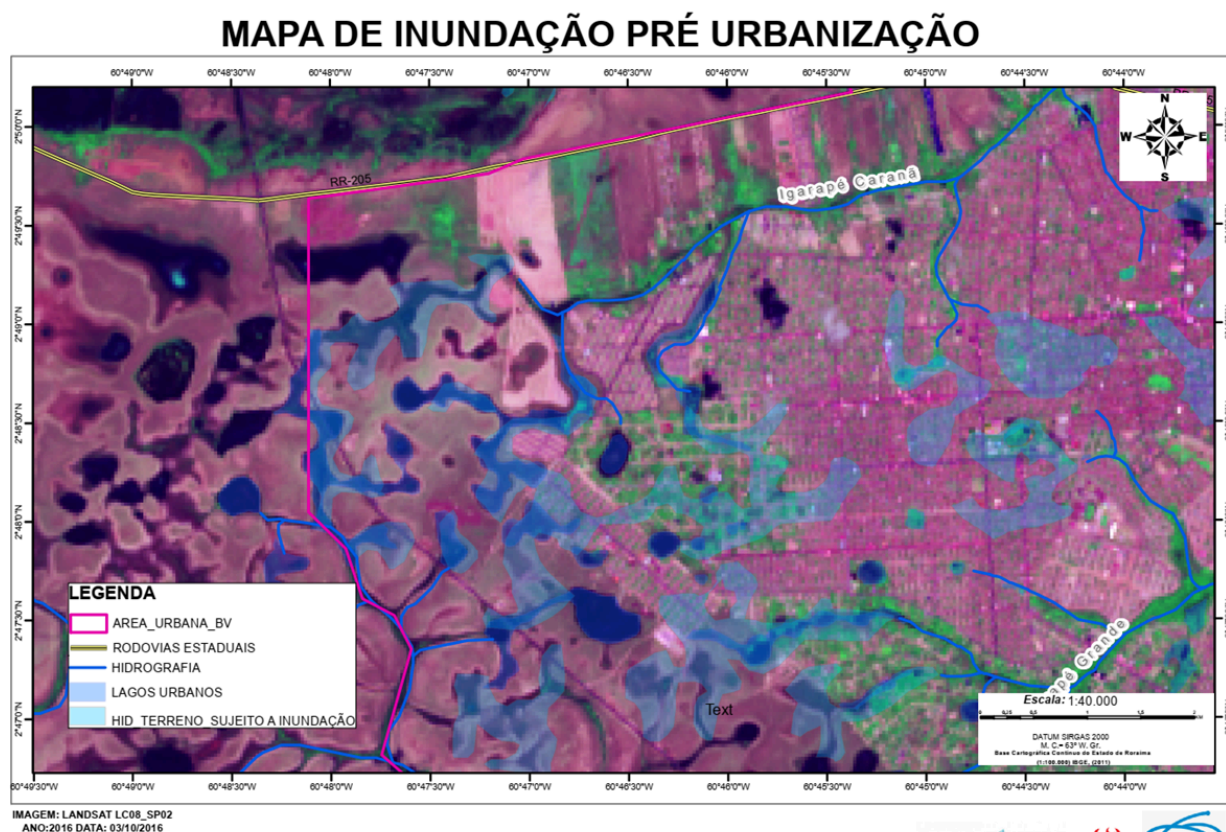


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

De acordo com a classificação de Koppen, o clima boa-vistense é Am, interpretado como tropical úmido, com chuvas de verão e temperatura média anual de 28,2°C, com médias mensais oscilando entre 26,8°C (julho) e 29,3°C (outubro). A pluviosidade média anual 1761,8 mm/ano, com a menor precipitação mensal em janeiro (29,1 mm), e a maior frequentemente observada em maio (347,3 mm).

Boa Vista possui dois períodos bem definidos anualmente: estiagem com média de 4 meses, entre dezembro e março (Araújo et al., 2024), e chuvoso nos demais meses, onde se concentra 80% do volume total de precipitação. Essa é uma das divergências em relação às demais cidades da Amazônia, onde o período chuvoso ocorre entre outubro e março (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007).

Figura 3 - Mapa de inundação do Loteamento Monte Caburaí no cenário pré-urbanizado.

