



Universidade de Brasília
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo

**Contribuições da modelagem hidrológico – hidráulica das águas pluviais para
a gestão comunitária de riscos e adaptação climática em áreas ambientalmente
fragilizadas: O caso do Sol Nascente, DF**

Aluna: Sofia Saraiva de Carvalho

Orientadora: Prof. Dra. Liza Maria Souza de Andrade

Coorientadora: Dra. Maria Elisa Leite Costa

Brasília

2026

SOFIA SARAIVA DE CARVALHO

**CONTRIBUIÇÕES DA MODELAGEM HIDROLÓGICO-HIDRÁULICA DAS
ÁGUAS PLUVIAIS PARA A GESTÃO COMUNITÁRIA DE RISCOS E
ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA EM ÁREAS AMBIENTALMENTE
FRAGILIZADAS: O CASO DO SOL NASCENTE, DF**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (PPG-FAU/UnB) como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Profa. Dra. Liza Maria Souza de Andrade

Coorientadora: Dra. Maria Elisa Leite Costa

Brasília

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

SC331cc Saraiva de Carvalho, Sofia
Contribuições da modelagem hidrológico - hidráulica das águas pluviais para a gestão comunitária de riscos e adaptação climática em áreas ambientalmente fragilizadas: O caso do Sol Nascente, DF / Sofia Saraiva de Carvalho; orientador Liza Maria Souza de Andrade; co-orientador Maria Elisa Leite Costa. Brasília, 2026.
186 p.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)
Universidade de Brasília, 2026.

1. riscos socioambientais. 2. gestão de riscos. 3. participação comunitária. 4. áreas periféricas. 5. SWMM. I. Souza de Andrade, Liza Maria, orient. II. Leite Costa, Maria Elisa, co-orient. III. Título.

SOFIA SARAIVA DE CARVALHO

**CONTRIBUIÇÕES DA MODELAGEM HIDROLÓGICO-HIDRÁULICA DAS
ÁGUAS PLUVIAIS PARA A GESTÃO COMUNITÁRIA DE RISCOS E
ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA EM ÁREAS AMBIENTALMENTE
FRAGILIZADAS: O CASO DO SOL NASCENTE, DF**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (PPG-FAU/UnB) como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Profa. Dra. Liza Maria Souza de Andrade

Coorientadora: Dra. Maria Elisa Leite Costa

Aprovado em: / /

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Liza Maria Souza de Andrade
Orientadora

Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana
Examinador 1

Prof. Dr. Ricardo de Sousa Moretti
Examinador 2

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Liza, pelo apoio, inspiração e por ter me apresentado caminhos de luta por cidades mais justas através da pesquisa e extensão universitária. Árduos, mas possíveis. Seu trabalho nos faz esperar por dias melhores.

À minha coorientadora, Maria Elisa, pela paciência em me passar um pouco de sua vasta experiência e, acima de tudo, por acreditar em mim. Minha sincera gratidão e admiração.

À toda equipe de elaboração do Plano Comunitário de Gestão e Redução de Riscos do Sol Nascente, em especial aos professores Vânia e Moretti, com quem muito pude aprender e me desenvolver como profissional e pessoa. À Bia, pela amizade construída, ao Márcio, pela parceria e compartilhamento de seus conhecimentos sobre hidrologia e modelagem, áreas até então desconhecidas por mim. Às meninas do MTST e do MTD, Jurailde, Socorro, Bizza e Suzi, que me ensinaram sobre luta, esperança e generosidade.

À toda a comunidade do Sol Nascente, de onde vejo nascer verdadeira potência capaz de mudar a realidade. Agradeço pelos ensinamentos sobre o território e sobre coletividade.

À banca examinadora, pela disponibilidade e dedicação em ler e dar contribuições fundamentais ao desenvolvimento do trabalho.

Ao PPGFAU/UnB, desde os professores, com os quais tive a rica oportunidade de realizar trocas e que contribuíram para a minha formação, até os funcionários e técnicos, sempre prestativos e atenciosos.

Às instituições que me prestaram apoio fundamental disponibilizando dados e informações necessárias ao estudo, Adasa, Secretaria de obras, Novacap e Codhab.

À ChiWater, pela concessão da licença de uso do programa PCSWMM, com o qual obtive grande parte dos resultados deste trabalho.

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado, fundamental para a minha permanência no programa e dedicação às atividades acadêmicas. A todos, meu muito obrigada.

*“Um rio não deixa de ser um rio quando ele
conflui com outro rio. Ele continua em sua
essência. Essa é a grandeza da
confluência.”*

(Antônio Bispo dos Santos)

RESUMO

O atual quadro de mudanças climáticas, que tem gerado perdas sociais e econômicas significativas às cidades, tem colocado a temática de riscos socioambientais em destaque nos últimos anos. Esse cenário lança desafios que se desdobram em inovações na forma de produzir conhecimentos sobre ações voltadas principalmente para prevenção e mitigação de desastres. Diante disso, este trabalho teve como objetivo explorar as contribuições da modelagem hidrológico-hidráulica como ferramenta de apoio à construção de processos comunitários de gestão de riscos e adaptação climática em áreas ambientalmente fragilizadas. Para isso, analisou-se o estudo de caso de aplicação da modelagem hidrológico-hidráulica no projeto de elaboração do Plano Comunitário de Gestão e Redução de Riscos no Setor Habitacional Sol Nascente, Trecho 3, localizado no Distrito Federal. A presente pesquisa partiu de uma abordagem teórica baseada em duas reflexões principais: (1) pensamento crítico a partir de uma visão dos riscos socioambientais como produtos sociais; e (2) a integração sociotécnica como caminho promissor para o enfrentamento dos problemas de caráter socioambiental. Assim, o método delineado foi estruturado a partir da integração sociotécnica, tendo como base as etapas de i) caracterização socioambiental da área de estudo; ii) configuração do modelo hidrológico-hidráulico PCSWMM (*Personal Computer Storm Water Management Model*); iii) identificação e setorização dos riscos hidrológicos, a partir da modelagem do cenário atual; iv) participação comunitária, a partir de oficinas participativas; v) simulação de cenários alternativos com incorporação de diferentes Soluções Baseadas na Natureza (SbN) e vi) análise e discussão dos resultados do estudo de caso. Como resultado, registrou-se importantes achados e contribuições da integração entre a modelagem hidrológico-hidráulica e a participação comunitária para a gestão de riscos socioambientais. Permitiu-se analisar a situação atual da área de estudo, prever o funcionamento da rede de drenagem em construção e estimar valores de vazão, além de identificar os locais mais suscetíveis à ocorrência de alagamentos e enxurradas. Também possibilitou-se quantificar a redução dos volumes de escoamento superficial em cenários alternativos com implantação de SbN, apontando melhores estratégias de intervenção. Paralelamente, o processo contribuiu para a instrumentalização da população frente aos riscos socioambientais e mudanças climáticas.

Palavras-chave: riscos socioambientais; gestão de riscos; participação comunitária; áreas periféricas; SWMM.

ABSTRACT

The current context of climate change, which has generated significant social and economic losses for cities, has placed the issue of socio-environmental risks at the forefront in recent years. This scenario presents challenges that unfold into innovations in the ways knowledge is produced regarding actions aimed primarily at disaster prevention and mitigation. In this regard, this study sought to explore the contributions of hydrological–hydraulic modeling as a tool to support the development of community-based risk management processes and climate adaptation in environmentally fragile areas. To this end, the analysis was conducted through a case study of the application of hydrological–hydraulic modeling in the project for developing the Community Risk Management and Reduction Plan for the Sol Nascente Housing Sector—specifically Section 3—located in the Federal District. The study adopted a theoretical approach grounded in two main reflections: (1) critical thinking based on an understanding of socio-environmental risks as social constructs; and (2) sociotechnical integration as a promising pathway for addressing socio-environmental challenges. Accordingly, the methodological design was structured around sociotechnical integration and consisted of the following stages: (i) socio-environmental characterization of the study area; (ii) configuration of the hydrological–hydraulic model, using PCSWMM (Personal Computer Storm Water Management Model) in this study; (iii) identification and delineation of hydrological risks based on current-scenario modeling; (iv) community participation through participatory workshops; (v) simulation of alternative scenarios incorporating different Nature Based Solutions (NbS); and (vi) analysis and discussion of the case study results. As a result, important findings and contributions were recorded regarding the integration between hydrological-hydraulic modeling and community participation for the management of socio-environmental risks. It allowed for the analysis of the current situation of the study area, the prediction of the functioning of the drainage network under construction, and the estimation of flow values, as well as the identification of the locations most susceptible to flooding and flash floods. It also made it possible to quantify the reduction in surface runoff volumes in alternative scenarios with the implementation of nature-based solutions (NbS), indicating better intervention strategies.

In parallel, the process contributed to empowering the population to face socio-environmental risks and climate change.

Key-words: socio-environmental risks; risk management; community participation; informal settlement; SWMM.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Problema de pesquisa e justificativa.....	18
1.2 Objetivos.....	20
1.3 Contextualização e enquadramento da pesquisa	21
1.3.1 Percurso acadêmico da pesquisadora	21
1.3.2 Fundamentos metodológicos	23
1.4 Estruturação da dissertação	24
2 REVISÃO DE LITERATURA	26
3 DE RISCO AMBIENTAL A RISCO SOCIALMENTE CONSTRUÍDO.....	36
3.1 A gênese do risco socioambiental no Brasil.....	36
3.2 Risco <i>versus</i> vulnerabilidade social no DF.....	40
3.3 A complexa equação da moradia e a constituição de áreas de risco	45
4 GESTÃO DE RISCOS SOCIOAMBIENTAIS	48
4.1 Panorama da gestão e redução de riscos e as práticas <i>top-down</i>	48
4.2 Gestão comunitária de risco e as práticas <i>bottom-up</i>	53
4.3 Modelagem hidrológico-hidrológica como ferramenta de gestão de riscos urbanos	56
5 METODOLOGIA.....	59
6 ÁREA DE ESTUDO	92
6.1 Caracterização socioambiental	92
6.1.1 Dados socioeconômicos	95
6.1.2 Fragilidade ambiental e situações de risco	98
6.1.3 Caracterização do sistema de drenagem.....	116
6.2 Plano Comunitário de Gestão e Redução de Riscos do Sol Nascente.....	123
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	131
7.1 Previsão do desempenho da rede de drenagem após conclusão.....	131
7.2 Locais suscetíveis a alagamentos, enxurradas e erosões e setorização de risco. 137	
7.3 Desempenho dos cenários com aplicação de SbN.....	144
7.3.1 Cenários com trincheiras de infiltração	144
7.3.2 Cenários com valas vegetadas	157
8 CONCLUSÃO.....	165
REFERÊNCIAS	169

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Contextualização do estudo de caso.	17
Figura 2 - Integração entre modelagem, gestão de riscos socioambientais e participação comunitária.	19
Figura 3 - Fluxograma da busca em bases bibliográficas.	27
Figura 4 – Gráfico período de publicação dos estudos.	29
Figura 5 - Gráfico local de publicação dos estudos.	30
Figura 6 – Gráfico forma de participação comunitária nos estudos.	32
Figura 7 - Risco como produto da intersecção entre formação socioespacial e geossistema.	37
Figura 8 - Tipos de entendimento sobre vulnerabilidade a desastres	39
Figura 9 - RAs por grau de vulnerabilidade social.	41
Figura 10 - Cruzamento entre grau de vulnerabilidade das RAs e áreas em situação de risco no DF.	42
Figura 11 - Comparação entre grau de vulnerabilidade das RAs e número de áreas de risco por RA.	44
Figura 12 - Cursos hídricos e relevo da RA Sol Nascente/Pôr do Sol.	46
Figura 13 – Fases da gestão de desastres.	59
Figura 14 - Etapas metodológicas do trabalho.	60
Figura 15 - Dados utilizados para a caracterização socioambiental da área de estudo. .	63
Figura 16 - Camada vetorial de lotes urbanos da área de estudo.	65
Figura 17 - Pedologia Trecho 3 do SHSN.	66
Figura 18 - Classificação de uso e cobertura do solo Trecho 3 do SHSN.	68
Figura 19 - Classificação do CN das sub-bacias do modelo.	69
Figura 20 - MDT área de regularização.	70
Figura 21 - MDT RA Sol Nascente/Pôr do Sol.	71
Figura 22 - Incorporação da rede de drenagem no modelo.	72
Figura 23 - Chuva registrada no dia 9 de fevereiro de 2023.	73
Figura 24 - Localização do registro de enxurrada no Trecho 3 do SHSN.	74
Figura 25 - Mapeamento comunitário de riscos na área de estudo.	78
Figura 26 - Exemplos de ícones utilizados para o mapeamento comunitário de riscos. 78	
Figura 27 - Mapeamento comunitário de padrões de infraestrutura ecológica na área de estudo.	79
Figura 28 - Exemplos de padrões de infraestrutura ecológica utilizados para o mapeamento comunitário de implantação de SbN.	80
Figura 29 - Revisão dos mapas de locais suscetíveis a riscos hidrológicos junto aos moradores.	81
Figura 30 - Combinação de camadas para cada tipo de SBN no PCSWMM.	84
Figura 31 - Elementos da trincheira de infiltração.	86
Figura 32 - Exemplo de vala vegetada	89
Figura 33 - Evolução da mancha urbana da RA Sol Nascente/Pôr do Sol entre os anos 2003 e 2018.	93
Figura 34 - Trechos do SHSN e poligonal de regularização.	94
Figura 35 - Caracterização da população da RA Sol Nascente/Pôr do Sol.	96

Figura 36 - Caracterização da infraestrutura domiciliar da RA Sol Nascente/Pôr do Sol.	96
Figura 37 - Caracterização da infraestrutura urbana da RA Sol Nascente/Pôr do Sol. .	97
Figura 38 - Ocupações em APPs de nascente e cursos d'água no Trecho 3 do SHSN...	99
Figura 39 - Inclinação do terreno no Trecho 3 do SHSN.....	100
Figura 40 - CGS-DF aproximada para a região do Sol Nascente.....	102
Figura 41 - Classificação do SGB quanto à suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa.....	103
Figura 42 - Classificação do SGB quanto à suscetibilidade a inundações.	104
Figura 43 - CGAU-DF aproximada para a região do Sol Nascente.	105
Figura 44 - Classes de aptidão e grau de periculosidade no Trecho 3 do SHSN.	106
Figura 45 - Carta de Risco Trecho 3 do SHSN.	107
Figura 46 - Rebordo erosivo no Trecho 3 do SHSN.	108
Figura 47 - Curvas de nível da área de estudo.....	109
Figura 48 - Pontos de risco e monitoramento no Trecho 3 do SHSN.	111
Figura 49 - Demarcação para parcelamento irregular do solo Trecho 2.	115
Figura 50 - Demarcação para parcelamento irregular do solo Trecho 3.	115
Figura 51 - Projeto da rede de drenagem do Trecho 3.	117
Figura 52 – Galerias implantadas no Trecho 3.....	118
Figura 53 - Atual condição das bacias de retenção do Sol Nascente.....	120
Figura 54 - Bacias de retenção e retenção do SHSN.	121
Figura 55 - Impacto das bacias de retenção na paisagem do Trecho 3.....	122
Figura 56 - Caminhadas diagnóstico e eventos ocorridos em 2024 para discussão sobre a questão socioambiental do Sol Nascente.....	125
Figura 57 - Encontro com lideranças locais para debate sobre o plano de trabalho.....	125
Figura 58 - Ação dos mobilizadores locais para divulgação do projeto.....	126
Figura 59 - Resultado do mapeamento da Oficina 1.	129
Figura 60 - Resultado do mapeamento da Oficina 2.	130
Figura 61 - Localização do conduto C30 na rede de drenagem.	132
Figura 62 - Parâmetros observados na avaliação da rede de drenagem.	133
Figura 63 - Pontos críticos da rede de drenagem durante precipitação de TR 10 anos.134	
Figura 64 - Variação de velocidade da água pluvial nos condutos do sistema.	137
Figura 65 – Mapa de identificação de áreas suscetíveis a enxurradas, alagamentos e erosões.	139
Figura 66 - Mapa de setorização de riscos.	142
Figura 67 - Hidrogramas do C30 nos cenários CB, CT1, CT1.1, CT1.2, CT2.1.3.	145
Figura 68 - Hidrogramas do C30 nos cenários CB, CT2, CT2.1, CT2.2, CT2.3.	148
Figura 69 - Proposta para implantação de trincheiras na Avenida do 'Trem Bão'.	154
Figura 70 - Avenida do 'Trem Bão', Trecho 3 do SHSN.....	154
Figura 71 - Proposta para implantação de trincheiras nas ruas.	156
Figura 72 - Configuração de rua local do Trecho 3 do SHSN.	156
Figura 73 - Hidrograma do C30 nos cenários CB, CV1 e CV2.	157
Figura 74 - Proposta para implantação de valas na Avenida do 'Trem Bão'.	160
Figura 75 - Proposta para implantação de valas nas ruas.	161
Figura 76 - Audiência pública com apresentação dos estudos hidrológicos.	163

Figura 77 – Contribuições da modelagem hidrológico-hidráulica na construção do processo comunitário de gestão de riscos socioambientais no Sol Nascente..... 164

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho trata da temática da adaptação climática, utilizando-se de modelagem hidrológico-hidráulica no que tange à prevenção de riscos, gestão comunitária e aplicação de soluções baseadas na natureza. O aumento significativo na ocorrência de desastres associados a eventos hidrológicos, intensificado pelas mudanças climáticas em curso, demanda o desenvolvimento de novas estratégias de enfrentamento dos riscos socioambientais. Esse cenário lança desafios que têm se desdobrado em novas formas de produzir e disseminar conhecimentos, principalmente voltados para ações de prevenção e mitigação de tragédias. As mudanças climáticas têm causado em maior frequência eventos considerados extremos, a exemplo das chuvas de alta intensidade, que caracterizam-se pela curta duração e elevado volume. Soma-se a isso o modelo de urbanização das cidades brasileiras, que se deu de maneira desordenada, com intensa impermeabilização do solo, ocupação de terrenos irregulares e sob condições precárias de infraestrutura e saneamento (Nóbrega, 2012; Cardoso, 2020).

