UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E CIVIL

ANÁLISE DOS PROBLEMAS DE ALAGAMENTOS EM VALPARAÍSO DE GOIÁS – GO

HERICK LACERDA DE MATOS
ORIENTADOR: SÉRGIO KOIDE

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 EM ENGENHARIA AMBIENTAL

BRASÍLIA/DF: FEVEREIRO DE 2026

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E CIVIL

ANÁLISE DOS PROBLEMAS DE ALAGAMENTOS EM VALPARAÍSO DE GOIÁS – GO

HERICK LACERDA DE MATOS

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DE GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADO POR:

SÉRGIO KOIDE (ENC/UnB) (ORIENTADOR)

MARIA ELISA LEITE COSTA
(EXAMINADORA EXTERNA)

ARTHUR TAVARES SCHLEICHER
(EXAMINADOR INTERNO)

FICHA CATALOGRÁFICA

MATOS, HERICK LACERDA DE

Análise dos problemas de alagamentos em Valparaíso de Goiás – GO.

Il., 98 p. (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2026)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Drenagem Urbana	2. Valparaíso de Goiás
3. Bacia de Detenção	4. PCSWMM
I. ENC/FT/UnB	II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MATOS, H. L. de. (2026) **Análise dos problemas de alagamentos em Valparaíso de Goiás – GO**. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2026.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Herick Lacerda de Matos

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO: Análise dos problemas de alagamentos em Valparaíso de Goiás – GO

GRAU/ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2026

É concedida à Universidade de Brasília permissão para produzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos ou científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Herick Lacerda de Matos
lacerdaherick@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e aos Orixás, pela vida, saúde e força concedida ao longo de toda a minha trajetória acadêmica, permitindo a superação dos desafios.

Agradeço à minha família, por sempre me apoiar e acreditar no meu potencial. Em especial, à minha mãe, Netilha Lacerda, por todo o amor, por sempre exigir o meu melhor, por nunca deixar de acreditar em mim e por ter feito até o impossível para que eu pudesse chegar até aqui. Agradeço também ao meu pai, José, que do seu jeito, sempre me ofereceu apoio e suporte ao longo dessa jornada.

Aos meus primos Vinícius e Victória, por abrirem caminhos e mostrarem que é possível chegar até aqui, além de todo o apoio, amizade e paciência que tiveram comigo ao longo da caminhada. Agradeço também aos meus primos André, Adriana e Mayara, por todo o apoio e cuidado que sempre tiveram comigo.

Aos meus amigos, em especial Lucas, John John, Héllen, Marcos, Aluísio, Gaby e Zong Yang, por estarem, de alguma forma, sempre presentes, pelas conversas, ajudas, vivências compartilhadas e pela companhia, independentemente do momento.

Ao meu orientador, Sérgio Koide, pela orientação, calma, paciência e disponibilidade em ensinar, bem como pelas contribuições valiosas e pela confiança depositada ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca avaliadora, pelas orientações, conselhos e conhecimentos transmitidos, que contribuíram significativamente para a minha formação. Em especial, à Maria Elisa Leite Costa, pela disponibilidade, paciência e pela grande ajuda com o software PCSWMM.

Aos colegas de curso, especialmente o Laskanalise, e aos colegas de trabalho, pelas trocas de conhecimento e o apoio ao longo da graduação. Aos professores do curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Brasília, que contribuíram para minha formação acadêmica ao compartilharem conhecimentos fundamentais para a construção deste estudo. E à Universidade de Brasília como um todo, por proporcionar toda a experiência vivida ao longo do curso.

Por fim, novamente agradeço à minha família e amigos, especialmente minha mãe, tia Neta e a Adinha, que foram a base de tudo. Como sintetiza Abebe Bikila na música “Continuação de um Sonho”, este trabalho simboliza a continuidade de um sonho que não começou comigo, mas com todos aqueles que, antes de mim, enfrentaram dificuldades para que hoje eu pudesse sorrir e conquistar este espaço.

RESUMO

A recorrência de alagamentos e enchentes no município de Valparaíso de Goiás, associada ao processo acelerado de urbanização, ao aumento da impermeabilização do solo e à ausência histórica de planejamento integrado da drenagem urbana, motivou a realização deste estudo. Nesse contexto, desenvolveu-se uma análise hidrológica e hidráulica do sistema de drenagem urbana da área de estudo, com o objetivo de quantificar o escoamento superficial em bacias urbanas, avaliar a resposta do sistema frente a diferentes cenários de uso e ocupação do solo e analisar a influência do Polo Juscelino Kubitschek sobre a área urbana localizada a jusante.

A metodologia adotada baseou-se na modelagem computacional por meio do software PCSWMM, envolvendo a delimitação de sub-bacias, o lançamento e dimensionamento hidráulico de uma rede de drenagem preliminar, com aplicação de chuvas sintéticas de projeto obtidas a partir de curvas Intensidade–Duração–Frequência (IDF) do Distrito Federal. Em razão da inexistência de uma rede de drenagem oficialmente cadastrada no município, a modelagem representou o comportamento hidráulico esperado da infraestrutura urbana, permitindo a avaliação técnica de seu desempenho frente a eventos de precipitação de projeto.

Foram avaliados diferentes arranjos de drenagem, incluindo a rede em implantação no Polo JK, uma rede convencional na área urbana do Valparaíso de Goiás, a adoção de reservatórios de detenção como medida estrutural de controle do escoamento e a aplicação de uma solução de drenagem de baixo impacto por meio de trincheira de infiltração. Os resultados indicaram que os reservatórios de detenção são eficazes na redução das vazões de pico e das sobrecargas hidráulicas, enquanto as soluções baseadas na infiltração atuam de forma complementar, melhorando o desempenho hidrológico local. Conclui-se que a mitigação dos problemas de drenagem urbana no município depende da integração entre planejamento urbano, instrumentos normativos e a adoção de soluções técnicas compatíveis com o grau de urbanização e com as características da bacia hidrográfica.

Palavras-chave: drenagem urbana; modelagem hidrológica e hidráulica; PCSWMM; reservatórios de detenção; Valparaíso de Goiás; escoamento superficial; planejamento urbano.

ABSTRACT

The recurrence of flooding and urban inundation events in the municipality of Valparaíso de Goiás, associated with accelerated urbanization, increased soil impermeability, and the historical lack of integrated urban drainage planning, motivated the development of this study. In this context, a hydrological and hydraulic analysis of the urban drainage system in the study area was conducted, aiming to quantify surface runoff in urban catchments, evaluate the system response under different land use and land cover scenarios, and assess the influence of the Juscelino Kubitschek Industrial and Logistics Park (Polo JK) on the downstream urban area.

The adopted methodology was based on computational modeling using the PCSWMM software, including the delineation of subcatchments, the layout and hydraulic design of a preliminary drainage network, and the application of synthetic design storms derived from Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves for the Federal District. Due to the absence of an officially registered urban drainage network in the municipality, the modeling approach represented the expected hydraulic behavior of the urban infrastructure, allowing for a technical assessment of its performance under design rainfall events.

Different drainage configurations were evaluated, including the drainage network under implementation at Polo JK, a conventional drainage network in the urban area of Valparaíso de Goiás, the adoption of detention reservoirs as a structural runoff control measure, and the application of a low impact development (LID) solution through an infiltration trench. The results indicated that detention reservoirs are effective in reducing peak flows and hydraulic overloads, while infiltration-based solutions act in a complementary manner, improving local hydrological performance. It is concluded that mitigating urban drainage problems in the municipality depends on the integration of urban planning, regulatory instruments, and the adoption of technical solutions compatible with the degree of urbanization and the characteristics of the watershed.

Keywords: urban drainage; hydrological and hydraulic modeling; PCSWMM; detention basins; Valparaíso de Goiás; surface runoff; urban planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 — Impermeabilização do solo 6
Figura 3.2 — Efeito do Urbanismo no pico de vazão de escoamento..... 6
Figura 3.3 — Tipos de bocas de lobo. 13
Figura 3.4 — Junção de rede por poço de visita (PV). 14
Figura 3.5 — Posição das bocas de lobo (BL) e poços de visita (PV) na rede de drenagem 14
Figura 3.6 — Curva IDF de Brasília 16
Figura 3.7 — Pavimento permeável 19
Figura 3.8 — Telhado verde. 20
Figura 3.9 — Trincheira de Infiltração Genérica. 21
Figura 3.10 — Poço de infiltração. 22
Figura 3.11 — Esquema básico de uma bacia de detenção 23
Figura 3.12 — Estimativa do volume de armazenamento para o reservatório de detenção 24
Figura 3.13 — Esquema de reservatório na sub-bacia 28
Figura 4.1 — Fluxograma da metodologia a ser utilizada 31
Figura 4.2 — Localização de Valparaiso de Goiás 32
Figura 4.3 — Macrozoneamento urbano do Valparaíso de Goiás em 2012..... 34
Figura 4.4 — Macrozoneamento urbano do Valparaíso de Goiás em 2017..... 35
Figura 4.5 — Localização da área de estudo no contexto regional 36
Figura 4.6 — Registro de enxurrada em via urbana no Setor de Chácaras Ypiranga 37
Figura 4.7 — Alagamento em área residencial no Setor de Chácaras Ypiranga..... 37
Figura 4.8 — Registro de enxurrada em via urbana no município de Valparaíso de Goiás durante evento de chuva intensa 38
Figura 4.9 — Hidrografia e bacias da área de estudo 39
Figura 4.10 — Córrego do Mangal 39
Figura 4.11 — Rede de Drenagem Cadastrada 40
Figura 4.12 — Modelo Digital do Terreno 42
Figura 4.13 — Mapa de fluxo superficial 43
Figura 4.14 — Delimitação da bacia hidrográfica urbana 43
Figura 4.15 — Hietogramas das chuvas de projeto com tempo de retorno de 10 anos para durações (a) 2 horas e (b) 24 horas 46

Figura 4.16 — Modelagem da rede de drenagem do Polo JK com destaque para os reservatórios de detenção..... 49
Figura 4.17 — Implantação dos reservatórios de detenção no Polo JK 49
Figura 4.18 — Representação da rede de drenagem modelada para o Polo JK..... 50
Figura 4.19 — Rede de drenagem modelada para a área de estudo em Valparaíso de Goiás 51
Figura 4.20 — Reservatório 1 52
Figura 4.21 — Reservatório 2 53
Figura 4.22 — Reservatório 3 53
Figura 4.23 — Rede de drenagem com reservatórios de detenção 54
Figura 4.24 — Rede de drenagem com reservatórios de detenção 55
Figura 5.1 — Rede Valparaíso de Goiás..... 56
Figura 5.2 — Rede Polo JK..... 57
Figura 5.3 — Hidrogramas de vazão de entrada e saída do reservatório R1A..... 58
Figura 5.4 — Hidrogramas de vazão de entrada e saída do reservatório R1B 58
Figura 5.5 — Hidrogramas de volume armazenado nos reservatórios R1A e R1B..... 59
Figura 5.6 — Hidrogramas de vazão de entrada e saída dos reservatórios R2A e R2B 59
Figura 5.7 — Hidrogramas de volume armazenado nos reservatórios R2A e R2B..... 60
Figura 5.8 — Hidrograma da vazão inundada nos reservatórios R2A e R2B..... 60
Figura 5.9 — Localização dos condutos sobrecarregados e dos poços de visita com ocorrência de inundação no Cenário 1 61
Figura 5.10 — Perfil longitudinal do trecho inundando..... 62
Figura 5.11 — Hidrograma de vazão do PV 163 62
Figura 5.12 — Modelagem descontínua..... 63
Figura 5.13 — Vazão de pico..... 63
Figura 5.14 — Trecho final de escoamento da rede..... 64
Figura 5.15 — Hidrograma de vazão do trecho com remanso..... 64
Figura 5.16 — Perfil do trecho final de escoamento da rede 65
Figura 5.17 — Localização dos condutos sobrecarregados e dos poços de visita com ocorrência de inundação no Cenário 2 66
Figura 5.18 — Hidrogramas de vazão de entrada (J521) e saída (J523) do Reservatório 1 (Elaborado pelo autor)..... 67
Figura 5.19 — Hidrograma do volume armazenado no Reservatório 1 (Elaborado pelo autor)..... 68

Figura 5.20 — Hidrogramas de vazão de entrada (J460) e saída (J506) do Reservatório 2 69
Figura 5.21 — Hidrograma do volume armazenado no Reservatório 2..... 69
Figura 5.22 — Hidrogramas de vazão de entrada (J457) e saída (J458) do Reservatório 3 70
Figura 5.23 — Hidrograma do volume armazenado no Reservatório 3..... 70
Figura 5.24 — Hidrograma da vazão de pico no exutório O1 71
Figura 5.25 — Hidrograma da vazão de pico no exutório O2 71
Figura 5.26 — Hidrograma da vazão de pico no exutório O3 72
Figura 5.27 — Taxa de infiltração simulada na sub-bacia com aplicação de trincheira de infiltração..... 73
Figura 5.28 — Hidrograma da vazão de pico no exutório O3 com aplicação de LID ... 74
Figura 5.29 — Comparação do hidrograma de infiltração na sub-bacia com (a) e sem (b) a aplicação de LID..... 76
Figura 5.30 — Comparação do hidrograma de saída da sub bacia dos cenários com (4) e sem (3) a aplicação de LID..... 76
Figura 5.31 — Comparação da vazão de pico no exutório O3 para os cenários com (4) e sem (3) a aplicação de LID..... 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 — Canalização versus Reservação 12
Tabela 3.2 — Uso típico dos dispositivos de controle de escoamento 18
Tabela 4.1 — Síntese dos cenários de simulação adotados..... 47

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1 - Vazão no exutório da bacia pelo Método Racional 15
Equação 3.2 - IDF de Brasília 16
Equação 3.3 - Volume de reservatório 20
Equação 3.4 - Método de routing 24
Equação 3.5 - Equação da continuidade 25
Equação 3.6 - Equação de controle hidráulico 25
Equação 4.1 - Equação do parâmetro Width 45

LISTA DE ABREVIAÇÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico
BL	Bocas de lobo
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CN	Curva Número
CODEPLAN	Companhia de Planejamento do Distrito Federal
DF	Distrito Federal
FCA	Ferrovia Centro-Atlântica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade–Duração–Frequência
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LID	Low Impact Development
NOVACAP	Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil
PCSWMM	Personal Computer Storm Water Management Model
PDAD	Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios
PDDU/DF	Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PV	Poço de visita
RA	Região Administrativa
RIDE	Região Integrada de Desenvolvimento
SCS	Soil Conservation Service
SP	São Paulo
SWMM	Storm Water Management Model
ZAE	Zona de Atividades Econômicas
ZAR	Zona de Adensamento Restrita
ZUM	Zona de Uso Misto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **1**
2 OBJETIVOS **4**
2.1 OBJETIVO GERAL **4**
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS **4**
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **5**
3.1 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO **5**
3.1.1 Escoamento superficial **5**
3.2 MEDIDAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES **8**
3.2.1 Medidas Estruturais 8
3.2.2 Medidas Não Estruturais **9**
3.2.3 Controle de Inundações em Áreas Urbanizadas **10**
3.3 SISTEMAS DE DRENAGEM **12**
3.3.1 Sistemas Convencionais **12**
3.3.2 Técnicas Compensatórias ou Sistemas Alternativos (sustentáveis) de Drenagem Urbana **17**
3.3.2.1 Pavimentos Permeáveis 19
3.3.2.2 Telhado Verde 20
3.3.2.3 Trincheiras e poços de infiltração 21
3.3.2.4 Bacias de Detenção 22
3.3.3 Bacias de Detenção no entorno do Distrito Federal **25**
3.4 MODELAGEM COMPUTACIONAL **26**
3.4.1 Storm Water Management Model - Swmm **27**
4 METODOLOGIA **30**
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO **31**
4.2 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS PARA O PCSWMM **41**
4.3 SIMULAÇÃO PCSWMM **43**
4.3.1 Definição de sub-bacias **44**
4.3.2 Parâmetro Length e Width das sub-bacias **44**
4.3.3 Parâmetro Curver-Number (CN) **45**
4.3.4 Precipitações de Projeto **45**
4.3.5 Cenários de simulação **46**
4.3.6 Modelagem dos cenários **48**

4.3.6.1 Primeiro cenário (Rede de Drenagem do Polo JK) 48
4.3.6.2 Segundo cenário (Rede de drenagem da área de estudo) 50
4.3.6.3 Terceiro cenário (Rede de drenagem com reservatórios de detenção).....52
4.3.6.4 Quarto cenário (Aplicação de LID no condomínio Green Park II - Trincheira de infiltração) 55
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 56
5.1 RESULTADOS DOS CENÁRIOS 56
5.1.1 Primeiro cenário (Polo JK) 57
5.1.2 Segundo cenário (Rede de drenagem da área de estudo) 65
5.1.3 Terceiro cenário (Rede de drenagem com reservatórios de detenção) 67
5.1.4 Quarto cenário (Aplicação de LID no condomínio Green Park II - Trincheira de infiltração) 73
5.2 COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIOS 74
5.2.1 Cenário 2 x Cenário 3 74
5.2.2 Cenário 3 x Cenário 4 75
6 CONCLUSÃO 78
REFERÊNCIAS 81

1 INTRODUÇÃO

A urbanização é um fenômeno caracterizado, principalmente, pelo aumento da densidade populacional, envolvendo também diversos processos associados à expansão do território urbano (Canholi, 2005). No Brasil, nas últimas décadas, observou-se um expressivo crescimento da população urbana, intensificado a partir da década de 1960. Esse processo impulsionou o desenvolvimento de cidades muitas vezes desprovidas de infraestrutura adequada, resultando em impactos ambientais negativos sobre todo o sistema urbano. Diante da necessidade de convivência no meio urbano, tornou-se necessária a implantação de sistemas de drenagem pluvial, redes de abastecimento de água e coleta de esgoto, manejo de resíduos sólidos, além de intervenções no transporte e na mobilidade urbana. Como consequência da implantação desses sistemas, há um aumento da demanda por monitoramento e gestão de situações críticas, como a impermeabilização do solo, a ocupação de zonas sujeitas a desmoronamentos e alagamentos, além da sobrecarga nos sistemas de abastecimento de água e saneamento básico (Baptista; Nascimento; Barraud, 2011).

Entre os principais impactos da urbanização desordenada está a impermeabilização excessiva do solo, causada pela aplicação intensiva de materiais como asfalto e concreto, além dos telhados. Esse processo reduz significativamente a capacidade de infiltração da água da chuva, aumentando o volume de escoamento superficial e, consequentemente, a frequência e a intensidade das inundações urbanas. A drenagem pluvial na maioria das cidades ainda é concebida sob uma perspectiva higienista, priorizando a rápida condução da água para fora dos centros urbanos. Contudo, essa abordagem mostrou-se insuficiente diante da velocidade da urbanização e da sobrecarga dos sistemas existentes. Em resposta, surgiram as chamadas técnicas compensatórias de drenagem urbana, voltadas à redução dos impactos hidrológicos da urbanização e à promoção da qualidade ambiental.

Um dos desafios mais críticos na gestão dos recursos hídricos urbanos é a falta de integração entre dois níveis de atuação: o nível externo à cidade, relacionado à bacia hidrográfica, e o nível interno, que envolve os serviços de saneamento, planejamento urbano e metas sociais (Tucci, 2012). Essa desconexão contribui para problemas como o lançamento de esgoto sem tratamento nos corpos d’água e a impermeabilização excessiva das áreas urbanas. Além disso, a prática de canalizar e cobrir rios urbanos com avenidas e estruturas de concreto intensifica os riscos de inundações em diversos pontos da cidade.

Os impactos dessa configuração são amplamente sentidos pela população, que sofre com prejuízos materiais, riscos à saúde e degradação da qualidade de vida.

Em relação ao estado de Goiás, especialmente à região conhecida como Entorno do Distrito Federal, a ocupação urbana ocorreu de maneira acelerada e desordenada, impulsionada pela construção de Brasília. A transferência da capital federal para o Centro-Oeste, oficializada em 1960, atraiu grande número de migrantes, que se estabeleceram em áreas próximas à nova capital em busca de oportunidades de trabalho (Santos, 2009). Como a Região Administrativa 1 do Distrito Federal, o Plano Piloto, foi concebido com rígido controle territorial e planejamento urbano, parte significativa dessa população acabou se fixando nos municípios limítrofes do estado de Goiás, dando origem a núcleos urbanos que se desenvolve à margem das políticas públicas. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), os municípios que compõem o entorno, como Valparaíso de Goiás, Cidade Ocidental, Novo Gama e Luziânia, apresentaram elevados índices de crescimento populacional nas últimas décadas, com taxas superiores à média nacional, muitas vezes associadas à expansão informal e à precariedade na oferta de infraestrutura urbana. O entorno constitui uma das regiões metropolitanas mais desiguais do país, com deficiências crônicas em saneamento, drenagem urbana e transporte público. Esse modelo de crescimento fragmentado resultou em ocupações irregulares, altos níveis de impermeabilização do solo e vulnerabilidade a alagamentos e inundações (IPEA, 2012).

Mais especificamente em Valparaíso de Goiás, observa-se um crescimento urbano acelerado e com baixa cobertura de infraestrutura adequada, o que agrava os impactos da impermeabilização do solo e da falta de planejamento quanto à drenagem urbana. A área sofre com episódios recorrentes de alagamentos, sobretudo em períodos de chuvas intensas, evidenciando falhas no sistema de manejo de águas pluviais, tanto em termos de concepção quanto de manutenção. Essa realidade reflete um cenário comum na região do Entorno do Distrito Federal, em que o crescimento populacional supera a capacidade de resposta das políticas públicas e da infraestrutura urbana existente.

A partir desse cenário, na cidade de Valparaíso de Goiás, onde diversas áreas urbanas enfrentam problemas recorrentes de alagamentos, foi realizada uma investigação conjunta com mais duas estudantes do Departamento de Engenharia Ambiental e Civil da Universidade de Brasília (Any Beatriz dos Santos Lopes e Kailane Correia Galdino), em que foi realizada uma análise preliminar das áreas mais críticas do município, permitindo a divisão do território de Valparaíso em setores de estudo. A partir dessa delimitação,

cada integrante ficou responsável por avaliar tecnicamente uma área específica.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo avaliar o manejo das águas pluviais no Parque Esplanada 1, na Cidade Jardins e no setor de Chácaras Ypiranga, por meio da modelagem computacional no programa PCSWMM, de forma a diagnosticar os problemas e propor soluções técnicas, incluindo cenários com bacias de detenção e medidas de baixo impacto. A necessidade destas análises surge não apenas das evidências empíricas observadas no local, mas também das queixas constantes da população residente, que convive com prejuízos materiais e riscos à saúde pública.

Este trabalho está estruturado em sete capítulos: Introdução; Objetivos, com a delimitação dos objetivos geral e específicos; Fundamentação Teórica e Revisão Bibliográfica, abordando os conceitos de drenagem urbana, técnicas compensatórias com tecnologias verde, bacias de detenção e modelagem hidráulica por meio do PCSWMM; Metodologia, que detalha os procedimentos utilizados, incluindo a caracterização da área de estudo, os critérios de dimensionamento hidráulico, a definição dos cenários simulados e os parâmetros utilizados nas simulações; Resultados e Discussões, com a previsão temporal das etapas do projeto; Conclusões, sintetiza os principais achados do estudo, discute suas implicações para o planejamento urbano e a gestão da drenagem; e Referências Bibliográficas, reunindo as obras que fundamentam e embasam a pesquisa.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho é analisar o manejo das águas pluviais na região de Valparaíso de Goiás, com foco no Parque Esplanada 1, na Cidade Jardins e no Setor de Chácaras Ypiranga, avaliando também a influência das vazões provenientes do Polo Juscelino Kubitschek – DF, com a utilização do programa PCSWMM como ferramenta de modelagem, e propor soluções de manejo para mitigar os problemas de alagamento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Identificar os problemas e falhas no sistema de manejo de águas pluviais, a partir de evidências empíricas, que contribuíram para a situação crítica observada no Parque Esplanada 1, na Cidade Jardins e no Setor de Chácaras Ypiranga;

b) identificar as limitações do sistema atual com a modelagem hidráulica da rede de drenagem existente por meio do programa PCSWMM;

c) avaliar medidas complementares, tais como, complementação da rede, medidas de baixo impacto e outras alternativas viáveis de manejo que possam minorar os problemas identificados.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo reúne os principais conceitos, definições e estudos técnicos que fundamentam a compreensão dos problemas associados à drenagem urbana em áreas urbanizadas. São abordados os impactos da urbanização no ciclo hidrológico, as tipologias de sistemas de drenagem, além das medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações, com destaque para as técnicas compensatórias e sustentáveis. Além disso, são apresentados os princípios de modelagem computacional, ferramenta essencial para simulação e análise de redes de drenagem existentes e propostas de soluções. A fundamentação teórica foi construída com base em normas técnicas, literatura científica especializada e documentos oficiais atualizados.

3.1 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

3.1.1 Escoamento superficial

Como base para os estudos em drenagem urbana, é essencial compreender o percurso natural da água em âmbitos local e regional. O ciclo hidrológico, composto por processos como evaporação, evapotranspiração, precipitação, interceptação, infiltração e escoamento superficial, sofre intensa interferência com o avanço da urbanização.

A precipitação, juntamente com a infiltração e o escoamento superficial são especialmente relevantes nos estudos de drenagem urbana, uma vez que sofrem alterações significativas à medida que áreas rurais se transformam em conglomerados urbanos densos. Tais aglomerados provocam aumento do consumo de água, volume de dejetos e, principalmente, modificações no uso e ocupação do solo. A substituição da vegetação por pavimentações e construções causa aumento expressivo da impermeabilização do solo, conforme representado na Figura 3.1, comprometendo a capacidade de infiltração e alterando as condições naturais da área (Pinto; Holtz; Martins, 1998).

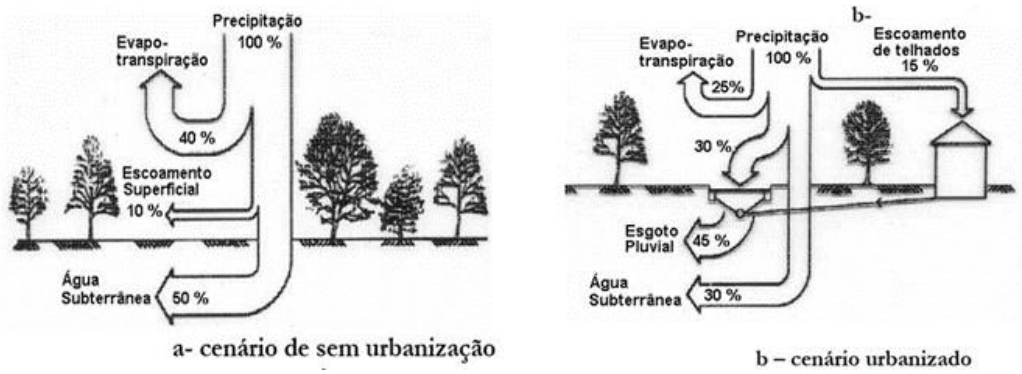


Figura 3.1 — Impermeabilização do solo (Tucci ,2005)

O desenvolvimento urbano altera significativamente os processos hidrológicos naturais, contribuindo diretamente para o aumento do escoamento superficial em detrimento da infiltração. À medida que as cidades se expandem, as áreas naturais de infiltração são substituídas por superfícies impermeáveis como telhados, ruas, calçadas e pátios (Tucci, 2005), reduzindo a capacidade do solo de absorver a água da chuva. Como resultado, a água que antes infiltrava passa a escoar rapidamente pela superfície, gerando um escoamento superficial acelerado que pode ser até sete vezes maior do que o observado em áreas não urbanizadas (Leopold, 1968).

Essa mudança não apenas antecipa e intensifica o pico de vazão, como representado na Figura 3.2, mas também interfere na recarga dos aquíferos subterrâneos, contribuindo para a redução do nível dos lençóis freáticos (Butler, 2018).

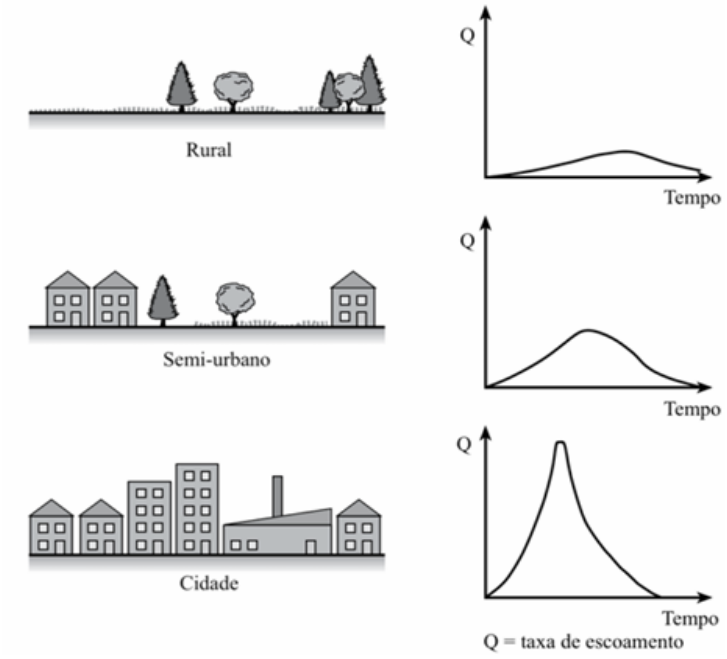


Figura 3.2 — Efeito do Urbanismo no pico de vazão de escoamento (adaptado de Butler, 2018).