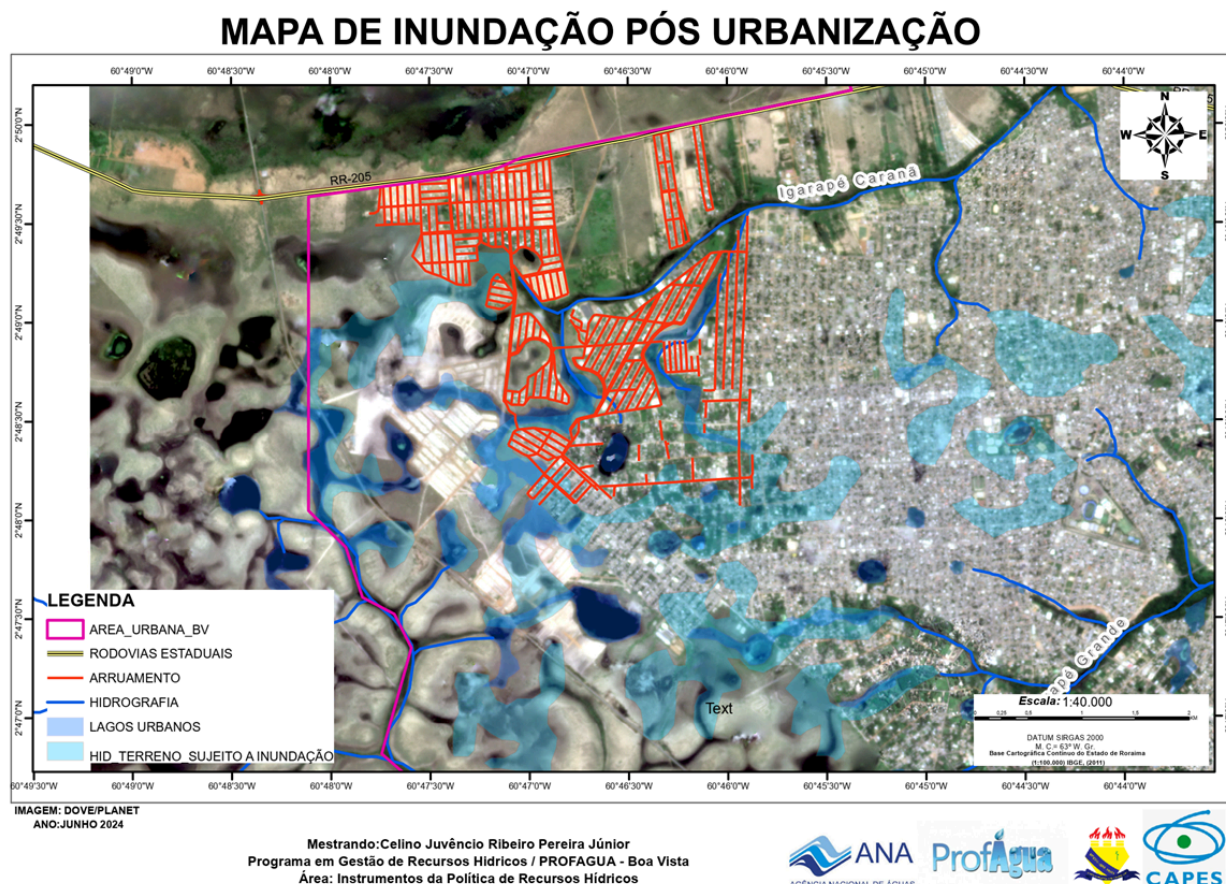


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Boa Vista possui dois períodos bem definidos anualmente: estiagem com média de 4 meses, entre dezembro e março (Araújo et al., 2024), e chuvoso nos demais meses, onde se concentra 80% do volume total de precipitação. Essa é uma das divergências em relação às demais cidades da Amazônia, onde o período chuvoso ocorre entre outubro e março (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007).

Apesar do loteamento Monte Caburaí estar geograficamente inserido na bacia do Rio Branco III (Figura 1), de acordo com a base dados do IBGE (2011), a caracterização morfométrica deste trabalho foi focada na bacia hidrográfica do rio Cauamé (BHRC), pois o loteamento é drenado por um tributário dessa bacia: o igarapé Caranã. A BHRC está situada na porção Nordeste do Estado de Roraima entre as coordenadas UTM: 680.000-309.000, 680.000-364.000, 767.000-309.000 e 767.000-364.000, abrangendo os municípios de Boa Vista e Alto Alegre (Neto; Costa, 2010).

Figura 4 - Mapa de inundação do Loteamento Monte Caburaí no cenário pós-urbanizado.