Como resultado, a população urbana tem enfrentado, cada vez mais, impactos ambientais severos, como alagamentos, enchentes, enxurradas, deslizamentos e inundações. Segundo o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), em 2024, no Brasil, o número de alertas sobre desastres bateu o recorde. Dos 3.620 alertas registrados, 53% se referiam a algum tipo de risco geológico, como deslizamentos de terra e os outros 47% estavam associados a riscos hidrológicos (Cemaden, 2024). Dentre eles, enxurradas e transbordamento de rios e córregos, a exemplo das enchentes que ocorreram em 2024 no estado do Rio Grande do Sul, resultando em vítimas fatais e milhares de pessoas desabrigadas. Outros dados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD) demonstraram que em 2024 houve 251 mortes por desastres em decorrência das chuvas no Brasil e quase um milhão de pessoas ficaram desabrigadas (S2iD, 2024).

De acordo com Cardoso (2020), apesar de atingir todos, na maioria das vezes, as consequências dos desastres não são sentidas da mesma forma por toda a população, pois existe uma parcela mais vulnerável aos riscos socioambientais. Segundo Santos (2012), no Brasil, a ocorrência desses eventos está relacionada às ações antrópicas e ao modelo de expansão urbana e ocupação de terrenos com alta susceptibilidade a desastres, como

fundos de vale e encostas com grandes declividades. O autor explica que essas áreas são ocupadas, majoritariamente, por população de baixa renda, que, limitados pelo alto valor do mercado imobiliário, são forçados a ocupar áreas irregulares e zonas periféricas de expansão com altos níveis de risco. Essas áreas são carentes de infraestrutura, saneamento e, muitas vezes, envolvem questões ambientais delicadas.

Como consequência, essa população tem sido a principal vítima dos eventos extremos dessa natureza. Ademais, possui uma menor capacidade de resiliência diante a deflagração de um desastre (Cardoso *et al.*, 2020). Portanto, determinadas áreas urbanas apresentam características ainda mais críticas que outras, como o caso do Sol Nascente, setor habitacional localizado no Distrito Federal e área de estudo deste trabalho. A região é resultante de uma ocupação irregular que teve início nos anos de 1990 e atualmente está em processo de regularização fundiária, apesar disso, parte significativa do setor ainda encontra-se fora da poligonal de regularização.

O Sol Nascente está localizado à jusante da Região Administrativa (RA) de Ceilândia, maior RA do DF em termos populacionais, área densamente impermeabilizada e com um sistema de águas pluviais ultrapassado, deficiente e sem uso de técnicas sustentáveis. Desse modo, a água pluvial não captada à montante, chega com elevados volume e velocidade no Sol Nascente, que, por sua vez, caracteriza-se como uma área de grande sensibilidade ambiental, graças aos cursos hídricos existentes e relevo acentuado. Isso, somado às precárias condições de infraestrutura da região e urbanização incompleta, contribui para a ocorrência de alagamentos, enxurradas, erosões e problemas sanitários, expondo os moradores a múltiplos riscos (Andrade *et al.*, 2025). Entende-se assim que a pauta de segurança, principalmente frente às mudanças climáticas em curso, necessita ser cada vez mais frequente no planejamento urbano em áreas periféricas, já que nesses locais é comum a existência de uma intrincada e mais intensa relação entre os sistemas social e ambiental (Anelli, 2023).

Nesse sentido, este trabalho busca contribuir na construção de estratégias mais avançadas para gestão e redução de riscos nesses locais. A partir disso, cria-se, por exemplo, possibilidades de convivência da população com o risco, através da redução desse, apresentando alternativas à atual prática de remoção de famílias moradoras das áreas, o que, por sua vez, pode trazer-lhes riscos de natureza social (Moretti *et al.*, 2019). A

criação da possibilidade de convivência com o risco passa necessariamente pela construção de uma forte base de conhecimento dos fatores determinantes e das causas dos problemas que atingem determinado território, além da identificação das ações prioritárias, de natureza estrutural ou não, que podem ser adotadas para prevenir desastres. Pressupõe-se que essa construção é possível por meio da integração entre tecnologia, ciência e comunidade local, já que esta conhece profundamente o território e convive diariamente com o conjunto de riscos ao qual está exposta.

Diante desse cenário, a modelagem hidrológico-hidráulica tem ganhado destaque dentro do planejamento estratégico voltado para abordagens preventivas de desastres. Esses modelos são capazes de simular o volume e a velocidade do escoamento superficial em determinada área e identificar locais críticos do sistema de drenagem após um evento chuvoso. Além disso, possibilitam a simulação dos efeitos causados pela adoção de possíveis soluções a partir da modelagem de cenários alternativos com a inclusão de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) ou modificações no desenho urbano que promovam manejo sustentável das águas, por exemplo. Ou seja, eles são capazes de prever o comportamento da bacia de drenagem submetida a situações específicas de precipitação e após a implementação de medidas mitigatórias, possibilitando definir uma série de estratégias para a aplicação.

Essa ferramenta tem sido amplamente empregada na gestão de águas pluviais em áreas urbanas, proporcionando análises significativas ao planejamento territorial, especialmente ao considerar o contexto das mudanças climáticas e resiliência urbana (Righetto, 2009). A gestão eficaz dos recursos hídricos é fundamental para o desenvolvimento de cidades sustentáveis e para a prevenção de desastres. Ab'Saber (1994) defende que a capacidade de previsão de impactos revela o nível de esclarecimento alcançado por determinada sociedade, ao antever cenários críticos de seu território. Portanto, este trabalho tem como objetivo principal explorar as contribuições da modelagem hidrológico-hidráulica como ferramenta de apoio à construção de processos comunitários de gestão de riscos e adaptação climática em áreas ambientalmente fragilizadas.

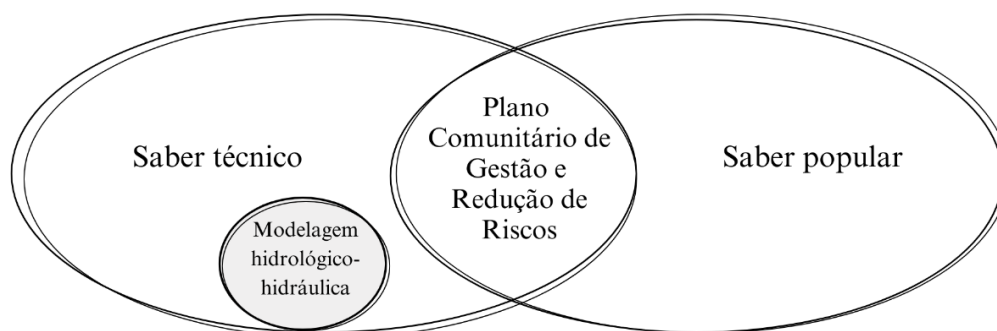
Assim, a presente pesquisa partiu de um estudo de caso referente à aplicação da modelagem hidrológico-hidráulica no Trecho 3 do Sol Nascente - DF, que gerou

resultados para a elaboração do Plano Comunitário de Gestão e Redução de Riscos com Soluções Baseadas na Natureza (SbN)¹ para a área. O Plano Comunitário resultou de uma parceria entre o Laboratório Periférico (FAUUNB) e o governo federal, através da Secretaria Nacional de Periferias do Ministério das Cidades (SNP), por meio do programa Periferia Sem Risco².

A metodologia empregada na elaboração do Plano Comunitário teve forte interlocução comunitária por meio da leitura territorial integrada e participativa e coprodução de conhecimentos (Andrade *et al.* 2025). Neste trabalho, a coprodução de conhecimento é entendida a partir dessa abordagem de integração entre ciência, tecnologia e comunidade, orientada para a construção de processos de gestão mais democráticos e adaptados à complexidade de cada cenário.

A partir dessa experiência, buscou-se analisar as contribuições e limitações da modelagem no contexto de elaboração do Plano, visando somar no aprimoramento de práticas nacionais. A Figura 1 ilustra e contextualiza a inserção da modelagem hidrológico-hidráulica dentro do processo de elaboração do Plano Comunitário. Os estudos hidrológicos desenvolvidos para o projeto ocorreram em parceria com pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH/UnB)³, fortalecendo o caráter interdisciplinar da pesquisa.

Figura 1 - Contextualização do estudo de caso.



¹ Sobre o projeto de elaboração do Plano Comunitário, ver Andrade *et al.* (2025), disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/122742>.

² O programa orienta as ações do Departamento de Mitigação e Prevenção de Risco da SNP e busca fortalecer o desenvolvimento de capacidades locais por meio de infraestrutura, planejamento, informação e participação social para redução das vulnerabilidades relativas a riscos nas periferias brasileiras.

³ O Programa de Pós-Graduação de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos faz parte do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília.

1.1 Problema de pesquisa e justificativa

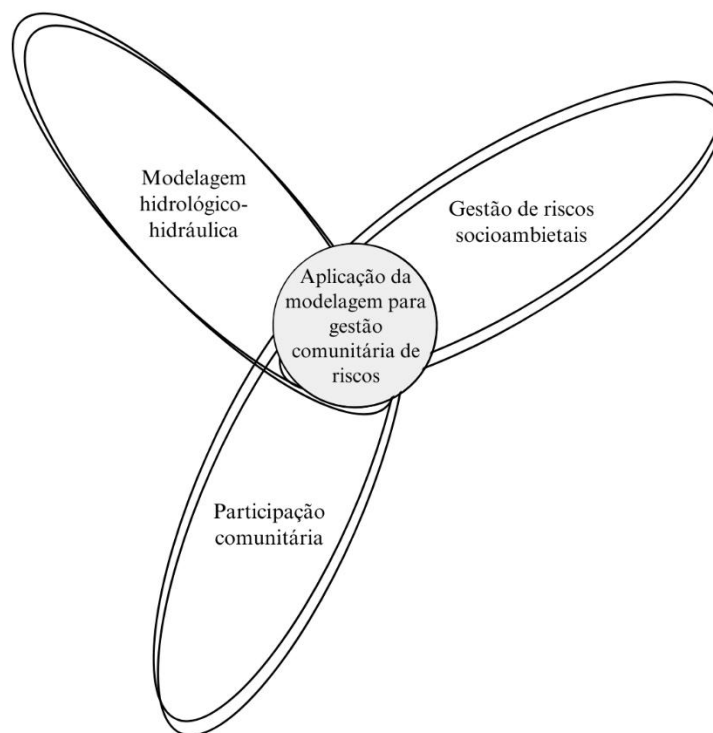
A construção de capacidades locais para o enfrentamento de riscos relacionados a eventos extremos, especialmente em contextos urbanos vulneráveis, segue como um dos principais desafios à implementação das agendas globais de resiliência urbana, como os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU, 2015). No Brasil, a gestão de riscos relacionados a eventos extremos carece de estratégias eficazes de previsão, planejamento preventivo e instrumentalização comunitária.

Di Gregório e Couto (2019) apontam para o caráter esgotado e de profundo desequilíbrio socioeconômico-ambiental com o qual as gestões urbanas brasileiras têm tratado questões de enfrentamento à crise climática. Sulaiman *et al.* (2021) complementam que o insucesso das práticas de redução de riscos, dominantes no mundo todo, está na frequente adoção de medidas *top-down* (topo para base), onde as decisões se limitam a um corpo restrito de técnicos e gestores, sem participação dos atores locais.

Tal descompasso evidencia, além de um problema institucional, um desafio central no meio científico: a restrição da temática a limites técnicos e o desenvolvimento de modelos de análise e gestão de riscos sem a efetiva incorporação em processos participativos e apropriação social do conhecimento gerado. Ferramentas técnicas e usualmente aplicadas a estudos científicos, como a modelagem hidrológico-hidráulica, possuem grande potencial para análise e gestão de riscos, porém, ainda são pouco exploradas no contexto de instrumentalização comunitária frente aos problemas socioambientais.

Sendo assim, a presente pesquisa pretende contribuir no preenchimento da lacuna de integração entre a modelagem hidrológico-hidráulica, a gestão de riscos socioambientais e a participação comunitária (Figura 2). Dessa forma, será explorado como a ferramenta pode ser utilizada para a gestão de riscos em áreas ambientalmente fragilizadas, mas, considerando uma gestão construída a partir de abordagens comunitárias.

Figura 2 - Integração entre modelagem, gestão de riscos socioambientais e participação comunitária.



Portanto, a pesquisa busca responder ao seguinte questionamento: *como a modelagem hidrológico-hidráulica pode contribuir na construção comunitária de gestão de riscos em áreas ambientalmente fragilizadas?*

Essa investigação se dará tomando como referência empírica o território do Sol Nascente (DF), dada sua condição enquanto área de grande fragilidade ambiental e marcada pela vulnerabilidade social. Para tanto, parte-se de abordagens teóricas bem delimitadas, como o entendimento de que o enfrentamento dos riscos socioambientais demanda a articulação entre diversos campos e processos que envolvem a participação comunitária.

1.2 Objetivos

Objetivo geral

Explorar as contribuições da modelagem hidrológico-hidráulica como ferramenta de apoio à construção de processos comunitários de gestão de riscos em áreas ambientalmente fragilizadas.

Objetivos específicos

- Caracterizar os aspectos socioambientais da área de estudo;
- Desenvolver a base do modelo hidrológico-hidráulico da área;
- Integrar os resultados da modelagem com o saber comunitário para a identificação de riscos;
- Avaliar o desempenho de cenários alternativos com implantação de SbN;
- Documentar as contribuições da modelagem hidrológico-hidráulica para a construção de gestão comunitária de riscos.

1.3 Contextualização e enquadramento da pesquisa

Este subcapítulo tem como objetivo contextualizar e enquadrar a pesquisa desenvolvida, explicitando os elementos que orientaram sua construção metodológica e empírica. Para tanto, apresenta-se de maneira resumida o percurso acadêmico da pesquisadora no âmbito do mestrado, destacando as atividades que se desdobraram nos fundamentos metodológicos adotados na pesquisa.

1.3.1 Percurso acadêmico da pesquisadora

A discente ingressou no Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo na Universidade de Brasília (PPGFAU/UnB) em março de 2024, na área de concentração “Projeto e Planejamento” e linha de pesquisa “Paisagem, Território e Políticas Urbanas”, sob orientação da Prof^a. Dra. Liza de Andrade e, posteriormente, coorientação da Dra. Maria Elisa Leite Costa, doutora em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela UnB (PTARH/UnB) e especialista em manejo de águas pluviais.

Além disso, aluna integra o Grupo de Pesquisa e Extensão “Periférico, trabalhos emergentes” (Laboratório Periférico Assessoria Sociotécnica), na linha de pesquisa “Paisagens sustentáveis, ecossistemas urbanos e rurais, padrões espaciais, gestão de riscos, soluções baseadas na natureza (SbN) e fluxos de água”, desenvolvendo trabalhos junto a territórios periféricos do DF, com foco na comunidade do Sol Nascente. Essa inserção possibilitou a articulação entre pesquisa acadêmica e atuação extensionista, com base na metodologia sociotécnica desenvolvida pelo Grupo.

Portanto, dentre as atividades desenvolvidas, destaca-se a participação no projeto de extensão de elaboração do Plano Comunitário de Gestão e Redução de Riscos Socioambientais com SbN para os trechos 2 e 3 do Sol Nascente. O objetivo principal do projeto foi analisar e mapear as situações de risco e propor, de forma participativa, diretrizes para a criação de uma infraestrutura local, a curto e médio prazo, com SbN. A elaboração do Plano Comunitário teve como premissa a coprodução de conhecimentos, integrando o saber comunitário local, por meio da leitura territorial participativa, e o saber técnico, a partir dos estudos desenvolvidos pela equipe de assessoria sociotécnica do Laboratório Periférico.

No âmbito do projeto, a discente integrou a equipe técnica de modelagem hidrológico-hidráulica, dentre outras coisas. A aplicação da modelagem no Plano Comunitário teve como objetivo colaborar tanto para a compreensão mais precisa a respeito do comportamento e dinâmica dos riscos hidrológicos que atingem a região, como apontar quais as soluções estruturais e não estruturais mais adequadas para a minimização do problema. A participação no projeto contribuiu para a delimitação do tema, fundamentos metodológicos e área de estudo da pesquisa de dissertação.

Devido à definição do tema e estudo de caso já no início do mestrado, o percurso acadêmico da discente teve um direcionamento e foco que contribuíram fortemente para a construção da pesquisa, concebida desde sua origem de maneira integrada à extensão universitária, articulando teoria e práxis integradas por meio da pesquisa-ação. Assim, desde seu ingresso no PPGFAU/UnB, a aluna vem aprofundando estudos relacionados à gestão comunitária e redução de riscos socioambientais em territórios vulneráveis e o emprego da modelagem hidrológico-hidráulica como ferramenta de apoio para tal. Ao longo do período, apresentou trabalhos em congressos, como ENANPARQ, ENANPUR, ENEPEA, Simpósio Brasileiro de Águas Urbanas dentre outros, e publicou estudos vinculados à temática, com os resultados parciais de pesquisa⁴.

O envolvimento em atividade de extensão universitária proporcionou aprendizados práticos e maior reconhecimento da necessidade de aproximação entre o conhecimento técnico e as demandas sociais, especialmente pelo caráter participativo do projeto. O contato direto com o território e com os moradores foi enriquecedor não apenas para o desenvolvimento da pesquisa, mas também para a formação da discente como pesquisadora, pela possibilidade de expansão do conhecimento a partir da coprodução do saber.

⁴ Carvalho *et al.* (2024), disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/enanparq8/852339-de-risco-ambiental-a-risco-socialmente-construido---a-relacao-entre-dados-socioeconomicos-e-dados-de-areas-em-sit/>.

Carvalho *et al.* (2024), disponível em: <https://enepea2024.com.br/anais/>.

Carvalho *et al.* (2025), disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/21010/23317>.

Carvalho *et al.* (2025), disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/122719>.

Carvalho *et al.* (2025), disponível em: https://abes-dn.org.br/anais/electronicos/33cbesa/878_tema_ix.pdf.

Carvalho *et al.* (2025), disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap/pt_BR/article/view/5831/5793.