Segundo Tucci (2009), os principais impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico e os sistemas de drenagem urbana podem ser sintetizados nos seguintes aspectos:

a) aumento das vazões máximas, que podem ser até sete vezes superiores às condições naturais, em função da ampliação da capacidade de escoamento causada pela impermeabilização do solo e pela implantação de condutos e canais artificiais;

b) degradação da qualidade da água, decorrente do arraste de poluentes acumulados nas superfícies urbanas, da lavagem de ruas e calçadas, do transporte de resíduos sólidos e da ocorrência de conexões irregulares entre as redes de esgoto sanitário e pluvial;

c) aumento na geração de sedimentos, provocado pela remoção da cobertura vegetal, pela exposição do solo em áreas em obras ou mal urbanizadas, e pela presença de resíduos sólidos dispostos inadequadamente, que acabam sendo carregados pelas águas pluviais para o sistema de drenagem.

A urbanização tende a acelerar o escoamento por meio de condutos e canais, provocando aumento na vazão máxima e na frequência de inundações, elevação da velocidade de escoamento, o que acarreta processos erosivos e produção de sedimentos e ainda intensifica o arraste de resíduos sólidos para o sistema de drenagem. Este último ponto é crítico, pois o acúmulo de sólidos compromete a capacidade de condução dos condutos, gerando entupimentos e alagamentos frequentes (Tucci, 2012).

Outro aspecto alarmante abordado por Tucci (2012) é a deterioração da qualidade das águas pluviais, decorrente da lavagem das superfícies urbanas. Os sistemas de drenagem, ao receberem poluentes, resíduos sólidos e esgoto clandestino, passam a veicular cargas contaminantes diretamente aos corpos hídricos urbanos. Esse conjunto de fatores escancara a insustentabilidade do atual modelo de ocupação intensiva e impermeabilização do solo, agravado pela precariedade nos serviços de esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos.

Além disso, há uma crítica contundente à prática comum de canalizar e recobrir rios urbanos como solução paliativa aos impactos da drenagem urbana. Tais ações, embora apresentem alívio imediato para determinados trechos da cidade, acabam transferindo os problemas para áreas a jusante, agravando inundações futuras e comprometendo a resiliência do sistema como um todo. Estudos demonstram que o custo da gestão corretiva dos impactos é até três vezes maior do que o de medidas preventivas baseadas no planejamento adequado (Tucci; Cruz, 2007).

No Brasil, o controle de inundações em áreas urbanas ainda é majoritariamente baseado em uma abordagem tradicional de caráter higienista, centrada na rápida

evacuação das águas pluviais por meio de condutos e galerias, com o objetivo de remover a água das áreas de origem das inundações sem considerar, de forma integrada, os impactos a jusante. Esse modelo, voltado para o escoamento rápido, desconsidera soluções baseadas na retenção, infiltração e reaproveitamento da água da chuva, o que acaba por agravar os efeitos das cheias em outros pontos da bacia hidrográfica. Além disso, observa-se a ausência de integração entre os sistemas de saneamento ambiental, abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e gestão de resíduos sólidos, com o planejamento territorial e os projetos de expansão urbana.

De acordo com o painel de indicadores dos dados de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), dos 5.570 municípios brasileiros apenas 16,8% possuem algum tipo de plano de manejo de águas pluviais e drenagem, e também cerca de 69,8% dos municípios brasileiros apresentavam registros de inundações e alagamentos em áreas urbanas. Esses dados evidenciam a ineficiência estrutural e institucional da gestão pública no que se refere ao planejamento, implantação e manutenção de sistemas de drenagem urbana, especialmente em face do crescimento acelerado e, muitas vezes, desordenado das cidades brasileiras.

3.2 MEDIDAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES

As medidas de controle de inundações podem ser divididas em estruturais e não estruturais. As estruturais envolvem obras físicas que modificam o ambiente para controlar o escoamento da água, como canais, galerias pluviais, reservatórios e bacias de detenção, aplicadas tanto nas bacias hidrográficas quanto diretamente nos cursos d’água (Tucci, 2007). Já as medidas não estruturais visam reduzir os impactos das inundações sem alterar significativamente o meio físico. Incluem o planejamento urbano, legislação sobre uso do solo, sistemas de alerta, educação ambiental e planos de drenagem (Baptista; Nascimento; Barraud, 2011).

3.2.1 Medidas Estruturais

As medidas estruturais de controle de inundações podem ser classificadas em extensivas e intensivas, de acordo com o tipo de intervenção adotada no meio físico. As medidas extensivas atuam sobre as relações entre precipitação e vazão, buscando

controlar a geração de escoamento diretamente na bacia hidrográfica. Entre essas medidas, destacam-se o reflorestamento e a conservação do solo, que promovem a proteção da cobertura vegetal, reduzem a erosão e retardam o escoamento superficial, contribuindo para a diminuição dos picos de cheia, especialmente em eventos com baixos tempos de retorno (Tucci; Clarke, 1997).

As medidas intensivas, por sua vez, são intervenções realizadas diretamente nos cursos d'água, com o objetivo de modificar o escoamento e o comportamento hidráulico dos rios. Segundo Simons et al. (1977) e Canholi (2014), essas medidas podem ser divididas em quatro categorias:

a) aceleração do escoamento – por meio de ações como o aumento da seção de vazão dos rios, corte de meandros e construção de diques e polders;

b) retardo do escoamento – utilizando estruturas como reservatórios, tubulações de canais naturais e bacias de amortecimento, que armazenam temporariamente as águas de chuva;

c) desvio do escoamento – por meio da construção de canais, túneis e transposições que transferem a vazão para outros trechos de rios ou bacias vizinhas;

d) proteção localizada – adoção de medidas em edificações e infraestruturas específicas para torná-las mais resilientes às inundações, como elevações de piso e vedação de acessos.

Adicionalmente, as estruturas de controle também podem ser classificadas segundo o princípio de funcionamento: há aquelas voltadas para a infiltração da água no solo, e outras que promovem o armazenamento temporário da água, sendo comum que uma mesma técnica combine ambos os mecanismos. Essa distinção é fundamental para o dimensionamento correto e a escolha das estratégias mais adequadas ao contexto hidrológico e urbano da área de intervenção (Baptista; Nascimento; Barraud, 2011).

3.2.2 Medidas Não Estruturais

As medidas não estruturais representam estratégias preventivas e de planejamento que, diferentemente das medidas físicas e convencionais, buscam atuar sobre o comportamento da ocupação urbana e da sociedade, promovendo a redução dos riscos de inundação com menor custo e maior alcance temporal (Canholi, 2014). Além de evitarem grandes intervenções no meio físico, essas medidas favorecem a organização territorial, o uso racional do solo urbano e a mitigação dos impactos causados pelo crescimento

desordenado.

De acordo com Canholi (2014), essas ações envolvem instrumentos como o zoneamento de áreas de risco, o gerenciamento de desastres, os sistemas de previsão e alerta de inundações, a contratação de seguros contra inundações e a implementação de planos diretores de drenagem. Quando bem aplicadas, essas medidas contribuem para a ocupação controlada de áreas vulneráveis e para a preparação das comunidades frente a eventos extremos.

As medidas não estruturais também podem incluir procedimentos que favoreçam o retardamento dos escoamentos, como o uso de pavimentos rugosos, revestimentos vegetados ou permeáveis e a exigência regulatória de controle na fonte, evitando, por exemplo, a conexão direta de áreas impermeáveis aos sistemas de drenagem. Essas medidas reduzem a sobrecarga na rede e incentivam a infiltração e o armazenamento temporário da água. Adicionalmente, incluem-se entre as estratégias não estruturais os princípios de prevenção e sensibilização da população, com destaque para ações de educação ambiental voltadas ao uso sustentável do espaço urbano e à conscientização sobre os impactos do aumento da vazão e da velocidade do escoamento superficial (Baptista; Nascimento; Barraud, 2011).

Portanto, as medidas não estruturais, ao atuarem de forma proativa e educativa, complementam as ações estruturais e constituem ferramentas fundamentais para o gerenciamento integrado das águas urbanas, especialmente em contextos de urbanização acelerada e infraestrutura deficiente, como ocorre em diversas cidades brasileiras.

3.2.3 Controle de Inundações em Áreas Urbanizadas

Diante dos inúmeros impactos decorrentes da urbanização, torna-se evidente o quão prejudiciais podem ser as inundações para a população quando não são devidamente avaliadas, quantificadas e controladas. Nesse contexto, torna-se essencial compreender as diferentes estratégias de controle de cheias, considerando tanto o local de atuação das medidas quanto a capacidade de mitigação do escoamento superficial.

Segundo Tucci, Porto e Barros (1995), as medidas de controle podem ser classificadas de acordo com o nível de intervenção na bacia hidrográfica:

a) na fonte: controle realizado diretamente no lote, em praças ou passeios públicos, com foco na redução do escoamento superficial logo em sua origem;

b) na microdrenagem: refere-se ao controle aplicado sobre o hidrograma de

áreas consolidadas, como um ou mais loteamentos;

c) na macrodrenagem: corresponde ao controle em escala mais ampla, geralmente sobre cursos d'água urbanos principais, como córregos e riachos.

Essas medidas, além de serem aplicadas em diferentes escalas, também podem ser organizadas conforme a ação que exercem sobre o hidrograma, ou seja, sobre o comportamento da vazão ao longo do tempo. De acordo com Tucci, Porto e Barros (1995), essas ações se dividem em:

a) infiltração e percolação: técnicas que aumentam a capacidade do solo de absorver água, favorecendo o armazenamento subterrâneo e reduzindo o volume de escoamento superficial;

b) armazenamento: consiste no uso de reservatórios, dimensionados conforme a escala (residencial, micro ou macro), com o objetivo de reter parte da água de chuva e liberar a vazão de forma controlada, reduzindo o pico de cheia;

c) aumento da eficiência do escoamento: aplicação de condutos e canais para drenar áreas propensas a alagamentos. essa medida, quando utilizada isoladamente, tende a transferir o problema para regiões a jusante, mas pode ser eficiente quando associada a estruturas de detenção;

d) diques e estações de bombeamento: soluções pontuais para áreas críticas, onde não há espaço para estruturas de amortecimento, promovendo a retirada forçada da água acumulada.

Com base nessas estratégias, destacam-se dois conceitos fundamentais no planejamento da drenagem urbana: o da canalização das águas pluviais e o da reservação. O primeiro, de abordagem mais tradicional, prioriza o escoamento rápido da água por meio de galerias e canais. Já o segundo, alinhado a uma visão ambientalmente sustentável, propõe a retenção ou detenção da água nas próprias bacias hidrográficas, contribuindo para o reequilíbrio do ciclo hidrológico (Canholi, 2005).

A Tabela 3.1 apresenta um resumo comparativo entre esses dois paradigmas de controle de inundações, destacando suas principais características e implicações. Os sistemas e técnicas associados a esses conceitos serão aprofundados nos tópicos seguintes.

Tabela 3.1 — Canalização versus Reservação

CARACTERÍSTICAS	CANALIZAÇÃO	RESERVAÇÃO
Componentes Principais	Canais abertos/galerias	• Reservatórios abertos • Reservatórios subterrâneos
Impactos nos trechos de jusante (quantidade)	• Aumenta os picos das inundações em relação as condições anteriores • Maiores obras nos sistemas de jusante	• Podem ser dimensionadas para impactos zero • Reabilitação de sistemas, tornando vazões a jusante compatíveis com capacidade disponível
Impactos nos trechos de jusante (qualidade)	Transporta carga poluente afluente para o corpo receptor	Facilita remoção de material poluente pelo processo de decantação em reservatórios
Manutenção e operação	Pouco frequente o que causa excesso de assoreamento e de lixo	• Limpeza periódica necessária • Fiscalização necessária • Desinfecção (insetos)
Estudos Hidrológicos e Hidráulicos	Requer definição de picos de inundações	Requer definição dos hidrogramas (Volume de inundações)

Fonte: adaptado de Canholi (2005).

3.3 SISTEMAS DE DRENAGEM

3.3.1 Sistemas Convencionais

Os sistemas convencionais de drenagem, também conhecidos como sistemas clássicos, baseiam-se em uma abordagem higienista, cujo objetivo principal é a rápida remoção das águas pluviais das áreas urbanas. Essa concepção surgiu como uma forma de afastar da cidade a água considerada "nociva", visando não apenas a prevenção de alagamentos, mas também o controle de doenças de veiculação hídrica (Baptista; Nascimento; Barraud, 2011).

Nesse modelo, as águas provenientes de superfícies impermeáveis, como telhados, ruas, calçadas e estacionamentos, são coletadas e conduzidas, por meio de estruturas hidráulicas, até a jusante da bacia urbana, geralmente com destino final em corpos hídricos receptores. Trata-se de um sistema que prioriza a eficiência do escoamento e o afastamento imediato da água da chuva, muitas vezes sem considerar os impactos a jusante ou a recarga do lençol freático (Tucci, 2009).

Os principais componentes desses sistemas incluem:

a) Bocas de lobo (BL): estruturas responsáveis pela captação das águas pluviais superficiais diretamente nas vias urbanas (Figura 3.3);

b) Poços de visita (PV): dispositivos de inspeção que permitem mudanças de direção, declividade e diâmetro das tubulações, além de facilitar a manutenção e limpeza das redes (Figura 3.4);

c) Galerias pluviais: canalizações subterrâneas de maior porte que interligam as bocas de lobo e os poços de visita, sendo responsáveis pelo transporte da água captada até sua destinação final (Figura 3.5).

Embora o sistema convencional tenha sido amplamente adotado no Brasil, ele apresenta limitações significativas quando aplicado em cenários de urbanização acelerada, especialmente em regiões com infraestrutura precária ou ausência de planejamento urbano integrado. Tais sistemas, ao privilegiar apenas o escoamento, tendem a transferir os impactos para jusante, aumentando o risco de inundações em outras áreas da bacia hidrográfica.

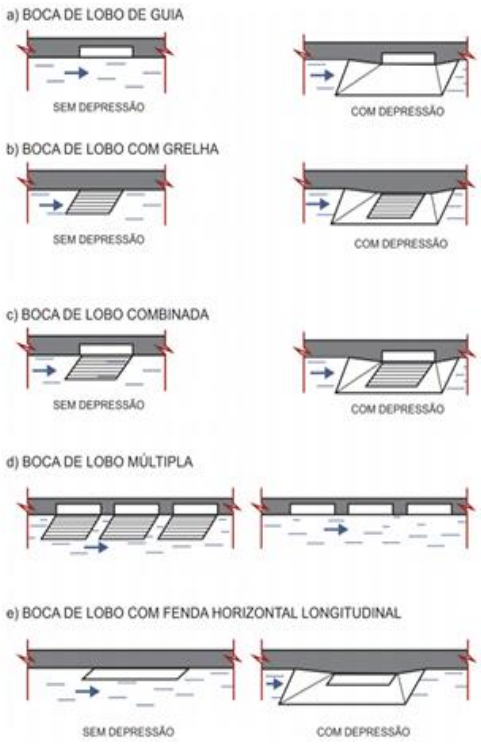


Figura 3.3 — Tipos de bocas de lobo (Manual de Drenagem SP, 2012).

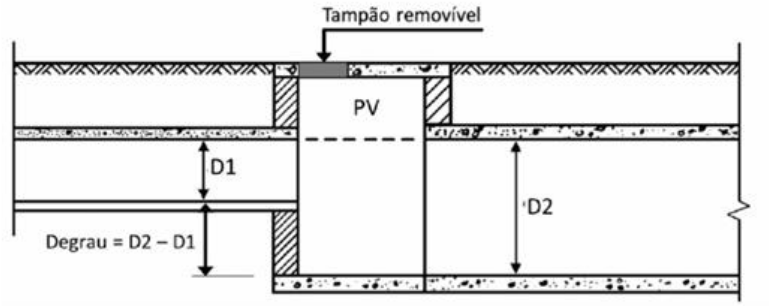


Figura 3.4 — Junção de rede por poço de visita (PV) (ADASA, 2018).

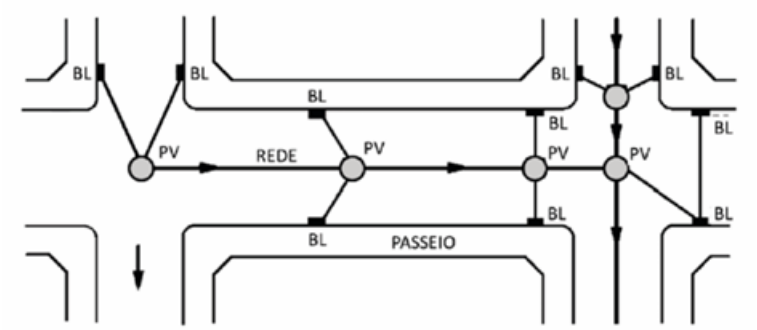


Figura 3.5 — Posição das bocas de lobo (BL) e poços de visita (PV) na rede de drenagem (ADASA, 2018).

A Prefeitura de Valparaíso de Goiás, por meio da Secretaria de Infraestrutura, Habitação e Serviços Urbanos, responde pela aprovação e fiscalização de projetos de drenagem pluvial no município. Um relatório municipal (EMPIA, 2019) destaca que, embora existam alguns dispositivos de drenagem urbana, como bocas de lobo e canais pontuais, o município não possui um Plano Diretor de Águas Pluviais estruturado, apresentando apenas ações emergenciais como limpeza de sistema, consertos em bocas de lobo, tapa-buracos e roçagem de vias públicas.

O Plano Diretor Municipal prevê medidas de preservação para infraestrutura hídrica urbana, incluindo áreas não edificáveis (Lei de Uso e Ocupação do Solo, art. 72, § 3º), mas ainda carece de um programa de manejo integrado de águas pluviais, diferentemente de municípios como Goiânia e do próprio DF.

Segundo o Relatório da EMPIA (2019), o sistema de drenagem de Valparaíso enfrenta as seguintes fragilidades:

a) estruturas físicas escassas, insuficientes para atender o crescimento urbano;

b) ausência de rede integrada de drenagem, resultando em alagamentos recorrentes;

c) vias não pavimentadas, agravando erosão e entupimentos;

d) conexões irregulares de esgoto à drenagem pluvial, com riscos sanitários.

O Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), em elaboração, inclui a proposta de criação de um Plano Diretor de Drenagem de Águas Pluviais, contemplando monitoramento, manutenção sistemática e integração técnica multissetorial.

No município ainda é necessário avançar no desenvolvimento normativo semelhante ao Termo de Referência da NOVACAP (DF) e ao Manual da ADASA, consolidando regulamentações técnicas formais, sistematização de dados e uma abordagem planejada para o controle pluvial com vistas à sustentabilidade e resiliência urbana.

O dimensionamento adequado das redes de drenagem pluvial é essencial para garantir eficiência hidráulica e viabilidade econômica. Tubulações superdimensionadas tornam o projeto oneroso, enquanto sistemas subdimensionados aumentam o risco de falhas e alagamentos futuros. Para áreas urbanas com área de contribuição inferior a 100 hectares, um dos métodos mais utilizados, devido à sua simplicidade, é o Método Racional, conforme recomendado pelo Manual de Drenagem da ADASA (2018). Este método estima a vazão de pico com base na intensidade da chuva, na área da bacia e no coeficiente de escoamento superficial, conforme expressa a Equação 3.1:

$$Q = 0{,}278 \,.\, C.\, i.\, A \qquad \text{(Equação 3.1)}$$

em que Q é a vazão (m³/s), C é o coeficiente de escoamento (adimensional), i é a intensidade da chuva (mm/h) e A é a área da bacia (km²).

A aplicação do método pressupõe algumas hipóteses: precipitação uniforme sobre toda a bacia, escoamento superficial simultâneo em toda a área contribuinte, e condições de permeabilidade constantes durante o evento (CETESB, 1980). Tais simplificações tornam o método menos adequado para áreas extensas ou com topografia e uso do solo muito variados. De modo geral, recomenda-se sua aplicação apenas para áreas com até 100 hectares, embora limites mais conservadores sejam adotados em algumas localidades, como 65 ha em Denver e 40 ha em Portland (ADASA, 2018). Em áreas maiores, é preferível a utilização de métodos mais robustos, como o hidrograma unitário, modelos chuva-vazão ou o modelo SCS (Soil Conservation Service).

Para a determinação da intensidade da chuva crítica em projetos de drenagem urbana, utiliza-se a curva IDF (Intensidade–Duração–Frequência), construída com base em séries históricas de dados pluviométricos. Essa curva estabelece a relação entre a

intensidade da precipitação, sua duração e o tempo de retorno associado, sendo fundamental para o dimensionamento de vazões de pico.

No caso de Valparaíso de Goiás, como ainda não há séries pluviométricas consolidadas específicas para o município, adotou-se, pela proximidade, a curva IDF de Brasília, recomendada pelo Manual de Drenagem Urbana da ADASA (2018), por se tratar da cidade mais próxima com dados sistematizados e confiáveis. A equação correspondente, calibrada com base nas medições da estação meteorológica do INMET localizada no Plano Piloto (Brasília/DF), é expressa pela Equação 3.2:

$$i = \frac{1574{,}7.Tr^{0{,}207}}{(tc + 11)^{0{,}884}} \qquad \text{(Equação 3.2)}$$

em que a intensidade da chuva i é expressa em mm/h, o tempo de recorrência Tr em anos e o tempo de duração da chuva tc em minutos.

A Figura 3.6 apresenta a curva IDF de Brasília elaborada pela CONCREMAT em 2008, conforme o Manual de Drenagem (ADASA, 2018), com intensidades associadas a tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, para durações variando entre 5 e 120 minutos, correspondendo a chuvas de até 2 horas.

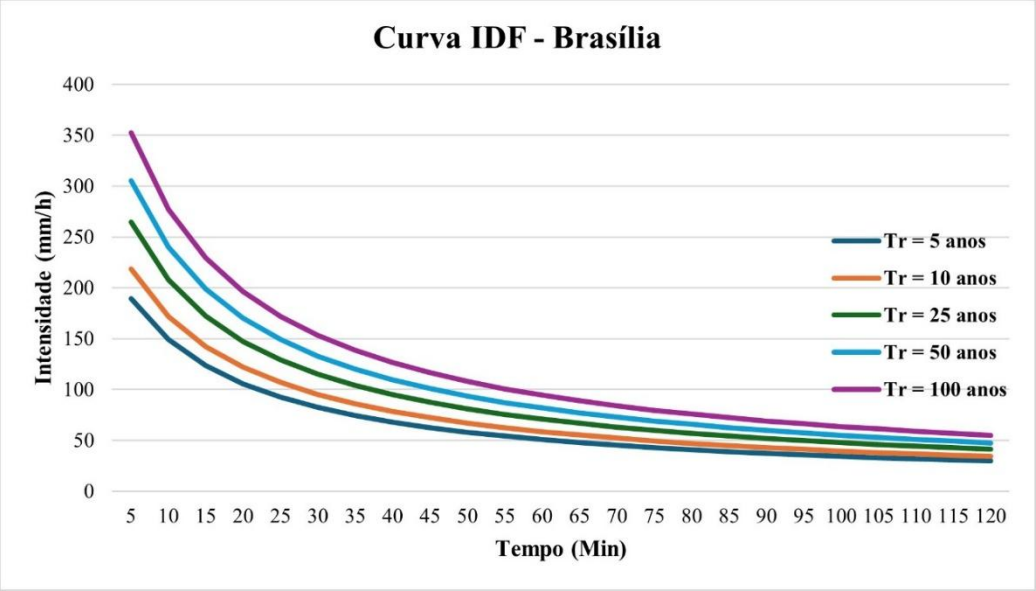


Figura 3.6 — Curva IDF de Brasília (adaptado do Manual de Drenagem da ADASA, 2018)

O coeficiente de escoamento superficial (C), também denominado coeficiente de runoff, representa a fração da precipitação que se transforma em escoamento superficial em uma determinada área. Em áreas urbanizadas, devido à substituição da cobertura vegetal por superfícies impermeáveis como telhados, calçadas e pavimentações, ocorre

frequentemente a inversão do balanço hídrico, com aumento expressivo do escoamento e significativa redução da infiltração. Dessa forma, quase toda a água da chuva passa a escoar superficialmente, elevando o valor de C e, consequentemente, a vazão projetada.

A determinação de C depende principalmente da capacidade de infiltração e do tipo de cobertura do solo, mas outros fatores também influenciam sua definição, como a declividade do terreno, o nível de saturação do solo, bem como a intensidade, duração e frequência das chuvas (Tomaz, 2002).

3.3.2 Técnicas Compensatórias ou Sistemas Alternativos (sustentáveis) de Drenagem Urbana

De acordo com Nascimento, Baptista e Souza (1997), os sistemas clássicos de drenagem, ao apenas transferirem os volumes de água para jusante, contribuem para a intensificação dos impactos negativos da urbanização sobre o ciclo hidrológico. Esses sistemas tendem a se tornar obsoletos rapidamente, além de agravar a frequência de inundações, erosão e poluição dos corpos hídricos receptores, resultando em consequências econômicas, sociais, ambientais e políticas.

Para mitigar esses efeitos, foram desenvolvidas as chamadas técnicas compensatórias ou alternativas de drenagem. Essas tecnologias têm como princípios fundamentais a retenção, infiltração e evapotranspiração das águas pluviais, com o objetivo de reduzir o volume de escoamento superficial e distribuir melhor as vazões ao longo do tempo. Nascimento, Baptista e Souza (1997) destacam que a adoção dessas técnicas depende de fatores como as características hidrológicas locais, os impactos sobre a bacia, a integração ao planejamento urbano, e os custos de implantação e manutenção.

A engenharia contemporânea trata o sistema de drenagem sob o enfoque da bacia hidrográfica, promovendo uma abordagem integrada e funcional. Assim, as técnicas podem variar de acordo com a região e o autor, recebendo diferentes nomenclaturas (ADASA, 2018).

A urbanização desordenada altera significativamente o ciclo hidrológico natural, elevando o escoamento superficial e reduzindo a infiltração da água no solo (Tucci, 2012). Em resposta a esses impactos, surgem os Sistemas de Drenagem Sustentável, ou Low Impact Development (LID), com o propósito de restabelecer condições hidrológicas similares às anteriores à urbanização (Baptista; Nascimento; Barraud, 2011). Essas técnicas ajudam a aliviar a sobrecarga nos sistemas convencionais, por meio de estratégias

de infiltração, retenção temporária e evapotranspiração (ADASA, 2018).

A escolha das técnicas deve levar em conta o tipo de solo, viabilidade técnica, custo de implantação e manutenção. Por exemplo, bacias de detenção a céu aberto são aproximadamente 40% mais econômicas do que estruturas subterrâneas (Canholi, 2014), mas exigem maior área disponível. Trincheiras de infiltração, apesar de eficientes, requerem manutenção periódica para evitar colmatação (ADASA, 2018).

No âmbito do Distrito Federal, o Manual de Drenagem da ADASA (2018) apresenta uma série de dispositivos recomendados, resumidos na Tabela 3.2, com indicações sobre seu uso típico e características básicas.

Tabela 3.2 — Uso típico dos dispositivos de controle de escoamento

DISPOSITIVOS	USO TÍPICO			ABATIMENTO DE VAZÃO		GEOMETRIA	
	Na Fonte	Micro drenagem	Macrodrenagem	Infiltração	Armazenamento	Linear	Localizada
Pavimento Permeável	X	X		X	X		X
Trincheira de Infiltração	X	X		X		X	
Vala de Infiltração	X	X		X	X	X	
Poço de Infiltração	X	X		X	X		X
Micro Reservatório	X	X			X		X
Telhado Reservatório	X				X		X
Reservatório de Detenção Aberto	X	X	X	X	X		X
Reservatório de Retenção Aberto	X	X	X	X	X		X
Reservatório Subterrâneo Pontual	X	X	X		X		
Reservatório Subterrâneo Linear	X	X	X			X	
Faixa Gramada	X	X		X	X	X	

Fonte: adaptado do Manual de Drenagem da ADASA (2018).

No entorno do Distrito Federal, incluindo Valparaíso de Goiás, ainda não existe um sistema de drenagem urbana estruturado nem um manual técnico oficial. A cidade, que cresce rapidamente e possui alta densidade populacional, apresenta grande número de condomínios residenciais. Nesse cenário, técnicas compensatórias como pavimentos permeáveis, telhados verdes e poços ou trincheiras de infiltração mostram-se especialmente adequadas como formas de controle na fonte.

3.3.2.1 Pavimentos Permeáveis

Pavimentos permeáveis permitem a infiltração da água no solo, reduzindo o coeficiente de escoamento superficial (CN). Sua aplicação é viável em áreas como estacionamentos, calçadas e vias secundárias, especialmente se associada a dispositivos como trincheiras de infiltração.

Esses pavimentos cumprem função estrutural de tráfego ao mesmo tempo que facilitam o escoamento das águas pluviais. Utilizam materiais como cimento Portland poroso, concreto asfáltico poroso ou juntas porosas em blocos de concreto. O concreto poroso deve ter espessura mínima de 7 cm, resistência entre 20 e 30 MPa, porosidade de 12% e taxa de infiltração de 1 cm/s (Figura 3.7).

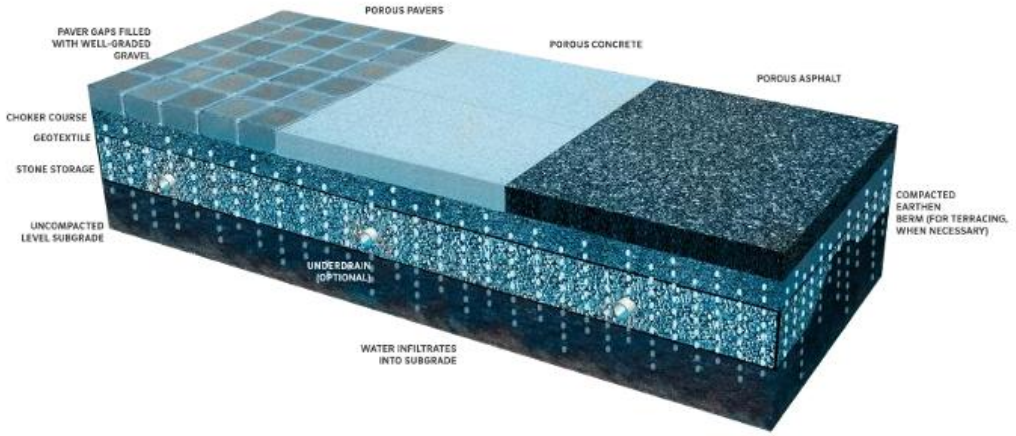


Figura 3.7 — Pavimento permeável (Philadelphia Water, 2014)

Após a infiltração inicial, o deflúvio é conduzido a um reservatório de material granular com alta porosidade, permitindo posterior infiltração ou captação por drenos. O tipo de pavimento é definido de acordo com o coeficiente de permeabilidade (K) do solo: valores inferiores a 10^{-5} m/s desaconselham a técnica; entre 10^{-5} e 10^{-3} m/s permitem infiltração parcial; acima de 10^{-3} m/s viabilizam infiltração total.