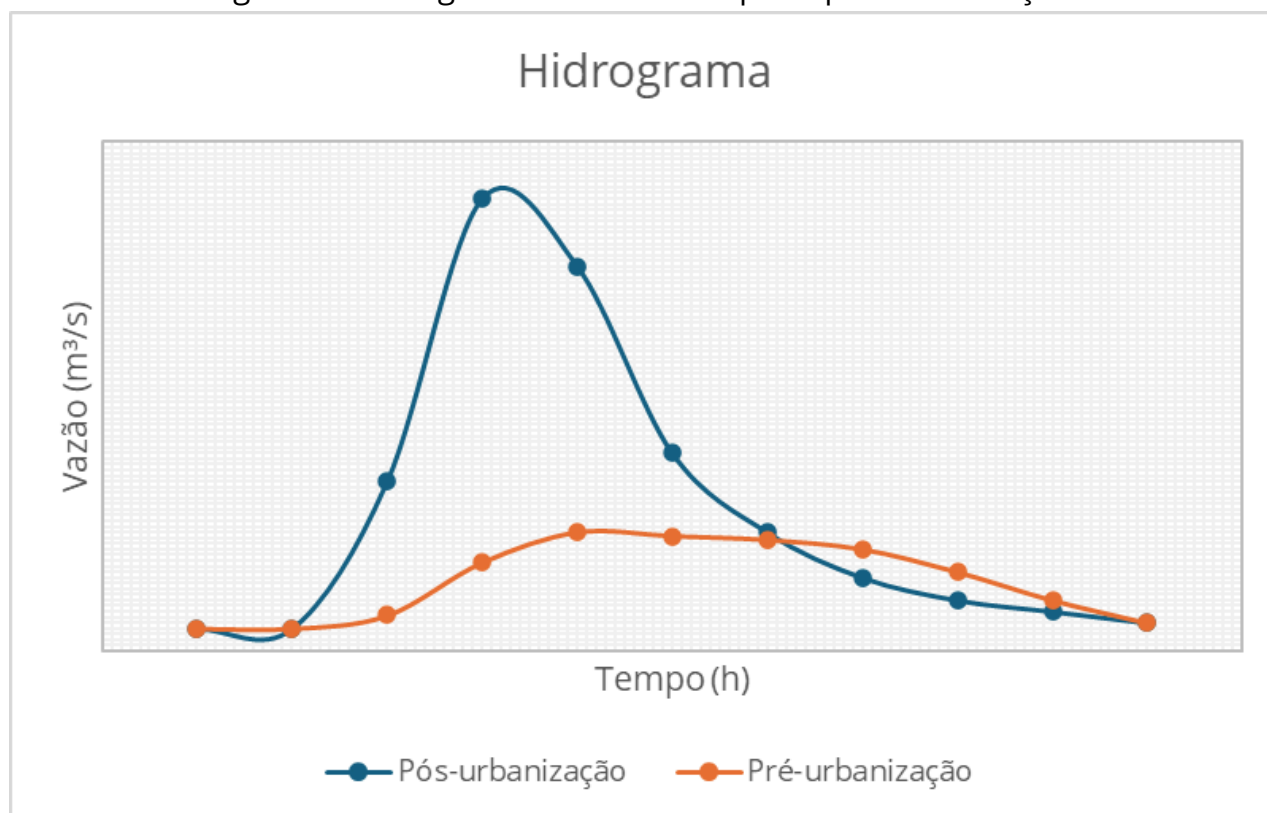
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A geomorfologia da bacia está relacionada à Depressão Boa Vista (trechos médio e inferior), com relevos de cotas variando entre 90 e 120 m (Magalhães; Wankler; Sander, 2022). O relevo da área é predominante aplainado, onde se desenvolvem tipos diferenciados de Latossolos (Figura 2) recobertos por uma vegetação savânica (Strucker; Neta; Junior, 2022). É notada a presença de inselbergs que se elevam na região. As áreas planas possuem altitudes variando de 80 m a 160 m e são constituídas pelo pediplano da cobertura sedimentar neogeno-pleistocênica da Formação Boa Vista (Santos; Wankler; Sander, 2022).

Os cenários de pré-urbanização (Figura 3) e pós-urbanização (Figura 4) do loteamento Monte Caburaí oferecem uma visão geoespacial da área, permitindo a avaliação de mudanças e de uso do solo ao longo do tempo. Ademais, através deles, foi possível identificar as áreas mais adequadas para a implantação das BDs.

A análise comparativa entre os cenários hipotéticos de pré e pós-urbanização gerou o hidrograma da vazão de pico em função do tempo de concentração (Figura 5).

Figura 5 - Hidrograma dos cenários pré e pós-urbanização.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Evidenciou-se que o crescimento populacional no loteamento resultará em um aumento significativo do escoamento superficial, consequência direta da redução na taxa de infiltração do solo. A implementação das bacias de retenção demonstrou eficácia na mitigação dos impactos hidrológicos adversos. Observando os cenários comparados, verifica-se que o incremento na vazão máxima alcança aproximadamente 406%.

Características Técnicas

As bacias de retenção foram dimensionadas utilizando o Método Racional (bacia de retenção 1) e o Método do PDDU de Curitiba (bacia de retenção 2). Geograficamente, a bacia de retenção I foi posicionada nas coordenadas 2°49'18.60"N 60°47'0.66"O e a bacia de retenção II nas coordenadas 2°49'23.80"N 60°47'20.42"O. Os pontos de descarga das duas bacias de retenção foram estrategicamente localizados em uma área de depressão natural, que coincide com a presença de um dos afluentes intermitentes do igarapé Caranã, caracterizado como um ponto natural de alagamento (Figuras 6, 7 e 8).

Figura 5 - Hidrograma dos cenários pré e pós-urbanização.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 7 - Vista aérea do local de implantação da bacia de retenção 1.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 8 - Vista aérea do local de implantação da bacia de retenção 2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

As bacias de retenção foram projetadas levando em consideração aspectos topográficos, hidrológicos e geotécnicos do Loteamento Monte Caburaí. Os resumos dos dimensionamentos podem ser consultados abaixo.

Resumo do dimensionamento da bacia de retenção I (BD1)

TEMPO DE CONCENTRAÇÃO		
DADOS DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO		
VARIÁVEIS	VALORES	UNIDADE
COT MAX	74	m
COT MIN	67	m
H	7	m
L	1617,86	m
L	1,61786	km
S	4,326703176	m/km

MÉTODO	tc	UNIDADE
Kirpch I	46,97198281	min
California	46,97198281	min
Kirpch modificado	70,21075325	min
Kirpch modificado -h	1,170179221	horas

CÁLCULO DA INTENSIDADE (I)		
INTENSIDADE	mm/h	mm/min
	87,63789407	1,460631568

CÁLCULO DE VAZÕES (Q)				
Q (m³/s)		DADOS DE ENTRADA		
		c	I (mm/h)	A (km²)
Qpré	7,482815522	0,6	87,63789407	0,5123
Qpós	9,977087363	0,8	87,63789407	0,5123