Por fim, destaca-se também a atuação no Estágio Docente, com acompanhamento de turma de graduação na disciplina de “Projeto de Urbanismo 1” (PU 1), ministrada pelas Prof. Liza de Andrade e Vânia Loureiro. A disciplina de PU1 teve como objetivo a elaboração de projetos de regularização fundiária para as áreas localizadas fora da poligonal de regularização dos trechos 2 e 3 Sol Nascente. A experiência como estagiária docente contribuiu para o aprofundamento nas análises territoriais e o intercâmbio de conhecimentos com os alunos e com a comunidade local, que esteve presente e participou de discussões em sala de aula.

1.3.2 Fundamentos metodológicos

A temática dos riscos socioambientais caracteriza-se por sua natureza complexa e multifacetada, exigindo abordagens transdisciplinares capazes de integrar dimensões físicas, ambientais e sociais do território. Severino (2017) defende que a ciência decorre da articulação do teórico com o empírico, não se reduzindo a um simples levantamento, exposição ou coleção de dados. Para o autor, apenas a teoria pode caracterizar dados empíricos como científicos, ao passo que a teoria só produz ciência se articulada a dados empíricos.

À luz dessa compreensão, a adoção do Plano Comunitário como estudo de caso permitiu a integração entre pesquisa e extensão no presente trabalho, articulando o conhecimento acadêmico às demandas e saberes da comunidade local por meio da pesquisa-ação. A pesquisa-ação constitui uma abordagem metodológica que combina investigação e intervenção de forma indissociável, envolvendo os sujeitos pesquisados como participantes ativos do processo de produção do conhecimento, sendo particularmente adequada a contextos marcados por desigualdades socioespaciais e por demandas concretas de ação no território.

Essa perspectiva metodológica orienta as ações do Laboratório Periférico, que atua com metodologia participativa própria certificada como tecnologia social pela Fundação Banco do Brasil, articulando saberes técnicos e populares com base no “interacionismo sociotécnico pedagógico”. Por meio de estratégias de produção de conhecimento de baixo para cima (*bottom up*), sujeitos com conhecimento científico compartilham seu saber

técnico com os sujeitos sociais, gerando e assimilando o conhecimento sociotécnico (Andrade *et al.* 2022).

No âmbito do Plano Comunitário, tal abordagem sociotécnica materializou-se na articulação entre estudos técnicos e práticas participativas, como oficinas comunitárias de mapeamento e de elaboração de plano de contingência, curso de extensão com a comunidade, caminhadas diagnósticas, encontros, reuniões e articulação com movimentos sociais atuantes no território e moradores.

A presente pesquisa, portanto, insere-se nesse contexto e adota a pesquisa-ação como um eixo estruturante, integrando saberes científicos e empíricos, na qual a modelagem hidrológico-hidráulica é compreendida não apenas como instrumento técnico, mas como mediadora de processos participativos, aprendizagem coletiva e construção compartilhada de soluções.

1.4 Estruturação da dissertação

A partir da adoção de tais fundamentos e enquadramento de pesquisa, o trabalho se organiza da seguinte forma:

O **capítulo 2**, de revisão de literatura, apresenta um panorama das produções científicas, a partir de 2015, que articulam modelagem hidrológico-hidráulica, gestão de riscos e participação comunitária. São discutidas contribuições, lacunas e abordagens metodológicas relevantes à compreensão de como essas ferramentas vêm apoiando a construção comunitária da gestão de riscos em áreas ambientalmente fragilizadas.

O **capítulo 3** apresenta um panorama relativo à temática do risco socioambiental, com foco no contexto brasileiro. São propostas reflexões que partem do entendimento crítico do risco como produto social. São abordadas questões sobre a gênese do risco, que passa pela compreensão da intrincada relação entre o sistema ambiental e o social. Ou seja, o entendimento do risco numa visão socioambiental, considerando aspectos físicos-ambientais e a dinâmica socioespacial de formação das cidades, que produz desigualdades e vulnerabilidades. Tal noção é construída a partir da análise dessa dinâmica nas escalas do Brasil, do Distrito Federal e do Sol Nascente.

O **capítulo 4** discute a gestão de riscos socioambientais e sua evolução ao longo das últimas décadas, destacando os principais desafios enfrentados e as estratégias atualmente adotadas no Brasil e no mundo. Aborda-se, ainda, a gestão de riscos construída com bases comunitárias e participativas, evidenciando a importância do protagonismo de atores locais no processo de análise e proposição de soluções para seus territórios. Em seguida, é explorado o uso de modelos hidrológico-hidráulicos no planejamento urbano voltado à análise e gestão de riscos.

O **capítulo 5** descreve as etapas metodológicas do estudo, detalhando cada uma, desde a caracterização socioambiental da área de estudo até a simulação de cenários alternativos com adoção de SbN no PCSWMM, passando pela configuração do modelo hidrológico-hidráulico e pela participação comunitária ao longo do processo.

No **capítulo 6** é apresentada a área de estudo, iniciando pela caracterização do território com base em dados físicos e socioeconômicos, à luz da abordagem teórica adotada, centrada no entendimento da construção socioambiental do risco. Também é descrito mais detalhadamente o processo de elaboração do Plano Comunitário de Gestão e Redução de Riscos do Sol Nascente, que constitui o estudo de caso analisado neste trabalho.

O **capítulo 7** apresenta e discute os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia no estudo de caso do Sol Nascente. São analisadas a situação de risco do Trecho 3 e a previsão de melhorias alcançadas em cenários alternativos com a inclusão de estruturas SbN, revelando as contribuições da modelagem hidrológico-hidráulica como ferramenta no apoio à construção comunitária de gestão de risco em áreas ambientalmente fragilizadas.

Por fim, o **Capítulo 8** reúne as conclusões do trabalho, bem como as limitações e dificuldades encontradas ao longo da pesquisa, além de recomendações para estudos futuros. Com foco em responder à pergunta de pesquisa, explicita-se de quais formas a ferramenta auxiliou nas etapas de gestão de riscos socioambientais no estudo de caso, incluindo análise, mitigação e resposta.

2 REVISÃO DE LITERATURA

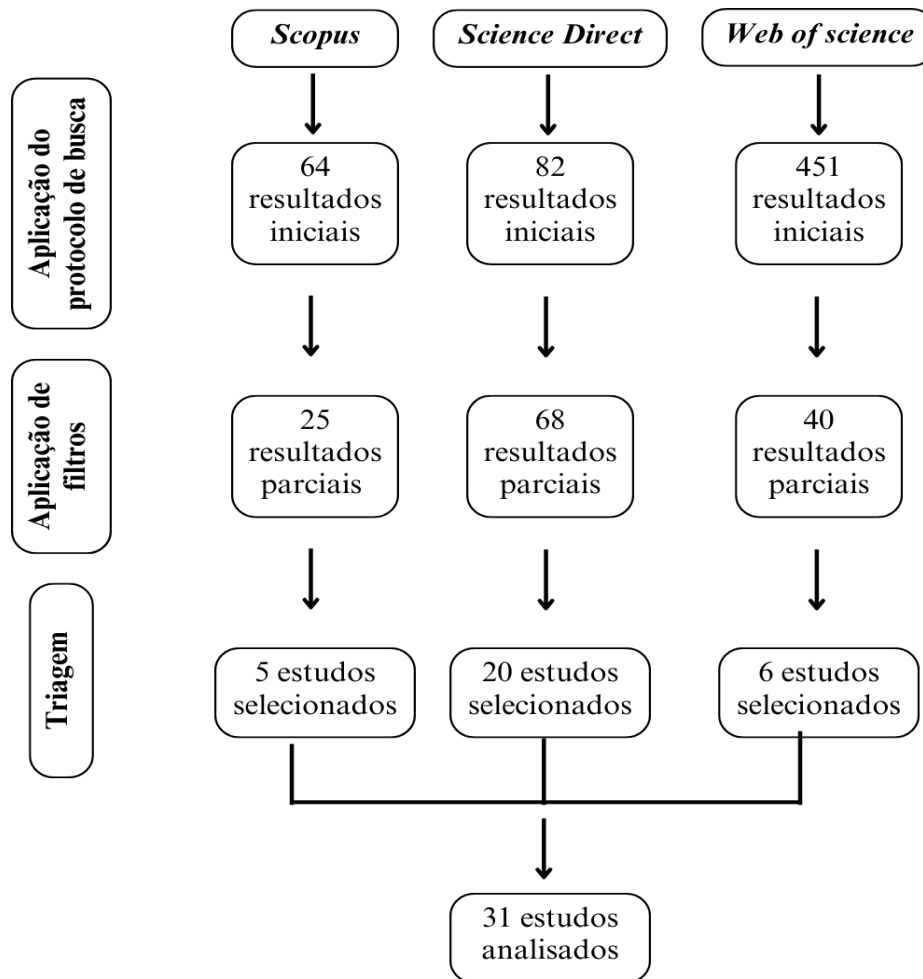
A revisão de literatura realizada teve como objetivo mapear as principais publicações científicas, produzidas desde 2015, que fizessem intersecção entre os temas de modelagem hidrológico-hidráulica, gestão de riscos e participação comunitária. Dessa forma, buscou-se, não esgotar as publicações existentes sobre a temática, mas sim, identificar contribuições importantes, lacunas e arranjos metodológicos adotados em estudos considerados relevantes às questões de pesquisa.

Assim, além do mapeamento de trabalhos em bases de dados científicas, a revisão de literatura foi complementada por estudos realizados pelo Laboratório Periférico (FAUUNB), os quais abordam a metodologia participativa desenvolvida e adotada pelo Grupo (Andrade *et al.*, 2022; Andrade *et al.*, 2024; Andrade *et al.*, 2025). Essa articulação contribuiu para a delimitação e fundamentação da metodologia empregada neste trabalho e consolidação do seu enquadramento.

Para a pesquisa nas bases bibliográficas, foi realizada inicialmente uma busca exploratória no *Google Scholar* para identificar os principais termos utilizados em estudos relacionados à modelagem hidrológico-hidráulica, gestão de riscos e participação comunitária. Em seguida, definiu-se um protocolo de busca a partir dos termos que apresentaram maior aderência nas plataformas, relacionando os temas por meio de operadores booleanos, da seguinte forma: ("*hydrological modeling*" OR "*hydraulic modeling*" OR "*flood modeling*") AND ("*participatory management*" OR "*stakeholder participation*" OR "*community involvement*") AND ("*socio-environmental risk*" OR "*disaster risk*" OR "*social vulnerability*"). O protocolo de busca foi aplicado às bases bibliográficas *Scopus*, *ScienceDirect* e *Web of Science*.

Os resultados iniciais apresentados em cada base bibliográfica foram filtrados em relação ao ano e área temática e, após a triagem dos resumos, foram selecionadas 31 publicações finais para análise, como mostrado no fluxograma da Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma da busca em bases bibliográficas.



Destas, foram extraídas as informações de autor, ano, objeto de estudo, objetivos, métodos e os principais resultados, organizados em planilha. Após a extração dos dados, foi realizada uma categorização dos estudos, distinguindo e agrupando métodos, abordagens teóricas e resultados. A partir dessa organização, buscou-se compreender de que maneira se deu a participação popular nos métodos em que foi incluída, qual foi seu papel nas análises e, por fim, como a modelagem foi integrada aos processos participativos e vice-versa. Essa análise forneceu o direcionamento necessário para traçar um estado da arte sobre a temática interessante ao desenvolvimento do trabalho. O Quadro 1 apresenta uma síntese geral dos estudos analisados.

Quadro 1 – Síntese da revisão de literatura.

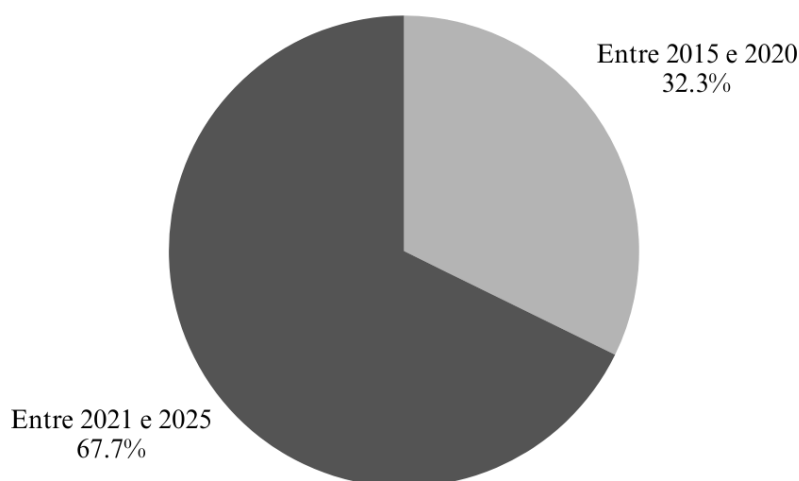
Categoria	Distribuição
Período de publicação	10 entre 2015 a 2020 (32,3%) e 21 entre 2021 e 2025 (67,7%).
Localização	15 em países subdesenvolvidos (48,4%); 13 em países desenvolvidos (42%) e três não identificados (9,6%).
Abordagem metodológica	14 integraram ferramentas técnicas e participação comunitária (45,2%); 7 utilizaram participação comunitária, sem o uso de ferramentas técnicas (22,6%); 8 utilizaram de ferramentas técnicas, sem a participação comunitária (25,8%) e 2 (6,4%) tratam-se de estudos teóricos.
Forma de participação comunitária	4 focaram em participação consultiva (12,9%); 9 em participação colaborativa (29%); 6 em participação co-decisória (19,4%) e 12 não se aplica.

A revisão dos estudos evidenciou, primeiramente, um crescente reconhecimento e valorização da integração entre ferramentas técnicas e participação comunitária para a gestão de riscos (Viavattene *et al.*, 2017; Mohammed 2018; Mulligan *et al.*, 2019; Shmueli *et al.*, 2020; O’Shea *et al.*, 2024; Awah *et al.*, 2024). Tal crescimento alinha-se à literatura mais recente sobre gestão de riscos socioambientais que, segundo Sulaiman *et al.* (2021), aponta para a necessidade de abordagens mais territorializadas, com base na co-produção de conhecimento junto à comunidade afetada, frente, principalmente, aos desafios impostos pelas mudanças climáticas. No entanto, embora alguns estudos demonstrem avanços significativos, a integração entre a modelagem hidrológico-hidráulica, a gestão de riscos e a participação comunitária apresenta-se como um campo ainda em consolidação, permeado por muitos desafios.

Portanto, destaca-se a atualidade da temática, com a maior parte dos artigos científicos analisados produzidos nos últimos 5 anos (67,7%) (Figura 4). Embora já exista um consolidado corpo de literatura envolvendo o uso da modelagem hidrológico-hidráulica

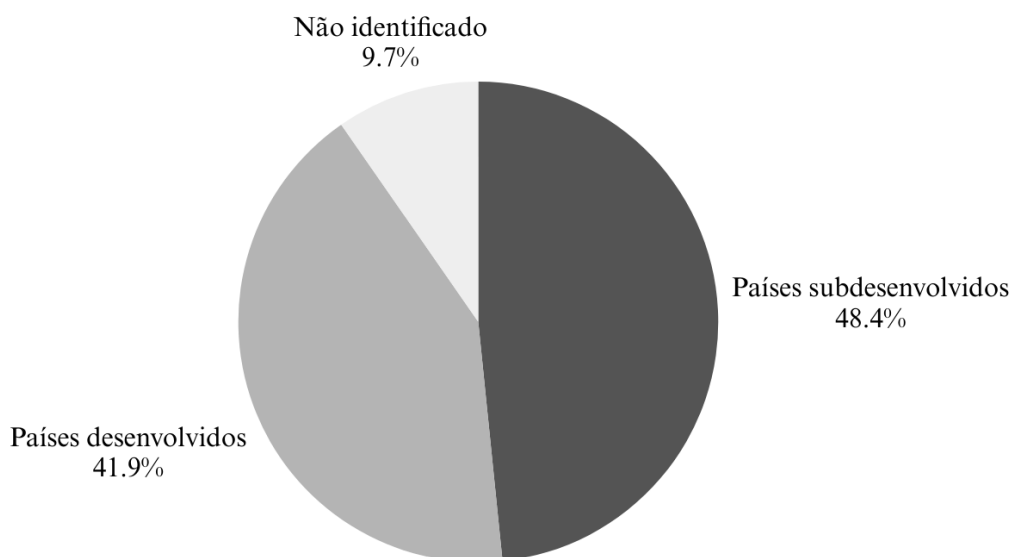
e outras ferramentas técnicas em diversos tipos de pesquisas de cunho ambiental, os trabalhos que abordam sua aplicação integrada a processos participativos começaram a ganhar maior expressividade por volta de 2017. Isso revela um campo ainda recente e que tem crescido impulsionado, principalmente, pela intensificação das mudanças climáticas (Awah *et al.*, 2024; O'Shea *et al.*, 2024). Tal aspecto reforça a relevância e atualidade do presente trabalho.

Figura 4 – Gráfico período de publicação dos estudos.



Outra questão que merece destaque se refere aos locais onde os estudos foram desenvolvidos. Identificou-se que, dos 31 estudos analisados, 15 foram produzidos em países em desenvolvimento (48,4%), a maioria nos continentes Ásia e África, 13 em países desenvolvidos (42%), com maior parte na Europa, e em outros três não foi identificado (9,6%) (Figura 5).

Figura 5 - Gráfico local de publicação dos estudos.



De modo geral, os estudos realizados tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento apresentaram níveis equivalentes no avanço da integração entre modelagem hidrológico-hidráulica e participação comunitária e no reconhecimento da importância de tal para a gestão de riscos socioambientais. No entanto, ao comparar os estudos, percebe-se que em países desenvolvidos são utilizados métodos mais tecnicamente sofisticados como redes bayesianas, dinâmica de sistemas, mapeamento cognitivo fuzzy, análise multicritério, conhecimento-dado-informação-sabedoria e continuum de gestão de desastres e os processos de construção são, geralmente, mais institucionalizados.

Já os estudos de países em desenvolvimento empregaram métodos mais simples e, muitas vezes, os processos participativos são alternativas à própria ausência de dados sistematizados e grande vulnerabilidade institucional. Tal fato revela uma possível tendência já identificada por Basco-Carreca *et al.* (2017) e Kotir *et al.* (2017), que defendem que métodos sociotécnicos são especialmente interessantes de serem empregados em contextos urbanos mais vulneráveis, onde a relação ambiental e social exige novas abordagens de engajamento.