A principal limitação está na necessidade de manutenção periódica. A ADASA (2018) observa que a colmatação pode reduzir a taxa de infiltração a zero. No entanto, a limpeza por sucção pode restaurar a permeabilidade a cerca de $0{,}15 \cdot 10^{-3}$ m/s. Por essa razão, essa técnica não é recomendada para vias de alto tráfego ou locais com alta carga de sedimentos.

O volume de reservatório é dimensionado conforme a Equação 3.3, aplicável

também a outros dispositivos de infiltração descritos no Manual da ADASA.

$$V_p = 6000.\frac{t_d}{P}.(Q_a - Q_{ei}) \qquad \text{(Equação 3.3)}$$

V_p - Volume de preenchimento (m³);

t_d - Tempo de duração da chuva (min);

Q_a - Vazão afluente;

Q_{ei} - Vazão efluente infiltrada;

P - Porosidade do material granular.

3.3.2.2 Telhado Verde

Telhados verdes são especialmente indicados em áreas densamente urbanizadas, onde há pouca disponibilidade de espaço para estruturas convencionais como bacias de detenção. Funcionam como elementos de retenção e evapotranspiração, contribuindo para a redução da carga na rede pluvial.

Esses sistemas são instalados em telhados planos ou com pouca inclinação, utilizando barragens e limitadores de drenagem para reter temporariamente a água. Também se emprega uma membrana impermeável, com elevação de 15 cm acima do nível de pico, conforme Philadelphia Water (2014) na Figura 3.8. Um lastro de pedras pode ser utilizado para conforto térmico e proteção da membrana, desde que o tamanho das pedras ultrapasse a malha da tela de saída.

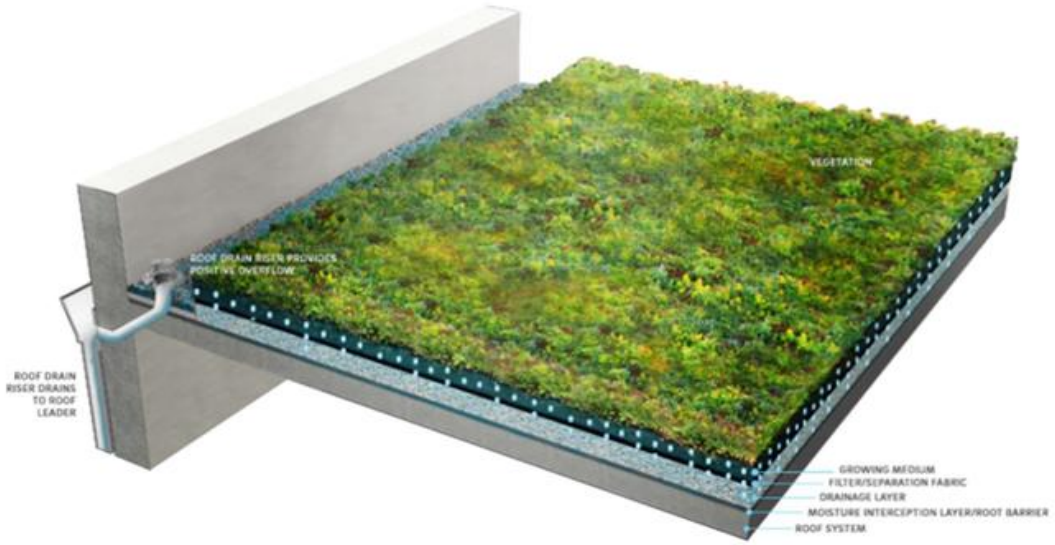


Figura 3.8 — Telhado verde (Philadelphia Water, 2014).

3.3.2.3 Trincheiras e poços de infiltração

Trincheiras de infiltração são estruturas lineares que podem ser descobertas ou cobertas com vegetação ou pavimento permeável, projetadas para amortecer e infiltrar o escoamento superficial no solo (Figura 3.9). São escavadas com volume predeterminado, revestidas com geotêxtil para evitar entrada de sedimentos, e preenchidas com brita uniforme. A ADASA (2018) recomenda sua aplicação em áreas com baixa carga de sedimentos ou com pré-tratamento por vegetação ou sedimentadores.

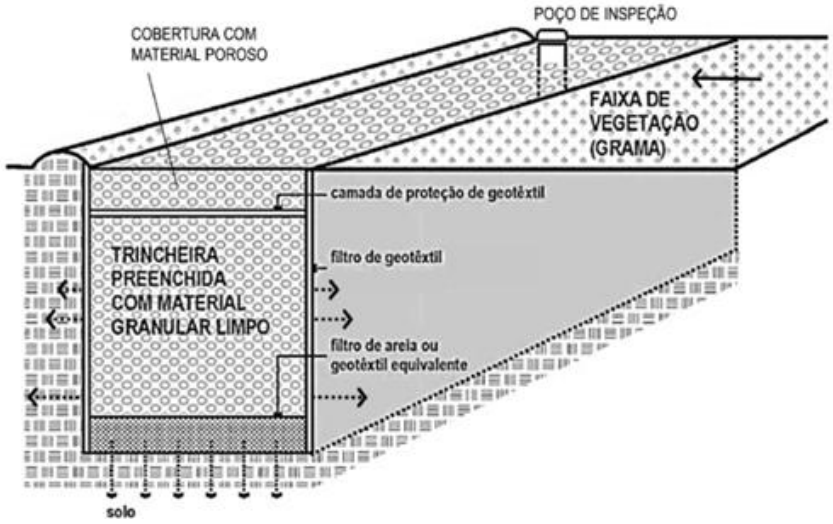


Figura 3.9 — Trincheira de Infiltração Genérica (ADASA, 2018).

Poços de infiltração são estruturas verticais, geralmente circulares, que podem alcançar profundidades de até 20 metros. Promovem alta taxa de infiltração por aumentarem o contato com camadas mais profundas do solo (Figura 3.10). Podem ser preenchidos com material granular ou construídos com paredes estruturais porosas. O dimensionamento segue o mesmo princípio dos demais dispositivos de infiltração, com uso de método interativo para determinar a altura máxima em função da duração da chuva considerada.

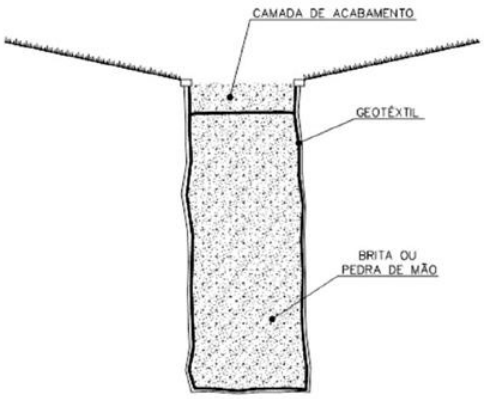


Figura 3.10 — Poço de infiltração (ADASA, 2018).

3.3.2.4 Bacias de Detenção

De acordo com Baptista, Nascimento e Barraud (2011), as bacias de detenção são estruturas projetadas para o acúmulo temporário e/ou infiltração de águas pluviais. Essas estruturas exercem três funções principais diretamente relacionadas ao controle pluvial urbano:

a) amortecimento de cheias geradas em contextos urbanos, atuando como medida de controle de inundações;

b) redução dos volumes de escoamento superficial, especialmente quando se trata de bacias com capacidade de infiltração;

c) redução da poluição difusa de origem pluvial em áreas urbanizadas.

Essas estruturas permitem mitigar os impactos das alterações hidrológicas provocadas pela urbanização, principalmente o aumento do escoamento superficial. No Brasil, e especialmente no Distrito Federal, as bacias de detenção já são utilizadas há algum tempo para o controle de cheias. No entanto, há um esforço crescente para integrá-las melhor ao planejamento urbano, algo que nem sempre foi priorizado no passado (Baptista; Nascimento; Barraud, 2011).

A Figura 3.11 ilustra a estrutura básica de uma bacia de detenção, composta por um ponto de entrada do afluente, duas saídas principais, uma inferior com função de conduto forçado, e outra superior, como vertedouro. Após um evento chuvoso, a água é conduzida à bacia pela rede de drenagem. Com o auxílio de dissipadores de energia, evita-se a erosão na entrada. O escoamento ocorre inicialmente pela saída inferior e, quando o nível atinge a altura do vertedouro, passa-se a verter também por essa saída. Se ambas as

descargas forem insuficientes, entra em funcionamento o vertedouro de emergência, permitindo o transbordo do volume excedente (Park et al., 2012).

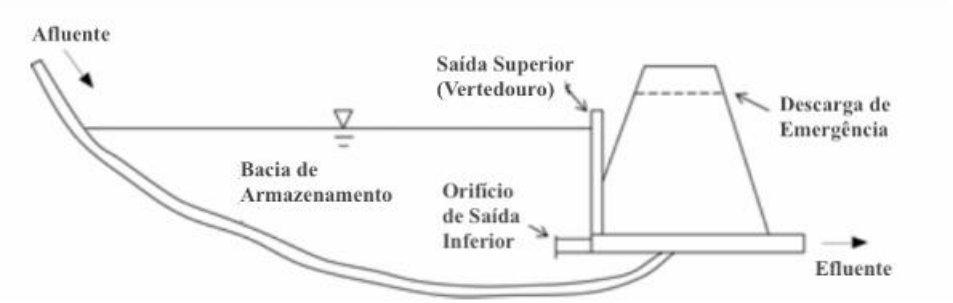


Figura 3.11 — Esquema básico de uma bacia de detenção (Akan, 1993)

A classificação das bacias pode considerar critérios como forma, uso e localização em relação ao sistema de drenagem pluvial que podem ser adotados para a sua melhor classificação (Baptista; Nascimento; Barraud, 2011):

a) Bacias a céu aberto: podem ter espelhos d'água permanentes (lagos artificiais), ser bacias secas (que armazenam água apenas após chuvas) ou se configurarem como zonas úmidas artificiais, semelhantes às várzeas.

b) Bacias subterrâneas ou cobertas: empregadas em áreas densamente urbanizadas, onde a implantação de estruturas a céu aberto não é viável.

Porto (2003) destaca que as bacias de detenção, além de reduzirem os picos de cheia, podem ter finalidades urbanísticas e ambientais, como criação de espaços de lazer e melhoria da qualidade da água por meio da remoção de sedimentos e poluentes.

Em Valparaíso de Goiás, até o momento, não há uma norma municipal específica ou um Plano Diretor de Drenagem Urbana. Dada a proximidade geográfica e hidrológica com o Distrito Federal, os critérios técnicos estabelecidos pelo DF são adotados como referência segura e aplicável.

Conforme o PDDU-DF (Distrito Federal, 2009), os critérios de projeto de drenagem devem estar alinhados ao Plano Diretor Urbano, considerando a ocupação futura das bacias hidrográficas. Isso se aplica tanto à macrodrenagem quanto à microdrenagem, de modo a evitar interferências negativas entre os sistemas.

A vazão de saída das bacias de detenção depende do tipo de dispositivo de descarga adotado, podendo ser constante ou variável, conforme o nível de armazenamento. Em dispositivos com controle de saída, como orifícios, a vazão varia com a altura da lâmina d'água. Segundo Baptista, Nascimento e Barraud (2011), é

possível adotar critérios de controle como o da Resolução nº 9/2011 da ADASA, que para o DF limita a vazão de saída a 24,4 L/s por hectare.

Quando o escoamento superficial entra em uma bacia de detenção, ele é armazenado temporariamente e posteriormente liberado pela estrutura de saída. Esse processo reduz o pico do hidrograma de saída em relação ao hidrograma de entrada, conforme ilustrado na Figura 3.12. Essa redução é denominada atenuação, e o procedimento de cálculo do hidrograma de saída a partir do hidrograma de entrada é conhecido como routing (Gribbin, 2007; Baptista; Nascimento; Barraud, 2011).



Figura 3.12 — Estimativa do volume de armazenamento para o reservatório de detenção (Baptista, Nascimento e Barraud, 2011)

O método de routing baseia-se na equação da continuidade, que expressa a conservação da massa de água em um reservatório. Essa equação é apresentada como a Equação 3.4:

$$\bar{I} - \bar{O} = \frac{dS}{dt} \qquad \text{(Equação 3.4)}$$

onde $\bar{I}$ é o fluxo de entrada (m³/s), $\bar{O}$ é o fluxo de saída (m³/s), dS é a variação no armazenamento (m³) e dt é o intervalo de tempo (s).

Para o dimensionamento de estruturas de armazenamento, Baptista, Nascimento e Barraud (2011) recomendam o método de Puls, um modelo hidrológico que simula a propagação em reservatórios e prevê o comportamento do sistema em fase de concepção e diagnóstico. O método de Puls modificado é conceitual, baseado em relações de armazenamento e não visa representar os processos dinâmicos com precisão. Ele utiliza a equação da continuidade (Equação 3.5), o princípio da conservação de energia (função de armazenamento ideal) e a equação de controle hidráulico (curva cota-descarga, Equação 3.6):

$$S = kQ^n \quad \text{(Equação 3.5)}$$

$$Q = C_d L H^a \quad \text{(Equação 3.6)}$$

na Equação 3.5, K é o coeficiente de armazenamento e n é o expoente do controle hidráulico (n = 1 para controle linear, n > 1 para não linear). Na Equação 3.6, Cd é o coeficiente de descarga, L representa a dimensão da estrutura de controle, H é a carga hidráulica e a depende do tipo de estrutura hidráulica.

Entre as limitações do método de Puls estão a necessidade de definição precisa da curva de descarga para estruturas complexas e a escolha adequada do evento de projeto. Sistemas de detenção tendem a ter tempos de resposta mais longos que redes de condutos simples, exigindo maior detalhamento nas simulações (Baptista; Nascimento; Barraud, 2011).

3.3.3 Bacias de Detenção no entorno do Distrito Federal

Embora o uso de bacias de detenção esteja consolidado no Distrito Federal, por meio do Plano Diretor de Drenagem Urbana (Distrito Federal, 2009) e da Resolução ADASA nº 9/2011, no entorno imediato do DF, como nos municípios goianos de Valparaíso de Goiás, Novo Gama e Cidade Ocidental, a adoção dessas estruturas ainda ocorre de forma pontual e descentralizada, sem respaldo em um plano diretor de drenagem ou diretrizes técnicas estaduais.

Segundo o Relatório da EMPIA (2019), Valparaíso de Goiás não possui um sistema de drenagem urbana integrado, tampouco bacias de detenção implantadas como parte de um planejamento regional. Entretanto, o relatório menciona estruturas isoladas de retenção em loteamentos e condomínios, como valas de infiltração e reservatórios de contenção temporária, geralmente implantados como medidas mitigadoras exigidas no licenciamento ambiental de empreendimentos habitacionais.

Em contraste, o Distrito Federal já conta já implantou dezenas de bacias de detenção em áreas urbanas consolidadas como Vicente Pires, Santa Maria, Guará e Riacho Fundo II. A presença dessas bacias em diferentes regiões administrativas do DF evidencia uma abordagem mais estruturada para o manejo das águas pluviais, enquanto Valparaíso ainda enfrenta a ausência de diretrizes municipais consolidadas sobre drenagem urbana.

Portanto, ainda que os municípios do entorno não contem com legislação ou manuais técnicos próprios sobre drenagem urbana, o exemplo do DF se mostra uma

referência técnica válida, mas com ressalvas para a adaptabilidade à realidade local, especialmente em Valparaíso, pois mesmo compartilhando a mesma bacia hidrográfica e condições de urbanização acelerada, o DF possui uma condição orçamentaria bem mais favorável.

3.4 MODELAGEM COMPUTACIONAL

A modelagem computacional aplicada aos sistemas de manejo de águas pluviais é uma ferramenta essencial para a representação e compreensão dos processos hidrológicos e hidráulicos em ambientes urbanos. Esses modelos permitem prever cenários futuros, simular situações distintas das observadas e testar alternativas de intervenção antes da implementação em campo. Com isso, tornam-se instrumentos valiosos para o planejamento, dimensionamento e gestão da drenagem urbana, possibilitando uma análise quantitativa de medidas estruturais e não estruturais (Tucci, 1998).

Segundo Tucci (1998), a modelagem computacional voltada à drenagem urbana pode ser classificada em três categorias:

a) modelos hidrológicos — simulam o escoamento superficial em uma bacia, considerando chuvas críticas e variáveis como infiltração, perdas iniciais e o amortecimento proporcionado por dispositivos como bacias de detenção. são usados para obtenção dos hidrogramas de projeto;

b) modelos hidráulicos — analisam o comportamento do escoamento dentro de condutos e canais, considerando diferentes seções e condições de escoamento (livre ou forçado);

c) modelos hidrológico-hidráulicos — também chamados de modelos integrados, possibilitam a análise simultânea dos processos hidrológicos na bacia e do escoamento na rede de drenagem. permitem simulações em bacias extensas e em redes complexas que operam sob regime de pressão. estes modelos são capazes de gerar linhas de inundação com apoio de modelos digitais de terreno (MDT) e também avaliam aspectos da qualidade da água;

Barbosa (2006) destaca que a utilização adequada desses modelos envolve três fases principais:

a) calibração – ajuste dos parâmetros do modelo com base em dados reais (históricos ou amostrais);

b) verificação – verificação da fidelidade do modelo em simular o comportamento observado;

c) previsão – aplicação do modelo para simular diferentes cenários e prever o comportamento do sistema em situações futuras ou alternativas.

A etapa de verificação exige dados medidos em campo, raramente disponíveis e de difícil obtenção, principalmente quando não há séries históricas consolidadas ou sistemas de monitoramento contínuo da drenagem urbana.

A modelagem permite aos usuários analisar velocidades, níveis, vazões e volumes nos condutos, realizar transformações chuva-vazão, simular sistemas de controle como bacias de detenção, vertedores, orifícios e bombas, além de implementar medidas não estruturais de controle. Alguns modelos avançados ainda possibilitam o estudo do transporte de sedimentos, avaliação da qualidade da água pluvial e a operação de sistemas de drenagem urbanos em tempo real (Cabral *et al*., 2009).

Com a evolução das ferramentas de geotecnologias, os modelos computacionais passaram a incorporar interfaces gráficas e sistemas de geoprocessamento, facilitando a inserção e visualização de dados, a representação geométrica das redes e a elaboração de mapas temáticos com os resultados da simulação.

3.4.1 Storm Water Management Model - Swmm

O Storm Water Management Model (SWMM) é um modelo matemático desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) desde 1971, utilizado para a simulação dinâmica de escoamentos e processos relacionados ao ciclo hidrológico urbano. Seu objetivo principal é representar o comportamento de bacias urbanas sob a ação de eventos de chuva, permitindo a análise da geração de escoamento superficial, transporte em redes de drenagem e qualidade da água (Gironás; Roesner; Davis, 2009).

Com base no código aberto do SWMM, a empresa Computational Hydraulics International (CHI Water) desenvolveu o PCSWMM, uma interface gráfica aprimorada que incorpora ferramentas de geoprocessamento e permite uma operação mais intuitiva do modelo. O PCSWMM será a ferramenta utilizada neste estudo, com foco na simulação da drenagem urbana do Parque Esplanada 1, da Cidade Jardins e do Setor de Chácaras Ypiranga, em Valparaíso de Goiás.

O modelo hidrológico do SWMM considera a subdivisão da bacia em áreas de

contribuição (sub-bacias), onde a precipitação gera escoamento e poluentes. O modelo hidráulico, por sua vez, simula o transporte deste escoamento por meio de condutos, canais, dispositivos de armazenamento, estações elevatórias e outros elementos de controle. A simulação é feita em múltiplos intervalos de tempo, permitindo análises detalhadas do comportamento do sistema (Rossman, 2016).

Segundo Righetto (2009), o SWMM é estruturado em nove módulos, sendo quatro módulos computacionais principais:

a) *runoff* — transformação da chuva em vazão;

b) *transport* — transporte em condutos com base na onda cinemática;

c) *extran* — simulação hidrodinâmica em canais e galerias;

d) *storage*/*treatment* — modelagem de reservatórios e processos de tratamento.

Além disso, o SWMM permite diversas aplicações, conforme destacado por Righetto (2009):

a) dimensionamento de sistemas de drenagem urbana;

b) avaliação de bacias de detenção e controle de qualidade da água;

c) mapeamento de áreas inundáveis;

d) simulação de medidas compensatórias de drenagem;

e) estimativas de poluição difusa e fontes pontuais;

f) simulação de processos de infiltração, evaporação e escoamento superficial.

Durante a simulação, cada sub-bacia é representada como um reservatório não-linear, conforme ilustrado na Figura 3.13. A precipitação atua como entrada, enquanto evaporação, infiltração e armazenamento temporário atuam como perdas. Quando o armazenamento excede a profundidade da depressão da sub-bacia, ocorre o escoamento superficial (Rossman, 2016).

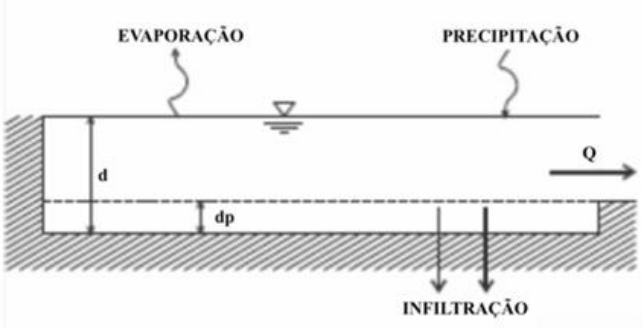


Figura 3.13 — Esquema de reservatório na sub-bacia (adaptado de Rossman, 2016)

Para a execução da modelagem, o programa requer dados de entrada como:

a) precipitação pluviométrica;

b) área e declividade das sub-bacias;

c) percentual de impermeabilização;

d) geometria da rede — cotas, seções, diâmetros, comprimentos;

e) profundidade do lençol freático;

f) elementos hidráulicos como bombas, poços de visita e dispositivos de controle.

O modelo oferece três métodos de infiltração: Horton, Green-Ampt e o método da Curva Número (CN), adotado pelo *Soil Conservation Service* (SCS), todos aplicáveis à simulação de perdas por infiltração no solo. Os resultados gerados incluem vazões, profundidades, velocidade do fluxo, poluentes e eficiência de dispositivos como bacias de detenção (Righetto, 2009; Rossman, 2016).

Além disso, o SWMM permite a simulação do transporte hidráulico por três métodos:

a) escoamento em regime uniforme;

b) onda cinemática;

c) onda dinâmica.

O método da onda dinâmica apresenta maior precisão, pois resolve de forma completa as equações de Saint-Venant, que contemplam conservação de massa e quantidade de movimento para escoamentos não permanentes.

A eficiência do SWMM pode ser ilustrada por estudos como o de Silva Junior, Silva e Cabral (2017), que aplicaram o modelo em Recife para avaliar soluções compensatórias em um ponto crítico de alagamento. A simulação de alternativas como a readequação da rede e a implantação de uma bacia de detenção demonstrou que apenas a segunda foi eficaz para mitigar alagamentos com tempo de retorno de dois anos.

Dessa forma, o SWMM se mostra uma ferramenta robusta e versátil para o planejamento e gestão de sistemas de drenagem urbana, sendo amplamente utilizada em estudos técnicos, acadêmicos e em processos de licenciamento e requalificação urbana.

4 METODOLOGIA

No presente trabalho propôs-se a analisar o manejo de águas pluviais no Parque Esplanada 1, Cidade Jardins e no Setor de Chácaras Ypiranga, localizado no município de Valparaíso de Goiás – GO, região integrante da RIDE-DF (Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno), considerando também a influência das vazões provenientes do Polo Juscelino Kubitschek – DF sobre o sistema de drenagem da área urbana de Valparaíso. Essa localidade apresenta, há anos, ocorrências recorrentes de alagamentos e inundações em decorrência de eventos pluviométricos intensos, conforme relatos da população e observações de campo.

Foi utilizado o programa PCSWMM (Personal Computer Storm Water Management Model) como ferramenta principal para a modelagem hidráulica da rede de drenagem existente. Utilizando o programa, simulou-se o comportamento da bacia urbana em diferentes cenários, incluindo a situação atual e alternativas com medidas estruturais e sustentáveis de controle de cheias.

Para embasar as análises e propor soluções adequadas, foram consideradas informações topográficas, pluviométricas, de uso e ocupação do solo, além do levantamento da rede de drenagem existente (formal e informal), dados obtidos por meio de imagens de satélite, visitas de campo, dados da prefeitura municipal e bases cartográficas públicas, como o IBGE e o INMET.

A modelagem da rede consolidada no PCSWMM, permitiu avaliar os pontos críticos de alagamento, estimar a capacidade hidráulica dos dispositivos existentes e, com base nos resultados obtidos, propor cenários de melhoria que envolvam desde ajustes físicos na rede até a implantação de medidas compensatórias, como bacias de detenção e técnicas de baixo impacto ambiental (*Low Impact Development* – LID). A Figura 4.1 representa o fluxograma da metodologia a ser aplicada.

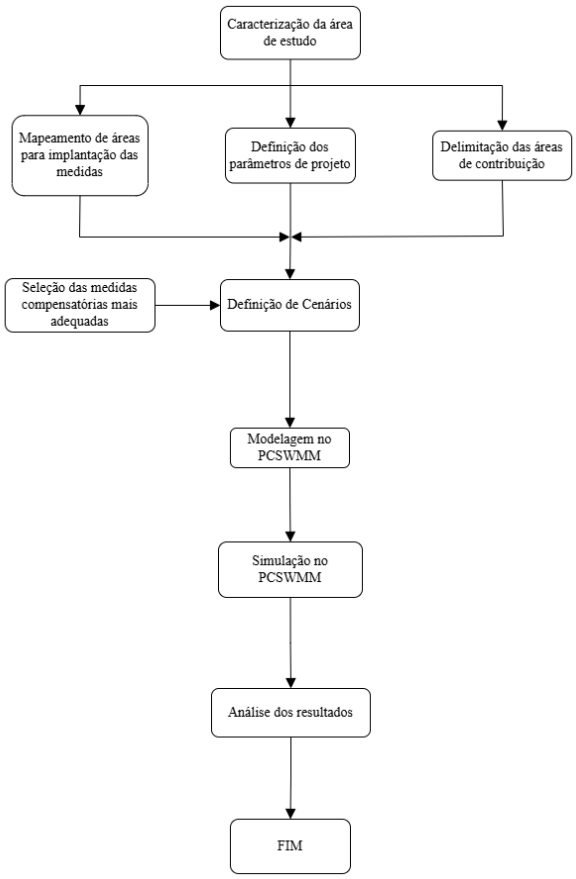


Figura 4.1 — Fluxograma da metodologia a ser utilizada (Elaborado pelo autor)

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo tem como área de análise o Setor de Chácaras Ypiranga, a Cidade Jardins e o Parque Esplanada 1, localizados no município de Valparaíso de Goiás, integrante da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE-DF). Valparaíso está inserido na Região Metropolitana do Entorno Sul do Distrito Federal e faz limite com os municípios de Cidade Ocidental, Novo Gama e com o Distrito Federal, estando aproximadamente a 35 km do centro de Brasília.

A ocupação do território teve início ainda na década de 1950, impulsionada pela construção de Brasília e pela instalação de loteamentos destinados a trabalhadores e migrantes que buscavam residir próximos à nova capital. O primeiro núcleo urbano consolidado foi o Parque São Bernardo, também conhecido como Parque da Divisa, criado em 1959 como área de lazer e atividades noturnas vinculadas ao Distrito Federal. Posteriormente, em 1979, foi inaugurado o Núcleo Habitacional Valparaíso I, projetado pelo arquiteto colombiano César Barney e construído pela Encol S.A., com 864 casas e

infraestrutura básica inicial, marcando o início da urbanização formal do município (Matos, 2024).

Em 18 de julho de 1995, por meio da Lei Estadual nº 12.667, Valparaíso foi emancipado de Luziânia, tornando-se um dos municípios mais dinâmicos do Entorno Sul (Governo de Valparaíso de Goiás, 2025). A Figura 4.2 apresenta a localização do município e a Figura 4.3 e Figura 4.4 o macrozoneamento urbano do município em 2012 e 2017.