VOLUME DE DETENÇÃO - Vs(m³)	
Vs	10.544,48

VAZÃO QUE DEVERÁ SER RETIDO EM 60 MIN			
TEMPO DE DETIDO (S)	3.600,00	Qs=Vs/TD (m³/s)	2,92902235

Para o projeto, analisou-se que, como $QD < Qpré$, adotou-se para o projeto $Qpré$ como vazão de utilização de dimensionamento para o reservatório de retenção

VOLUME DE PROJETO (m³) PARA 60 MIN			
QP	7,48	VP	26.938,14

ÁREA DA BACIA DE DETENÇÃO - m²			
H	3,50 m	ÁREA	7.696,61 m²
DIMENSIONAMENTO DA SAÍDA DO RESERVATÓRIO			
QP	7,48 m³/s		
CD	0,61		
ÁREA O ORIFÍCIO (AO)	1,60 m	DIÂMETRO DO ORIFÍCIO	1,43 m
G	9,81m²/s	Adotar dois tubos de diâmetros de 1,00m	
H	3 m		

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Resumo do dimensionamento da bacia de retenção I (BD2)

TEMPO DE CONCENTRAÇÃO		
DADOS DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO		
VARIÁVEIS	VALORES	UNIDADE
COT MAX	74	m
COT MIN	67	m
H	7	m
L	1617,86	m
L	1,61786	km
S	4,326703176	m/km

MÉTODO	tc	UNIDADE
Kirpch I	46,97198281	min
California	46,97198281	min
Kirpch modificado	70,21075325	min
Kirpch modificado -h	1,170179221	horas

CÁLCULO DA INTENSIDADE (I)			
INTENSIDADE	mm/h	mm/min	m/h
	87,63789407	1,460631568	0,087637894

CÁLCULO DE VOLUME DETIDO(V)				
V (m³)		DADOS DE ENTRADA		
		k	I (m/h)	A (m²)
V	8.024,13	0,2	0,087637894	457800

ÁREA DA BACIA DE DETENÇÃO - m²			
H	3,00 m	ÁREA	2.674,71 m²

DIMENSIONAMENTO DA SAÍDA DO RESERVATÓRIO			
QP	2,23 m³/s		
CD	0,61		
ÁREA O ORIFÍCIO (AO)	0,52 m²	DIÂMETRO DO ORIFÍCIO	0,82 m
G	9,81 m/s²	Adotar 1 tubo de diâmetros de 1m	
H	2,50 m		

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Benefícios socioambientais

Além de sua função hidráulica, as bacias de retenção oferecem benefícios importantes, tais como:

- Redução das ilhas de calor urbano: A criação de áreas verdes contribui para a diminuição da temperatura em ambientes urbanos.
- Promoção da biodiversidade: As áreas vegetadas incentivam o aumento da fauna e flora local.
- Melhoria da qualidade do ar: A vegetação filtra poluentes, promovendo uma melhoria na qualidade do ar.
- Espaços recreativos: As bacias são usadas para lazer durante os períodos de estiagem, contribuindo para a qualidade de vida dos moradores.

Viabilidade Técnica

A viabilidade técnica das BDs no Loteamento Monte Caburaí foi avaliada com base em aspectos hidrológicos, geotécnicos e urbanísticos. As bacias propostas conseguem atenuar os picos de vazão com eficiência, contribuindo para a redução dos riscos de enchentes e alagamentos, principalmente durante eventos de alta precipitação. As bacias 1 e 2 atendem aos requisitos mínimos de volume de retenção e conseguem regular as vazões de escoamento conforme o previsto no dimensionamento.

Fatores como a topografia plana, a permeabilidade dos solos e a presença de áreas urbanizadas densamente impermeabilizadas foram condicionantes fundamentais. As bacias de retenção I e II incluem exutórios claramente definidos e delineados para garantir a eficiência na drenagem da água.

A localização e o design das praças e das quadras poliesportivas e de tênis foram cuidadosamente escolhidas para refletirem as práticas de segurança para os transeuntes e usuários durante os eventos de chuva. A praça com a pista de cooper, e as quadras se integram ao ambiente, promovendo a estética urbana e a gestão da água e, por conseguinte, incentivam o uso corrente e lazer aos habitantes do Loteamento Caburaí.

O fator declividade do terreno não impôs grandes restrições, mas a necessidade de controlar o aporte de sedimentos e lixo é um aspecto crítico para a viabilidade de longo prazo dessas bacias. Para o projeto se considerou que houvesse manutenção periódica para que as bacias funcionem de maneira eficaz e se evite problemas de aporte excessivo de sedimentos e de lixo.

Quanto ao tipo de solo da localização da bacia, os Latossolos, cobertos por uma vegetação savânica, demonstram excelente capacidade de armazenamento de água. Ademais, na escolha das áreas de implantação, optou-se pelas áreas institucionais, que já são previamente locais que respondem aos critérios de distanciamento de poluição e riscos.

Metas e diretrizes de implantação

As metas de curto, médio e longo prazo propostas (Quadro 1) para a implantação do PDDU de Boa Vista, Roraima, são essenciais para estabelecer diretrizes claras e escalonadas que promovam uma drenagem eficiente e sustentável. Essas metas foram elaboradas com o objetivo de abordar problemas de escoamento superficial e inundações de maneira sistemática e progressiva.