Nesse sentido observou-se que, dos estudos que integraram de fato o uso de ferramentas técnicas com participação comunitária (14 ao todo), a maioria foi realizado em países em desenvolvimento, a exemplo de Mohamed (2018) (Filipinas), Mulligan *et al.* (2019)

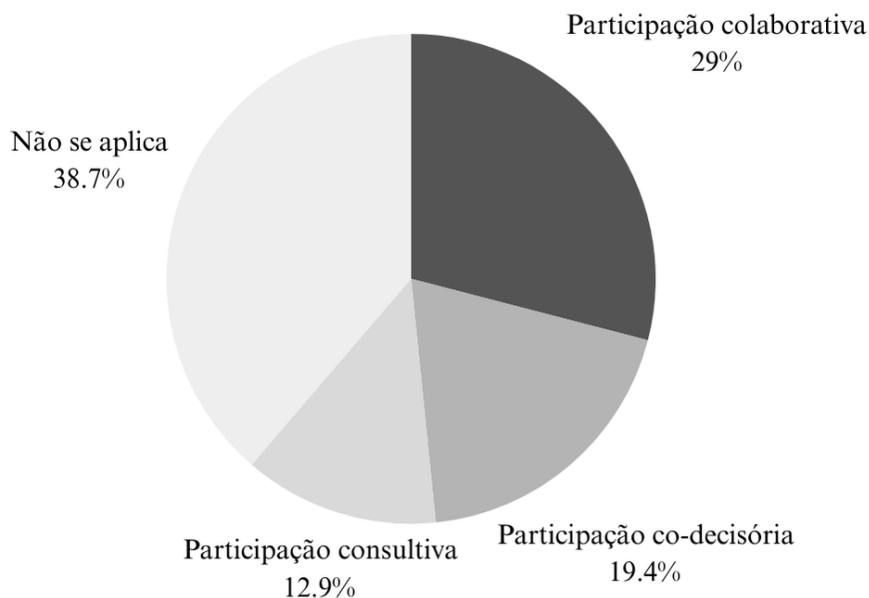
(Quênia), O'Shea *et al.* (2024) (Zâmbia), Awah *et al.* (2024) (Camarões) e Ibrahim *et al.* (2024) (Gana), que destacam-se ao proporem metodologias inovadoras com efetiva articulação entre modelagem e participação comunitária, alcançando resultados mais refinados e superando algumas limitações das ferramentas de simulação utilizadas e da escassez de dados. Nestes casos, as análises e diagnósticos mais contextualizados abriram caminho para a construção de soluções robustas voltadas à mitigação de riscos. Além disso, tais estudos revelam que a integração entre saberes técnico-científicos e comunitários potencializa o engajamento social, a autonomia e a capacidade local de resposta.

Por outro lado, notou-se a escassez de estudos aplicados ao contexto sul-americano e brasileiro. Dentre os analisados, apenas um estudo teve aplicação no Brasil (Caprario *et al.*, 2019), em que foi desenvolvida uma ferramenta técnica para mapeamento da suscetibilidade a inundações em áreas urbanas de Florianópolis. Ainda assim, a metodologia do estudo restringiu-se a limites técnicos, citando a possibilidade de uso da ferramenta em processos participativos, mas sem integrá-la efetivamente às etapas do trabalho. Identifica-se, portanto, uma lacuna que reforça a necessidade do desenvolvimento de mais metodologias adaptadas às condições nacionais, dado o reconhecido quadro de vulnerabilidade socioambiental e ocorrência de desastres hidrológicos no país.

Quanto ao nível de participação comunitária, os estudos foram classificados em participação consultiva, colaborativa e co-decisória. Métodos de participação popular por meio de entrevistas ou aplicação de questionários foram considerados consultivos, enquanto métodos colaborativos envolvem um nível maior de participação da comunidade, como por meio de oficinas e mapeamentos participativos. Por fim, entendeu-se como co-decisórios os métodos em que a população participa diretamente da tomada de decisões. É importante ressaltar que tal classificação não se deu de forma rígida e parte dos estudos envolveram mais de um tipo de método de participação. Dessa forma, a maioria dos estudos utilizou métodos colaborativos (29%) (Figura 6), onde a população participou por meio de oficinas e debates validando informações, sugerindo melhorias,

contextualizando cenários e contribuindo no levantamento e interpretação de dados, o que, por sua vez, influencia na tomada de decisões.

Figura 6 – Gráfico forma de participação comunitária nos estudos.



Nessa perspectiva, Newig *et al.* (2023) conduziram um interessante estudo que buscou responder como os processos de tomada de decisão mais participativos se comparam aos menos participativos em promover resultados eficazes de governança ambiental. Os resultados do estudo destacaram que diferentes dimensões da participação influenciam de forma distinta nos resultados ambientais. A delegação de poder decisório aos participantes demonstrou impacto mais positivo e consistente. Já a participação genérica não demonstrou impacto significativo, enquanto a participação da sociedade civil organizada teve efeitos positivos, sugerindo que atores organizados contribuem melhor para resultados ambientais duradouros, assim como mostrou também o estudo realizado por Perera *et al.* (2020). Tal estudo, que tinha por objetivo identificar os desafios sociais na comunicação de alerta de inundação, na preparação e nas capacidades de resposta, evidenciou que as Organizações da Sociedade Civil (OSCs) são promissoras na atuação diante desafios locais, contribuindo para soluções adaptadas à comunidade por meio da organização e articulação comunitária.

Assim, em relação ao nível de participação comunitária, estudos como os de Ntajal *et al.* (2017), Caprario *et al.* (2019) e Havrys *et al.* (2024) apesar de citarem e reconhecerem sua importância, não a operacionalizam. Aerts *et al.* (2018), Tate *et al.* (2021), Zhang *et*

al. (2021) e Majumder *et al.* (2023), apesar de avançarem ao incorporarem dados de vulnerabilidade à modelagem, tais dados foram obtidos por meio de fontes secundárias e não apresentam efetiva participação comunitária, endossando o estudo de Spiekermann *et al.* (2015) que mostrou que, embora o conhecimento sobre a temática tenha avançado, ainda se restringe a um corpo técnico-científico. A problemática identificada nesses estudos reside em alguns fatores como, por exemplo, o não engajamento ativo local, que segundo Awah *et al.* (2024) é vital para o enfrentamento dos desafios socioambientais, e a não captação de nuances sociais e refinamento dos resultados, comprometendo as ações referentes à mitigação dos riscos.

Já estudos como o de Onsay *et al.* (2025) e Evers *et al.* (2015), utilizaram da instrumentalização da comunidade por meio de processos de aprendizagem conjunta e interações entre diferentes grupos e indivíduos, fortalecendo a construção de gestão de riscos, a autonomia e a capacidade local de resposta da comunidade. Os autores identificaram que o processo de aprendizagem ocorre tanto por meio das interações entre os diferentes grupos e indivíduos no processo, quanto através dos ambientes de apoio que transmitem os resultados obtidos por vários modelos. Quando se trata do desenvolvimento de tais ambientes, a transparência e a visualização compreensível são as características mais importantes. Assim, em contextos marcados por desigualdades e alta vulnerabilidade socioambiental, como o das cidades brasileiras, a integração entre participação comunitária e ferramentas técnicas, a exemplo da modelagem hidrológico-hidráulica, pode representar um caminho promissor para a consolidação de práticas mais equitativas e eficientes de gestão de riscos.

Nesse contexto, e considerando este como um campo ainda em consolidação, alguns estudos analisados na revisão forneceram perspectivas diversas de experiências dessa integração e metodologias a serem aplicadas em escala local. Segundo Di Gregorio e Couto (2019), a gestão de riscos socioambientais é baseada nos processos de mitigação, preparação, resposta e recuperação. Para os autores, as principais etapas são as de mitigação, que envolve a análise de risco, perigo e vulnerabilidade, de preparação, que envolve protocolo de comunicação, planejamento e treinamento e a de resposta, que envolve monitoramento, avaliação de segurança e planos de contingência. Os estudos

revisados mostraram que a articulação entre modelagem hidrológico-hidráulica e participação comunitária pode apoiar estrategicamente essas etapas da gestão de riscos.

Na etapa de mitigação, a incorporação de dados obtidos com a participação da comunidade e a validação das informações permite uma identificação mais realista das dinâmicas hidrológicas, áreas de risco e fatores de vulnerabilidade, nuances muitas vezes não captadas com o uso exclusivo de ferramentas técnicas, subsidiando o debate sobre alternativas de mitigação como mostram os trabalhos de O'Shea *et al.* (2024) e Mohamed (2018). Estes trabalhos são exemplos de metodologias que, por meio da participação comunitária, desenvolveram análises locais mais contextualizadas e detalhadas, ajustaram resultados e definiram zonas prioritárias de intervenção.

Em outros casos, a ferramenta possibilitou a simulação e visualização de cenários alternativos, com a incorporação de estratégias de mitigação, como as soluções baseadas na natureza e outras intervenções estruturais. Isso facilita o entendimento local sobre as possíveis soluções a serem adotadas e qualifica o processo decisório, adaptando as estratégias às condições físicas e sociais de cada território. Essa integração sociotécnica permite que os modelos sejam utilizados como meio de comunicação e aprendizagem, contribuindo para processos de planejamento mais inclusivos.

Nas etapas de preparação e resposta, o uso de modelagem como ferramenta de simulação de cenários e suporte visual reforça a compreensão coletiva dos riscos existentes, possibilitando a visualização das áreas suscetíveis a alagamentos, enxurradas e inundações, contribuindo para a construção de protocolos de comunicação, sistemas de alerta precoce e treinamentos mais eficazes (Mulligan *et al.*, 2019; Awah *et al.*, 2024; Ibrahim *et al.*, 2024). Observou-se que esse suporte visual foi fundamental para facilitar o diálogo entre comunidade, técnicos e gestores durante oficinas, reuniões públicas ou grupos focais, por exemplo. Assim, a ferramenta articulada a processos participativos é capaz de simplificar e fortalecer o diálogo entre saberes científicos e saberes locais, permitindo qualificar as etapas da gestão de riscos e oferecendo análises mais contextualizadas e soluções mais adaptadas às realidades territoriais.

Porém, apesar dos avanços observados, cabem algumas reflexões críticas a respeito dos estudos, considerando a ainda fragmentada abordagem dos temas, o grau e forma de participação comunitária e as implicações dessa integração. Observa-se, por exemplo, a

predominância de abordagens ainda centradas na aplicação técnica da modelagem, ou com a participação comunitária restrita a etapas finais ou de maneira superficial, sem apropriação e influência efetiva no processo, revelando lacunas importantes. Basco-Carreca *et al.* (2017) e Kotir *et al.* (2017), defendem que mais estudos científicos sejam feitos com o intuito de explorar o uso de modelos computacionais no planejamento participativo e em processos de tomada de decisão em relação à água, especialmente em contextos urbanos informais

Por fim, pensando no contexto sul-americano e brasileiro, onde os estudos pouco avançaram, superar tais lacunas é fundamental para desenvolver abordagens mais inclusivas e efetivas, levando em conta as desigualdades sociais e vulnerabilidades institucionais desses países. Dessa forma, é possível reverter o atual quadro, onde a temática de riscos concentra-se nos organismos de defesa civil e nas ações emergenciais pós-desastre, e voltar o foco para ações preventivas e de mitigação, construídas junto à população atingida (Sulaiman *et al.* 2022). Assim, a efetiva articulação entre ciência, tecnologia e comunidade pode superar limitações para a qualificação do diagnóstico e proposição de soluções adaptadas ao território, reduzindo os riscos associados a alagamentos, enxurradas e inundações, instrumentalizando a população e criando possibilidades de enfrentamento dos riscos socioambientais. É, portanto, nesse contexto em que o presente trabalho se insere.

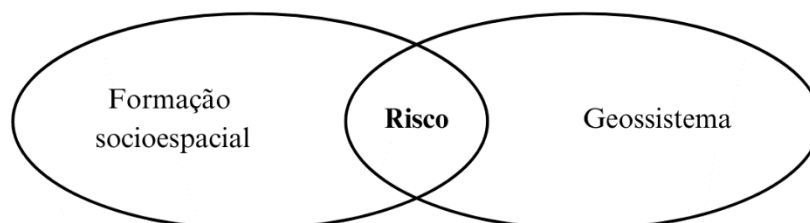
3 DE RISCO AMBIENTAL A RISCO SOCIALMENTE CONSTRUÍDO

Este capítulo apresenta um panorama da temática do risco socioambiental a partir de uma abordagem crítica que o compreende como produto social, teoria que embasa todo o estudo. São discutidos os fundamentos que explicam a gênese do risco, destacando a relação indissociável entre o sistema ambiental e sistema social, bem como os processos de urbanização que produzem desigualdades e vulnerabilidades. Essa reflexão é desenvolvida de forma articulada nas escalas nacional, distrital e local, tomando como referência o Brasil, o Distrito Federal e o Sol Nascente, a fim de evidenciar como a dinâmica socioespacial materializa e territorializa o risco.

3.1 A gênese do risco socioambiental no Brasil

Em suas pesquisas acerca da fragilidade dos ambientes naturais antropizados, Ross (1994) aponta para a necessidade de estudos sobre territórios não partirem de uma leitura estática do meio natural, mas sim, contextualizada no processo de constituição ambiental e social que conduziu a ocupação e apropriação daquele território e seus recursos. A partir desse entendimento, este subcapítulo busca apresentar a relação entre fatores naturais e sociais que deram e continuam dando origem às chamadas áreas de risco. Costa (2019) propõe uma análise dos processos de produção das cidades e, conseqüentemente, dos riscos urbanos, a partir da intersecção dos métodos de geossistema e formação socioespacial (Figura 7). O autor explica que o lócus dos riscos urbanos, ou seja, a cidade, é um espaço herdado da natureza, que, mesmo transformado pela urbanização, ainda porta processos naturais tais como topografia, clima, ciclo hidrológico, bacias hidrográficas e outros (geossistema). A existência do risco, no entanto, acontece quando uma parcela da sociedade, sem estrutura adequada, está envolvida (formação socioespacial).

Figura 7 - Risco como produto da intersecção entre formação socioespacial e geossistema.



Fonte: Costa, 2019.

Para Bertrand (2004) o geossistema resulta de uma combinação das condições geomorfológicas, climáticas e hidrológicas, que, adicionado às questões sociais e econômicas, formam um ambiente físico. Aplicado ao estudo do sítio urbano, o método do geossistema é bastante utilizado para o entendimento dos processos erosivos e de clima urbano, principalmente relacionado às precipitações (Ab'Saber, 2006).

Já o termo formação socioespacial foi formulado pelo geógrafo brasileiro Milton Santos na década de 1970 e se refere a uma categoria teórico-analítica que parte da ideia de que o econômico, o social e o espacial se interpenetram de tal forma que não há a compreensão de um com a exclusão dos outros. Ao definir o espaço como inerente à formação social e econômica, Santos (1977) o interpreta como produto da sociedade. As áreas de risco, constituindo-se como elementos da paisagem urbana são, portanto, reflexo das estruturas sociais no espaço físico (Costa, 2019).

Como no Brasil não há predisposição a eventos como terremotos, tsunamis ou erupções vulcânicas, os eventos catastróficos estão mais ligados à categoria hidrológica (Costa, 2019; Cobrade, 2012). Sabe-se que, devido ao clima tropical predominante, são comuns, em períodos específicos do ano, a ocorrência de chuvas torrenciais que, como aponta Santos (2012), combinadas ao modelo urbano de ocupação de terrenos com alta susceptibilidade a deslizamentos, inundações e movimentações de terra, resulta em tragédias hidrológicas, geológicas e geotécnicas. Canil e Moretti (2020) definem estes locais como 'territórios de exclusão', áreas suscetíveis a processos naturais do meio físico, deflagrados por eventos hidrológicos, mas catalisados pela vulnerabilidade social. Fala-se, portanto, em riscos socialmente construídos, já que são resultantes de uma lógica de reprodução urbana e territorialização de vulnerabilidades.

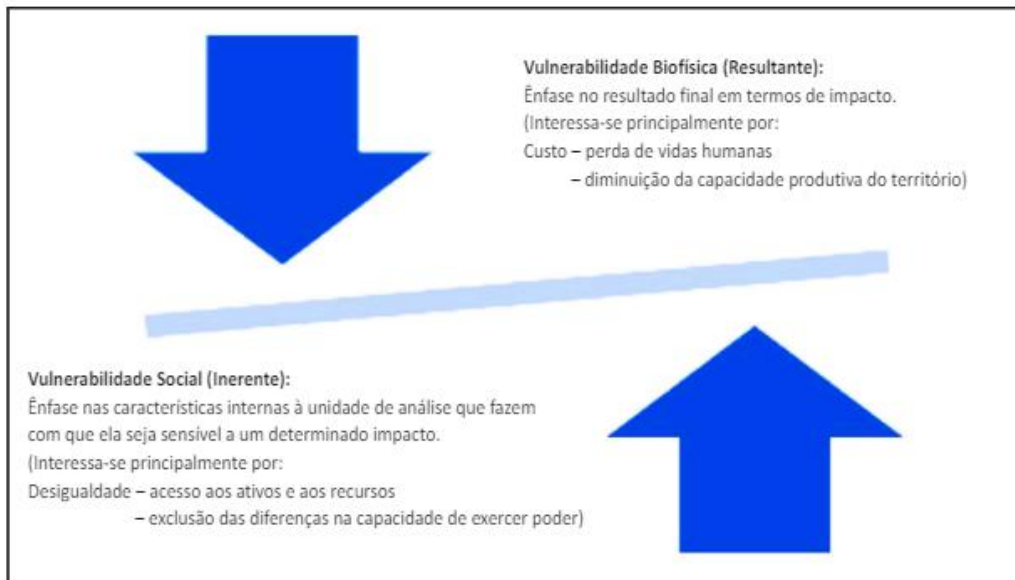
Sulaiman *et al.* (2019) registram uma evolução do pensamento que por anos considerou os desastres apenas naturais e independentes das ações humanas e hoje entende a vulnerabilidade social como fator determinante dentro dos estudos acerca do risco socioambiental. Segundo o relatório sobre Redução do Risco de Desastres do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNDP, 2004), o risco se refere à probabilidade de ocorrência de consequências prejudiciais ou perdas humanas, econômicas ou patrimoniais, resultantes de uma interação entre desastres naturais, ou induzidos pelo homem, e cenários de vulnerabilidade, podendo ser expresso pela equação $R = P + V$ (risco = perigo + vulnerabilidade). O fator perigo representa a probabilidade, relacionada a tempo e espaço, de ocorrência de determinado evento, enquanto a vulnerabilidade se refere ao nível de exposição e fragilidade da população aos impactos (Di Gregorio e Couto, 2019).