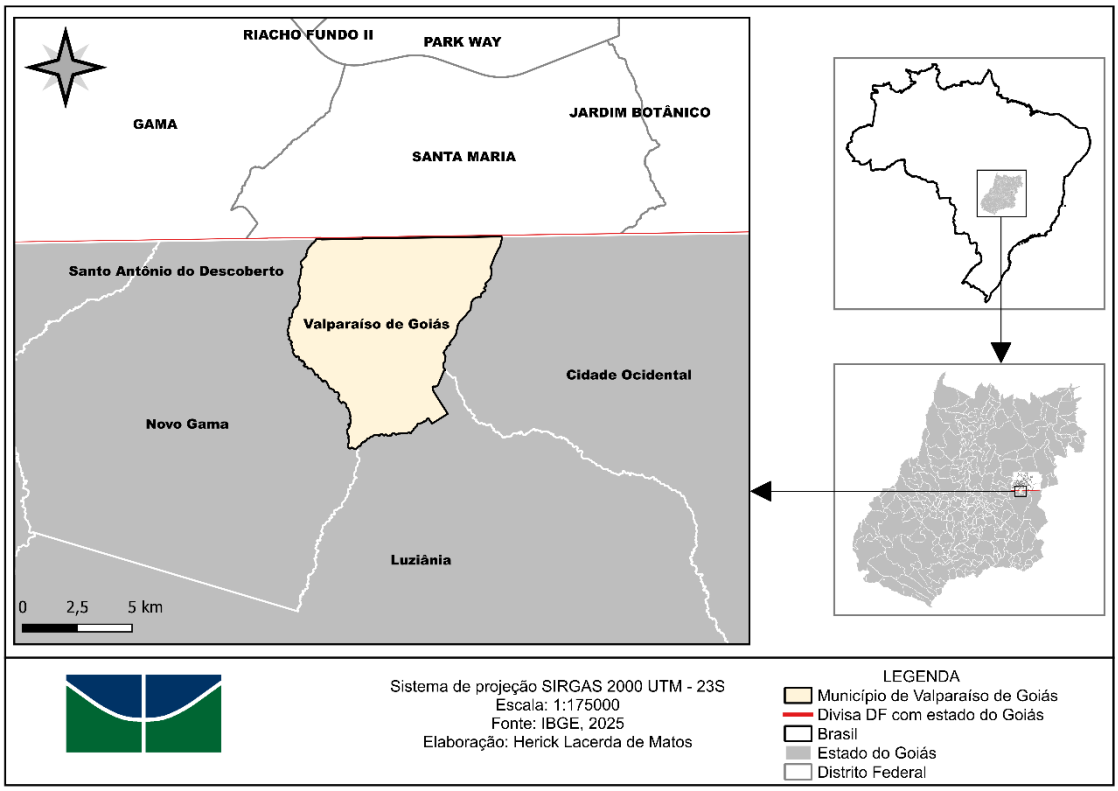


Figura 4.2 — Localização de Valparaiso de Goiás (adaptado de IBGE, 2025)

O município de Valparaíso de Goiás possui um Plano Diretor aprovado em 2012, posteriormente revisado em 2017, que delimitou zonas urbanas com elevados coeficientes de aproveitamento, como as Zonas de Uso Misto 2 e 3 (ZUM2 e ZUM3), permitindo edificações verticais e intensificação do adensamento populacional. Conforme ilustrado no macrozoneamento urbano vigente em 2012 (Figura 4.3) e em sua revisão de 2017 (Figura 4.4), essa configuração territorial contribuiu significativamente para o aumento da pressão sobre a infraestrutura urbana existente, reduzindo as áreas potenciais de infiltração e ampliando a vulnerabilidade do município frente a eventos de cheia e alagamentos (Matos, 2024).

Entretanto, conforme destaca Matos (2019), um dos principais impactos ambientais observados em Valparaíso de Goiás decorre da revogação da Lei Complementar nº 040/2006 pela Lei nº 063/2012, que reformulou o Plano Diretor Municipal sem ampla participação popular. Essa alteração normativa resultou no rezoneamento de áreas anteriormente classificadas como ZAR (Zona de Adensamento Restrito) e ZAE (Zona de Atividades Econômicas) para ZUM (Zona de Uso Misto), processo evidenciado nas mudanças espaciais entre os macrozoneamentos apresentados nas Figuras 4.3 e 4.4. Tal reconfiguração comprometeu o ordenamento territorial e favoreceu o adensamento urbano descontrolado, especialmente em regiões originalmente destinadas a usos de baixa densidade.

Esse processo reflete a ineficácia do planejamento urbano municipal, marcada por falhas na adequação às realidades locais, ausência de instrumentos efetivos de controle e fiscalização e pela priorização de interesses econômicos em detrimento da sustentabilidade ambiental. Como observa Matos (2019), a elaboração do Plano Diretor ocorreu de forma apressada e sem integração efetiva entre as políticas de habitação, saneamento e drenagem urbana. O próprio Secretário de Habitação à época reconheceu que "[...] tem áreas aqui que estão verticalizando, e hoje não temos um plano de saneamento básico, e tem que estar contido dentro do plano diretor [...] As pessoas vinham e construíam e deixavam o problema para o município" (Reis, 2019 *apud* Matos, 2019, p. 70).

A flexibilização dos parâmetros urbanísticos e a manipulação dos coeficientes de aproveitamento transformaram áreas de uso rural e de média densidade, como as Chácaras Anhanguera e o Setor de Chácaras Ypiranga, em zonas densamente ocupadas, sem a correspondente implantação de infraestrutura adequada de drenagem pluvial, esgotamento sanitário e abastecimento de água. Esse adensamento desordenado, intensificado ainda pela implementação do programa federal Minha Casa Minha Vida, ampliou as ocupações em áreas suscetíveis a alagamentos e processos erosivos, evidenciando a desconexão entre o crescimento urbano observado nas Figuras 4.3 e 4.4 e o planejamento territorial efetivo (Matos, 2019).

Além disso, de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), o município não dispõe de mapeamento de áreas de risco de inundação nem de um Plano Diretor de Drenagem Urbana, o que evidencia a carência de instrumentos técnicos e institucionais voltados ao manejo adequado das águas pluviais. Essa lacuna no planejamento urbano reforça a necessidade de estudos hidrológicos e

hidráulicos, como o desenvolvido neste trabalho, que subsidiem a formulação de políticas públicas e soluções estruturais e não estruturais voltadas à mitigação dos impactos decorrentes da impermeabilização do solo e das deficiências do sistema de drenagem urbana.

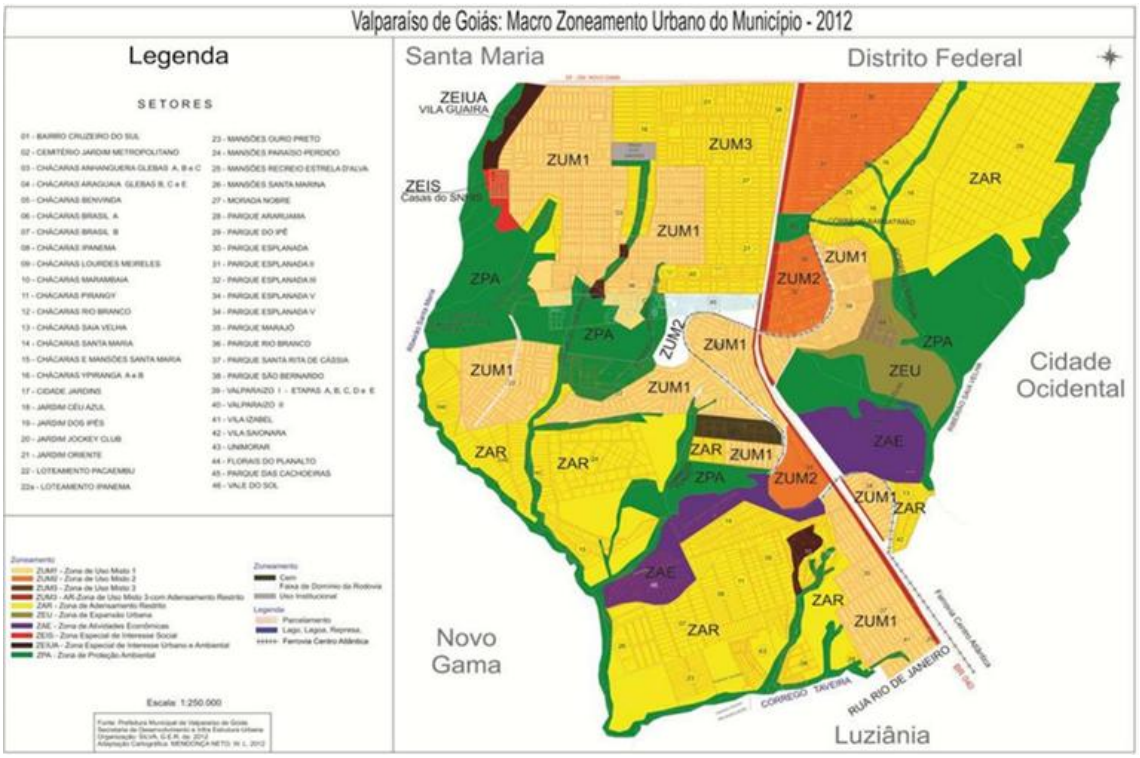


Figura 4.3 — Macrozoneamento urbano do Valparaíso de Goiás em 2012 (Matos, 2019)

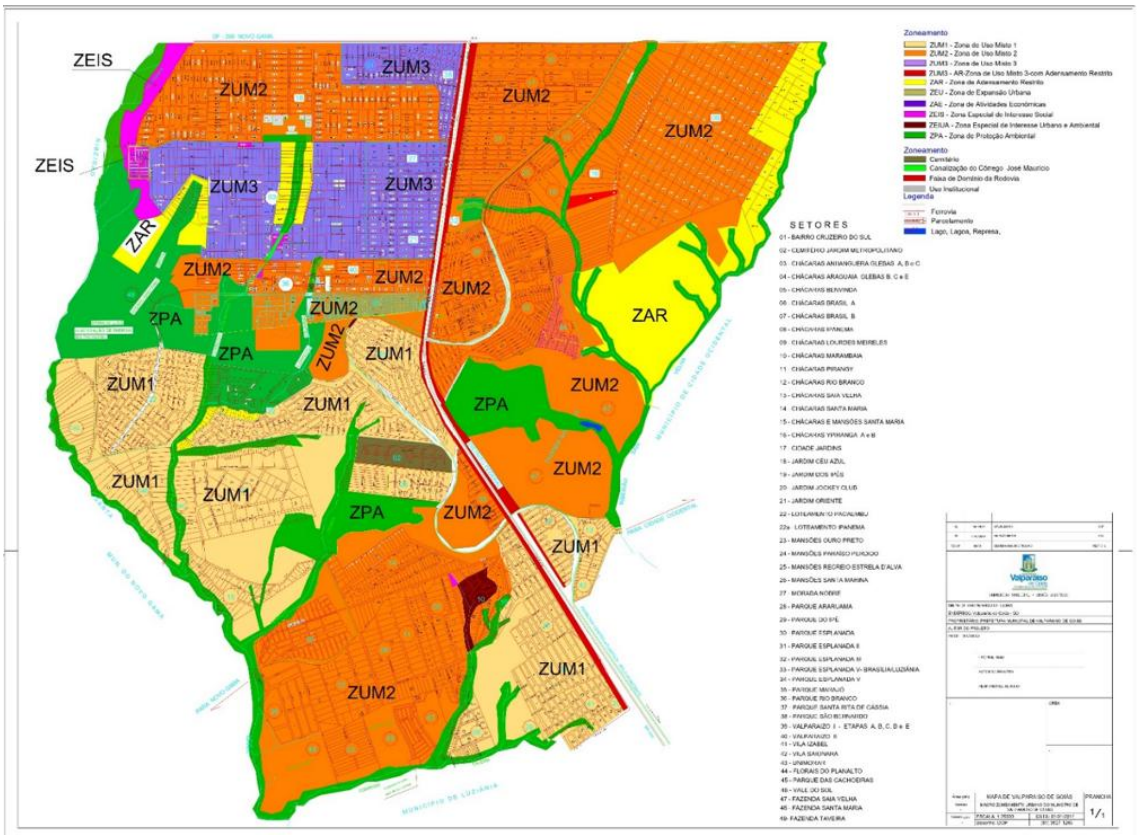


Figura 4.4 — Macrozoneamento urbano do Valparaíso de Goiás em 2017 (Matos, 2019)

Valparaíso de Goiás é o município que mais cresce na região e um dos que mais crescem no Brasil, com população de 196.967 habitantes, conforme o Censo 2022 (IBGE, 2023). Esse crescimento acelerado tem resultado em adensamento urbano significativo, sobretudo por meio da verticalização do uso do solo. De acordo com o mesmo censo, Valparaíso lidera nacionalmente o aumento percentual de moradores em apartamentos, saltando de 10,8% para 35,1% da população residindo nesse tipo de edificação. Esse padrão se reflete na proliferação de condomínios verticais e conjuntos habitacionais, principalmente em setores como o da Chácara Ypiranga, onde houve intensa conversão de áreas rurais para fins urbanos, muitas vezes sem o devido planejamento urbano e ambiental. A partir disso, a Figura 4.5 representa a localização da área de estudo no contexto regional.

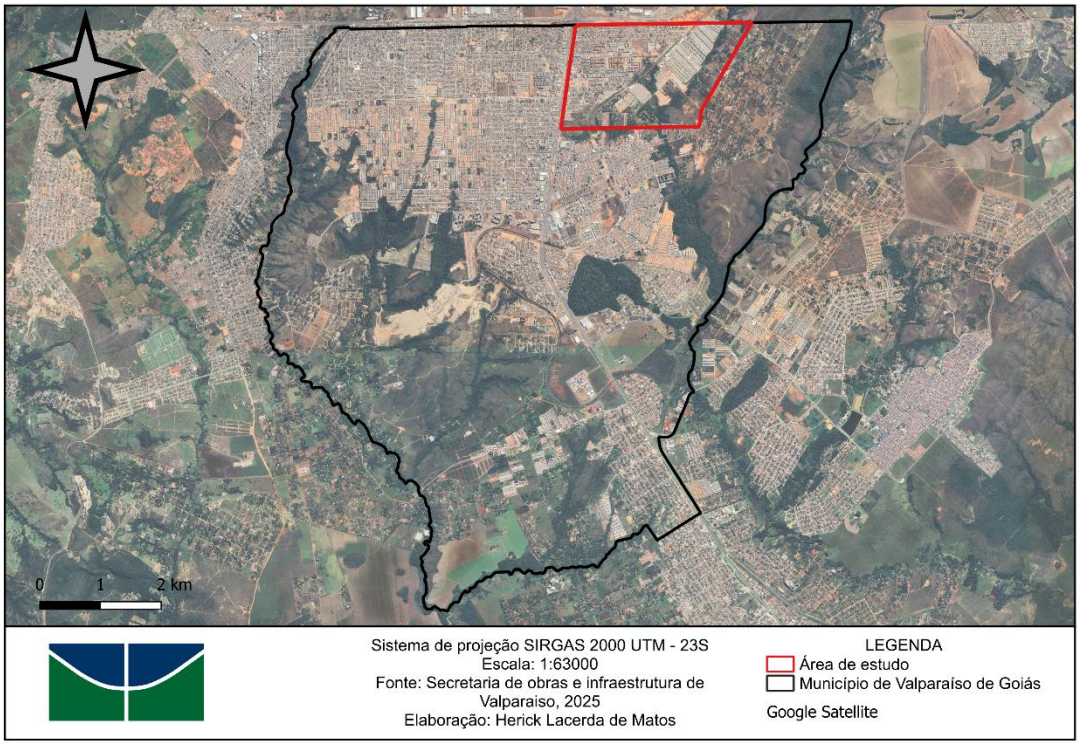


Figura 4.5 — Localização da área de estudo no contexto regional (adaptado de Secretaria de Obras e Infraestrutura de Valparaíso, 2025)

O Setor de Chácaras Ypiranga é exemplo desse crescimento desordenado, marcado pela conversão de áreas rurais em loteamentos urbanos, muitas vezes sem infraestrutura adequada. A ocupação do solo na região caracteriza-se por parcelamentos irregulares e uso residencial de média e baixa densidade, com crescente impermeabilização do solo e consequente intensificação dos episódios de alagamentos e enxurradas na região. Esse cenário foi agravado por eventos recentes de chuvas intensas, que evidenciaram a vulnerabilidade do setor a inundações.

Em dezembro de 2024, um temporal de grande intensidade provocou destruição em diversas partes de Valparaíso de Goiás, sendo o Setor de Chácaras Ypiranga uma das áreas mais atingidas. Conforme noticiado pelo portal Metrópoles (Figueiredo, 2024), ruas e imóveis foram alagados, carros foram arrastados pela força da enxurrada e imóveis sofreram danos significativos. Vídeos compartilhados por moradores mostram a correnteza invadindo áreas residenciais e comerciais, com grande volume de água descendo pelas vias, em razão da ausência de dispositivos eficazes de escoamento. A Figura 4.6 apresenta um desses registros compartilhados pelos moradores do local.



Figura 4.6 — Registro de enxurrada em via urbana no Setor de Chácaras Ypiranga (Metrópoles; Figueiredo, 2024)

De forma semelhante, outra ocorrência crítica foi registrada e divulgada pelo G1 Goiás (Jornal Anhanguera, 2024), na qual a enxurrada derrubou muros, invadiu apartamentos térreos e causou estragos materiais em diversos condomínios localizados no setor. O volume de água foi tão expressivo que ultrapassou os meios-fios e barreiras físicas, adentrando edificações e comprometendo a segurança da população local, a situação é apresentada na Figura 4.7.



Figura 4.7 — Alagamento em área residencial no Setor de Chácaras Ypiranga (G1 Goiás; Jornal Anhanguera, 2024)

De forma mais recente, episódios semelhantes de alagamentos e enxurradas têm sido amplamente registrados no município, evidenciando a persistência e

a gravidade do problema. Em reportagem veiculada pelo portal G1 Goiás e exibida pela TV Anhanguera (Figura 4.8), foi noticiado um episódio ocorrido em Valparaíso de Goiás no qual uma mulher e sua sobrinha foram arrastadas pela água durante uma forte chuva, em decorrência da formação de uma enxurrada intensa em via urbana. As imagens, registradas por câmeras de segurança, mostram a elevada energia do escoamento superficial, capaz de deslocar pedestres e causar risco iminente à integridade física da população, inclusive de um comerciante que tentou prestar auxílio e também foi arrastado pela correnteza. As imagens documentadas reforçam a inexistência de uma rede de drenagem eficiente, capaz de amortecer e conduzir adequadamente o escoamento superficial gerado por eventos pluviométricos extremos.



Figura 4.8 — Registro de enxurrada em via urbana no município de Valparaíso de Goiás durante evento de chuva intensa (G1 Goiás; TV Anhanguera, 2026)

Topograficamente, a área apresenta altitudes que variam entre 865 e 1.150 metros, com relevo predominantemente plano a levemente ondulado, características comuns ao bioma Cerrado. No que se refere aos aspectos pedológicos da região, os latossolos constituem a classe de solos mais representativa no Estado de Goiás e no Distrito Federal. Essa tipologia ocorre, em maior proporção, nas regiões sudoeste, central e oeste do estado. Em Valparaíso de Goiás, além dos latossolos, há presença significativa de neossolos, que representam a segunda classe de maior ocorrência na área (Nascimento, 2017). De acordo com Lepsch (2002), os latossolos, por serem produtos de um estágio avançado de intemperismo, tendem a ser profundos, porosos, permeáveis e com baixa fertilidade natural.

O município de Valparaíso de Goiás está inserido na bacia do Rio Paranaíba, sub-

bacia do Rio São Bartolomeu, afluente do Rio Corumbá. Na área de estudo passam os afluentes Ribeirão Saia Velha, córrego do Mangal e o córrego Roncador. A Figura 4.9 apresenta o mapa hidrográfico da área, de acordo com os dados disponibilizados pela secretaria de obras e infraestrutura do município e a Figura 4.10 apresenta imagens do córrego do Mangal.

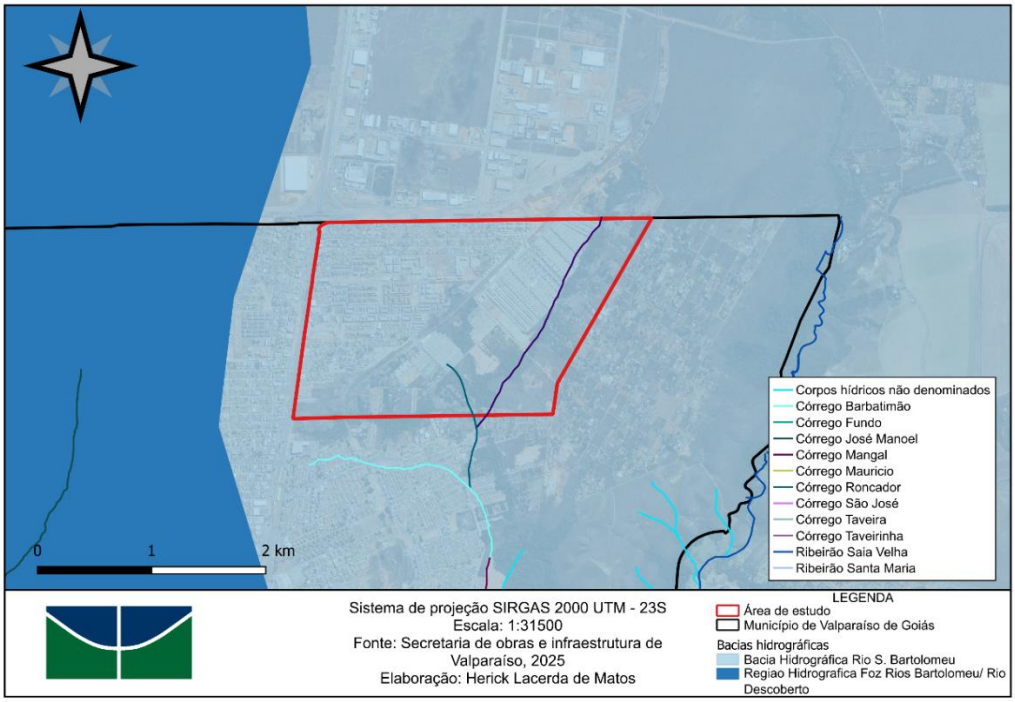


Figura 4.9 — Hidrografia e bacias da área de estudo (adaptado de Secretaria de Obras e Infraestrutura de Valparaíso, 2025)



Figura 4.10 — Córrego do Mangal (Elaborado pelo autor)

A rede de drenagem existente na área é majoritariamente composta por estruturas informais ou subdimensionadas. Não há até o momento cadastro técnico completo da rede pluvial do setor, sendo necessário o levantamento em campo e o cruzamento com bases cartográficas municipais. Observa-se ainda a ausência de dispositivos de controle de vazão, como bacias de detenção ou técnicas de controle na fonte. A Figura 4.11 ilustra a limitação e a descontinuidade do sistema de drenagem atualmente cadastrado na área de estudo.

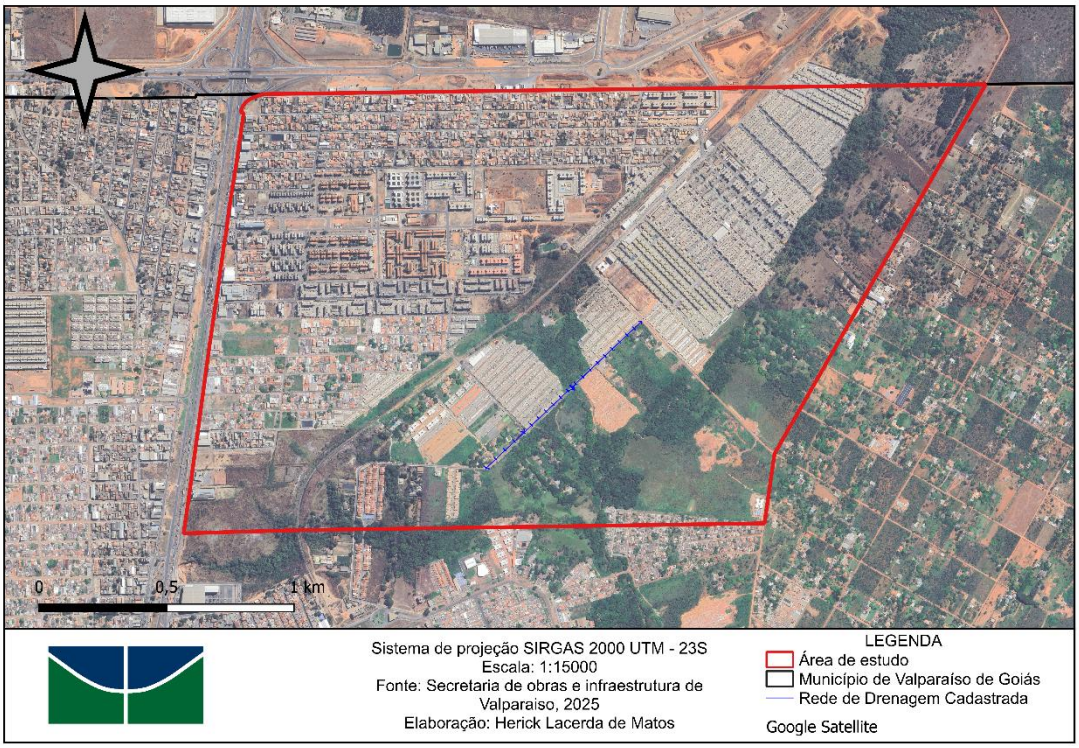


Figura 4.11 — Rede de Drenagem Cadastrada (adaptado de Secretaria de Obras e Infraestrutura de Valparaíso, 2025)

O clima da região é tropical, com estação seca bem definida entre maio e setembro e estação chuvosa entre outubro e abril. A precipitação média anual em Valparaíso de Goiás gira em torno de 1.550 mm, com intensidades significativas concentradas nos meses de dezembro a fevereiro (Goiás, 2021). Dada a ausência de estação pluviométrica oficial no município, os estudos de drenagem utilizam como referência a estação do INMET localizada no Plano Piloto, em Brasília. A equação IDF (Intensidade-Duração-Frequência) adotada para simulações é a sugerida pelo Manual de Drenagem da ADASA (2018), considerando um tempo de retorno de projeto de 10 anos, conforme parâmetros técnicos recomendados.

A ausência de um Plano Diretor de Drenagem Urbana e de normas técnicas municipais para o manejo de águas pluviais evidencia a necessidade de estudos e

modelagens que subsidiem intervenções futuras. A presente monografia visa contribuir com esse esforço, por meio da análise hidráulica da rede existente e da proposição de soluções sustentáveis.

4.2 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS PARA O PCSWMM

Para a realização das simulações no PCSWMM, foi essencial o levantamento e a preparação de uma série de informações técnicas da bacia hidrográfica em estudo. Essas informações foram obtidas majoritariamente por meio de ferramentas de geoprocessamento, e incluem:

a) geração do Modelo Digital do Terreno (MDT), utilizando software como o QGIS, com o objetivo de identificar as declividades e o escoamento superficial ao longo da área de estudo;

b) delimitação da bacia hidrográfica e subdivisão em sub-bacias contribuintes, de forma a representar adequadamente as áreas de contribuição para cada elemento da rede de drenagem;

c) mapeamento do uso e ocupação do solo;

d) seleção da chuva de projeto, com base na equação IDF (Intensidade–Duração–Frequência) recomendada pelo Manual de Drenagem da ADASA (2018), dado que Valparaíso de Goiás não possui estação pluviométrica própria.

Esses procedimentos representam a etapa inicial fundamental para a inserção dos dados no PCSWMM, especialmente no que se refere ao lançamento do cadastro da rede de drenagem existente e à definição das respectivas áreas de contribuição para cada componente da rede. A partir desses dados de entrada, foi possível realizar as simulações hidrológicas e hidráulicas de maneira consistente e realista.

Com os resultados das simulações, conduziu-se uma análise dos pontos críticos de alagamento identificados pela modelagem, considerando critérios como sobrecarga das tubulações, insuficiência de escoamento e acúmulo superficial. Essa análise teve como foco principal a região do Setor de Chácaras Ypiranga, do Parque Esplanada 1 e da Cidade Jardins, especialmente os trechos mais impactados pela drenagem deficiente, conforme levantamentos de campo e relatos da população local.

A partir das curvas de nível com equidistâncias de 5 metros e 1 metro, disponibilizadas pela Secretaria de obras e infraestrutura de Valparaíso de Goiás, foi possível gerar o Modelo Digital do Terreno (MDT) da área de estudo, representado na

Figura 4.12. Esse modelo permitiu uma representação tridimensional da superfície, fundamental para análises hidrológicas e para a delimitação precisa da área de contribuição da bacia urbana em análise.

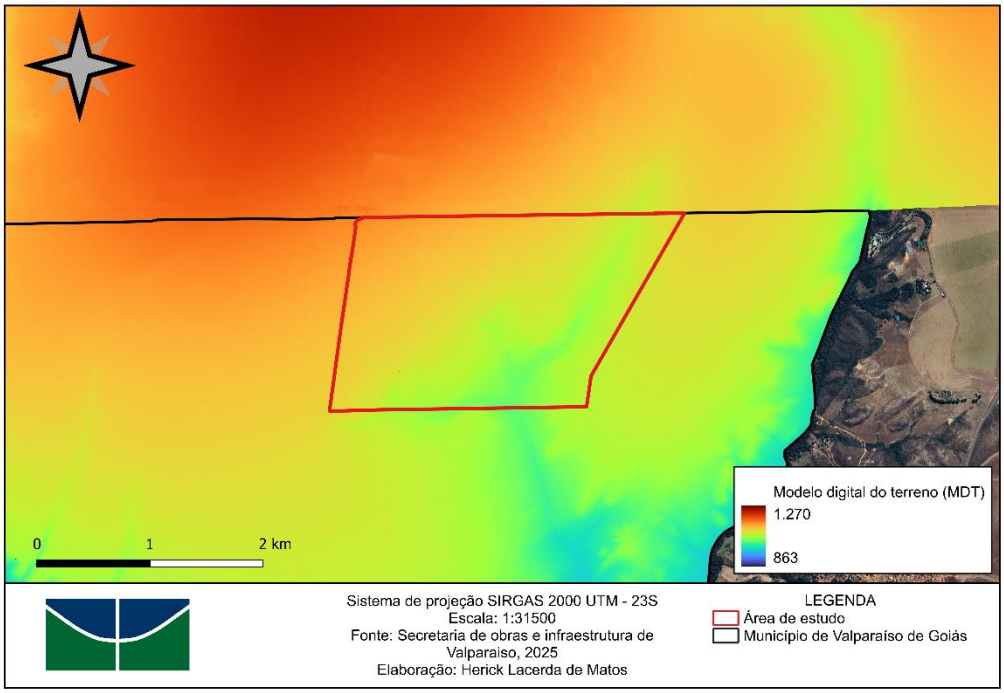


Figura 4.12 — Modelo Digital do Terreno (adaptado de Secretaria de Obras e Infraestrutura de Valparaíso, 2025)

A geração do MDT (Figura 4.12) foi a base para a elaboração do mapa de fluxo, o qual representa o escoamento superficial potencial da água da chuva sobre o terreno. Esse mapa, mostrado na Figura 4.13, foi utilizado para determinar os caminhos preferenciais da água e subsidiar a delimitação das bacias hidrográficas locais.