Metas e Diretrizes		
Horizonte de Tempo	Metas	Diretrizes Correspondentes
Curto Prazo (1-2 anos)	Realizar diagnóstico completo do sistema de drenagem existente.	Implementar monitoramento contínuo das redes de drenagem.
	Identificar áreas críticas sujeitas a alagamentos e enchentes.	Integrar o planejamento de drenagem com a análise de riscos em áreas urbanas.
	Implementar soluções imediatas para problemas críticos identificados.	Priorizar manutenção preventiva e intervenções rápidas.
Médio Prazo (3-5 anos)	Expandir e modernizar a infraestrutura de drenagem em áreas de maior risco.	Introduzir técnicas compensatórias, como pavimentos permeáveis e jardins de chuva.
	Desenvolver projetos-piloto de soluções baseadas na natureza para infiltração de águas pluviais.	Proteção e expansão de áreas verdes para aumentar a infiltração (Rio de Janeiro).
	Promover campanhas de conscientização pública sobre a importância do manejo adequado das águas pluviais.	Integração de iniciativas educativas e participação da comunidade.
Longo Prazo (5-10 anos)	Implementar um sistema de drenagem urbana sustentável e resiliente, integrado ao plano diretor da cidade.	Integração do planejamento de drenagem ao plano diretor municipal.
	Estabelecer reservatórios de retenção temporária (piscinões) em pontos estratégicos da cidade para controle de enchentes.	Construção de piscinões para retenção de águas pluviais em eventos de chuva intensa.
	Revisar e atualizar continuamente o plano de drenagem com base em novos dados climáticos e de uso do solo.	Adaptação e revisão contínua das diretrizes conforme mudanças climáticas e urbanização.

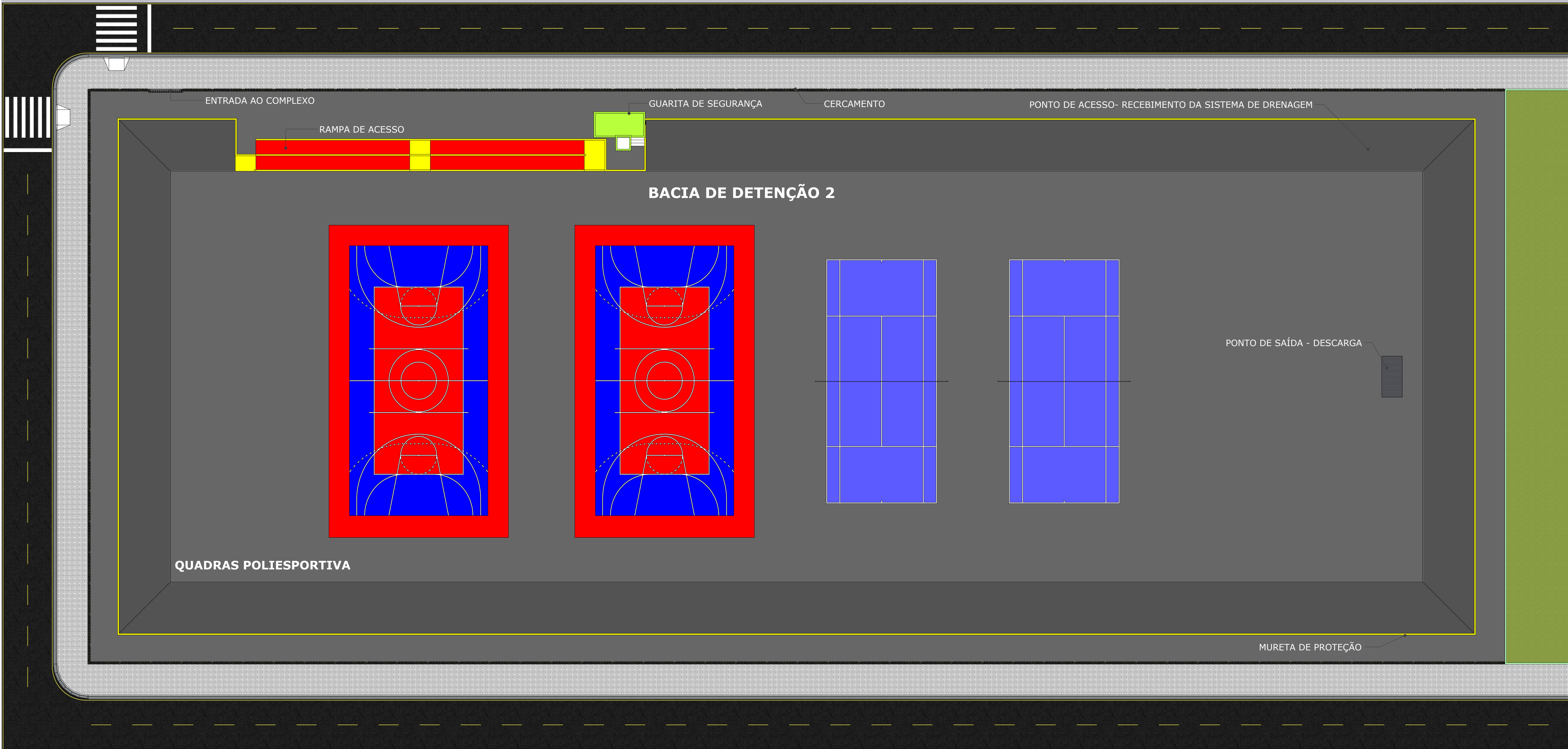
**LAYOUT DE APRESENTAÇÃO DAS BACIAS DE
DETENÇÃO I E II DO LOTEAMENTO MONTE
CABURÁÍ EM BOA VISTA, RORAIMA**



BACIA DE DETENÇÃO -1
ESCALA: 1/200



OBS. :
- BACIA DE DETENÇÃO DO CÓRREGO NEBLINA E OBRAS COMPLEMENTARES EM ARAGUAÍANA - TO, MODELO PROXÍMO A IDEIA SUGERIDA.