Para Cardona (2004), a vulnerabilidade a desastres é composta por três elementos: exposição física; suscetibilidade socioeconômica e demográfica e as condições do grupo afetado de retornar a um estado de normalidade, também conhecido como resiliência. O termo resiliência, dentro desse contexto de recuperação diante os efeitos negativos de um desastre, ganhou destaque a partir do relatório final da conferência Rio+20, em 2012. O relatório apontou para a urgência de uma abordagem de redução de riscos e aumento da resiliência frente aos desastres ligados às mudanças climáticas (Sulaiman *et al.*, 2019). Canil *et al* (2020), explicam que o campo da gestão de riscos e da análise de vulnerabilidade configura-se em um terreno altamente fragmentado do ponto de vista conceitual e político. A partir de uma vasta revisão de literatura, os autores classificaram a visão acerca da vulnerabilidade a partir de duas conceituações divergentes, tanto tecnicamente quanto politicamente: a vulnerabilidade biofísica ou resultante e a vulnerabilidade social ou inerente.

Segundo os autores, a vulnerabilidade biofísica parte de uma visão técnica, de cima para baixo, com ênfase nos resultados finais e quantitativo (ou potencial) de danos que um sistema sofre a partir de determinada ameaça. Essa abordagem busca responder o questionamento “quanto um sistema é vulnerável a uma ameaça X ou Y?”. Já a vulnerabilidade inerente tem como foco um entendimento de baixo para cima e busca a compreensão dos fatores internos que tornam tal sistema vulnerável. Nesse caso, a pergunta feita é “por que esse sistema é vulnerável?” (Figura 8). Esta visão se relaciona

mais diretamente com o entendimento da dimensão social do risco e, portanto, foi o conceito de vulnerabilidade adotado neste trabalho.

Figura 8 - Tipos de entendimento sobre vulnerabilidade a desastres



Fonte: Lampis, adaptado por Canil *et al.*, 2020.

Diante disso, acredita-se que o passo inicial para compreender e analisar o risco socioambiental em áreas periféricas e de fragilidade ambiental, deve partir do entendimento da intersecção de sua formação socioespacial e de seus geossistemas, como explica Costa (2019). O autor coloca o risco como conteúdo da paisagem e realidade de muitos e oriundo de processos sociais, tendo processos naturais como potencializadores. Assim, para a criação de uma “cultura de gestão do risco” no Brasil, as ações devem partir do entendimento de sua gênese e não apenas de respostas técnicas de controle sobre a natureza. Por fim, como salienta o autor, não existe problema de grandeza ecológica ou natural que não seja social e problema natural ou ecológico que não impacte na existência socioeconômica, política e simbólica da sociedade, é neste ponto que encontra-se a gênese do risco socioambiental.

3.2 Risco *versus* vulnerabilidade social no DF

Neste subcapítulo será apresentada uma análise que tem como objetivo identificar a existência de relação entre risco a desastres e vulnerabilidade social no Distrito Federal, contribuindo no entendimento acerca da dimensão social do risco (Carvalho *et al.*, 2024)⁵. Foi realizado um cruzamento entre o índice de vulnerabilidade social das RAs do DF, construído a partir dos dados socioeconômicos da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílio (PDAD) (Codeplan, atual IPEDF, 2021)⁶, e o dado de áreas em situação de risco no DF, mapeadas pelo SGB (2022).

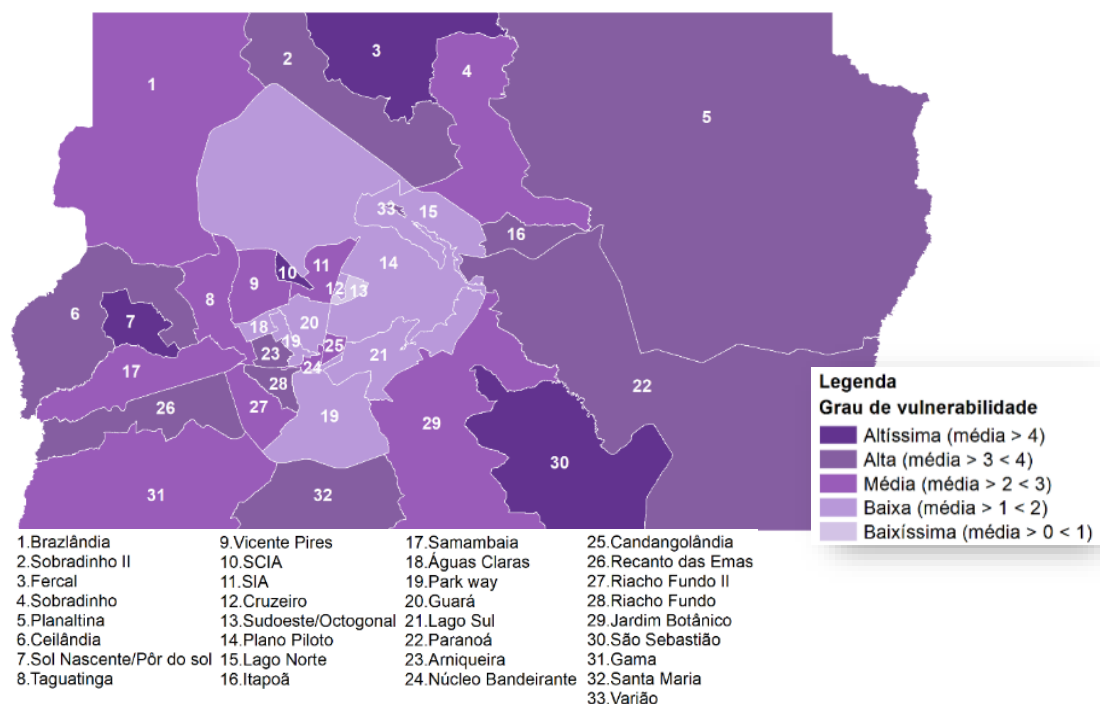
A Figura 9 mostra a classificação das RAs⁷ de acordo com o grau de vulnerabilidade, obtido por meio da construção de um índice de vulnerabilidade a partir dos dados da PDAD 2021, onde foram selecionados indicadores sociais, econômicos, demográficos, dentre outros.

⁵ Este estudo foi realizado pela autora e apresentado no VII Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (ENANPARQ). O trabalho completo está disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/enanparq8/852339-de-risco-ambiental-a-risco-socialmente-construido---a-relacao-entre-dados-socioeconomicos-e-dados-de-areas-em-sit/>

⁶ A PDAD foi regulamentada pelo Decreto nº 39.403, de 26 de outubro de 2018. A pesquisa acontece a cada dois anos para que seus resultados sejam usados como subsídio ao planejamento do Governo do Distrito Federal. Na época de realização do estudo apresentado, a versão mais atual disponível da pesquisa era de 2021. A pesquisa é realizada pelo Instituto de Pesquisa e Estatística do Distrito Federal – IPE/DF, antiga Codeplan.

⁷ Na última realização da PDAD, em 2021, O DF possuía 33 RA, em 2023 foram reconhecidas mais duas RA, definindo a atual divisão do DF em 35 RA. No estudo foram consideradas as 33 regiões levantadas pela PDAD 2021.

Figura 9 - RAs por grau de vulnerabilidade social.



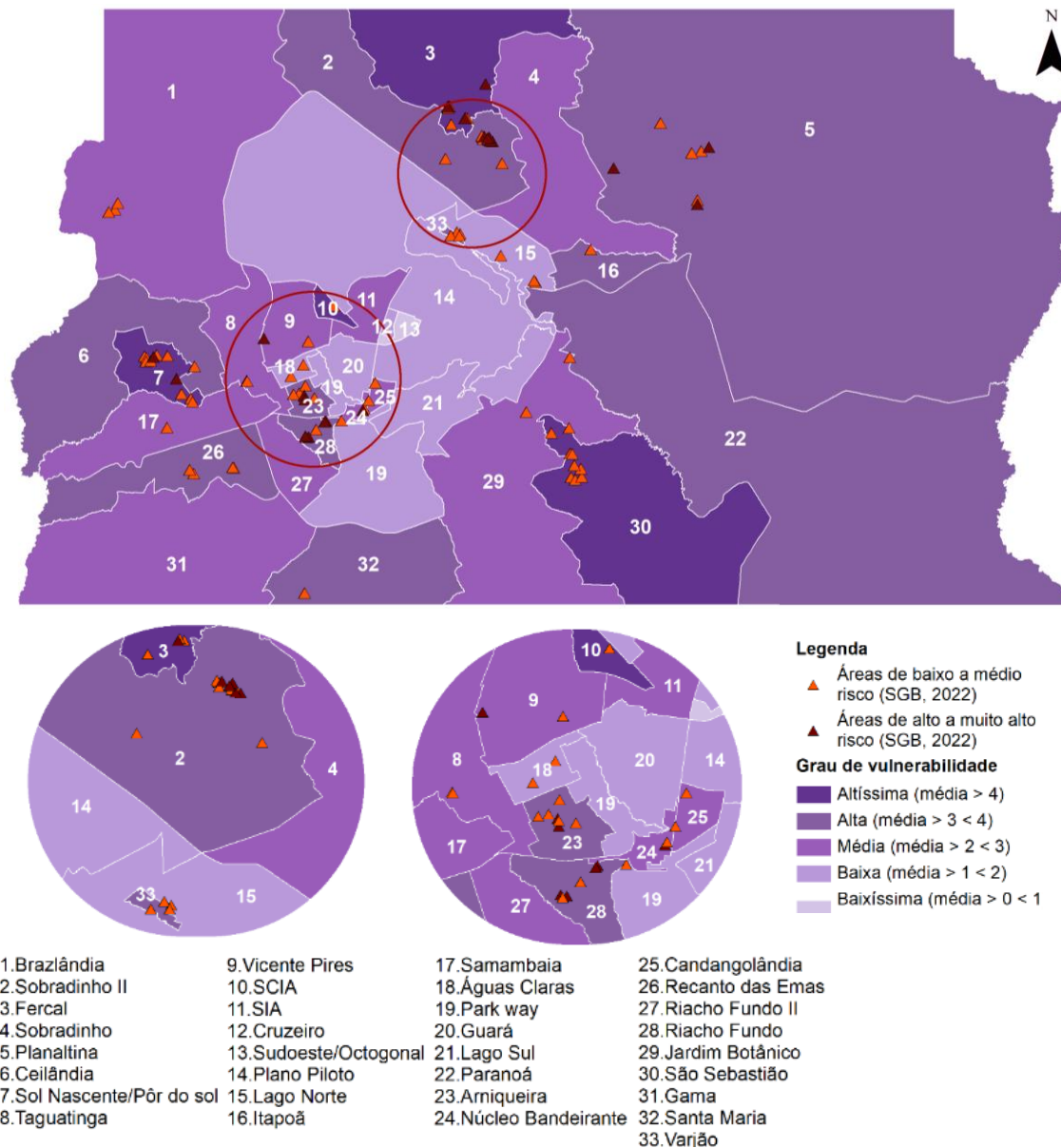
Fonte: Carvalho *et al.*, 2024.

É possível perceber que as regiões centrais do DF possuem baixos níveis de vulnerabilidade, enquanto as regiões periféricas possuem níveis mais elevados. De acordo com o estudo, as quatro regiões mais vulneráveis do DF são Fercal, Sol Nascente/Pôr do Sol, SCIA e São Sebastião. As regiões de Varjão, Itapoã, Planaltina, Paranoá, Arniqueira, Riacho Fundo, Recanto das Emas, Santa Maria, Ceilândia e Sobradinho II foram classificadas como alta vulnerabilidade. As demais RAs ficaram entre média e baixa vulnerabilidade, exceto o Sudoeste/Octogonal que foi classificada como baixíssima vulnerabilidade. Ressalta-se a classificação da RA Sol Nascente/Pôr do Sol como uma região de altíssima vulnerabilidade.

Em 2022 o SGB mapeou 22 áreas de risco alto e muito alto e 76 áreas de médio ou baixo risco no DF, relacionados a erosão, deslizamentos, inundações e enxurradas. Esse levantamento fez parte do estudo de Setorização de Áreas de Risco Geológico no Distrito Federal, realizado com base nas diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC (Lei nº 12.608/2012). Segundo o SGB, essa setorização teve como objetivo identificar porções do território suscetíveis a danos e perdas por eventos extremos de natureza geológica para orientar decisões de ordenamento

e prevenção de desastres. A Figura 10 mostra o mapa resultante do cruzamento desses dados com o grau de vulnerabilidade social das RAs.

Figura 10 - Cruzamento entre grau de vulnerabilidade das RAs e áreas em situação de risco no DF.



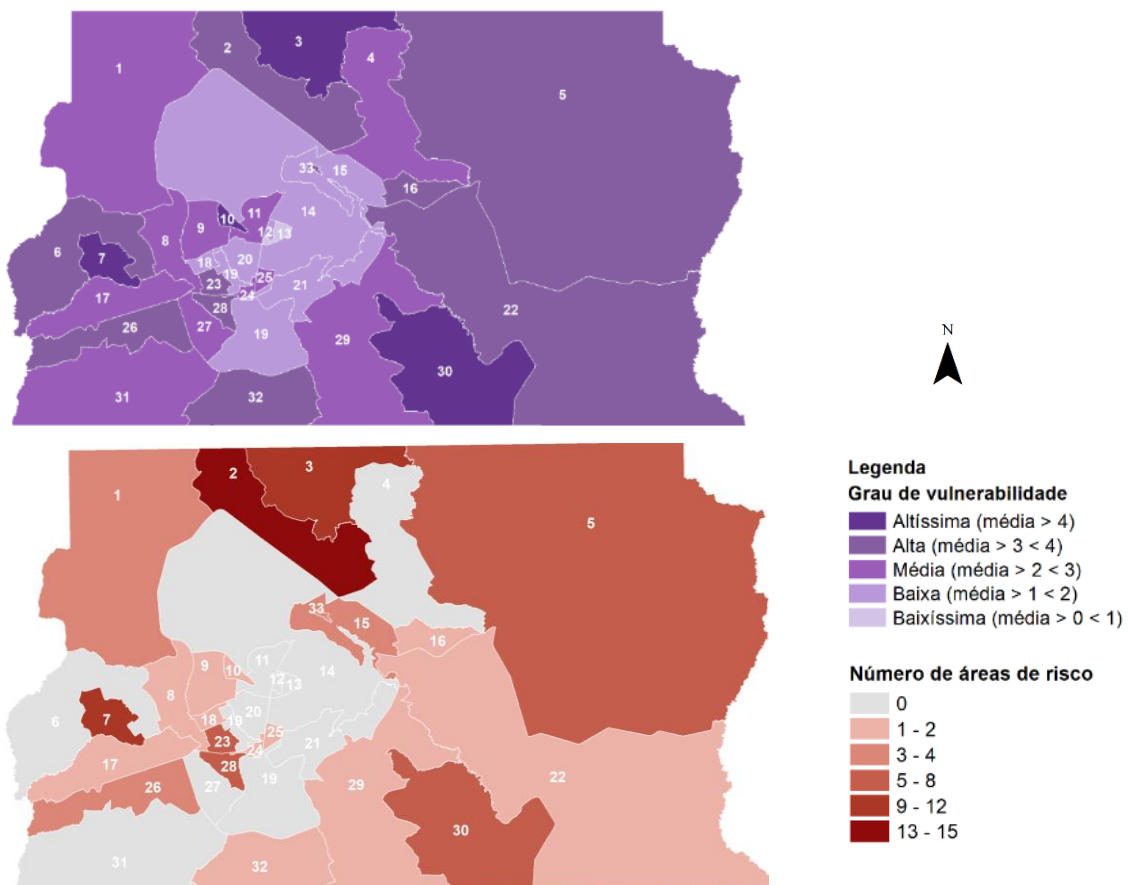
Fonte: Carvalho *et al.*, 2024.

O cruzamento mostrou que as áreas de risco estão concentradas em regiões de alta e altíssima vulnerabilidade. Das sete regiões de baixa vulnerabilidade, apenas em duas foram mapeadas áreas de baixo e médio risco (Lago Norte e Águas Claras). Das 11 de média vulnerabilidade, sete possuem áreas de risco (Vicente Pires, Brazlândia, Samambaia, Taguatinga, Candangolândia, Núcleo Bandeirante e Vicente Pires), duas com riscos de alto ou altíssimo nível (Núcleo Bandeirante e Vicente Pires). Das 10 regiões

de alta vulnerabilidade, apenas Ceilândia não possui áreas de risco segundo o SGB, enquanto todas as regiões de altíssima vulnerabilidade possuem. Além disso, é importante perceber que todas as áreas de risco de alto nível estão em regiões de média a altíssima vulnerabilidade.

Foi feita também uma comparação do mapa de grau de vulnerabilidade com um mapa de número de áreas de risco por RA (Figura 11). Existe uma alta compatibilidade entre regiões de baixa vulnerabilidade e regiões com nenhuma área de risco (representadas pela cor cinza). Existem, porém, algumas ressalvas, como as regiões de Ceilândia, Gama, Riacho Fundo II, SIA e Sobradinho que, apesar de não apresentarem níveis baixos de vulnerabilidade, não apresentam áreas de risco. Apesar disso, as três regiões com maior número de áreas de risco (Sobradinho II, Fercal e Sol Nascente/Pôr do Sol) correspondem a áreas de alta ou altíssima vulnerabilidade. Planaltina, São Sebastião, Arniqueira e Riacho Fundo também possuem um valor elevado de áreas de risco, se comparadas ao restante, e correspondem a regiões de alta ou altíssima vulnerabilidade. Diante das análises fica evidente a relação entre vulnerabilidade social e riscos a desastres no DF, o que reforça a visão de Costa (2019) de compreensão dos problemas ambientais também como problemas sociais e das áreas de risco como consequência e causa de vulnerabilidades sociais.