A análise das linhas de fluxo permitiram verificar que, possivelmente, parte das águas pluviais do Polo JK drenam para a região de montante da área de estudo. Assim, a verificação da existência de projetos de drenagem para o Polo JK, foi incluído no escopo deste estudo.

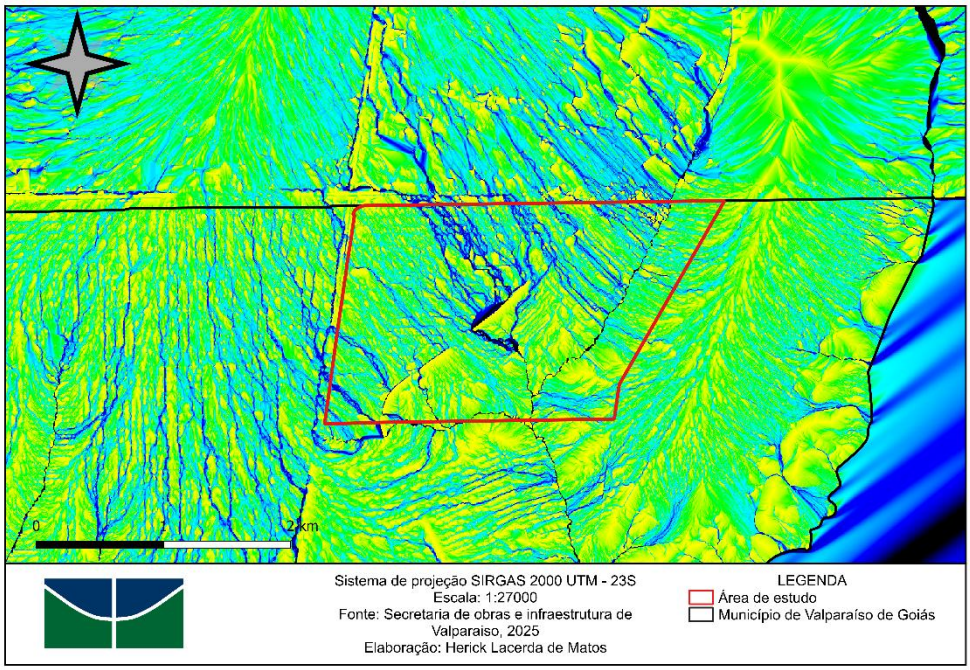


Figura 4.13 — Mapa de fluxo superficial (adaptado de Secretaria de Obras e Infraestrutura de Valparaíso, 2025)

Com base nos dados topográficos, foi possível delimitar a bacia hidrográfica de interesse, a qual abrange a área de estudo. A delimitação está representada na Figura 4.14, e foi fundamental para as etapas seguintes de modelagem no PCSWMM, bem como para a identificação dos pontos críticos de alagamento e proposta de soluções.

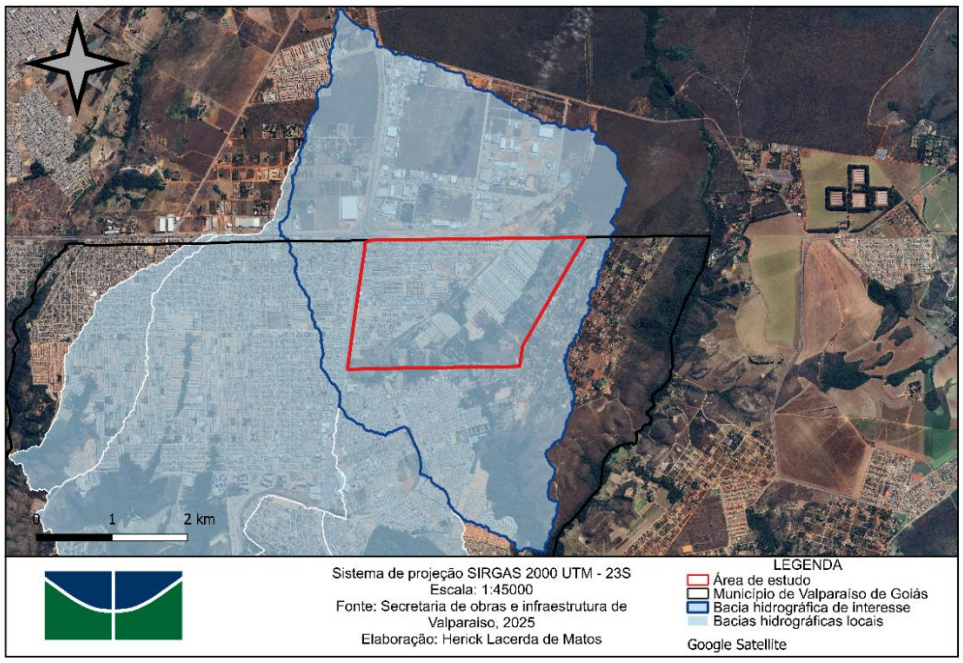


Figura 4.14 — Delimitação da bacia hidrográfica urbana (adaptado de Secretaria de Obras e Infraestrutura de Valparaíso, 2025)

4.3 SIMULAÇÃO PCSWMM

A modelagem hidrológica e hidráulica foi realizada por meio do software PCSWMM, no qual foi simulado o comportamento dos processos hidrológicos na área de estudo, localizada no município de Valparaíso de Goiás - GO, e também no Polo JK localizado no Distrito Federal em divisa com o Valparaíso, considerando diferentes cenários de ocupação e de manejo das águas pluviais.

Foram utilizadas chuvas de projeto com tempo de retorno de 10 anos, com o objetivo de avaliar a resposta hidrológica da bacia urbana frente a eventos mais frequentes e menos intensos, bem como a eventos mais raros e mais intensos. Dessa forma, buscou-se analisar o impacto da urbanização e a eficiência das soluções propostas para o controle do escoamento superficial.

O método adotado para a estimativa do escoamento superficial e da infiltração foi o método Curve Number (CN), do Soil Conservation Service (SCS). Para a simulação do escoamento na rede de drenagem, foi utilizado o modelo de onda dinâmica, por permitir uma representação mais detalhada das condições hidráulicas, incluindo efeitos de remanso, armazenamento e variação de velocidade ao longo do sistema.

Nos itens a seguir são apresentados os principais parâmetros adotados, bem como os cenários simulados e os aspectos considerados em cada simulação associada às diferentes chuvas de projeto.

4.3.1 Definição de sub-bacias

A definição das sub-bacias dos sistemas consistiu em utilizar a delimitação dos lotes da área de estudo, disponibilizadas pela secretaria da referente área dentro do Valparaiso e pela NOVACAP referente ao Polo JK. Devido ao elevado grau de impermeabilização característico do setor Polo JK, um setor com muitas industrias e galpões, direciona o escoamento para os bairros do Valparaiso presentes na área de estudo.

4.3.2 Parâmetro Length e Width das sub-bacias

O parâmetro *Length* representa a distância percorrida pela água desde o ponto hidraulicamente mais distante da sub-bacia até o seu ponto de saída. Esse parâmetro foi

determinado por meio da ferramenta “Caixa delimitadora” no software QGIS, que calcula o menor retângulo capaz de conter integralmente a geometria da sub-bacia, a partir das coordenadas mínimas e máximas.

Considerando que as sub-bacias da área de estudo apresentam geometria predominantemente retangular, esse método mostrou-se adequado para a estimativa do comprimento hidráulico.

O parâmetro *Width* corresponde à largura efetiva da área contribuinte para o escoamento superficial. No PCSWMM, esse valor é calculado automaticamente a partir da área da sub-bacia e do comprimento, conforme a Equação 4.1:

$$Width\ (m) = \frac{Área\ (m2)}{Lenght\ (m)} \qquad \text{(Equação 4.1)}$$

4.3.3 Parâmetro Curver-Number (CN)

Conforme apresentado na caracterização da área de estudo, a área analisada encontra-se predominantemente sobre Latossolo Vermelho, o qual pode ser classificado no Grupo Hidrológico A segundo o método *Curve Number* (CN), caracterizado por elevada capacidade de infiltração.

De acordo com Tucci (2005) e Baptista, Nascimento e Barraud (2011), para os diferentes tipos de uso e ocupação do solo identificados na área de estudo, foram adotados os seguintes valores de CN: 90 para áreas urbanizadas, 40 para áreas de campo e 75 para o tipo de solo predominante. A partir desses valores, foi realizada a ponderação do CN de cada sub-bacia, considerando a proporção de cada classe de uso do solo, por meio da ferramenta de média ponderada disponível no PCSWMM.

Segundo o manual de referência do SWMM (Rossman; Huber, 2015), para a correta aplicação do método *Curve Number*, alguns parâmetros devem ser ajustados: a porcentagem de área impermeável da sub-bacia deve ser considerada igual a zero, uma vez que a impermeabilização já é implicitamente contabilizada no método CN. Além disso, o coeficiente de rugosidade da área permeável deve ser definido como zero, de modo a evitar atrasos artificiais no escoamento superficial.

4.3.4 Precipitações de Projeto

Para a simulação hidrológica foram utilizadas chuvas sintéticas de projeto,

determinadas a partir da curva IDF (Intensidade–Duração–Frequência), conforme a Equação 3.2. Optou-se pela simulação de precipitação, correspondentes aos tempos de retorno de 10 anos, com o objetivo de avaliar o comportamento do sistema de drenagem e das soluções propostas frente a eventos frequentes e de menor intensidade, bem como a eventos mais intensos e menos frequentes.

A duração das simulações foi definida de acordo com a presença ou não de estruturas de controle hidráulico. Para os cenários que incorporam reservatórios de detenção, adotou-se uma duração total de 24 horas, permitindo a análise completa dos processos de armazenamento, amortecimento e escoamento retardado. Para os cenários sem reservatórios, utilizou-se uma duração de 2 horas, compatível com eventos críticos de curta duração típicos de áreas urbanas.

A distribuição temporal da precipitação foi realizada por meio do método dos blocos alternados, com intervalos de 5 minutos, técnica amplamente empregada em estudos hidrológicos urbanos por representar adequadamente a variabilidade temporal da intensidade da chuva e sua influência na geração do escoamento superficial. A Figura 4.15 mostra os hietogramas das chuvas de projeto com tempo de retorno de 10 anos para durações de 2 horas e de 24 horas.

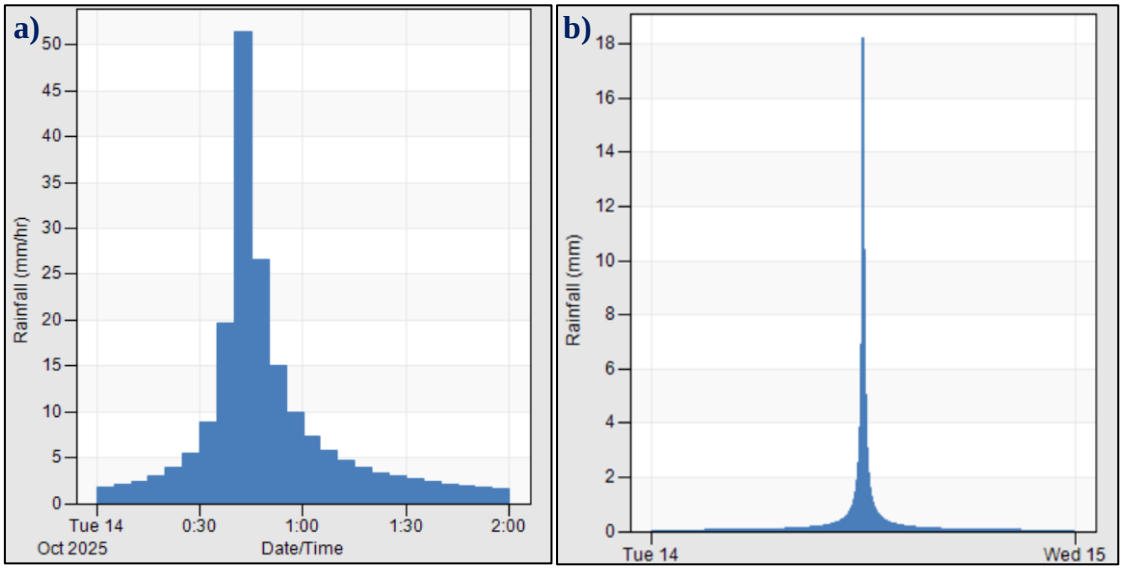


Figura 4.15 — Hietogramas das chuvas de projeto com tempo de retorno de 10 anos para durações (a) 2 horas e (b) 24 horas (Elaborado pelo autor)

4.3.5 Cenários de simulação

Foram definidos quatro cenários de simulação, elaborados com o objetivo de

avaliar o comportamento hidráulico do sistema de drenagem urbana e sua influência na transferência de vazões entre o Polo JK e a área urbana de Valparaíso de Goiás, bem como a eficiência de medidas estruturais de controle do escoamento superficial.

A Tabela 4.1 apresenta um resumo dos cenários simulados, destacando suas principais características hidráulicas e hidrológicas.

Tabela 4.1 — Síntese dos cenários de simulação adotados

CENÁRIO	**1º cenário (Rede de drenagem do Polo JK)**	**2º cenário (Rede de drenagem da área de estudo em Valparaíso de Goiás)**	**3º cenário (Rede de drenagem com reservatórios de detenção)**	**4º cenário (Aplicação de LID no Condomínio Green Park II – Trincheira de infiltração)**
Objetivo da Simulação	Avaliar a capacidade hidráulica da rede de drenagem em implantação no Polo JK e verificar a possibilidade de transferência de vazões para Valparaíso de Goiás	Avaliar comportamento hidráulico da área urbana de Valparaíso de Goiás de forma isolada, sem contribuição do Polo JK.	Avaliar a eficiência de reservatórios de detenção como medida estrutural de controle do escoamento superficial na área de estudo.	Avaliar o efeito da aplicação de uma solução de drenagem de baixo impacto na redução do escoamento superficial local.
Área Representada	Área do Polo JK	Área urbana de estudo em Valparaíso de Goiás	Área urbana de estudo em Valparaíso de Goiás	Sub-bacia do Condomínio Green Park II
Configuração da Rede	Rede existente conforme projeto executivo da NOVACAP	Rede teórica dimensionada conforme Manual de Drenagem Urbana da ADASA, devido à inexistência de rede cadastrada	Rede do Cenário 2 acrescida de reservatórios de detenção	Mesma configuração do Cenário 3
Reservatórios	2 sistemas de reservatórios em série, subdivididos em R1A-R1B e R2A-R2B	Não	3 reservatórios de detenção (1.500m², 45.000m² e 800m²)	3 reservatórios de detenção (cenário 3)
LID	Não	Não	Não	Trincheira de infiltração (3.800m²)
Chuva de Projeto	TR = 10 anos/ Duração = 24h	TR = 10 anos/ Duração = 2h	TR = 10 anos/ Duração = 24h	TR = 10 anos/ Duração = 24h

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.6 Modelagem dos cenários

4.3.6.1 Primeiro cenário (Rede de Drenagem do Polo JK)

O primeiro cenário foi modelado com o objetivo de avaliar o desempenho hidráulico da rede de drenagem do Polo JK, considerando sua capacidade de condução de precipitação simuladas e a possibilidade de transferência de vazões excedentes para a área urbana de Valparaíso de Goiás, localizada a jusante.

A necessidade de avaliação desse cenário está diretamente relacionada ao histórico de ausência de um sistema de drenagem pluvial adequado na região do Polo JK, conforme apontado no Projeto Executivo de Drenagem Pluvial Urbana, no Relatório do Projeto de Drenagem Pluvial Urbana e nas Complementações referentes à 1ª e 2ª Etapas da Área de Desenvolvimento Econômico Polo Juscelino Kubitschek, elaborados pela NOVACAP. De acordo com esses documentos, a área não dispunha de redes de lançamento e tampouco de estruturas de amortecimento de picos de vazão, como reservatórios de detenção, resultando no lançamento livre do escoamento superficial, sem o devido disciplinamento hidráulico.

Ainda segundo o levantamento técnico da NOVACAP, a implantação de bueiros sob a via férrea da FCA, associada ao aumento progressivo da impermeabilização do Polo JK e à implantação parcial da drenagem que foi realizada de forma desordenada, sem respeitar a lógica de jusante para montante, em que, contribuiu para o agravamento de processos erosivos e para a concentração do escoamento superficial em dispositivos pontuais. Esse contexto resultou em frequentes alagamentos no aterro da ferrovia da FCA, gerando situações de insegurança operacional e evidenciando que as vazões geradas no Polo JK são naturalmente direcionadas para áreas a jusante, incluindo o município de Valparaíso de Goiás.

Diante desse cenário, a modelagem hidráulica teve como finalidade verificar se a rede de drenagem atualmente em implantação no Polo JK é capaz de disciplinar adequadamente o escoamento superficial, reduzir os impactos associados a eventos extremos e minimizar a transferência de vazões para a área urbana de Valparaíso.

A modelagem desse cenário foi realizada com base nos dados da rede de drenagem cedidos pela NOVACAP, incluindo informações referentes aos poços de visita (PVs), condutos, reservatórios e tubulações existentes. Ao todo, o modelo hidráulico do Polo JK foi composto por 442 poços de visita, 235 sub-bacias e dois sistemas de reservatórios em

serie, cada um subdividido em duas unidades operacionais (R1A e R1B, R2A e R2B). As áreas dos reservatórios são de 20.957,45 m² (R1A), 29.798,60 m² (R1B), 6.448,27 m² (R2A) e 11.027,30 m² (R2B). Os reservatórios R1A e R1B operam em série, sendo que o R1B também recebe contribuição direta do PV 442, a Figura 4.16 ilustra a modelagem do sistema com foco nos reservatórios.

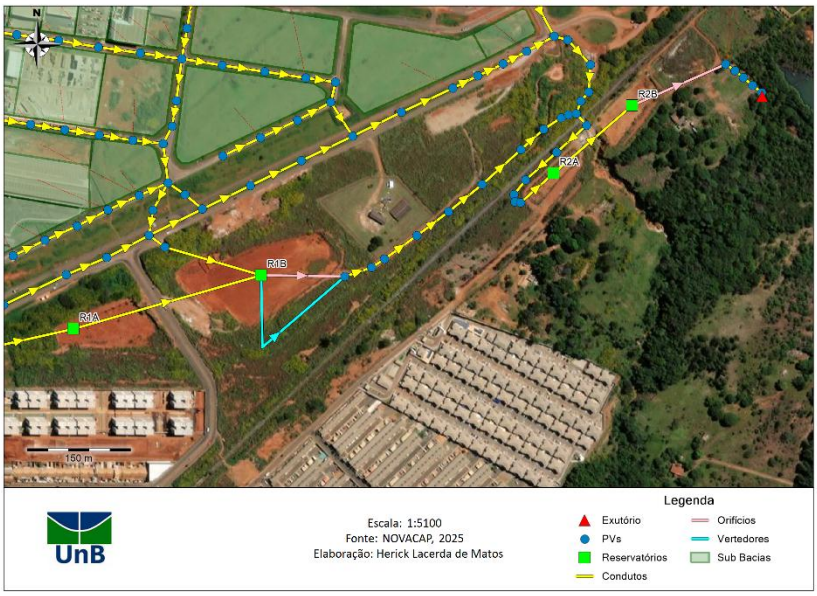


Figura 4.16 — Modelagem da rede de drenagem do Polo JK com destaque para os reservatórios de detenção (Adaptado de NOVACAP, 2025)

O mapa base da Figura 4.16, em conjunto com a Figura 4.17, evidencia que essas estruturas se encontram em fase de implantação no empreendimento, conforme previsto no projeto executivo.



Figura 4.17 — Implantação dos reservatórios de detenção no Polo JK (Elaborado pelo autor)

Esses dados permitiram a representação da infraestrutura real em implantação no

Polo JK, possibilitando a análise de sua capacidade hidráulica, bem como a identificação de eventuais pontos de sobrecarga, extravasamento ou contribuição de vazões para áreas externas ao empreendimento. De modo a representar adequadamente a infraestrutura projetada e sua operação hidráulica, conforme apresentado na Figura 4.18.

Para este cenário, foi considerada uma chuva de projeto com duração de 24 horas e tempo de retorno de 10 anos, por se tratar de um sistema que incorpora reservatórios e que influencia diretamente áreas urbanas a jusante, exigindo avaliação sob eventos de maior severidade.



Figura 4.18 — Representação da rede de drenagem modelada para o Polo JK (Adaptado de NOVACAP, 2025)

4.3.6.2 Segundo cenário (Rede de drenagem da área de estudo em Valparaíso de Goiás)

O segundo cenário representa a rede de drenagem da área de estudo em Valparaíso de Goiás, considerada de forma isolada, sem a contribuição de vazões provenientes do Polo JK. Esse cenário teve como finalidade avaliar o comportamento hidráulico do sistema existente frente a eventos de menor magnitude, representativos de situações mais frequentes.

O lançamento da rede e o pré-dimensionamento foram realizados utilizando critérios recomendados no Manual de Drenagem Urbana da ADASA (ADASA, 2018) e a planilha de cálculo de rede de drenagem pluvial disponibilizada pela NOVACAP (NOVACAP). Essa abordagem foi necessária em razão da inexistência de uma rede de

drenagem pluvial formalmente implantada ou cadastrada pelo município na área de estudo, o que inviabiliza a modelagem direta de um sistema existente.

Dessa forma, o modelo desenvolvido representa uma rede hipotética, porém tecnicamente consistente, concebida com o objetivo de simular o comportamento hidráulico da área urbana frente aos eventos de precipitação de projeto, permitindo a identificação de pontos críticos, sobrecargas e processos de inundação potencialmente associados às condições atuais de escoamento superficial.

O modelo foi composto por 496 poços de visita e 2.669 sub-bacias, possibilitando uma caracterização espacial detalhada. As sub-bacias foram delimitadas considerando as características de uso e ocupação do solo, declividades e áreas de contribuição, assegurando uma representação hidrológica coerente com a realidade urbana da área de estudo.

Para este cenário, foi utilizada uma chuva de projeto com tempo de retorno de 10 anos com 2 horas, diferentemente do primeiro cenário. A Figura 4.19 demonstra a modelagem para o cenário 2:



Figura 4.19 — Rede de drenagem modelada para a área de estudo em Valparaíso de Goiás (Elaborado pelo autor)

4.3.6.3 Terceiro cenário (Rede de drenagem com reservatórios de detenção)

O terceiro cenário corresponde à simulação da rede de drenagem da área de estudo associada à implantação de três reservatórios de detenção, projetados como medida estrutural de controle do escoamento superficial. Esse cenário teve como objetivo avaliar

a eficiência dessas estruturas na mitigação de problemas hidráulicos observados na rede convencional.

Assim como no segundo cenário, o dimensionamento da rede e dos reservatórios foi realizado com base no Manual de Drenagem Urbana da ADASA e na tabela de dimensionamento adotada no estudo, respeitando os critérios hidráulicos e geométricos recomendados. O modelo foi composto por 2.669 sub-bacias, 523 poços de visita e três reservatórios de detenção, integrados à rede de drenagem existente. A representação espacial e hidráulica desse cenário pode ser observada na Figura 36.

A inserção dos reservatórios no modelo teve como finalidade promover o armazenamento temporário do escoamento superficial, a atenuação das vazões de pico e a consequente redução das sobrecargas hidráulicas observadas no cenário sem estruturas de controle. Os reservatórios foram dimensionados com áreas distintas, de modo a atender às características hidrológicas das sub-bacias contribuintes e às limitações físicas do espaço urbano. . O Reservatório 1 possui área de 1.500 m², o Reservatório 2 apresenta área de 45.000 m², enquanto o Reservatório 3 foi dimensionado com área de 800 m². As Figuras 4.20, 4.21 e 4.22 apresentam a geometria dos respectivos reservatórios no modelo.



Figura 4.20 — Reservatório 1 (Elaborado pelo autor)



Figura 4.21 — Reservatório 2 (Elaborado pelo autor)



Figura 4.22 — Reservatório 3 (Elaborado pelo autor)

Para esse cenário, foi considerada uma chuva de projeto com duração de 24 horas e tempo de retorno de 10 anos, por se tratar de um sistema que incorpora estruturas de controle e deve apresentar desempenho satisfatório frente a eventos de maior severidade.

Ressalta-se que a definição dos exutórios do sistema de drenagem foi realizada

com base na configuração topográfica e na lógica hidráulica da rede modelada (Figura 4.23), uma vez que não há exutórios oficialmente cadastrados ou regulamentados no município, tampouco diretrizes claras quanto às condições de lançamento das águas pluviais. Para o Estado de Goiás não foram encontradas normativas ou legislação específicas que estabeleçam critérios técnicos para o lançamento de águas pluviais em corpos hídricos, como limites de vazão, volumes máximos admissíveis ou exigência de dispositivos de amortecimento a montante.

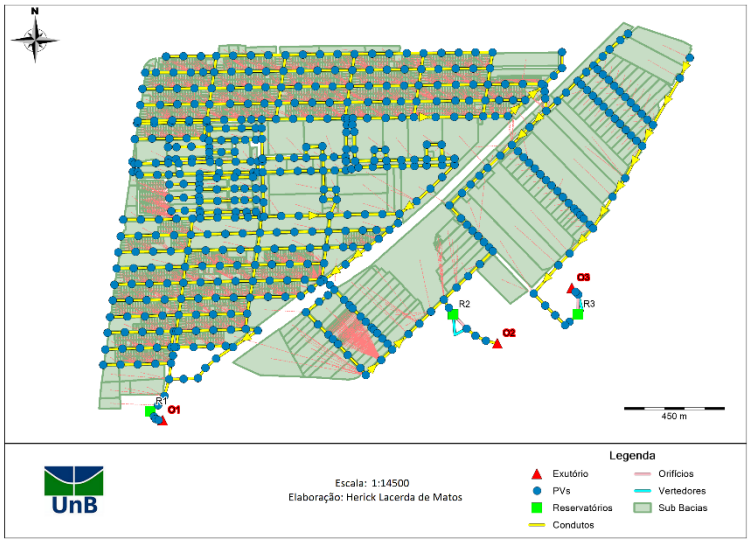


Figura 4.23 — Rede de drenagem com reservatórios de detenção (Elaborado pelo autor)

4.3.6.4 Quarto cenário (Aplicação de LID no condomínio Green Park II - Trincheira de infiltração)

De forma complementar ao cenário anterior (Cenário 3), foi avaliada a aplicação de uma Solução de Drenagem de Baixo Impacto (LID), especificamente uma trincheira de infiltração, inserida em uma sub-bacia correspondente à área do condomínio Green Park II. O objetivo dessa simulação foi analisar o potencial dessa técnica no aumento da infiltração, na redução do escoamento superficial e na atenuação das vazões geradas localmente, contribuindo para o manejo sustentável das águas pluviais.

Este cenário manteve a mesma configuração hidráulica do Cenário 3, com 2.669 sub-bacias, 523 poços de visita e três reservatórios de detenção, diferenciando-se pela inserção da LID no modelo. Diferentemente das configurações inicialmente avaliadas, considerou-se a implantação de uma única trincheira de infiltração, com área total

aproximada de 3.800 m², posicionada ao longo da avenida principal do condomínio, aproveitando o eixo viário como elemento estruturador da solução.

A trincheira foi modelada de modo a interceptar predominantemente o escoamento gerado nas áreas permeáveis da sub-bacia, sem atuação direta sobre as áreas impermeáveis, mantendo a lógica de infiltração local e de redução do volume escoado para jusante. Essa simulação possibilitou a avaliação do comportamento hidrológico da sub-bacia com a inserção de uma solução descentralizada de grande escala, permitindo a comparação dos resultados com os cenários sem LID e contribuindo para a análise da eficiência de medidas baseadas na infiltração no contexto urbano estudado. A modelagem do cenário é vista na Figura 4.24.



Figura 4.24 — Rede de drenagem com reservatórios de detenção (Elaborado pelo autor)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos das simulações no software PCSWMM para os diferentes cenários de projeto.

5.1 RESULTADOS DOS CENÁRIOS

As simulações hidrológicas e hidráulicas foram realizadas considerando chuvas de projeto com tempo de retorno de 10 anos variando o tempo total de duração, conforme definido na metodologia. Para os cenários localizados na área de estudo em Valparaíso de Goiás, a chuva com tempo de retorno de 10 anos com 2 horas resultou em um volume total de escoamento superficial de aproximadamente 6.629 m³, enquanto a chuva com tempo de retorno de 10 anos com 24 horas produziu um volume total de aproximadamente 176.193 m³. Esses volumes foram quantificados a partir das vazões escoadas nos três exutórios da área de estudo (O1, O2 e O3), conforme ilustrado na Figura 5.1.