BACIA DE DETENÇÃO -2
ESCALA: 1/200

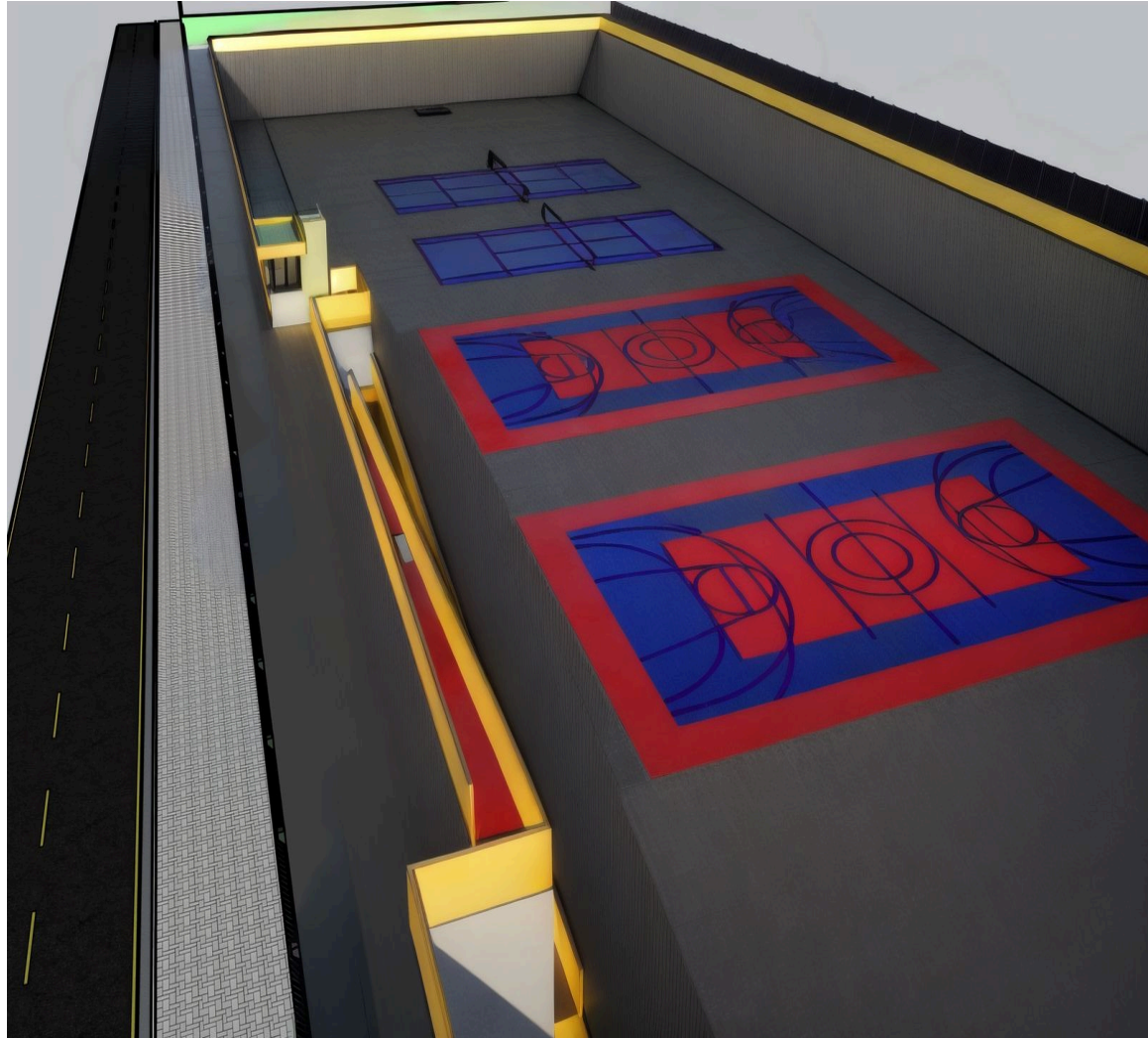


IMAGEM -1