Figura 11 - Comparação entre grau de vulnerabilidade das RAs e número de áreas de risco por RA.



Fonte: Carvalho *et al.*, 2024.

3.3 A complexa equação da moradia e a constituição de áreas de risco

O tema de risco socioambiental e desastres possui uma íntima relação com a política habitacional. Segundo Maricato (2012) é socialmente aceitável que parcela da população ocupe áreas de proteção ambiental ou favelas em áreas de alto risco, mas não é aceitável que ocupem áreas valorizadas pelo mercado. Costa (2019) complementa que a transformação desses espaços em áreas de moradia é reflexo da luta por espaços de habitação. No livro *Planeta Favela*, Davis (2006) discute sobre a complexa equação com a qual os pobres urbanos têm que lidar para otimizar custo habitacional, garantia de posse, qualidade do abrigo, distância do trabalho e, por muitas vezes, a própria segurança. O autor explica que, para alguns, a garantia de posse, um terreno sem custos ou com custos reduzidos é o mais importante nessa equação e compensa, por exemplo, as longas viagens da periferia ao trabalho no centro. Assim, neste subcapítulo a formação do Sol Nascente servirá de objeto para o entendimento dessa dinâmica que se repete na maioria das cidades brasileiras, utilizando-o como exemplo prático, sem adentrar ainda na descrição como área de estudo.

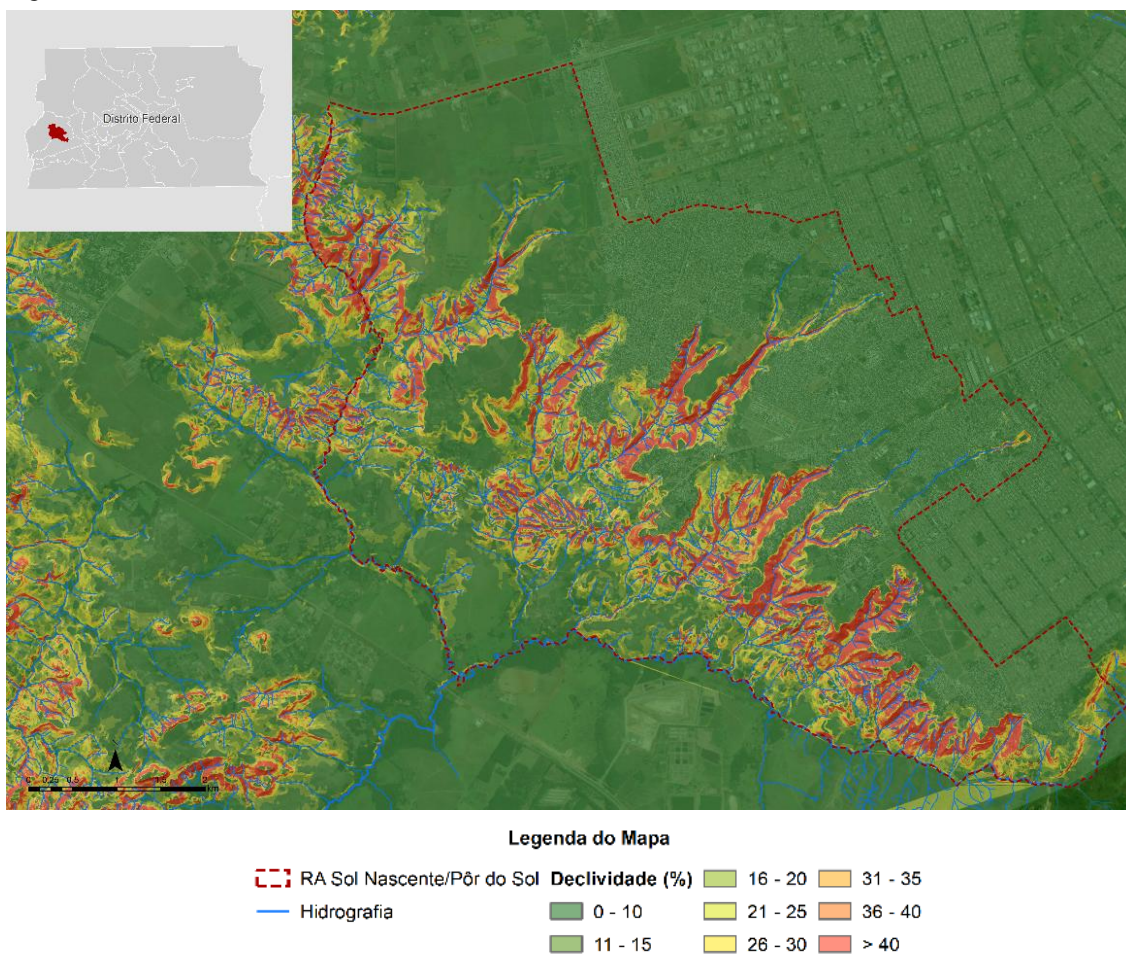
Brasília, ícone do processo de desenvolvimento do país e idealizada como uma cidade capaz de neutralizar as diferenças sociais, teve a sua organização territorial e a sua política habitacional fortemente marcadas pela segregação e controle socioespacial (Gouvêa, 1999). Como símbolo dessa forte segregação espacial, o censo de 2022, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), apontou para o Sol Nascente como a segunda maior favela⁸ do Brasil em termos populacionais, com aproximadamente 93.217 habitantes. O crescimento da área que hoje corresponde à RA Sol Nascente/Pôr do Sol⁹ teve seu auge na década de 2000, a partir do parcelamento de chácaras localizadas

⁸ Existe atualmente divergências de entendimento, até mesmo entre os próprios moradores do Sol Nascente, a respeito da utilização da nomenclatura “favela” para denominar a região, cabendo uma reflexão a acerca disso. Por um lado, o GDF não reconhece o setor como favela, graças, segundo eles, às obras de urbanização que vêm sendo realizadas na região. Por outro lado, embora grande parte do setor recebeu ou está recebendo obras de urbanização, aspectos sociais importantes não foram considerados no processo de regularização, o que manteve a população com um grave quadro de vulnerabilidade social. Além disso, como mostrado no trabalho, essa urbanização caracteriza-se pela precariedade e incompletude.

⁹ A RA XXXII Sol Nascente/Pôr do Sol foi criada em 14 de agosto de 2019 pela Lei Distrital nº 6.359.

na área rural da RA Ceilândia¹⁰. O parcelamento e comercialização dessas chácaras se deu de maneira irregular, já que as terras eram propriedade da União e sua utilização era permitida apenas sob termo de concessão de uso (Sousa, 2023). Dessa forma, a ocupação do Sol Nascente se deu em grande parte pela ação de grileiros, que parcelavam a terra e vendiam ilegalmente para a população mais vulnerável economicamente. Nesse cenário ocorre a intensa ocupação de um território periférico, distante cerca de 30km da região central do DF e de grande sensibilidade ambiental, localizado nas bordas da chapada de Ceilândia, marcado pela existência de diversos cursos hídricos e relevo acidentado (Figura 12).

Figura 12 - Cursos hídricos e relevo da RA Sol Nascente/Pôr do Sol.



¹⁰ Ceilândia é a RA IX do Distrito Federal e foi planejada e ocupada na década de 1970. Atualmente é a RA mais populosa do DF.

A ação do mercado imobiliário informal no Sol Nascente é presente ainda nos dias de hoje, sendo comum, por exemplo, a execução de aterros irregulares para parcelamento e venda de terrenos. Graças às condições mais acessíveis, muitos moradores veem nesses parcelamentos ilegais a oportunidade de acesso a moradia, sem diferenciar o risco a desastres do risco de não ter onde morar.

Em termos mundiais, Botelho (2014) aponta para a ação desse mercado imobiliário ilegal como um dos maiores desafios atuais na questão urbana, sendo responsável pela maior parte do acréscimo nos estoques de moradia no hemisfério Sul nas últimas décadas. O autor explica que um grande problema reside no fato de muitas instituições e órgãos internacionais verem no florescimento desse mercado uma alternativa para o acesso à habitação e critica essa visão que consolida a moradia como mercadoria, obtida sempre por meio de relação monetária, seja pelo mercado formal ou informal. O controle do acesso à moradia cada vez mais tomado pelo mercado imobiliário contribui de maneira direta na formação de áreas de risco. Maricato (2005) explica a ação do mercado imobiliário na exclusão e expulsão dos mais pobres para essas áreas:

Os mercados restritos e altamente especulativos, ao cercear o acesso à cidade e à moradia para todos, e controlar as terras mais bem localizadas, restringem também as alternativas legais de construção do ambiente urbano [...]. Mesmo quando o poder público se empenha (o que não tem sido uma regra geral) para responder às necessidades das camadas de mais baixa renda, seja de habitação, de infra-estrutura ou de equipamentos urbanos, sua eficácia fica comprometida pelo custo especulativo das terras e dos imóveis. Há outros motivos para essa ineficácia, mas esse é, sem dúvida, um dos principais (Maricato, 2005, p.3).

Para Costa (2019), no caso nacional, a gênese do risco socioambiental encontra-se também na fragilidade do próprio poder público em gerir políticas de habitação e prevenir a ocupação de áreas sensíveis. Maricato (1997), anos antes, já havia apontado para essa ausência do poder público como contribuição para a formação de áreas de risco.

Excluídas do mercado imobiliário privado, ignoradas pelas políticas públicas a população trabalhadora se instala nas terras que não tem valor de mercado, seja devido a condições físicas ou legais: nas encostas dos morros, nas beiras dos córregos, nos fundos de vales, nas áreas públicas que ainda não tem um uso público definido, nas beiras das rodovias ou então nos loteamentos ilegais. Invariavelmente essa ocupação pobre e sem recursos, ignorada pelo próprio poder público, é predatória ao meio físico e quem mais vai sentir seus efeitos negativos são principalmente seus próprios ocupantes (Maricato, 1997, p. 4).

Aqui, pontua-se ainda a abordagem frequentemente adotada de remoção dos moradores e demolição de suas casas como outra ação geradora de riscos praticada pelo Estado. Moretti *et al.* (2019) explicam que essa solução muitas vezes expõe as famílias reassentadas a outros tipos de riscos de caráter social como desagregação familiar, desemprego e perda da rede de apoio. Além disso, em casos de assistência, é possível que a família vá morar em outro local de sensibilidade ambiental, pelos diversos motivos já discutidos nesse subcapítulo. Os autores defendem a adoção de medidas preventivas, de natureza estrutural ou não, para a qualificação de segurança da população nessas áreas. Diante do que foi exposto e a luz dos métodos de análise da formação de áreas de risco a partir da intersecção do geossistema e formação socioespacial (Costa, 2019), amplia-se a compreensão acerca do contexto de fragilidade socioambiental dessas áreas.

4 GESTÃO DE RISCOS SOCIOAMBIENTAIS

Este capítulo discute como a gestão de riscos socioambientais tem evoluído nas últimas décadas, destacando os principais desafios enfrentados e as estratégias adotadas no Brasil e no mundo. São abordadas as mudanças nas formas de compreender e enfrentar o risco, com ênfase nas iniciativas de base comunitária e participativa, que valorizam o protagonismo dos atores locais na análise dos problemas e na construção de soluções. Ao final, explora-se o uso de modelos hidrológico-hidráulicos no planejamento urbano, ressaltando seu papel como ferramenta de apoio à análise e gestão de riscos.

4.1 Panorama da gestão e redução de riscos e as práticas *top-down*

Nos últimos 30 anos houve uma gradativa evolução nas práticas mundiais de Redução de Riscos e Desastres (RRD), expressa através de marcos internacionais importantes. Sulaiman *et al.* (2021), para delinear essa evolução, analisam a variação de conteúdo ao longo de três marcos internacionais. A análise se inicia com a Década Internacional para Redução de Desastres Naturais, lançada pela ONU em 1990, que teve como foco os desastres considerados naturais e as práticas tecnocientíficas voltadas para controle da natureza. A discussão a respeito da dimensão social dos desastres começa a aparecer somente em 2005, com o Marco de Ação de Hyogo 2005-2015 (UNDRR, 2005), que estabeleceu metas para melhorar a capacidade das sociedades frente a eventos extremos.

Já no último marco analisado pelos autores, o Marco de Ação de Sendai, resultado da 3ª Conferência Mundial sobre a Redução de Risco de Desastres (UNDRR, 2015), apresenta maior visibilidade para questões de vulnerabilidade e aponta para a participação social como estratégia de enfrentamento dos problemas socioambientais. Apesar disso, alguns especialistas fazem críticas às práticas mundiais de RRD. Lavell e Maskrey (2014) explicam que essas práticas continuam, em grande parte, baseando-se na noção de desastres como choques exógenos e imprevistos que afetam sistemas em normal funcionamento, quando, na verdade, são reflexo de um desenvolvimento fracassado de sociedade.

Além disso, continua-se adotando medidas apenas em momentos de crise ao invés de ações preventivas. Para Sulaiman *et al.* (2021), o insucesso das práticas de RRD dominantes no Brasil e no mundo, percebido pela crescente ocorrência de desastres em todo o globo, está na frequente adoção de medidas *top-down* (topo para base), onde as decisões se limitam a um corpo restrito de técnicos e gestores, sem a participação dos atores locais.

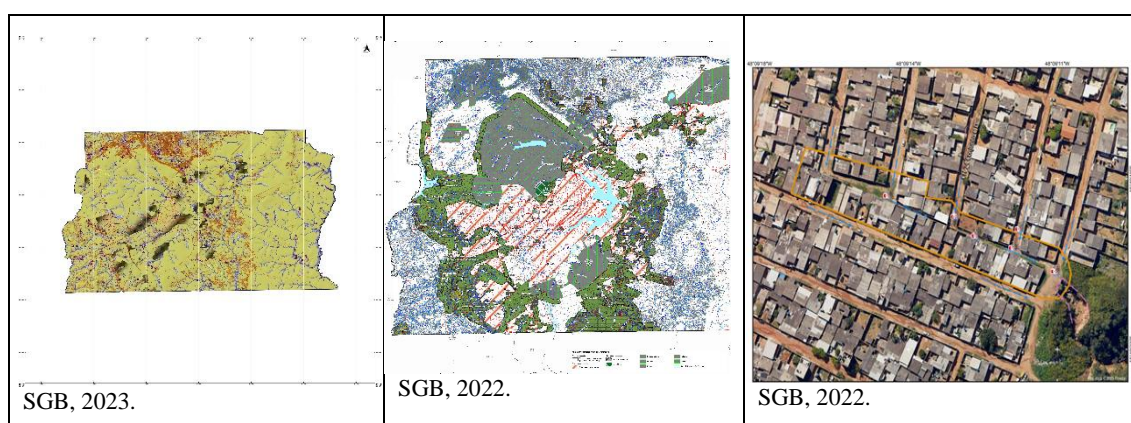
No Brasil, historicamente a problemática de risco concentrou-se nos organismos de proteção e defesa civil, no atendimento emergencial pós-desastre e na crença do controle da natureza pela técnica (Sulaiman *et al.* 2022). Costa (2019), ao explorar a temática, afirma que no país existe certo comodismo no tratamento do risco, conferindo-lhe um caráter emergencial no momento de crise. Di Gregorio e Couto (2019) explicam que a gestão de riscos socioambientais é baseada nos seguintes processos: prevenção e mitigação; monitoramento e alerta; preparação; resposta e recuperação. Os processos de prevenção e mitigação consistem principalmente na identificação e mapeamento dos riscos e adoção de medidas estruturais e não estruturais para a redução do perigo no caso de áreas já ocupadas, além da prevenção de novas ocupações em locais de susceptibilidade a processos físicos. São nessas etapas que os esforços devem estar concentrados para evitar que os desastres se concretizem, porém, no contexto brasileiro, as ações estão concentradas principalmente nas etapas de resposta e recuperação.

A criação da PNPDEC, principal instrumento nacional de enfrentamento e gestão de riscos, por um lado, representou um importante salto ao incorporar a temática de gestão de riscos de desastres (GRD) às agendas de planejamento urbano e de gestão pública. Por

outro lado, existe uma série de desafios a serem enfrentados e avanços necessários na implementação da PNPDEC. A primeira problemática reside no fato de que o lócus de implementação dessas políticas são os municípios, e estes representam os entes federados mais frágeis. Essa fragilidade se dá pela baixa capacidade tanto econômica, como técnico-administrativa, especialmente em municípios pequenos. Soma-se a isso a dificuldade de geração de formas de cooperação intergovernamental, o que impõe desafios a políticas públicas que extrapolam limites territoriais municipais, como é o caso da política de gestão de riscos de desastres, onde geralmente precisam ser considerados os limites das bacias hidrográficas (Nogueira *et. al* 2014).

Araújo *et al* (2017) apontam para as dificuldades de implantação de instrumentos da PNPDEC, como por exemplo os Planos de Contingência¹¹. Os autores explicam que, grande parte das vezes, as comunidades afetadas pelos efeitos dos desastres não são incluídas no planejamento e até mesmo desconhecem esses planos, que são criados e engavetados por órgãos técnicos, inviabilizando o gerenciamento e prevenção de desastres nessas áreas. Uma das principais ações de prevenção articulada ao planejamento urbano trazida pela PNPDEC é a obrigatoriedade dos municípios de elaborarem um mapeamento de riscos do seu território a partir de três cartas geotécnicas: carta geotécnica de suscetibilidade (CGS); carta geotécnica de aptidão à urbanização (CGAU) e carta geotécnica de risco (CGR) (Quadro 2).

Quadro 2 – Tipos de Cartas Geotécnicas aplicadas a gestão de riscos.



¹¹ Instrumento previsto na PNPDEC e se refere a um conjunto de ações preventivas ou de minimização dos efeitos de uma ocorrência, que inclui a definição de recursos humanos e materiais para prevenção, preparação, resposta e recuperação frente a desastres.

Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade (CGS):	Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização (CGAU):	Cartas Geotécnicas de Risco (CGR):
<ul style="list-style-type: none"> • Características do relevo, geologia e solo; • Indica terrenos sujeitos ao desenvolvimento de processos do meio físico como erosão, movimentos de massa e inundação, podendo ser elaborada uma carta para cada tipo de fenômeno; • São trabalhadas em pequenas escalas, de caráter regional, em média 1:25.000; • Estão contidas em Planos Diretores e têm como objetivo principal a orientação do processo de expansão e ocupação urbana, delimitação de perímetros de zona 	<ul style="list-style-type: none"> • Possuem uma escala de semidetalhe, geralmente de 1:10.000; • São elaboradas para as áreas não ocupadas dentro do perímetro urbano ou áreas de expansão urbana; • Têm como objetivo prevenir a formação de novas áreas de risco a partir da identificação da capacidade dos terrenos para receber iniciativas relacionadas ao processo de urbanização; • São utilizadas no momento de fornecimento das diretrizes municipais para 	<ul style="list-style-type: none"> • São as de maior escala, com grande nível de detalhe, geralmente 1:2.000; • Apresentam a setorização e o respectivo grau de risco (baixo, médio, alto e muito alto), quando este já está instalado em áreas com ocupação humana permanente; • Apresentam propostas de intervenção, como obras ou medidas de aumento de segurança nos locais e, eventualmente, indica moradias que precisam ser removidas do local; • Nas CGR os riscos indicados têm relação com a propensão do meio físico de ocorrência de desastres, mas, frequentemente, são

<p>urbana e delimitação de unidades de proteção (Canil e Moretti, 2020).</p>	<p>projetos de novos parcelamentos;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Subsidiar o poder público na prevenção de desastres, regular o parcelamento do solo sob uma abordagem preventiva e orientar projetos de urbanização que garantam a segurança da população; • A partir do estudo, as áreas são classificadas como alta, média ou baixa aptidão (SGB, 2022). 	<p>determinados pela existência de condições de vulnerabilidade resultantes de uma urbanização inadequada (Canil e Moretti, 2020).</p>
--	---	--

Fonte: Adaptado de SGB (2022; 2023); Canil e Moretti (2020).

É importante destacar que tanto a CGAU como a CGS não devem ser utilizadas para embasar remoções, por não possuírem escala de detalhe. Moretti e Canil (2020) chamam atenção ainda para a denominação “áreas de risco”, frequentemente adotada nas CGR, podendo, segundo os autores, ser substituída por “áreas em situação de risco”, já que, em parte das vezes, a situação é resultado das condições de urbanização e o risco deixaria de existir com a adoção de obras para qualificação de segurança. Segundo os artigos 7º e 8º da PNPDEC, é competência dos estados e municípios elaborarem suas cartas de risco e de suscetibilidade, enquanto o artigo 22º traz a exigência de elaboração de CGAU para os municípios que fazem parte do Cadastro Nacional de Municípios com Áreas Suscetíveis à Ocorrência de Problemas Geotécnicos.

Este Cadastro foi instituído pelo Decreto nº 10.692/21, que determina que a inscrição deve ocorrer por meio da solicitação do município ou indicação do Estado ou União, o que configura-se em um desafio, diante das problemáticas de fragilidade econômica, técnica e administrativa de alguns municípios brasileiros e da dificuldade de cooperação intergovernamental. Frente às dificuldades para a efetiva implementação da PNPDEC, Vargas (2010) apresenta alguns passos fundamentais para ação e gestão de riscos nos municípios brasileiros, aqui destacam-se: (1) conhecimento das causas e consequências dos riscos; (2) redução das condições atuais (mitigação) e possíveis condições futuras (prevenção) e (3) organização, em nível não só institucional, mas também comunitário, de uma política regional para gestão de riscos de desastres.

Tratando-se de escala mundial, Lavell e Maskrey (2014) defendem que a forma mais efetiva de superar essa incapacidade de enfrentamento dos problemas relacionados ao risco está no redesenho de novas lógicas, métodos e formas de governança, por meio da participação social, deixando de ser um setor restrito a especialistas e técnicos e passando a incluir os atores sociais locais no processo, por meio das práticas *bottom-up* (base para o topo).

A partir das mudanças em curso quanto ao entendimento e concepção dos riscos socioambientais, tem-se observado alterações nos paradigmas de gestão e nas estratégias de ação frente aos desastres. Estas estratégias por muito tempo se mantiveram no campo das “políticas de urgência”, centradas em ações de respostas após a ocorrência de uma tragédia, mas, aos poucos, voltam-se para medidas de prevenção e qualificação de segurança das áreas e da população em situação de risco, construídas de maneira coletiva.

4.2 Gestão comunitária de risco e as práticas *bottom-up*

No decorrer dos últimos anos, o entendimento acerca dos desastres se descentralizou do campo das ciências naturais e aplicadas para o campo das ciências sociais (Sulaiman, *et al.* 2019). Diante da ampliação da ocorrência de eventos climáticos que têm causado prejuízo para as cidades, a temática tem ganhado força nos últimos 30 anos, tanto no campo científico como na esfera das políticas públicas (Nogueira *et al.* 2014).

Sulaiman *et al.* (2019), ao fazerem uma revisão bibliográfica sobre as diferentes correntes de pensamentos e ações em relação à temática dos desastres que surgiram ao logo dos

anos, apresentam e categorizam quatro paradigmas, propostos por Warner *et al.* (2002) e Petley (2009). O paradigma tecnocêntrico ou da engenharia considerava os desastres independentes das ações humanas, como castigos, ora divinos, ora da natureza. Contudo, para Steinberg (2000), esse paradigma isenta as autoridades econômicas e governamentais da responsabilidade pelos danos que atingem os mais vulneráveis, uma vez que dissocia os desastres das ações humanas. Após um maior desenvolvimento de seu controle sobre a natureza, o homem passou a entender o ambiente como produto também de suas atividades, surge então o Paradigma Comportamental, que relaciona ocupação humana a desastres naturais (Sulaiman *et al.*, 2019).

Entretanto, a crítica em torno desse paradigma reside no fato dele considerar que escolhas são apenas individuais, e não resultantes de uma estrutura que força pessoas mais vulneráveis a tomar determinadas decisões (Hewitt, 1983). A partir de 1970, começa a ganhar destaque o conceito de vulnerabilidade, que abriu espaço para uma visão social dos desastres e o surgimento do Paradigma da Vulnerabilidade, que passou a considerar as várias condicionantes sociais de um desastre. Por outro lado, surgem críticas de Veyret e Richemond (2007) às ações de redução de desastres que não promovem mudanças econômicas e sociais. O último paradigma é o Paradigma da Complexidade, que compreende os desastres a partir de uma visão holística, integrando dimensões físicas, ecológicas, culturais, políticas, sociais e econômicas. Busca, dessa forma, superar as limitações da ciência a partir de interconexões entre diversas áreas do conhecimento.

Correntes ainda mais atuais de pensamento em relação aos riscos, apontam para a relevância de um profundo entendimento das áreas e habitações em situação de risco, possibilitado a partir do envolvimento comunitário. Essa abordagem dá maior visibilidade e valorização ao “saber popular” e à “validação social” do conhecimento científico, a partir de diálogos e reflexões junto à comunidade, além de trabalhar com a construção de uma capacidade e autonomia local de recuperação. Para Sulaiman *et al.* (2019), esse configura-se como um novo paradigma, nomeado pelos autores como Paradigma da Ciência Pós-Normal, termo criado por Funtowicz e Ravetz (1997) para descrever o atual momento de enfraquecimento da visão técnico-científica dominante em prol de uma perspectiva mais pragmática de previsão de políticas, compreensão societária e coprodução de conhecimento.

Isso significa, como coloca Jacobi (2022), que a gestão de riscos socioambientais está cada vez mais sendo exigida a ampliar o envolvimento público por meio de ações e metodologias participativas, garantindo, não só o aumento do nível de consciência da população envolvida, como também a geração de propostas baseadas em suas demandas e conhecimentos sobre o território.

Como explicam Funtowicz e Ravetz (1997), as soluções focadas apenas em concepções técnicas, desempenhadas por um corpo restrito de especialistas, devem dar lugar a um diálogo estendido aos afetados pela situação. Essa comunidade deve incluir técnicos, pesquisadores, gestores, planejadores, movimentos sociais e principalmente a própria população, com foco no equilíbrio entre as forças, a fim de transpor barreiras entre esses meios e qualificar o diagnóstico e as proposições relacionadas ao risco (Sulaiman, *et al.* 2021). Dentro desse contexto, estudos e análises técnicas são validados e integrados ao saber da comunidade, originando saberes sociotécnicos que, por sua vez, servem para instrumentaliza-los, principalmente em relação à prevenção de desastres.

Dada a complexidade da temática de riscos, os processos participativos e o diálogo entre ciência, sociedade e gestão têm potencialidade de lançar novas bases de solução para desafios socioambientais. Soluções estas mais efetivas, democráticas, sensíveis e adaptadas às particularidades socioambientais de cada território, principalmente em face da fragilidade de boa parte dos municípios brasileiros e considerando que esse não se configura apenas em um campo técnico-operacional, mas também político (Nogueira *et al.*, 2022).

4.3 Modelagem hidrológico-hidrológica como ferramenta de gestão de riscos urbanos

A gestão eficiente dos recursos hídricos é essencial para o desenvolvimento sustentável das cidades, prevenção e mitigação de desastres como inundações, alagamentos e enxurradas. Di Gregorio e Couto (2019), ao discutirem sobre gestão de riscos socioambientais para cidades resilientes, explicam que o modelo vigente de gestão urbana apresenta-se esgotado, imediatista e possui profundos desequilíbrios socioeconômico-ambientais.

Para os autores, a construção de cidades mais sustentáveis e resilientes passa pela otimização de recursos, conhecimento da dinâmica da cidade, monitoramento de variáveis relevantes, inovação urbana e maior previsibilidade, apesar da complexidade inerente. Dada essa complexidade, Miguez *et al.* (2018) defendem o monitoramento e a previsão dos sistemas urbanos como aspectos centrais no planejamento do futuro das cidades. Adicionalmente, Di Gregorio e Couto (2019) complementam que a gestão de riscos também configura-se em um campo propício para o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias, métodos e conceitos. Um importante pilar da previsibilidade para os autores seria a modelagem e simulação de sistemas, com interpretação das informações de saída

Nesse sentido, a realização de simulações hidráulicas e hidrológicas desempenham um relevante papel na análise do comportamento das bacias de drenagem e tornou-se um importante instrumento de previsão, contribuindo para a fase de prevenção, entendida nesse trabalho como a mais importante da GRD. Por meio de ferramentas que permitem a modelagem detalhada do ciclo hidrológico, integrando processos como precipitação, escoamento superficial, infiltração e qualidade da água, a modelagem hidrológico-hidráulica possibilita analisar as questões de manejo de águas pluviais urbanas. Atualmente, a ferramenta tem sido bastante utilizada para controle de alagamentos, dimensionamento de drenagem urbana, detecção de áreas inundáveis, avaliação de impactos de intervenções urbanas, dentre outras aplicações (Nóbrega, 2012).

Além disso, com a intensificação dos debates a respeito das mudanças climáticas, a modelagem vem sendo amplamente empregada na simulação de cenários para análise de eficácia das SbN, já que estas têm se consolidado como medidas inclusivas e promissoras

para a resiliência climática, enfrentamento e redução dos riscos socioambientais (Cahú *et al.* 2022). Segundo definição oficial da ONU, as SbN são elementos destinados a proteger, conservar, restaurar e gerir ecossistemas naturais ou modificados, que abordam de maneira efetiva e adaptativa desafios sociais, econômicos e ambientais. Portanto, dada sua natureza integradora socioeconômica e ambiental, apresentam elevado potencial de adaptabilidade climática urbana, sobretudo em contextos de comunidades vulneráveis (Cahú *et al.* 2022).

Embora mais expressivamente exploradas em contextos urbanos europeus, iniciativas nacionais têm avançado na experimentação de implantação de SbN em diferentes biomas. No cenário do Distrito Federal, a aplicação de SbN em assentamentos informais vem sendo trabalhada em projetos do Laboratório Periférico (FAUUNB), com base nos estudos realizados por Andrade (2014) a respeito dos padrões espaciais e técnicas de infraestrutura ecológica para alcance de um desenho urbano sensível à água.

Diante disso, a modelagem configura-se como um poderoso aliado ao simular e prever os efeitos de implantação dessas estratégias, contribuindo para decisões eficazes e adaptadas às especificidades locais. Para Whitehead e Robinson (1993), a importância do uso de modelos hidrológicos se baseia na possibilidade de representação aproximada de como o uso do solo influencia em processos naturais e, conseqüentemente, no balanço hídrico de bacias hidrográficas. A modelagem busca representar, em um ambiente computacional, a interação da água pluvial com a rede de drenagem urbana, como o nível de escoamento superficial, infiltração no solo e evapotranspiração (Righetto *et al.*, 2009).

Tendo a bacia hidrográfica como unidade de estudo, Tominaga (2013) explica que, de maneira simplificada, os modelos hidrológicos geram hidrogramas de cheia e escoamento, baseados em dados de entrada. Algumas facilidades apresentadas pelo uso da ferramenta são a interação com ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e a possibilidade de representação dos resultados por meio de mapas e gráficos (Cabral *et al.*, 2009).

Os estudos urbanos que utilizam de modelos hidrológicos como parte da metodologia apresentam objetivos diversos. Tucci e Campana (2001) utilizaram o modelo hidrológico IPH (desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS) para analisar os efeitos da urbanização relacionados

ao risco de alagamentos. Nóbrega (2012) utilizou o modelo SWMM para avaliar o sistema de drenagem da cidade de Campina Grande – PB e propor melhoramentos para minimizar o risco de inundações em áreas da cidade. Souza *et al.* (2011) utilizaram o modelo SWMM acoplado a ferramentas de SIG para analisar efeitos do avanço da urbanização. Koury *et al.* (2023) utilizaram modelagem hidrológica para avaliar o impacto da urbanização e impermeabilização do solo na bacia do ribeirão do Lajeado, na cidade de São Paulo, além de apontar medidas para mitigar problemas de enchentes e alagamentos na bacia. Foram sugeridas, ainda, possibilidades de aplicação de instrumentos urbanísticos com base no modelo hidrológico.

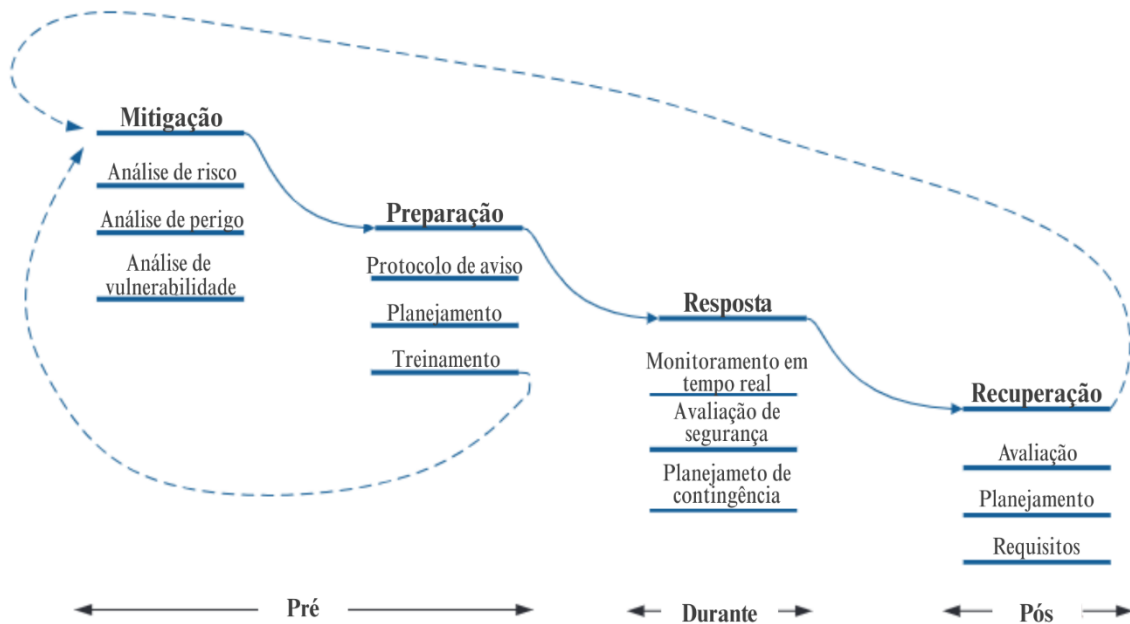
Carvalho *et al.* (2023) utilizaram o modelo de modelagem matemática MODCEL para comparar o desempenho de três diferentes cenários com a utilização de sistemas de drenagem sustentável para a redução de alagamentos em uma área densamente urbanizada entre os bairros Glória e Catete no Rio de Janeiro. Fernandes *et al.* (2024) fizeram a aplicação da modelagem, com o uso do modelo HEC-HMS, HEC-RAS E SWMM, para definição de tipologias de Áreas de Proteção Permanente (APP) urbanas e proposição de cenários de intervenção com uso de SbN no município de São Paulo.

Assim, Sampaio *et al.* (2023) explicam que a modelagem tornou-se uma ferramenta de destaque nesse campo, contribuindo desde a minimização de gastos desnecessários em obras, dentro de sua aplicação para dimensionamento de redes de drenagem, até na redução de perdas humanas em desastres, dentro de sua aplicação para análise de riscos e compreensão da dinâmica hidrológica de determinada região. Diante disso, a modelagem hidrológico- hidráulica mostra-se de grande utilidade dentro do planejamento urbano voltado para a gestão de riscos socioambientais, com grande potencial para a construção de cidades mais sustentáveis e resilientes.

Em vista dos fatos expostos e à luz do paradigma da Ciência Pós-Normal, entende-se que a ciência aplicada - neste caso, a modelagem hidrológico-hidráulica - pode ser utilizada não como um fim em si mesma, mas como um dispositivo estratégico à ampliação de capacidade de resposta local e de apropriação coletiva da dinâmica de riscos e possíveis soluções. Além do fortalecimento de práticas preventivas e tensionamento nos modelos tradicionais de gestão. A Figura 13 ilustra as fases da gestão de desastres antes, durante e após a ocorrência e são listadas as ações desenvolvidas em cada etapa. A modelagem

hidrológico-hidráulica possui um potencial de apoio em todas as etapas, especialmente nas de mitigação, preparação e resposta, por meio da proposição de medidas preventivas de análise de risco, perigo e vulnerabilidade, além da avaliação de intervenções estruturais mitigadoras.