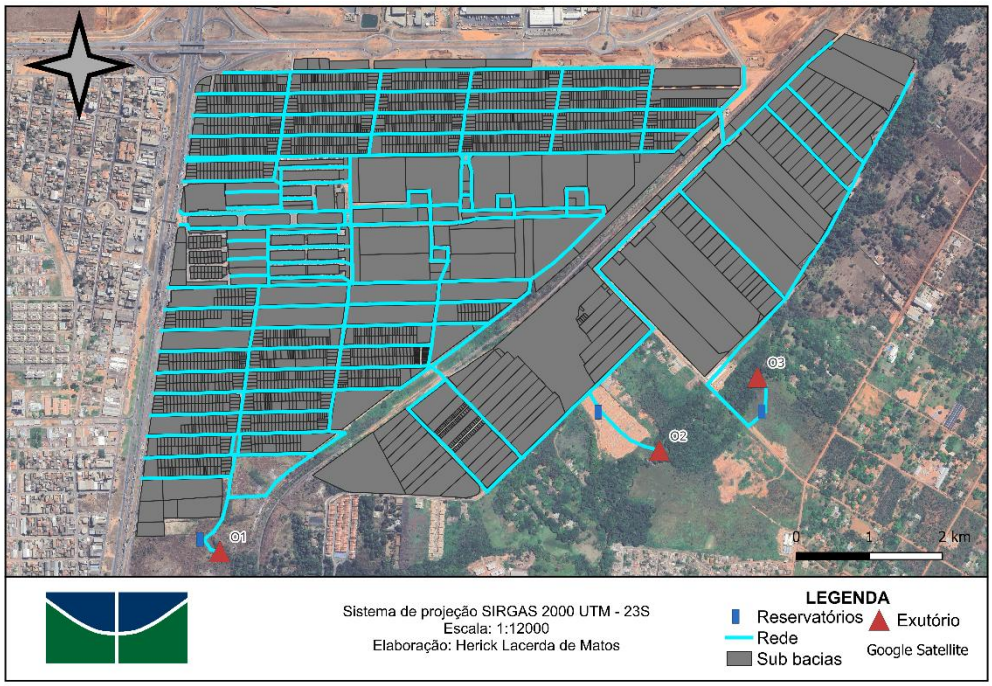


Figura 5.1 — Rede Valparaíso de Goiás (Elaborado pelo autor)

No caso do Polo JK, as simulações foram realizadas exclusivamente com a chuva de tempo de retorno de 10 anos, por se tratar de uma rede que possui estruturas de controle e que influencia diretamente áreas urbanas a jusante. Para esse cenário, o evento simulado resultou em um volume total de escoamento superficial de aproximadamente 90.544 m³,

quantificado no único exutório do sistema, que pode ser visto na Figura 5.2.

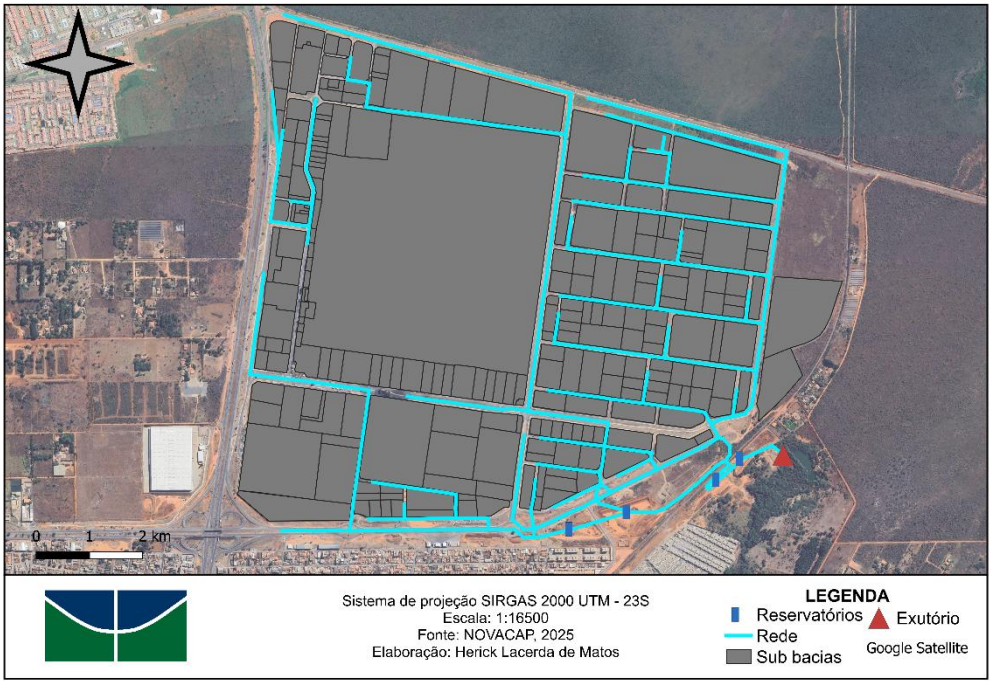


Figura 5.2 — Rede Polo JK (Adaptado de NOVACAP, 2025)

5.1.1 Primeiro cenário (Polo JK)

No primeiro cenário, que representa a rede de drenagem pluvial do Polo JK em fase de implantação, os resultados da simulação indicaram um desempenho hidrológico satisfatório para o evento de chuva com tempo de retorno de 10 anos.

A análise mostrou que aproximadamente 57% da lâmina precipitada foi infiltrada, evidenciando a relevância das áreas permeáveis e dos dispositivos de controle previstos no sistema. Embora uma parcela significativa do escoamento superficial ainda seja gerada, esse comportamento hidrológico contribui para a atenuação parcial dos volumes e dos picos de vazão direcionados às áreas a jusante.

Os reservatórios de detenção apresentaram comportamento hidráulico adequado, sem ocorrência de sobrecarga ou inundação. Os reservatórios R1A e R1B registraram vazões máximas de entrada de 12,862 m³/s e 11,510 m³/s, respectivamente, enquanto a vazão de saída atingiu 11,510 m³/s e 5,557 m³/s (Figura 5.3 e Figura 5.4).

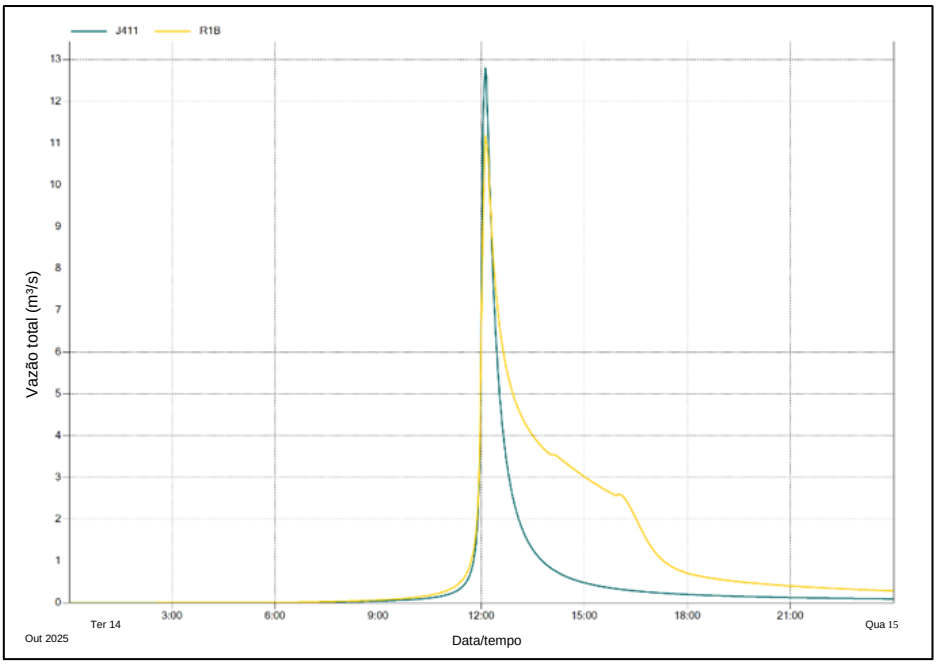


Figura 5.3 — Hidrogramas de vazão de entrada (J411) e saída (R1B) do reservatório R1A (Elaborado pelo autor)

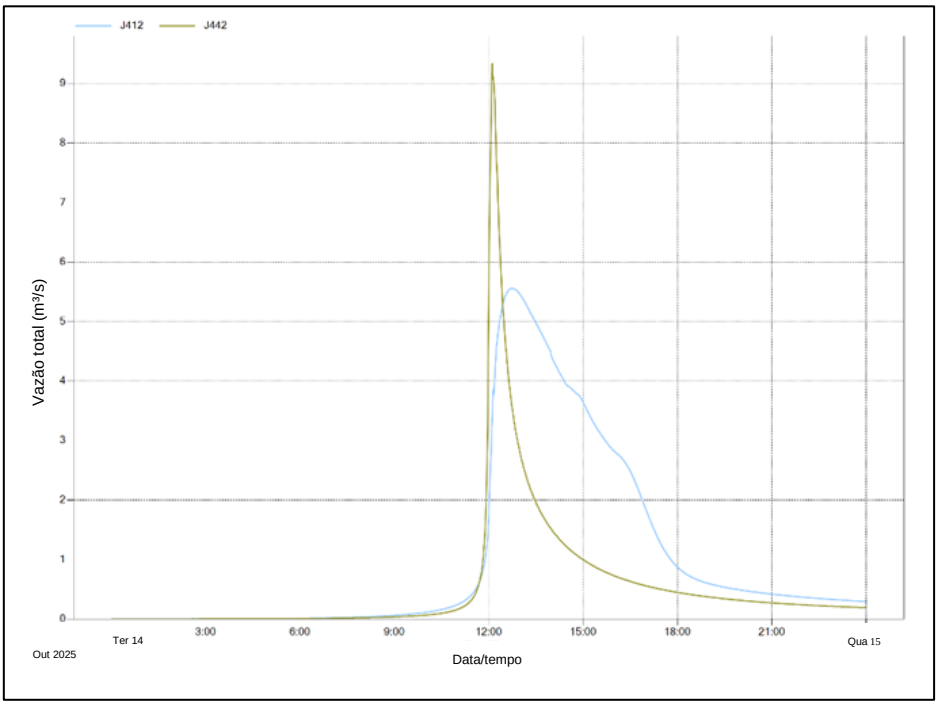


Figura 5.4 — Hidrogramas de vazão de entrada (J412) e saída (J442) do reservatório R1B (Elaborado pelo autor)

Os volumes máximos armazenados foram de 17.925 m³ no R1A e 11.007 m³ no R1B (Figura 5.5).

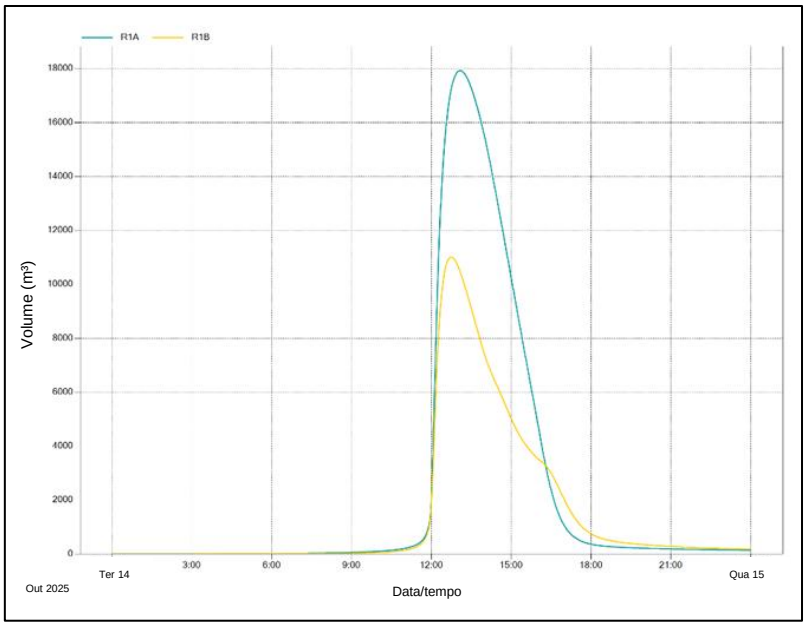


Figura 5.5 — Hidrogramas de volume armazenado nos reservatórios R1A e R1B (Elaborado pelo autor)

Resultados análogos foram observados para os reservatórios R2A e R2B, que amorteceram vazões de entrada de até 22,536 m³/s para uma vazão de saída de 3,938 m³/s (Figura 5.6), representando uma redução de aproximadamente 82,5%, com volumes máximos de 6.448 m³ (R2A) e 11.027 m³ (R2B) (Figura 5.7).

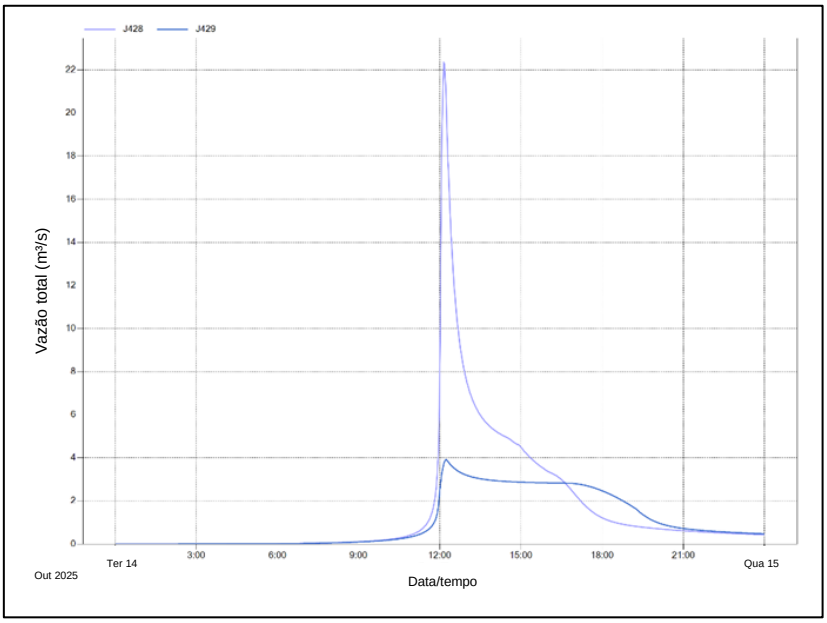


Figura 5.6 — Hidrogramas de vazão de entrada e saída dos reservatórios R2A e R2B (Elaborado pelo autor)

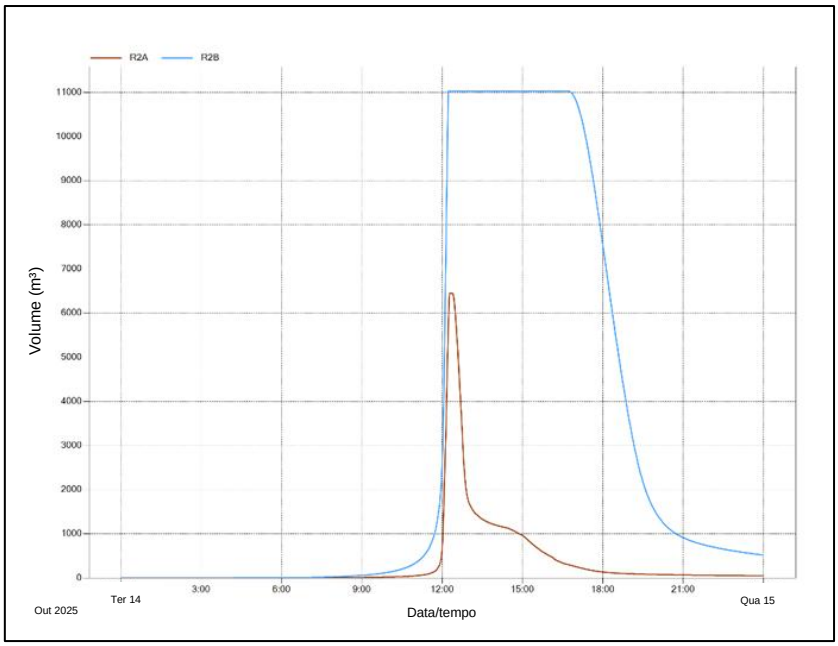


Figura 5.7 — Hidrogramas de volume armazenado nos reservatórios R2A e R2B (Elaborado pelo autor)

Mesmo com o amortecimento, houveram inundações para os reservatórios R2A e R2B. Esse processo ocorre quando a lâmina d'água em uma junção excede a profundidade máxima disponível, fazendo com que o volume excedente seja perdido do sistema ou se acumule superficialmente, podendo retornar posteriormente à rede de drenagem (ROSSMAN, 2010). A Figura 5.8 apresenta o hidrograma da vazão de inundação.

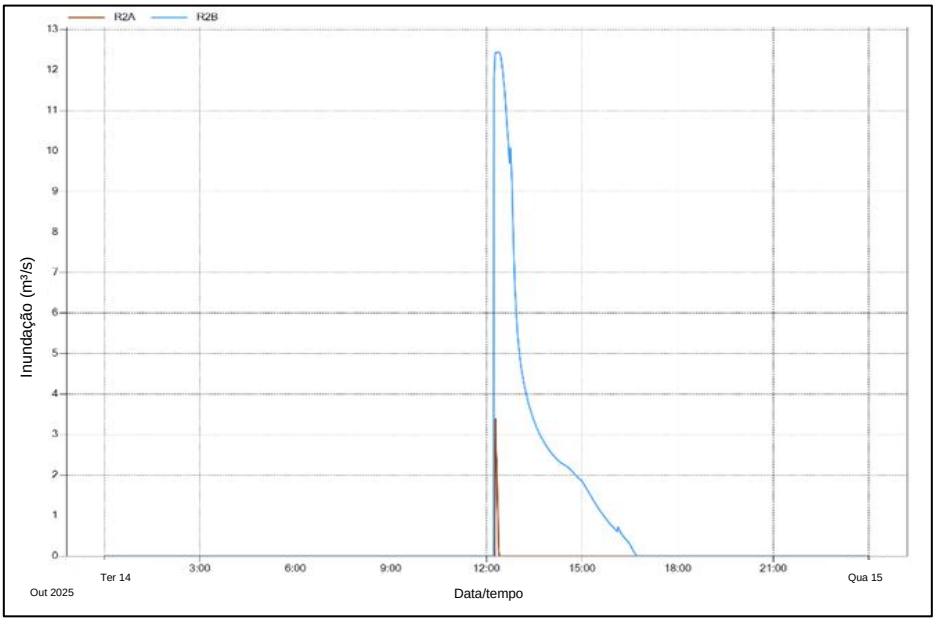


Figura 5.8 — Hidrograma da vazão inundada nos reservatórios R2A e R2B (Elaborado pelo autor)

Apesar do desempenho global da rede, também foi identificada a ocorrência de inundação (flooding) em dezessete poços de visita, sendo eles: o PV 163, PV 166, PV 167, PV 168, PV 341, PV 371, PV 385, PV 386, PV 413, PV 414, PV 415, PV 416, PV 417, PV 418, PV 419, PV 430 e PV 432. A análise hidráulica também evidenciou sobrecarga em 49 condutos da rede, caracterizando situações em que a capacidade hidráulica dos conduítes foi excedida durante o evento simulado. A Figura 5.9 traz a modelagem com os pontos inundando e dos condutos sobrecarregados.



Figura 5.9 — Localização dos condutos sobrecarregados e dos poços de visita com ocorrência de inundação no Cenário 1 (Elaborado pelo autor)

A Figura 5.10 apresenta o perfil longitudinal de um dos trechos onde ocorre esse comportamento e a Figura 5.11 o hidrograma de vazão do PV, evidenciando o ponto crítico.

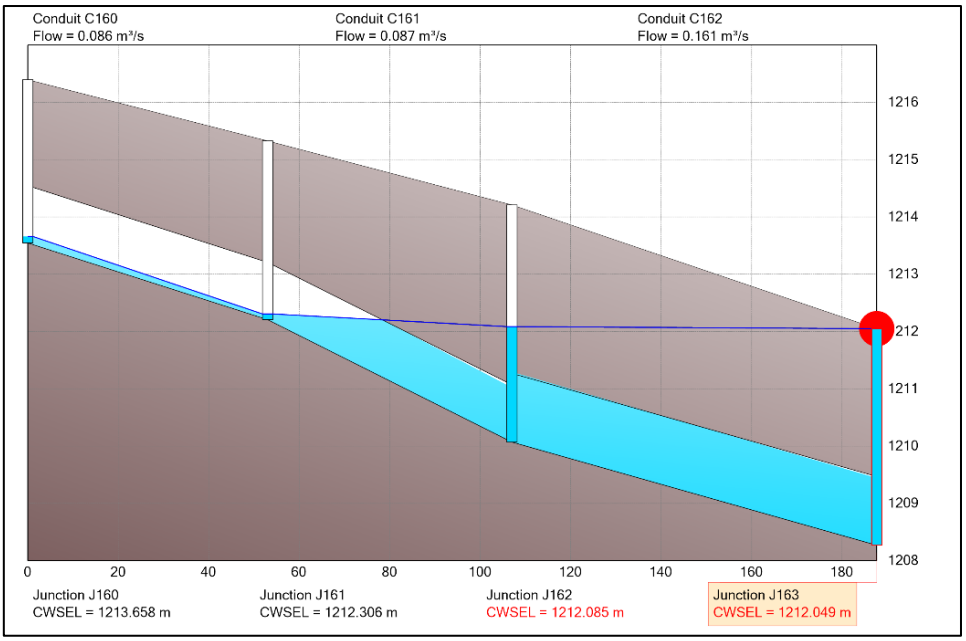


Figura 5.10 — Perfil longitudinal do trecho inundando (Elaborado pelo autor)

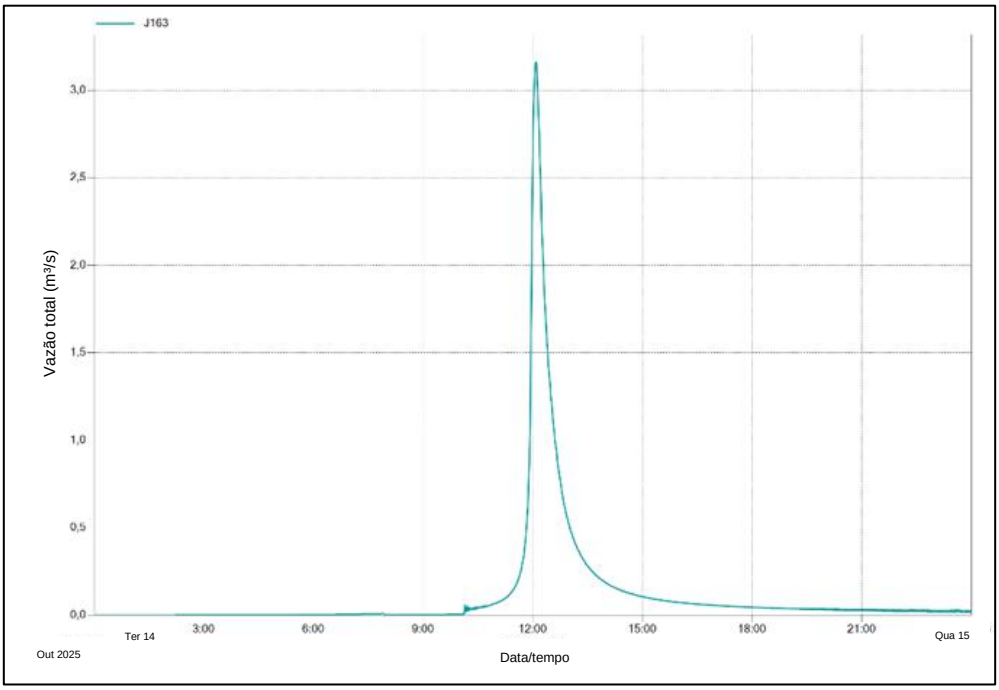


Figura 5.11 — Hidrograma de vazão do PV 163 (Elaborado pelo autor)

A inundação observada está associada a uma descontinuidade no sistema de drenagem, localizada especificamente no PV 163, conforme demonstrado na Figura 5.12, que representa a modelagem da rede nesse trecho. Na prática, esse tipo de falha pode se traduzir em pontos localizados de alagamento.



Figura 5.12 — Modelagem descontínua (Adaptado de NOVACAP, 2025)

Para a avaliação hidráulica do cenário, foi analisada a vazão de pico no exutório responsável pelo escoamento da área modelada. O hidrograma correspondente, apresentado na Figura 5.13, indica que a vazão de pico atingiu o valor de 4,100 m³/s para a chuva com tempo de retorno de 10 anos. O PCSWMM indicou uma vazão unitária máxima de aproximadamente 0,010 m³/s/ha, equivalente a 10 L/s/ha, no exutório do Polo JK, sendo assim dentro do critério de 24,4 L/s/ha, adotado no Distrito Federal. Observa-se a presença de picos no gráfico, os quais representam a ocorrência de remanso hidráulico no final da rede.

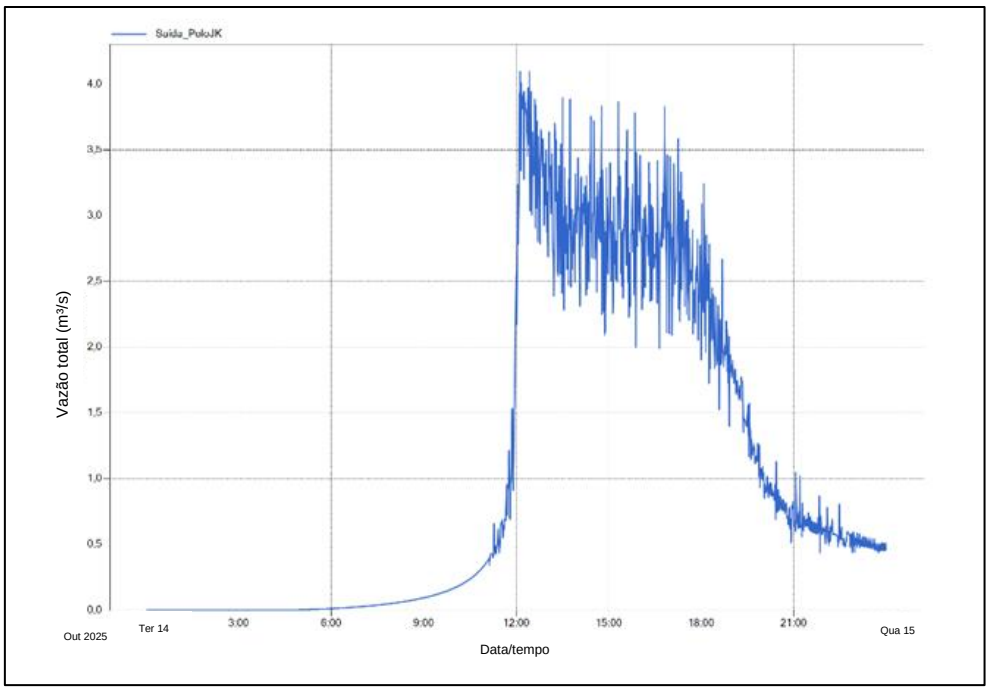


Figura 5.13 — Vazão de pico (Elaborado pelo autor)

A Figura 5.14 ilustra o trecho final da rede de drenagem, onde a partir do PV 432 a rede começa a sofrer com os remansos e na Figura 5.15 é apresentado o hidrograma de vazão do trecho que possui o remanso, sendo ele os PVs 430, 432 e 433, e também o exutório.

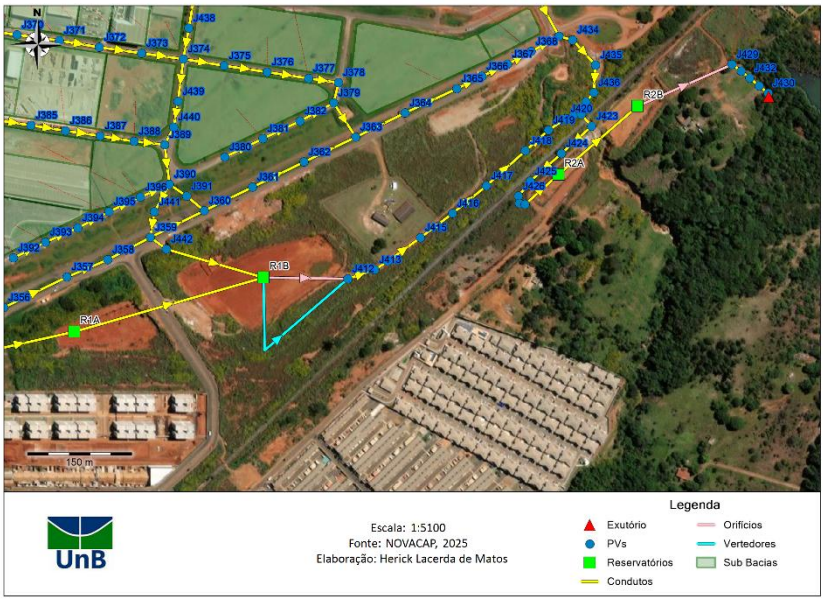


Figura 5.14 — Trecho final de escoamento da rede (Adaptado de NOVACAP, 2025)

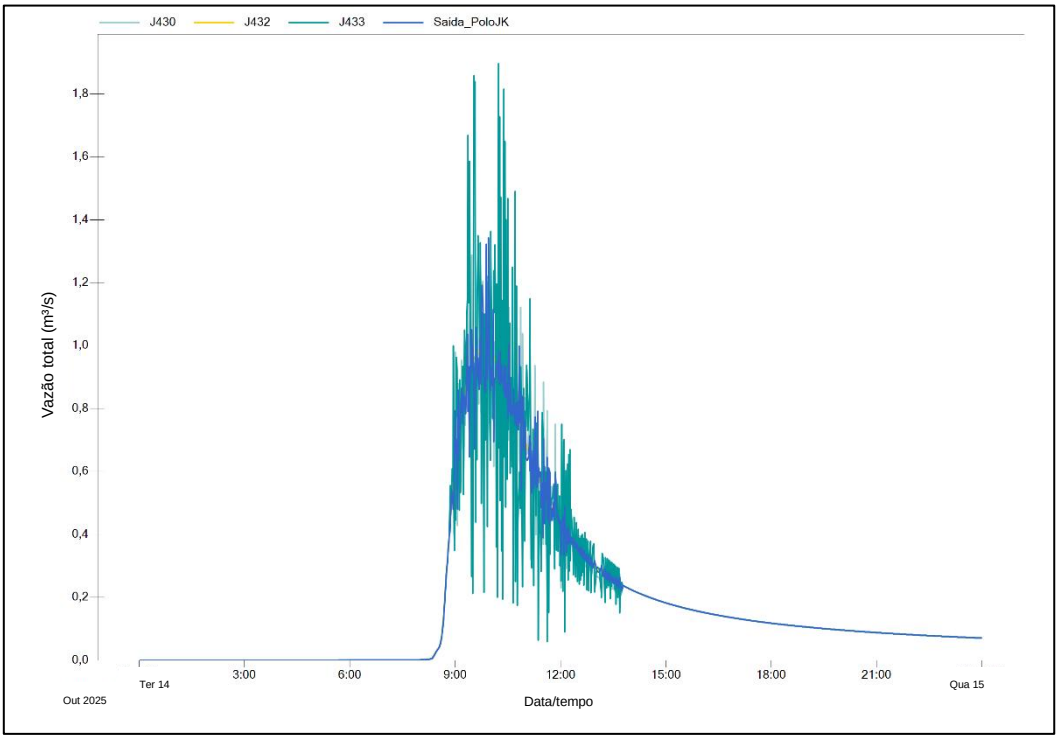


Figura 5.15 — Hidrograma de vazão do trecho com remanso (Elaborado pelo autor)

A Figura 5.16 apresenta o perfil hidráulico dos poços de visita e do exutório, permitindo a visualização do comportamento do escoamento ao longo do sistema. A partir dessa figura, é possível identificar o instante exato em que se inicia o remanso hidráulico, reforçando a interpretação dos resultados obtidos no hidrograma.