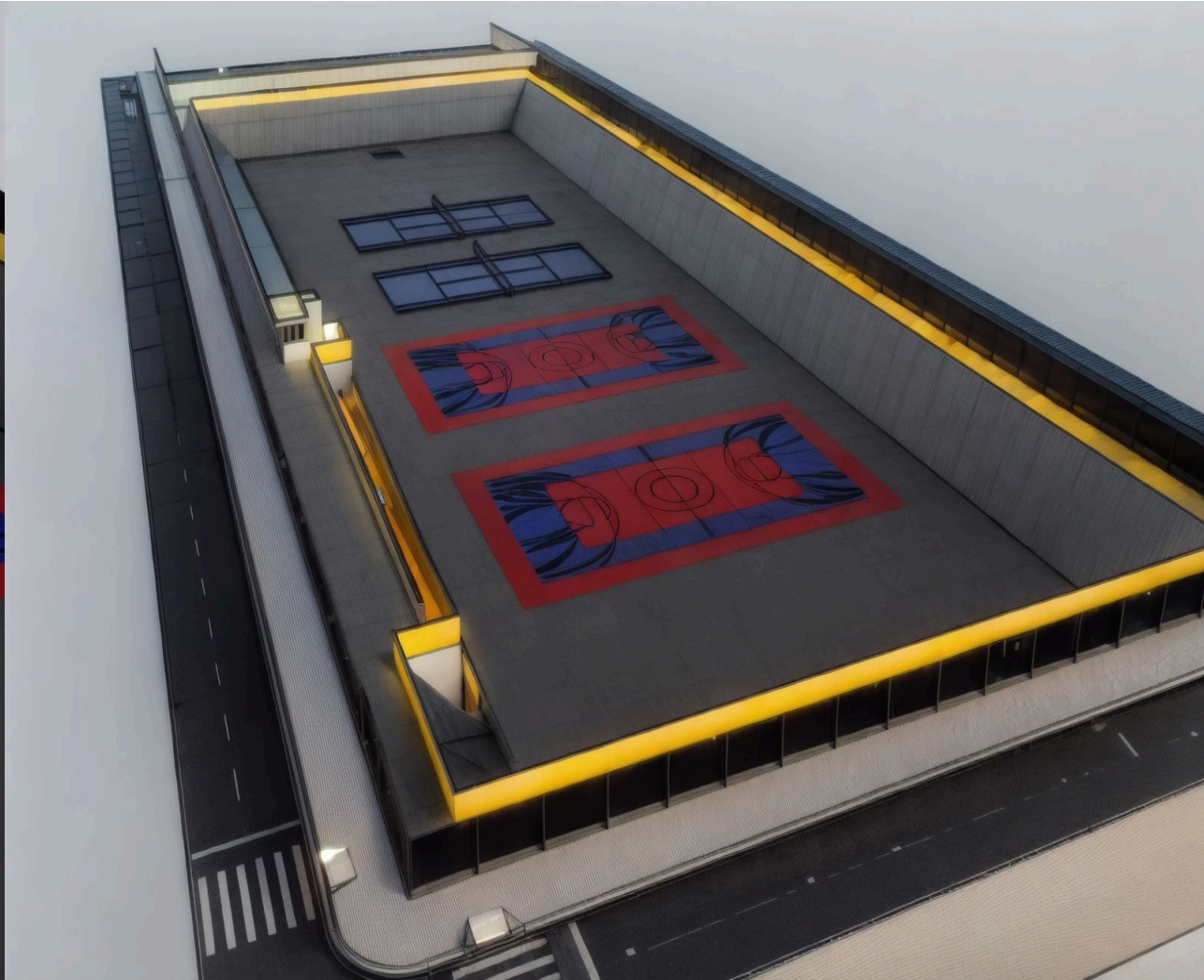


IMAGEM -2

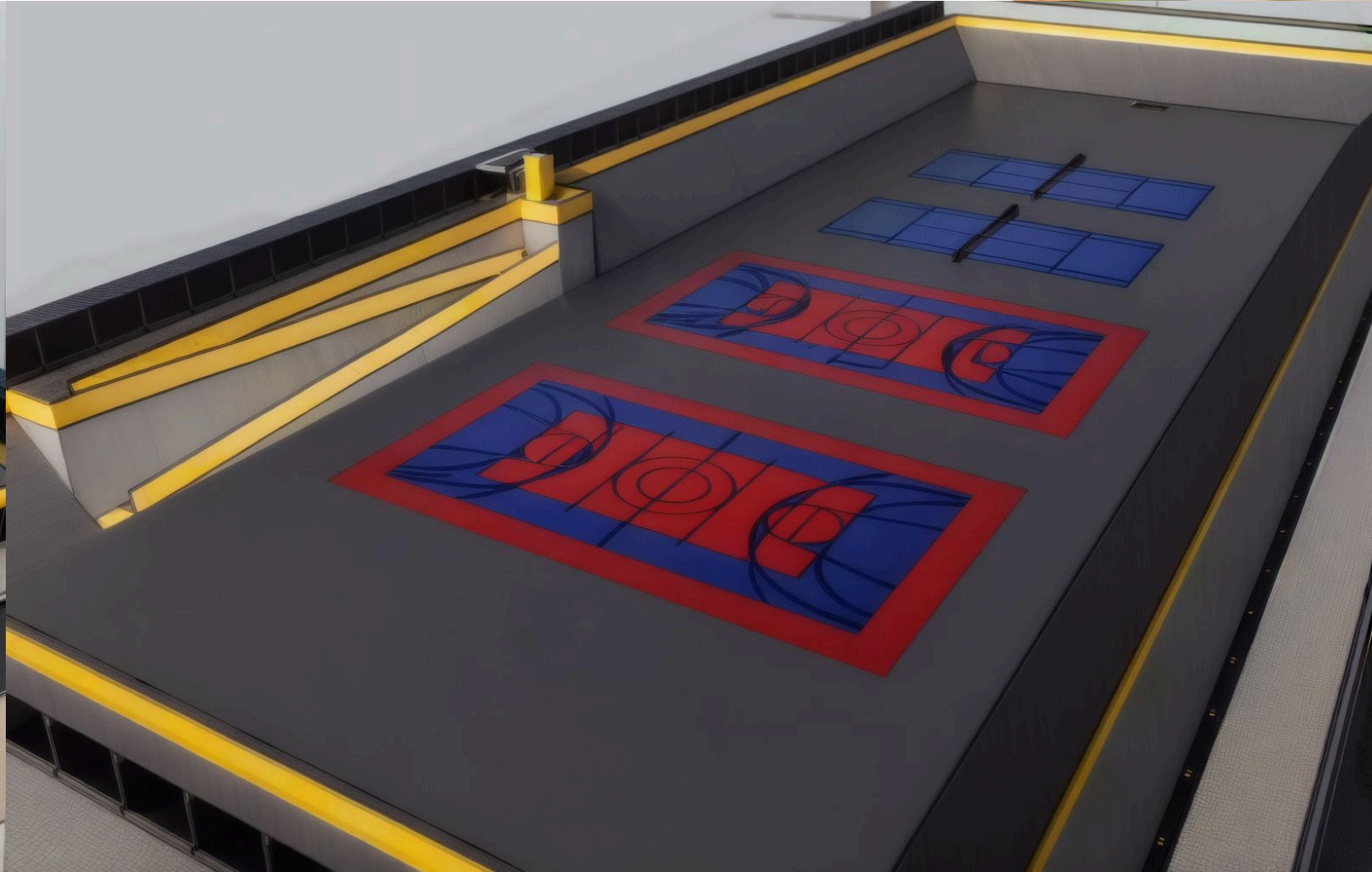