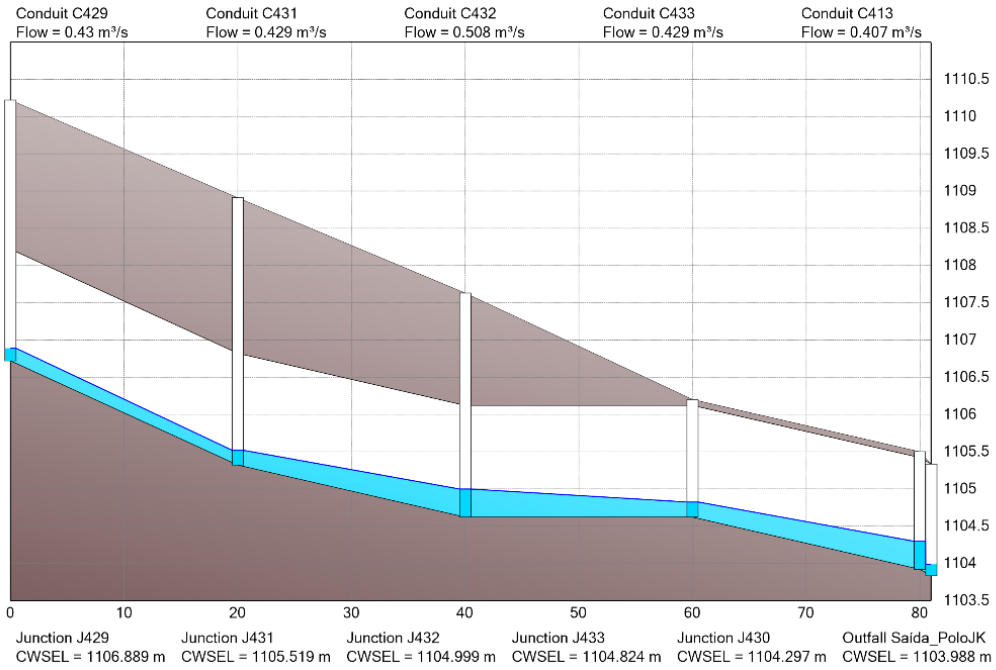


Figura 5.16 — Perfil do trecho final de escoamento da rede (Elaborado pelo autor)

Nesse contexto, o comportamento observado não indica falha no funcionamento do reservatório, mas sim uma incompatibilidade entre a vazão amortecida liberada pela estrutura de controle e a configuração hidráulica do sistema de jusante. Embora exista a possibilidade de contribuição superficial em direção à faixa ferroviária próxima em situações críticas, observa-se que o exutório do sistema encontra-se direcionado a um corpo hídrico, o que reduz a transferência direta de impactos para a malha urbana de Valparaíso de Goiás. Dessa forma, os resultados da simulação indicam que o sistema implantado no Polo JK promove atenuação dos efeitos hidrológicos a jusante, ainda que sejam identificados pontos que requerem atenção no detalhamento executivo e na interface com infraestruturas sensíveis, como a ferrovia.

5.1.2 Segundo cenário (Rede de drenagem da área de estudo em Valparaíso de Goiás)

No segundo cenário, que representa a rede de drenagem da área de estudo em

Valparaíso de Goiás considerada de forma isolada, a simulação indicou uma taxa média de infiltração de aproximadamente 22,5% da lâmina precipitada.

A análise hidráulica evidenciou sobrecarga em 32 condutos da rede, caracterizando situações em que a capacidade hidráulica dos conduítes foi excedida durante o evento simulado. Os condutos que apresentaram sobrecarga foram: C184, C185, C186, C187, C201, C202, C270, C271, C354, C366, C367, C368, C369, C386, C390, C398, C401, C402, C403, C404, C453, C464, C476, C484, C523, C524, C525, C526, C527, C543, C590 e C591.

Além disso, foi registrada inundação (flooding) em 14 poços de visita, indicando pontos onde a lâmina d'água ultrapassou a profundidade máxima disponível nas junções do sistema. Os poços de visita afetados foram: PV 185, PV 186, PV 187, PV 188, PV 336, PV 356, PV 369, PV 375, PV 417, PV 429, PV 442, PV 485, PV 486 e PV 487.

Esses processos de inundação representam, na prática, potenciais pontos de alagamento superficial, associados à limitação hidráulica da rede existente e à ausência de dispositivos de amortecimento de picos de vazão. A Figura 5.17 apresenta a localização dos condutos sobrecarregados e dos poços de visita inundados ao longo da rede modelada.



Figura 5.17 — Localização dos condutos sobrecarregados e dos poços de visita com ocorrência de inundação no Cenário 2 (Elaborado pelo autor)

Ressalta-se que a simulação deste cenário foi realizada de modo a representar de forma fiel a configuração da rede de drenagem existente na área de estudo.

5.1.3 Terceiro cenário (Rede de drenagem com reservatórios de detenção)

No terceiro cenário, que incorpora três reservatórios de detenção à rede de drenagem da área de estudo, a taxa de infiltração permaneceu em aproximadamente 22,5%.

Nenhum dos reservatórios apresentou sobrecarga ou processos de inundação ao longo da simulação, demonstrando desempenho hidráulico satisfatório frente ao evento de chuva com tempo de retorno de 10 anos.

O hidrograma de entrada e saída (Figura 5.18) do reservatório 1 mostra a vazão máxima de entrada de 8,903 m³/s e vazão máxima de saída de 5,740 m³/s, correspondendo a um amortecimento de aproximadamente 37,2%, indicando pequena diferença entre os valores e confirmando sua função principal como elemento de controle e estabilização hidráulica.

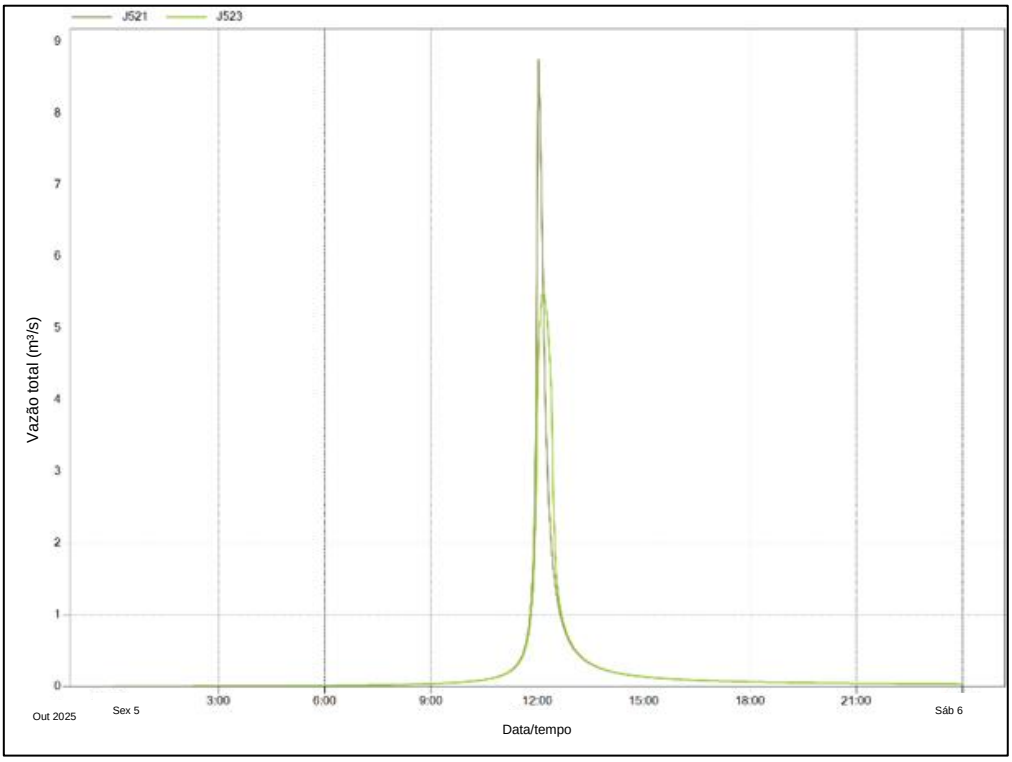


Figura 5.18 — Hidrogramas de vazão de entrada (J521) e saída (J523) do Reservatório 1 (Elaborado pelo autor)

O volume máximo atingido no reservatório foi de 1.466 m³, como demonstrado na Figura 5.19, esse reservatório serveria mais como um controle de qualidade e controle para não aumento da vazão. Alem que é uma área perto da voçoroca na marginal da BR 040, que exige controle.

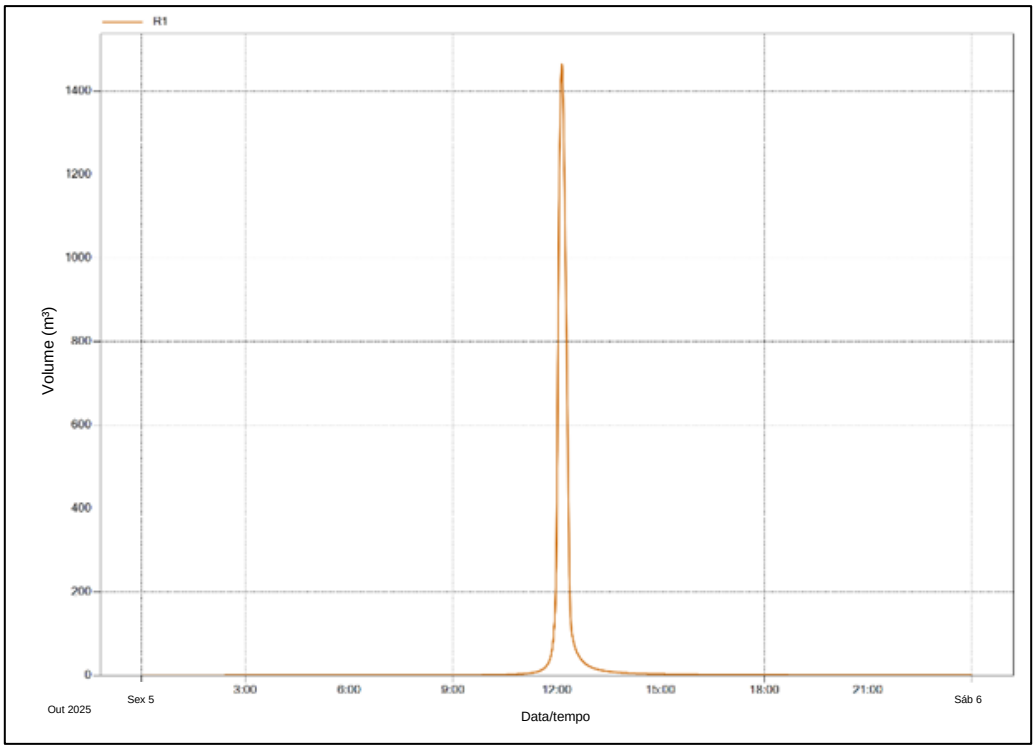


Figura 5.19 — Hidrograma do volume armazenado no Reservatório 1 (Elaborado pelo autor)

O Reservatório 2, de maior porte, recebe a maior parcela do escoamento superficial do sistema. Conforme ilustrado na Figura 5.20, o reservatório promoveu uma redução significativa da vazão máxima, amortecendo a vazão de entrada de 48,583 m³/s para uma vazão de saída de 3,983 m³/s, o que representa uma redução de cerca de 91,3%.

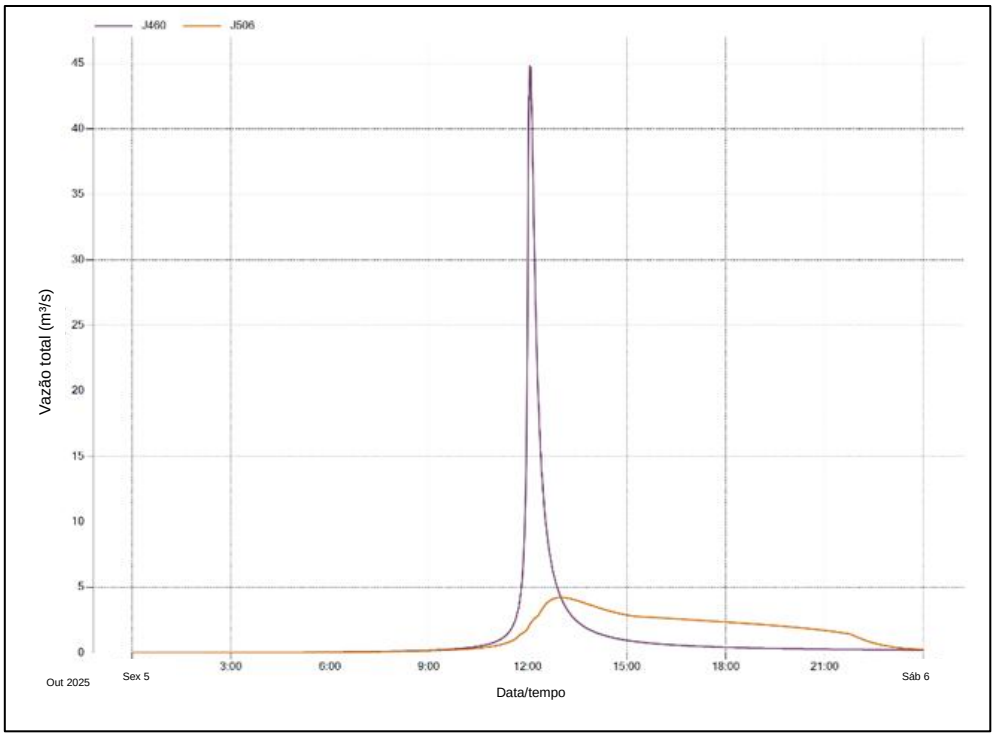


Figura 5.20 — Hidrogramas de vazão de entrada (J460) e saída (J506) do Reservatório 2 (Elaborado pelo autor)

O volume máximo armazenado no Reservatório 2 foi de 59.641 m³, conforme apresentado na Figura 5.21, evidenciando sua elevada capacidade de retenção e contribuição para a redução das vazões de pico.

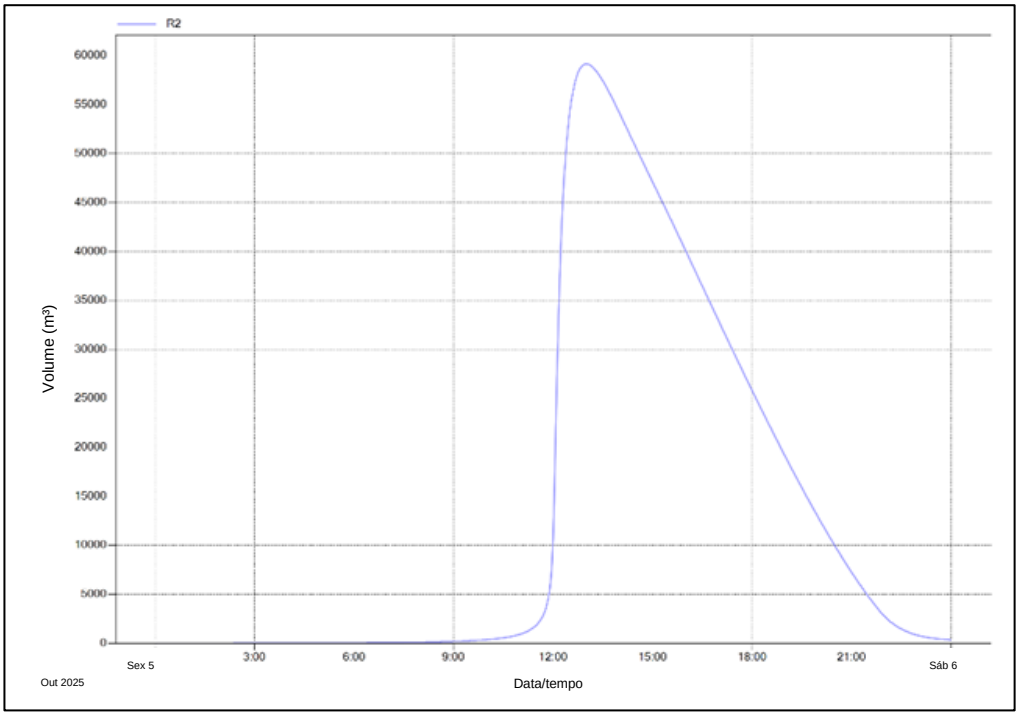


Figura 5.21 — Hidrograma do volume armazenado no Reservatório 2 (Elaborado pelo autor)

O Reservatório 3 recebe contribuição de uma parcela menor da área de estudo, principalmente associada aos condomínios locais. Ainda assim, amorteceu a vazão de entrada de 21,005 m³/s para uma vazão de saída de 19,323 m³/s, equivalente a um amortecimento de aproximadamente 8,0%, conforme demonstrado na Figura 5.22.

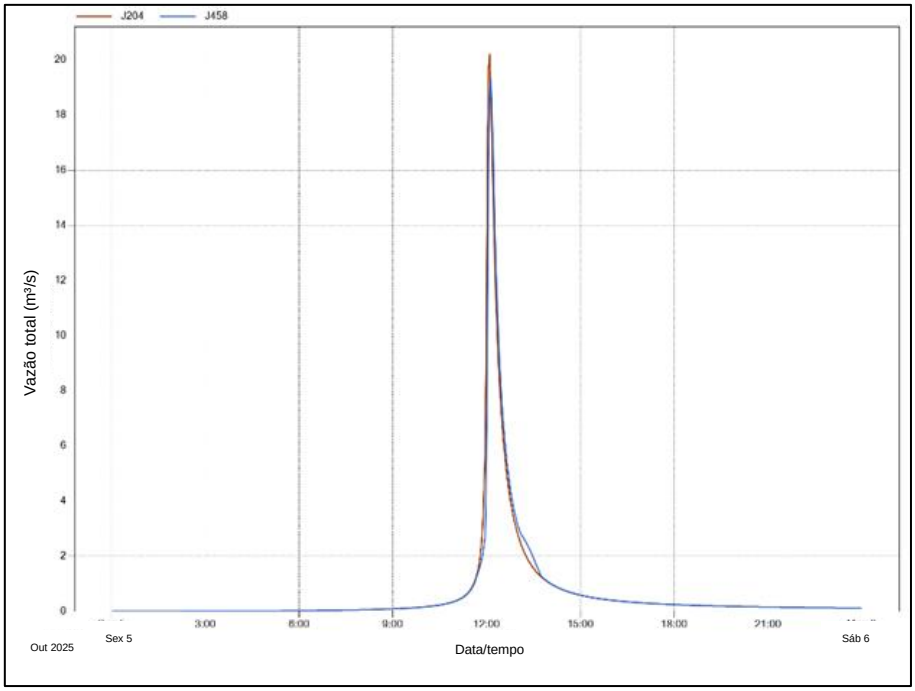


Figura 5.22 — Hidrogramas de vazão de entrada (J457) e saída (J458) do Reservatório 3 (Elaborado pelo autor)

O volume máximo armazenado no Reservatório 3 foi de 2.967 m³, como ilustrado na Figura 5.23.

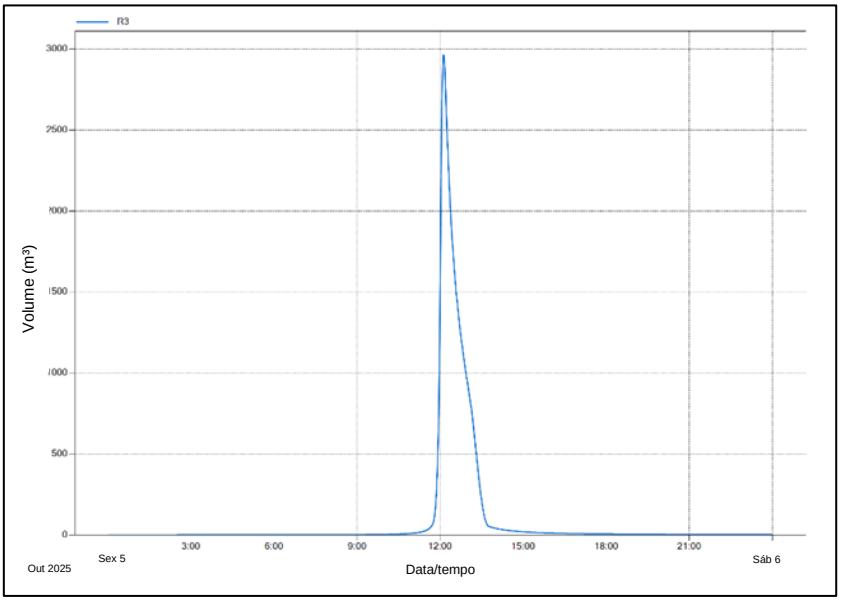


Figura 5.23 — Hidrograma do volume armazenado no Reservatório 3 (Elaborado pelo autor)

Para a avaliação das vazões de pico nesse cenário, foram analisados os três exutórios do sistema (O1, O2 e O3). As Figuras 5.24, 5.25 e 5.26 apresentam os hidrogramas correspondentes a cada exutório.

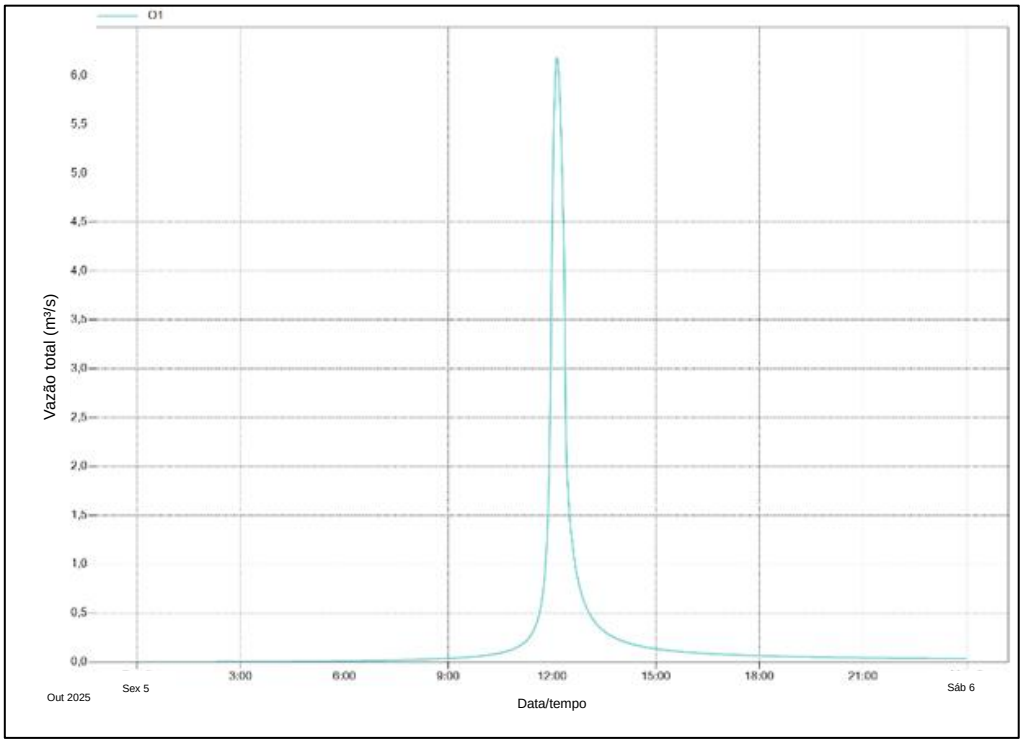


Figura 5.24 — Hidrograma da vazão de pico no exutório O1 (Elaborado pelo autor)

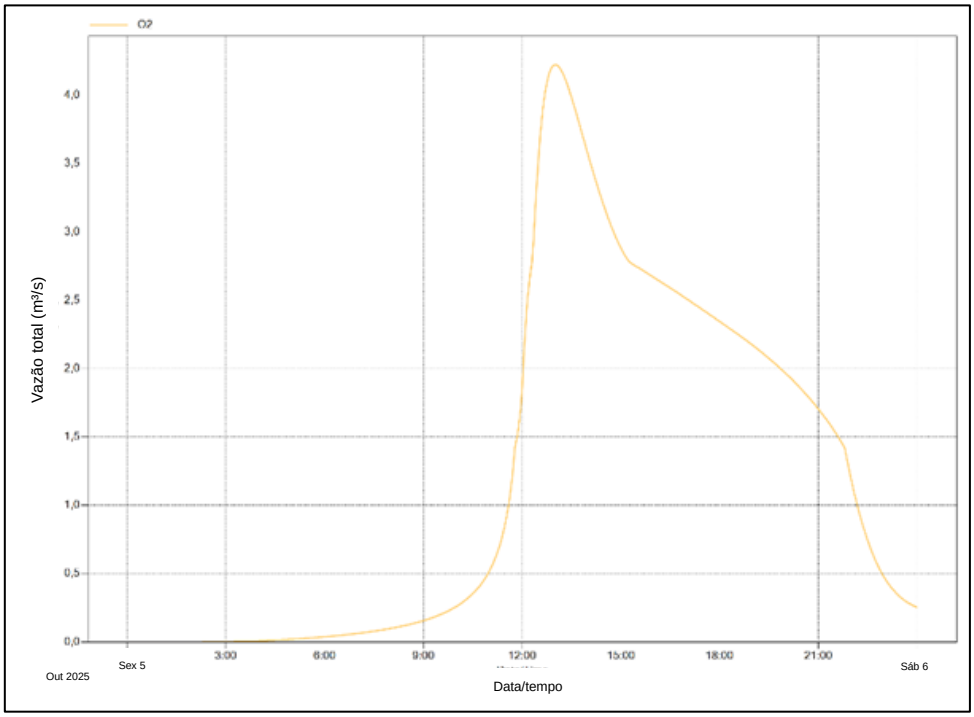


Figura 5.25 — Hidrograma da vazão de pico no exutório O2 (Elaborado pelo autor)

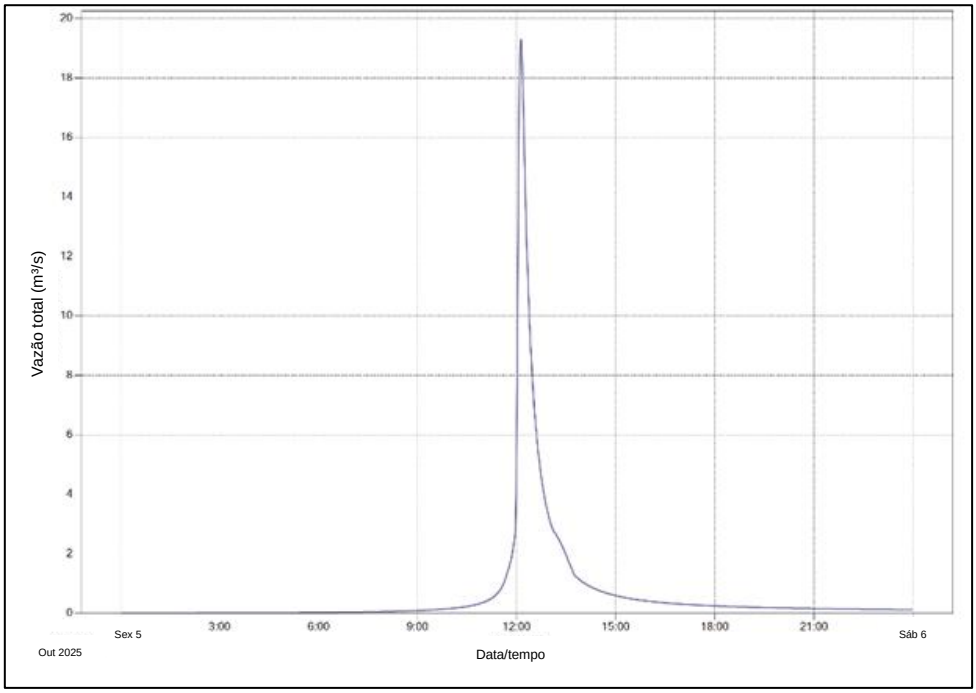


Figura 5.26 — Hidrograma da vazão de pico no exutório O3 (Elaborado pelo autor)

As vazões máximas observadas foram de 6,186 m³/s no exutório O1, 4,233 m³/s no exutório O2 e 19,327 m³/s no exutório O3, em que, o exutório O3 apresentou a maior vazão de pico. Os resultados do PCSWMM indicaram valores de 0,150 m³/s/ha no exutório O1, 0,020 m³/s/ha no exutório O2 e 0,190 m³/s/ha no exutório O3, correspondendo, respectivamente, a 155 L/s/ha, 25 L/s/ha e 192 L/s/ha. Para fins de comparação, adotou-se como referência o critério de 24,4 L/s/ha, utilizado no Distrito Federal, uma vez que o município de Valparaíso de Goiás não dispõe de legislação específica para esse parâmetro, tampouco foi identificado valor normativo estadual aplicável em Goiás. Observa-se que o exutório O2 apresenta vazão unitária próxima ao valor de referência, enquanto os exutórios O1 e O3 exibem valores significativamente superiores, refletindo a maior contribuição de áreas impermeabilizadas, as características topográficas locais e a concentração de vazões nesses pontos. Esses resultados indicam que, embora os reservatórios de detenção promovam atenuação das vazões de pico em escala de bacia, ainda persistem trechos com elevada solicitação hidráulica, reforçando a necessidade de um planejamento integrado da drenagem urbana.