IMAGEM -3

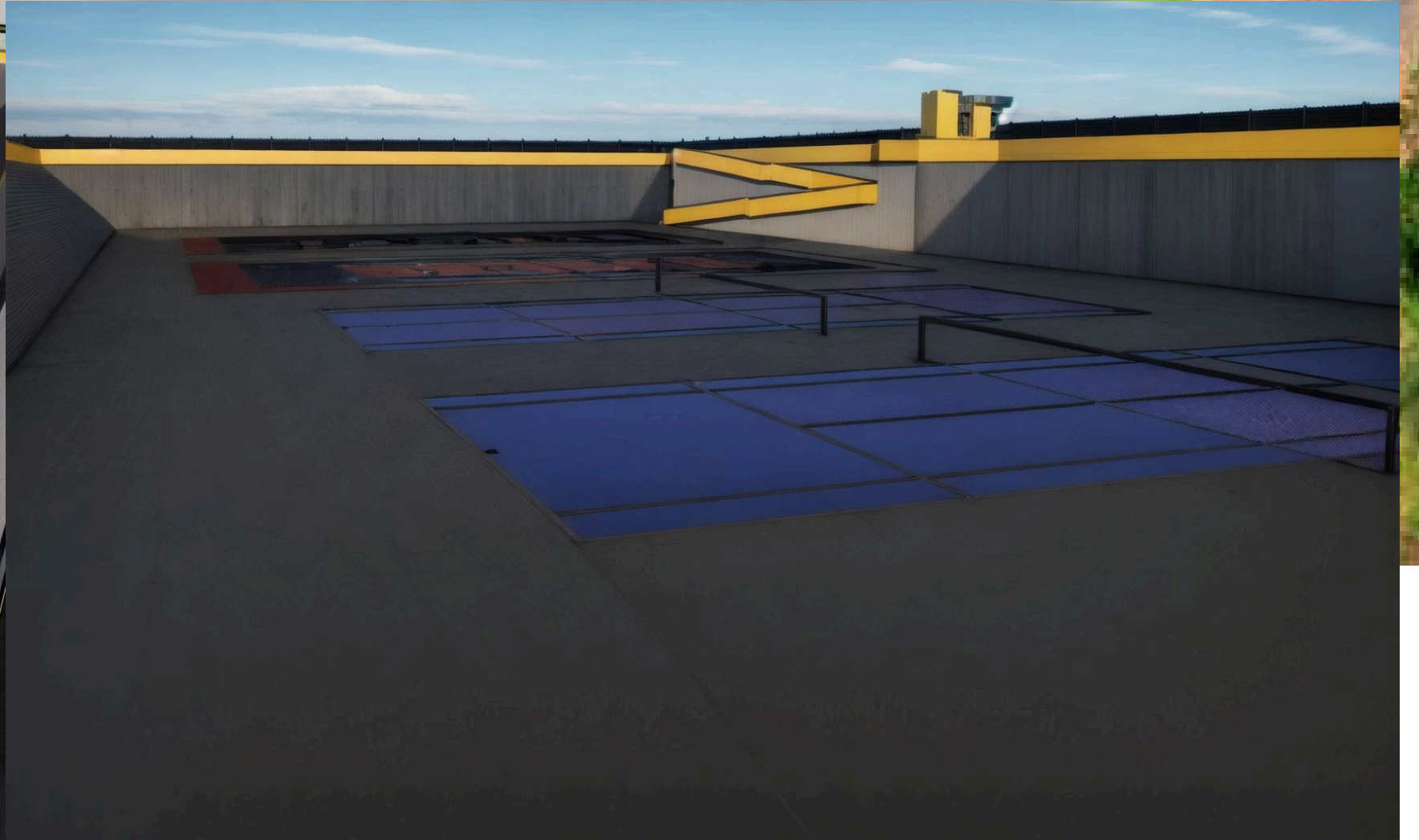


IMAGEM -4



ProfÁgua