5.1.4 Quarto cenário (Aplicação de LID no condomínio Green Park II - Trincheira de infiltração)

O quarto cenário manteve a mesma configuração hidráulica do Cenário 3, diferenciando-se exclusivamente pela inserção de uma trincheira de infiltração na sub-bacia 1768, localizada no condomínio Green Park II.

A taxa média de infiltração global do sistema permaneceu em aproximadamente 22,5%, entretanto, observou-se incremento significativo e localizado da infiltração na sub-bacia onde a LID foi implantada, atingindo valores da ordem de 30 mm/h, conforme apresentado na Figura 5.27.

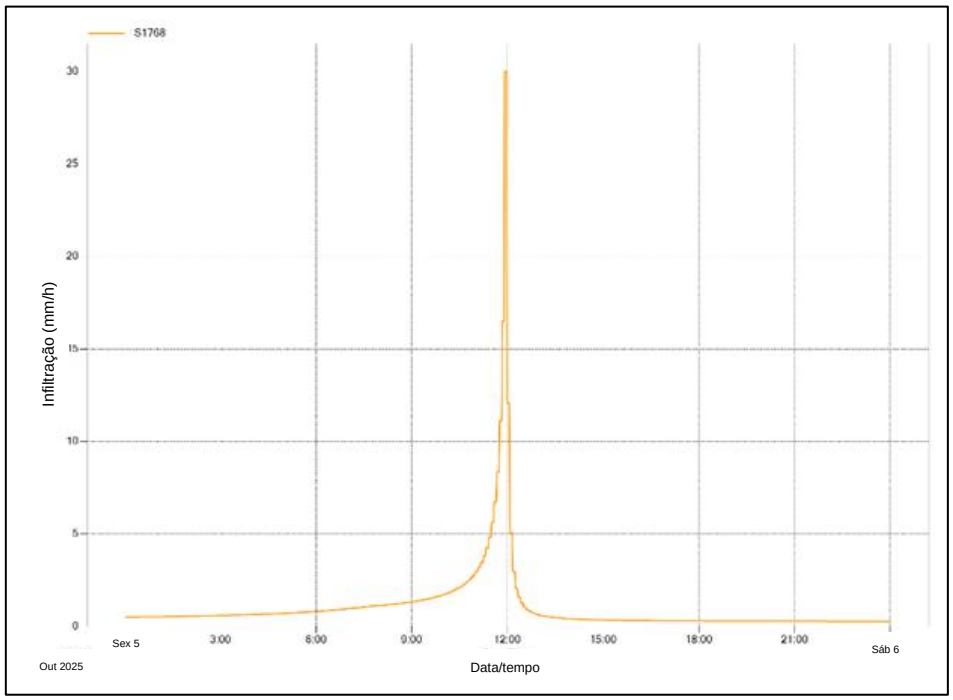


Figura 5.27 — Taxa de infiltração simulada na sub-bacia com aplicação de trincheira de infiltração (Elaborado pelo autor)

Considerando que a LID foi inserida em uma sub-bacia que contribui diretamente para o exutório O3, a análise da vazão de pico concentrou-se nesse ponto do sistema. O hidrograma correspondente é apresentado na Figura 5.28.

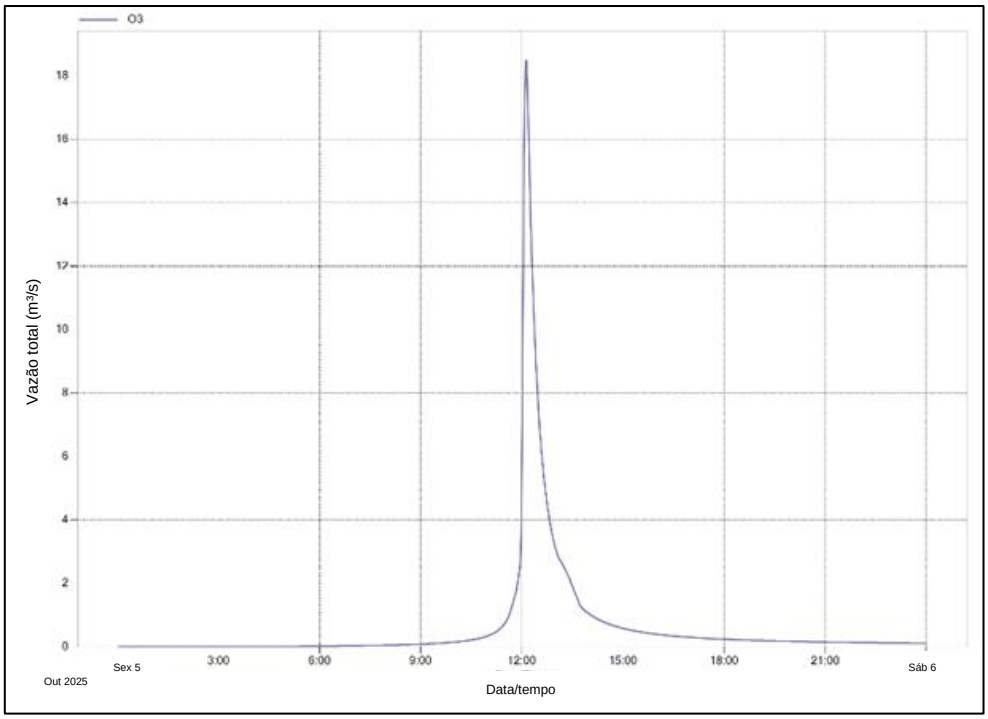


Figura 5.28 — Hidrograma da vazão de pico no exutório O3 com aplicação de LID
(Elaborado pelo autor)

A vazão de pico no exutório O3 foi reduzida de 19,327 m³/s para 18,530 m³/s, indicando que, embora o efeito da LID seja localizado, sua aplicação contribuiu para a atenuação adicional das vazões geradas nesse trecho da rede.

5.2 COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIOS

A comparação entre os cenários simulados permite avaliar a eficiência das diferentes estratégias de manejo do escoamento superficial adotadas na área de estudo, especialmente no que se refere à mitigação de sobrecargas hidráulicas, processos de inundação e atenuação das vazões de pico. Neste tópico, são comparados os resultados dos cenários com e sem medidas estruturais de controle, bem como os efeitos da aplicação de uma solução de drenagem de baixo impacto (LID).

5.2.1 Cenário 2 x Cenário 3

O Cenário 2 representa a condição da área de estudo em Valparaíso de Goiás com uma rede de drenagem convencional, dimensionada teoricamente, sem a presença de estruturas de amortecimento de vazão. Nesse cenário, a taxa de infiltração estimada foi de 22,5%, e os resultados indicaram um desempenho hidráulico insatisfatório, com a

ocorrência de sobrecarga em 32 trechos e inundação (flooding) em 14 poços de visita, a simulação evidencia a necessidade de adequação da rede preliminar proposta

No Cenário 3, manteve-se a mesma configuração básica da rede de drenagem do Cenário 2, porém com a implantação de três reservatórios de detenção, projetados como medida estrutural de controle do escoamento superficial. A taxa de infiltração permaneceu a mesma, uma vez que não houve alteração nas características hidrológicas das sub-bacias, mas observou-se uma melhora significativa no comportamento hidráulico do sistema.

A introdução dos reservatórios promoveu a atenuação das vazões de pico, reduzindo as solicitações hidráulicas nos conduítes a jusante e diminuindo a ocorrência de sobrecargas e processos de inundação na rede. Os hidrogramas dos reservatórios demonstraram a eficiência dessas estruturas no armazenamento temporário do escoamento superficial e na liberação controlada das vazões, contribuindo para um regime de escoamento mais estável ao longo do sistema.

Além disso, no Cenário 3 foi possível quantificar as vazões de pico nos exutórios O1, O2 e O3, com valores de 6,186 m³/s, 4,223 m³/s e 19,327 m³/s, respectivamente, permitindo uma avaliação hidráulica mais consistente do desempenho global da rede.

5.2.2 Cenário 3 x Cenário 4

A comparação entre os Cenários 3 e 4 permite avaliar os efeitos adicionais da aplicação de uma Solução de Drenagem de Baixo Impacto (LID), especificamente uma trincheira de infiltração, inserida em uma sub-bacia do condomínio Green Park II.

O Cenário 4 manteve a mesma configuração hidráulica do Cenário 3, incluindo a rede de drenagem e os três reservatórios de detenção, diferenciando-se exclusivamente pela introdução da LID na sub-bacia 1768. A taxa global de infiltração do sistema permaneceu em 22,5%, uma vez que a intervenção foi localizada, não alterando de forma significativa o comportamento hidrológico do conjunto da bacia. No entanto, na sub-bacia com LID, observou-se um aumento da infiltração, com a taxa de infiltração indo de 21,890 mm para 24,820 mm. A Figura 5.29 compara o hidrograma da sub-bacia com e sem a aplicação de LID.

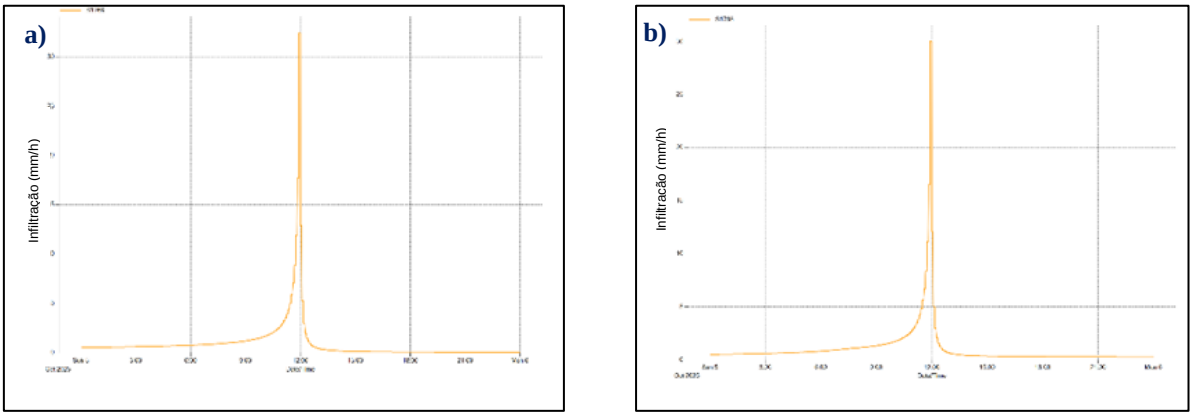


Figura 5.29 — Comparação do hidrograma de infiltração na sub-bacia com (a) e sem (b) a aplicação de LID (Elaborado pelo autor)

Essa modificação refletiu diretamente na redução do escoamento superficial gerado localmente com uma diminuição da vazão de saída da sub bacia, em que, passou de uma vazão de 7,178 m³/s para 6,367 m³/s, como pode ser visualizado na Figura 5.30.

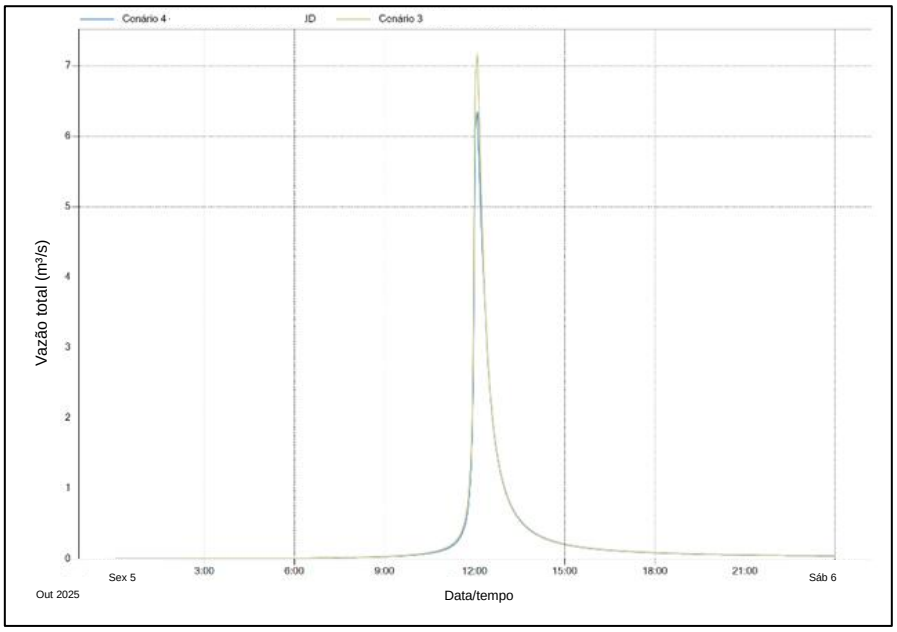


Figura 5.30 — Comparação do hidrograma de saída da sub bacia dos cenários com (4) e sem (3) a aplicação de LID (Elaborado pelo autor)

Consequentemente também houve uma diminuição da vazão de pico no exutório O3, que passou de 19,327 m³/s no Cenário 3 para 18,530 m³/s, o que corresponde a uma atenuação adicional de aproximadamente 4,1% no Cenário 4 (Figura 5.31). Embora a redução absoluta da vazão de pico seja relativamente pequena, o resultado evidencia que soluções baseadas na infiltração podem contribuir para o controle do escoamento superficial.

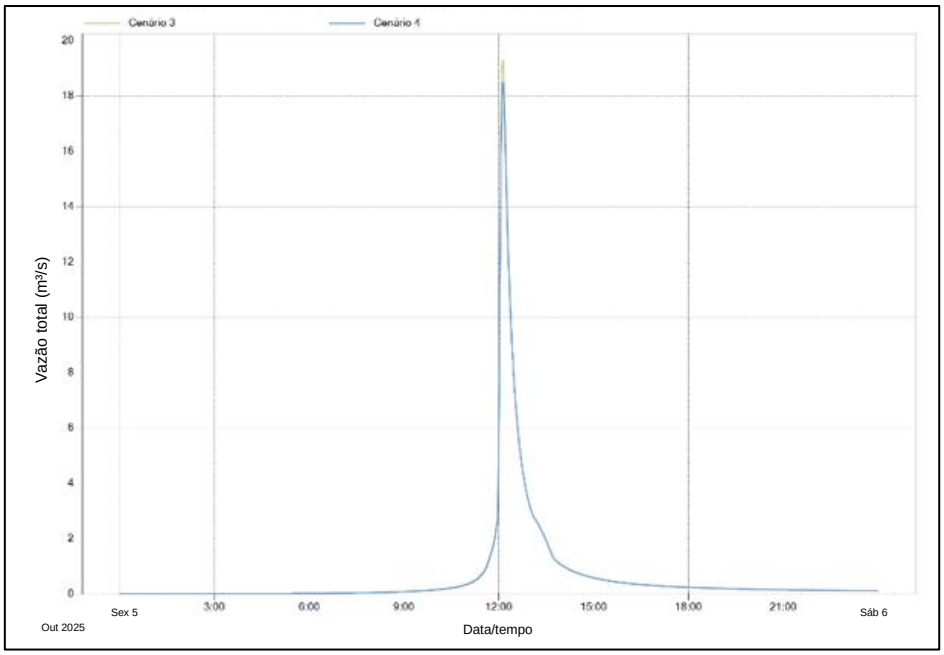


Figura 5.31 — Comparação da vazão de pico no exutório O3 para os cenários com (4) e sem (3) a aplicação de LID (Elaborado pelo autor)

A comparação entre os dois cenários demonstra que, enquanto os reservatórios de detenção atuam de forma mais eficaz na atenuação dos picos de vazão em escala de bacia, as soluções LID apresentam maior eficiência em escala local, reduzindo volumes escoados e retardando o escoamento superficial, podendo complementar as medidas estruturais tradicionais em estratégias integradas de drenagem urbana.

6 CONCLUSÃO

A modelagem hidrológica e hidráulica desenvolvida neste trabalho permitiu avaliar, de forma integrada, o comportamento do sistema de drenagem associado ao Polo JK e à área urbana de Valparaíso de Goiás, evidenciando a influência direta do uso e ocupação do solo, da ausência de planejamento histórico e da insuficiência de infraestrutura de drenagem sobre a ocorrência de alagamentos e sobrecargas hidráulicas no município.

De forma geral, os resultados demonstraram que a implantação de estruturas de controle, como reservatórios de detenção, é fundamental para o disciplinamento do escoamento superficial e para a atenuação das vazões de pico. No caso do Polo JK, verificou-se que, apesar da ocorrência pontual de sobrecargas em condutos, inundação de poços de visita e extravasamento de alguns reservatórios, a vazão de pico no exutório do sistema permaneceu controlada. Isso indica que, em escala global, a solução proposta é tecnicamente eficiente na mitigação dos impactos hidrológicos a jusante, ainda que demande ajustes pontuais no detalhamento executivo e atenção especial às áreas de transição hidráulica e à interface com infraestruturas sensíveis, como a ferrovia.

Por outro lado, a simulação da rede de drenagem urbana de Valparaíso de Goiás sem a adoção de medidas de controle evidenciou limitações hidráulicas significativas, com recorrência de sobrecargas e inundações mesmo para eventos relativamente frequentes. Esses resultados reforçam que os problemas de alagamento no município não decorrem exclusivamente da contribuição de vazões externas, mas estão fortemente associados à insuficiência da infraestrutura existente e à ausência de um planejamento sistêmico da drenagem urbana.

A comparação entre os cenários demonstrou que a introdução de reservatórios de detenção promove uma melhora expressiva no desempenho hidráulico do sistema, reduzindo as vazões de pico nos exutórios e eliminando situações críticas de sobrecarga observadas na rede convencional. Esses resultados confirmam que, em áreas urbanas consolidadas e altamente impermeabilizadas, o controle do escoamento por meio de estruturas de armazenamento temporário é uma medida técnica eficaz e, muitas vezes, indispensável.

A aplicação de uma solução de Drenagem de Baixo Impacto, na forma de trincheira de infiltração, evidenciou que medidas descentralizadas baseadas na infiltração podem complementar de maneira eficiente as soluções convencionais. Embora o efeito

global sobre a bacia tenha sido limitado pela aplicação pontual da LID, observou-se redução da vazão de pico no exutório associado à sub-bacia analisada, indicando que a adoção dessas técnicas em maior escala possui potencial para reduzir as pressões hidráulicas sobre a rede de drenagem.

Nesse contexto, destaca-se a importância do Plano Diretor Municipal como instrumento fundamental para a integração entre uso e ocupação do solo, sistema viário e drenagem urbana. A inexistência ou a baixa efetividade de diretrizes específicas para o manejo das águas pluviais contribui para a perpetuação de soluções pontuais e reativas, em detrimento de uma abordagem preventiva e sistêmica.

Recomenda-se, como medida prioritária, a elaboração e implementação de um Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) para o município, contemplando o mapeamento das bacias urbanas, a definição de exutórios, o cadastro técnico da rede de micro e macrodrenagem e a incorporação de critérios hidráulicos compatíveis com o grau de urbanização existente. A inexistência desse instrumento compromete a gestão do sistema pluvial e dificulta tanto a operação quanto o planejamento de novas intervenções.

É fundamental que o município estabeleça diretrizes normativas específicas para o lançamento de águas pluviais em corpos hídricos, em consonância com a legislação ambiental, definindo parâmetros hidráulicos, limites de vazão, dispositivos de dissipação de energia e critérios de controle de cheias. A ausência dessas diretrizes, evidenciada ao longo do estudo, resulta em soluções pontuais e desarticuladas, sem garantia de desempenho sistêmico.

Recomenda-se também a integração obrigatória entre o planejamento urbano e o sistema de drenagem, especialmente nos processos de revisão do Plano Diretor Municipal. Parâmetros urbanísticos como coeficiente de aproveitamento, taxa de impermeabilização e ocupação do solo devem ser diretamente vinculados à capacidade da infraestrutura de drenagem existente ou projetada, evitando a repetição de processos de adensamento sem suporte técnico adequado.

Para continuidade deste trabalho, recomenda-se um redimensionamento da rede preliminar proposta, junto com a ampliação da implementação de medidas compensatórias viáveis para toda a área. Por fim, o estudo reforça a importância do planejamento e da implementação de sistemas de drenagem urbana baseados em critérios técnicos, bem como da integração entre empreendimentos de grande porte e a infraestrutura urbana existente. A metodologia adotada e os resultados obtidos fornecem subsídios técnicos para o planejamento de intervenções futuras, podendo apoiar a tomada

de decisão por parte do poder público e contribuir para a mitigação dos impactos associados a eventos de chuva intensa no município de Valparaíso de Goiás.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL (ADASA). **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal**. Brasília: ADASA, 2018.

AKAN, A. O. **Urban stormwater hydrology**: a guide to engineering calculations. Lancaster, Pennsylvania: Technomic Publishing Co., 1993.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 2. ed. Porto Alegre/RS: UFRGS/ABRH, 2011.

BARBOSA, F. A. R. **Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do Rio Mamanguape/PB**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) — Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2006. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/5490. Acesso em: 27 jan. 2026.

BUTLER, D. **Urban drainage**. 4. ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, CRC Press, 2018.

CABRAL, J. J. S. P. *et al.* Modelos computacionais para drenagem urbana. *In*: RIGHETTO, A. M. (coord.). **Manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro. ABES, 2009.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2005.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Drenagem urbana**: manual de projeto. 2. ed. São Paulo: DAEE/CETESB, 1980.

COMPANHIA URBANIZADORA DA NOVA CAPITAL DO BRASIL (NOVACAP). Documentos para Consulta. **NOVACAP**, Brasília, 28 ago. 2025. Disponível em: https://www.novacap.df.gov.br/documentos-para-consulta. Acesso em: 28 jan. 2026.

DISTRITO FEDERAL. **Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal**. Brasília: Secretaria de Estado de Obras, 2009.

EMPRESA MUNICIPAL DE PROJETOS E INFRAESTRUTURA AMBIENTAL (EMPIA). **Relatório final**. Valparaíso de Goiás: EMPIA, 2019. Disponível em: https://valparaisodegoias.go.gov.br/wp-content/uploads/2022/01/Relatorio-Final-Produto-K-2.pdf. Acesso em: 5 jun. 2025.

FIGUEIREDO, Caio. Vídeo: temporal causa destruição e arrasta carros em Valparaíso (GO). **Metrópoles**, Brasília, 5 dez. 2024. Disponível em: www.metropoles.com/distrito-federal/entorno/video-temporal-causa-destruicao-e-arrasta-carros-em-valparaiso-go. Acesso em: 5 jul. 2025.

GIRONÁS, G; ROESNER, L.A.; DAVIS, J. **Storm water management model Applications manual**. [*S. l*]: U.S. Environmental Protection Agency, 2009.

GOIÁS. **Mapeamento situacional – DTI**: destinos turísticos inteligentes: estudo 39 – sistema territorial turístico de Valparaíso de Goiás. [*S. l.*]: Secretaria de Turismo, 2021. Disponível em: https://goias.gov.br/turismo/wp-content/uploads/sites/4/2023/12/39-%E2%80%93-Municipio-de-Valparaiso-de-Goias.pdf. Acesso em: 26 jun. 2025.

GRIBBIN, J. E. **Introduction to hydraulics and hydrology with applications for stormwater management**. 3. ed. New York: Thomson Delmar Learning, 2007.

GOVERNO DE VALPARAÍSO DE GOIÁS. **História da Cidade**, Valparaíso de Goiás, 2025. Disponível em: https://valparaisodegoias.go.gov.br/cidade/historia-da-cidade/. Acesso em: 16 jun. 2025.

GOVERNO DE VALPARAÍSO DE GOIÁS. **Secretaria de Obras e Infraestrutura**, Valparaíso de Goiás, 2025. Disponível em: https:// https://valparaisodegoias.go.gov.br/secretaria/secretaria-de-infraestrutura-habitacao-e-servicos-urbanos/. Acesso em: 08 mar. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE **Censo demográfico 2022**: resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=35938. Acesso em: 20 mai. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha municipal**, 2025. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html. Acesso em: 25 mai. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Brasil em desenvolvimento 2011**: estado, planejamento e políticas públicas. Brasília: IPEA, 2012. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/3871/1/Livro-Brasil_em_desenvolvimento_2011_v_1.pdf. Acesso em: 10 maio 2025.

JORNAL ANHANGUERA. Criança se assusta quando enxurrada invade apartamento em Valparaíso. Valparaíso de Goiás: G1 Goiás, 4 dez. 2024. 1 vídeo (5 min). Publicado pelo G1 Goiás. Disponível em: https://g1.globo.com/go/goias/videos-ja-1-edicao/video/crianca-se-assusta-quando-enxurrada-invade-apartamento-em-valparaiso-13161219.ghtml. Acesso em: 5 jul. 2025.

LEOPOLD, L. Hydrology for urban land planning: a guidebook on the hydrologic effects of urban land use. **Geological Survey Circular**, v. 554, p. 1–21, 1968. Disponível em: https://doi.org/10.3133/cir554. Disponível em: https://pubs.usgs.gov/publication/cir554. Acesso em: 27 jan. 2026.

LEPSCH, Igo F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

MANUAL DE DRENAGEM SP. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais**: aspectos tecnológicos; diretrizes para projetos. São Paulo: SMDU, 2012. (v. 3).

MATOS, André Barbosa de. **Plano Diretor Municipal de Valparaíso de Goiás**: ineficácia do planejamento urbano e ausência de gestão territorial. 2019. Monografia (Bacharel em Sociologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: https://bdm.unb.br/handle/10483/24032. Acesso em: 27 jan. 2026.

MATOS, Viktória y. Carvalho de. **Territórios culturais e soluções baseadas na natureza para reabilitação urbana em Valparaíso de Goiás**. 2024. 139 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2024.

NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira. Caracterização ambiental do Estado de Goiás e Distrito Federal como insumo à gestão dos recursos hídricos. **Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais**, [*s. l.*], v. 6, p. 34–50, 2017. Disponível em: https://www.revista.ueg.br/index.php/sapiencia/article/view/7309. Acesso em: 27 jan. 2026.

NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B.; SOUZA, V. C. B. Sistemas "Hidroub" para o pré-dimensionamento de soluções compensatórias em drenagem urbana: Parte I: Conceitos. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, 1997, Vitória/. **Anais Eletrônicos** [...]. São Paulo: ABRH, 1997.

PARK, M. *et al*. Optimal Design of stormwater detention basin using the genetic algorithm. **KSCE Journal of Civil Engineering**, [*s. l.*], v. 16, p. 660-666, 2012. DOI: https://doi.org/10.1007/s12205-012-0991-0. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226798824002496?via%3Dihub. Acesso em: 27 jan. 2026.

PHILADELPHIA WATER. **Stormwater management guidance manual**. Philadelphia: [*s. n.*], 2014.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A. **Hidrologia básica**. 6. ed. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda., 1998.

PORTO, R. M. Metodologia de Cálculo para o Planejamento de Bacias de Detenção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 8, n.3, jul/set. p. 135 –149, 2003.

RIGHETTO, A. M. (coord.). Manejo de águas pluviais urbanas. Rio de Janeiro. ABES, 2009.

ROSSMAM. L. A; HUBER. W. C. **Storm water management model**: reference manual: hydrology (revised). Cincinnati, OH: U.S. EPA, 2015. (v. I).

ROSSMAN, L. A. **Storm water management model reference manual**: hydrology (revised). Cincinnati, OH: U.S. EPA, 2016. (v. I).

SANTOS, Milton. **Por uma outra globalização**: do pensamento único à consciência universal. 15. ed. Rio de Janeiro: Record, 2009.

SILVA JUNIOR, M. A. B.; SILVA, S. R.; CABRAL, J. J. S. P. Compensatory alternatives for flooding control in urban areas with tidal influence in Recife - PE. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos,** [*s. l.*], v. 22, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/2318-0331.011716040. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbrh/a/LnxxsrMwWYrM9YPtNnsCCxf/?lang=en. Acesso em: 27 jan. 2026.

SIMONS, D. B. *et al*. **Flood flows, stages and damages**. Fort Collins: Colorado State University, 1977.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas. **Gov.br**, Brasília, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/ap. Acesso em: 23 jul. 2025.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. Guarulhos, SP: Editora Navegar, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília, DF: CEPAL, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48).

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**: saneamento para todos. [*S. l.*]: [*s. n.*], 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS. (Coleção ABRH de recursos hídricos; 4), 2009.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH; RHAMA, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade; ABRH, 1998.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Medidas estruturais e não estruturais para o controle de cheias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 135–152, jun. 1997.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH; UFRGS, 1995.

TUCCI, C. E. M; CRUZ, M. Avaliação dos cenários de planejamento na drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, 2007. DOI: http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v13n3.p59-71. Disponível em: https://revistas.abrhidro.org.br/article.php?Article=167. Acessoe em: 27 jan. 2026.

TV ANHANGUERA. Tia e sobrinha são arrastadas por enxurrada em Valparaíso de Goiás; vídeo. Valparaíso de Goiás: G1 Goiás, 30 jan. 2026. 1 vídeo (3 min). Publicado pelo G1 Goiás. Disponível em: https:// https://g1.globo.com/go/goias/noticia/2026/01/30/mae-e-filha-sao-arrastadas-por-enxurrada-video.ghtml. Acesso em: 30 jul. 2026.

VALPARAÍSO DE GOIÁS. **Lei Complementar n. 063, de 19 de julho de 2012.** Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Valparaíso de Goiás e dá outras providências. Valparaíso de Goiás: Gabinete da Prefeita, 2012. Disponível em: https://nucleogov.s3.us-east-2.amazonaws.com/cm_valparaisodegoias/outros/lei_20150922122438.pdf. Acesso em 6 nov. 2025.