Figura 13 – Fases da gestão de desastres.

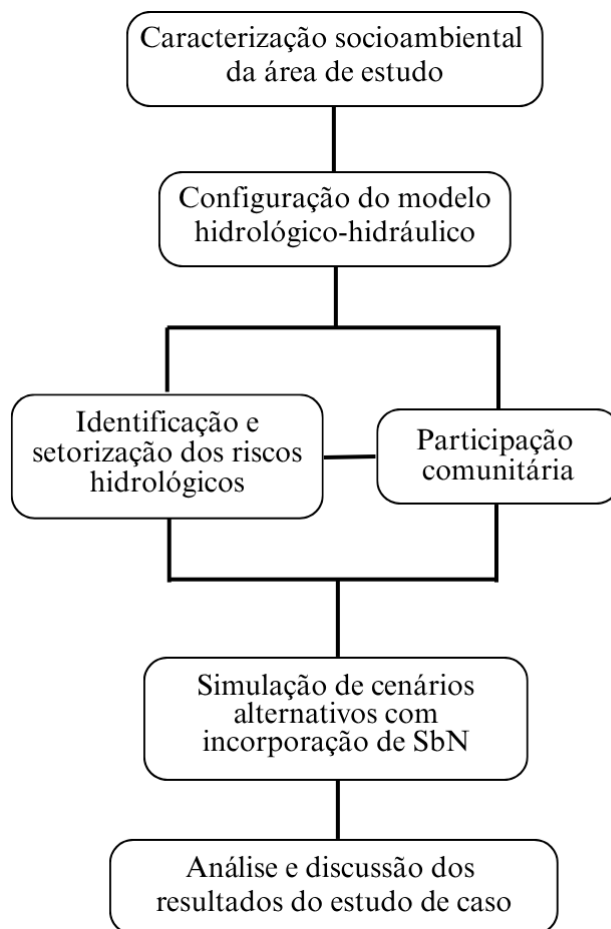


Fonte: O'Grady *et al.*, 2018. Modificado pela autora, 2025.

5 METODOLOGIA

Este trabalho tem caráter quali-quantitativo e partiu do estudo de caso referente à aplicação da modelagem hidrológico-hidráulica no Trecho 3 do Sol Nascente – DF como parte dos estudos desenvolvidos para a elaboração do Plano Comunitário de Gestão e Redução de Riscos para o território, adotando os fundamentos da pesquisa-ação como explicitado anteriormente. O percurso metodológico compreendeu seis etapas principais: i) caracterização socioambiental da área de estudo; ii) configuração do modelo hidrológico - hidráulico; iii) identificação e setorização dos riscos hidrológicos; iv) participação comunitária; v) simulação de cenários alternativos com incorporação de SbN e vi) análise e discussão dos resultados do estudo de caso. Algumas etapas ocorreram de forma simultânea, como a identificação e setorização dos riscos hidrológicos que ocorreu apoiada e concomitante à participação comunitária, como ilustrado na Figura 14.

Figura 14 - Etapas metodológicas do trabalho.



i) Caracterização socioambiental da área de estudo

A partir da abordagem teórica e dos recortes conceituais adotados no estudo, de entendimento do risco como produto da interação entre fatores sociais e ambientais, foi feita a caracterização socioambiental da área. Esta etapa envolveu a análise das dimensões urbanas, sociais e ambientais do território, portanto, foram levantados dados socioeconômicos e de fragilidade ambiental. Além disso, foi feita a caracterização da rede de drenagem em construção, a partir das informações de projeto obtidos com a Novacap e Secretaria de Obras e das visitas de campo. A principal fonte de dados socioeconômicos utilizada foi a Pesquisa Distrital de Amostras por Domicílio (PDAD) de 2021 e 2024, realizada pelo Instituto de Pesquisa e Estatística do DF (IPEDF). Dessas, foram consultados dados relacionados à população, infraestrutura domiciliar e infraestrutura urbana. O Quadro 3 mostra os indicadores considerados em cada categoria.

Quadro 3 – Indicadores socioeconômicos considerados para a caracterização da área de estudo.

População	Gênero
	Idade
	Cor
	Taxa de migração
	Taxa de analfabetismo
	População economicamente ativa
Infraestrutura domiciliar	Renda domiciliar média
	Renda per capita domiciliar
	Número de domicílios ocupados
	Média de moradores por unidade
	Arranjo familiar predominante
	Escritura do domicílio
	Acesso à rede de água
	Esgotamento sanitário
	Acesso à rede de energia
	Insegurança alimentar grave
Infraestrutura urbana	Pavimentação de ruas
	Existência de calçadas
	Existência de iluminação pública
	Existência de elementos de drenagem urbana
	Alagamentos nas ruas
	Existência de esgoto a céu aberto
	Existência de entulho/lixo
	Existência de ruas arborizadas
	Existência de parques e praças

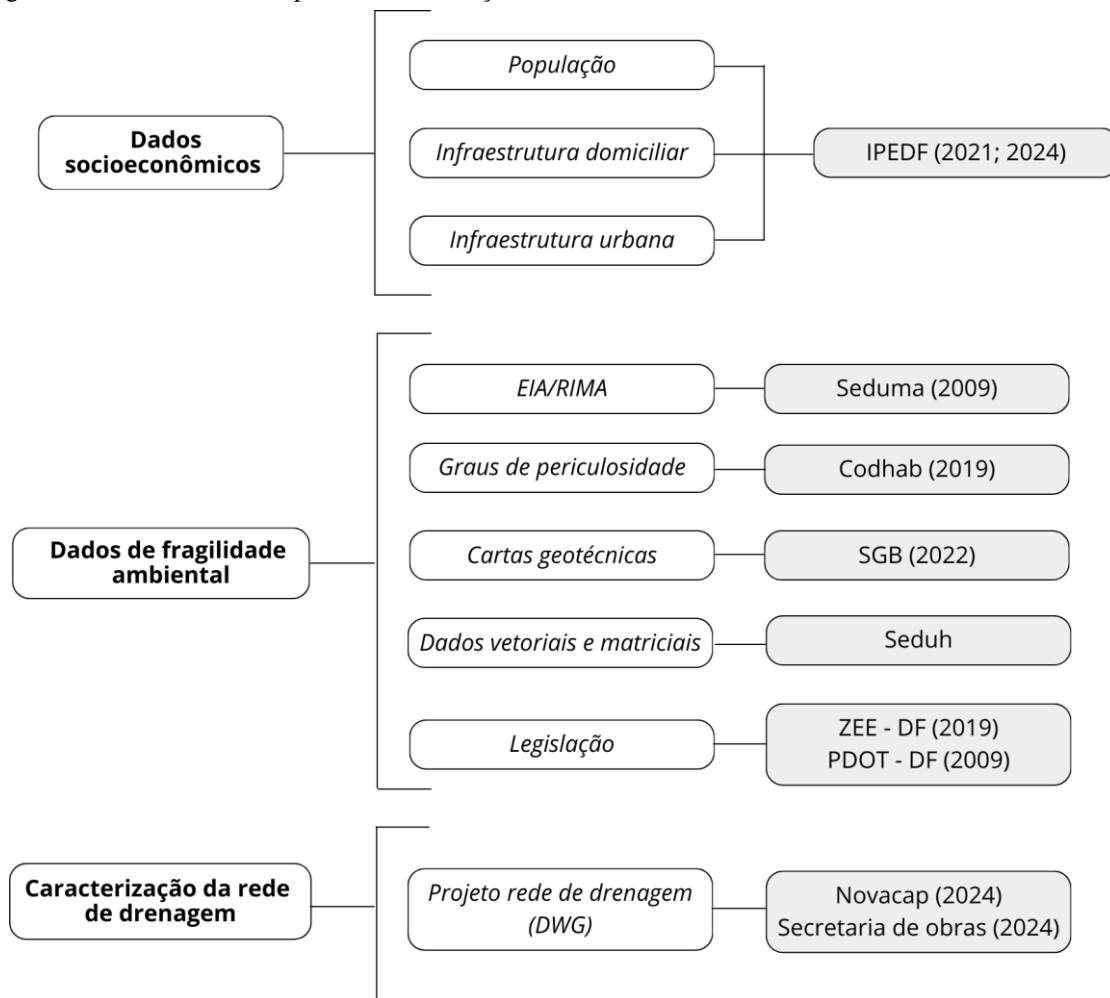
Em relação aos dados de fragilidade ambiental, foram consultados estudos ambientais de órgãos regionais, tais como o Relatório Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto do Meio Ambiente (EIA/RIMA) (Seduma, 2009), onde consta importantes dados ambientais da área, e o estudo de graus de periculosidade realizado pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional do Distrito Federal (Codhab, 2019). Este último

classificou a região em 10 níveis de periculosidade a partir de dados topográficos, geotécnicos, bióticos, químicos e físicos (Codhab, 2019).

Além disso, foram analisados estudos de órgãos federais, como as cartas geotécnicas de suscetibilidade, de aptidão à urbanização e de risco elaboradas pelo SGB (2022), de onde foram extraídas informações relacionadas aos riscos de natureza geológica e hidrológica que atingem o território. Esses documentos trazem dados de locais suscetíveis a movimentos de massa e inundação, além da setorização de riscos de nível baixo, médio e alto presentes na região.

Dados vetoriais como hidrografia, APP, declividade, unidades hidrográficas e imagens de satélite foram utilizados para a produção de mapas e análise do sítio físico. Esses dados foram retirados do geoportal do DF, base de dados geoespaciais mantida pela Secretaria de Desenvolvimento Urbano e habitação do DF (SEDUH). Ademais, nesta etapa foi importante o levantamento de trabalhos acadêmicos anteriores que trataram da área de estudo e também a análise da legislação vigente. Foram considerados o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) – Lei Distrital nº 269/2019 e o Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT) – Lei Distrital nº 803/2009 para verificação das diretrizes referentes às zonas de inserção do território. A Figura 15 resume todos os dados utilizados e as respectivas fontes.

Figura 15 - Dados utilizados para a caracterização socioambiental da área de estudo.



ii) *Configuração do modelo hidrológico-hidráulico*

As análises hidrológicas foram realizadas no *software* PCSWMM (*Personal Computer Storm Water Management Model*) versão 7.6 Profissional, gerenciado pela CHIWATER, que forneceu uma licença de uso para fins de pesquisa. Segundo Righetto (2009), o PCSWMM (Computacional Hydraulic Int. – CHI -, 2007) é um pacote que utiliza o modelo computacional SWMM (*Storm Water Management Model*) ligado a um SIG. O SWMM é um modelo de gerenciamento de águas pluviais amplamente utilizado nos estudos de bacias urbanas, desenvolvido pela USEPA (*United States Environmental Protection Agency*) na década de 1970.

Alguns dos objetivos do programa importantes para esse estudo são: mapeamento de áreas alagáveis; análise do efeito de implantação de SBNs como valas e trincheiras de infiltração; sensibilidade quanto aos componentes do ciclo hidrológico de bacias como

escoamento superficial, demonstrando velocidade, nível e volume de água após evento chuvoso e avaliação da eficiência de componentes da rede de drenagem (Righetto, 2009; Rossman, 2015). A partir de dados de entrada como precipitação pluviométrica, componentes da rede de drenagem, declividade e percentual de área permeável, o programa apresenta vários resultados de cálculo para processos hidrológicos (como chuva-vazão na bacia, infiltração, evaporação), processos hidráulicos (simulação de fluxos na rede) e análise da qualidade de água (acúmulo e propagação de cargas poluentes na bacia e simulação de processos de tratamento) (Righetto, 2009).

Para a presente pesquisa, a configuração do modelo consistiu em 3 etapas principais: (a) delimitação das sub-bacias e definição do curva-número; (b) incorporação de dados de entrada e (c) configuração das chuvas.

(a) Delimitação das sub-bacias e definição do curva-número

A área de estudo foi dividida em pequenas áreas de captação de água com características uniformes, denominadas sub-bacias. Esta subdivisão da área é feita para obter a variabilidade espacial durante os processos. Cada sub-bacia possui sua própria fração de áreas permeáveis e impermeáveis e é associada a um regime de chuva representado por um pluviógrafo no programa. As sub-bacias simulam reservatórios não-lineares e o escoamento superficial ocorre quando a profundidade de água é maior que o valor máximo de armazenamento do reservatório, então a água ultrapassa e é conduzida entre as diferentes sub-áreas (EPA, 2010; Wang e Altunkaynak, 2012; Rossman, 2010; Costa, 2013).

Neste trabalho, a delimitação das sub-bacias teve como base os lotes urbanos. A camada *shapefile* de lotes urbanos foi obtida no Geoportal do DF e incorporada ao modelo (Figura 16). As ruas foram desenhadas manualmente e divididas em pequenos trechos correspondentes a sub-bacias. Essa abordagem é comumente empregada para a modelagem de áreas com tipologia urbana uniforme, como no caso do Sol Nascente, onde predomina a tipologia de lotes residenciais altamente impermeabilizados e que geram escoamento para um único ponto exutório, geralmente conduzido pela malha viária até uma boca de lobo mais perto.

Figura 16 - Camada vetorial de lotes urbanos da área de estudo.

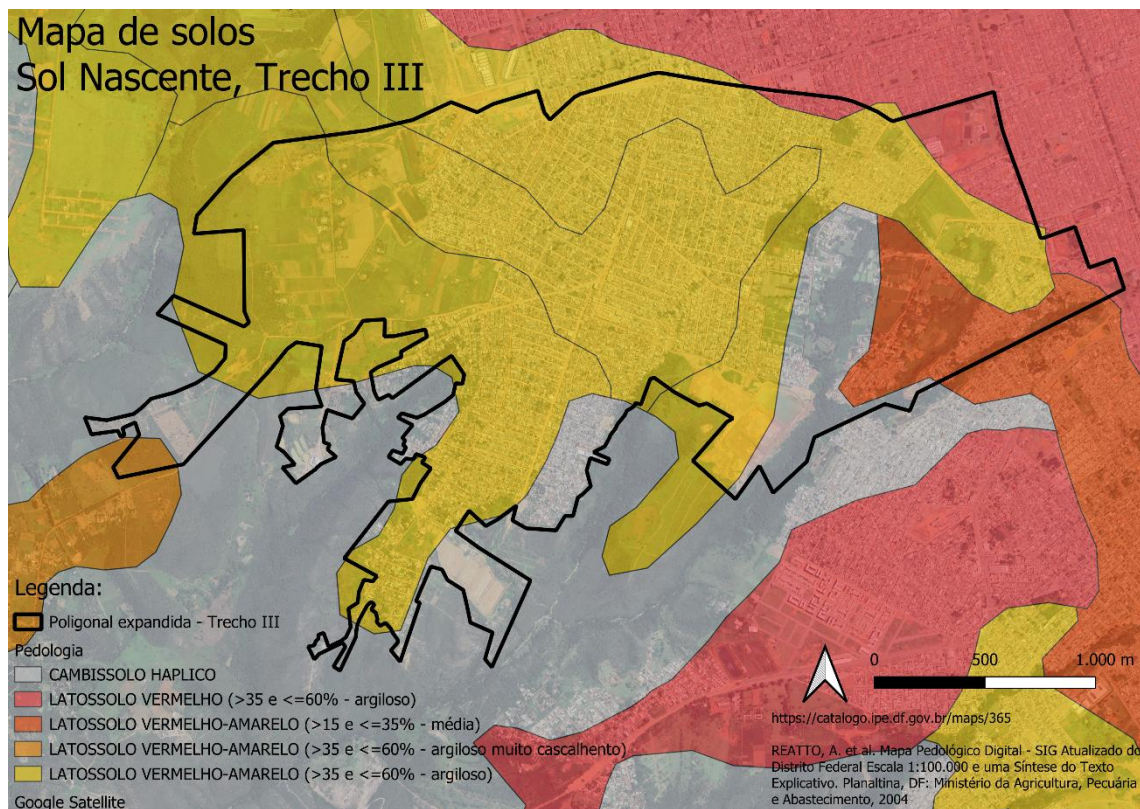


Fonte: *Google earth*, 2025; Seduh, 2024.

O PCSWMM faz o cálculo de escoamento superficial pelo método do *Soil Conservation Soil* (SCS), desenvolvido pelo *Natural Resources Conservation Service* (NRCS). Este é um dos métodos mais utilizados para transformação chuva-vazão em bacias urbanas antropizadas, já que utiliza dados de entrada baseados no uso e ocupação do solo (Costa, 2013). Segundo Nascimento *et al.* (2011) esse método é amplamente utilizado no contexto nacional graças à facilidade de sua aplicação às condições brasileiras, onde são conhecidos dados de precipitação e características físicas das bacias, mas não se dispõe de dados referentes ao monitoramento de vazões de pequenas bacias e grau de infiltração.

O principal parâmetro do método SCS é o Curva Número (CN), que se refere à capacidade do solo de armazenar água, estimando, portanto, o quanto de água fica retida no solo e o quanto escoia após eventos chuvosos. O CN de cada sub-bacia é obtido através do tipo de solo e do uso e cobertura do solo (Tucci, 1993). Para a obtenção do tipo de solo da área de estudo, foi utilizado o mapeamento feito por Reatto *et al.* (2004), que identificou Latossolos Vermelhos-Amarelos como classe dominante na região (Figura 17).

Figura 17 - Pedologia Trecho 3 do SHSN.



Fonte: Reatto *et al.*, 2004.

O latossolo vermelho-amarelo possui características como alto teor de quartzo, conferindo-lhe textura arenosa e baixa capacidade de retenção de água, baixo teor de silte, entre 10% e 20% e alta variação no teor de argila, entre 15% e 80%. Segundo Reatto *et al.* (2004), de maneira geral, esse tipo de solo é altamente permeável a depender de fatores como posição topográfica, preservação, natureza, textura e estrutura. Outra importante característica do solo da região, segundo o EIA/RIMA é sua condição de colapsividade, propriedade comum em solos argilosos. Solos colapsíveis são solos não saturados que, quando submetidos a um acréscimo no teor de umidade, sofrem redução de volume, sendo suscetíveis a processos de erosão e ravinas (Seduma, 2009; Xavier, 2018). Essa condição

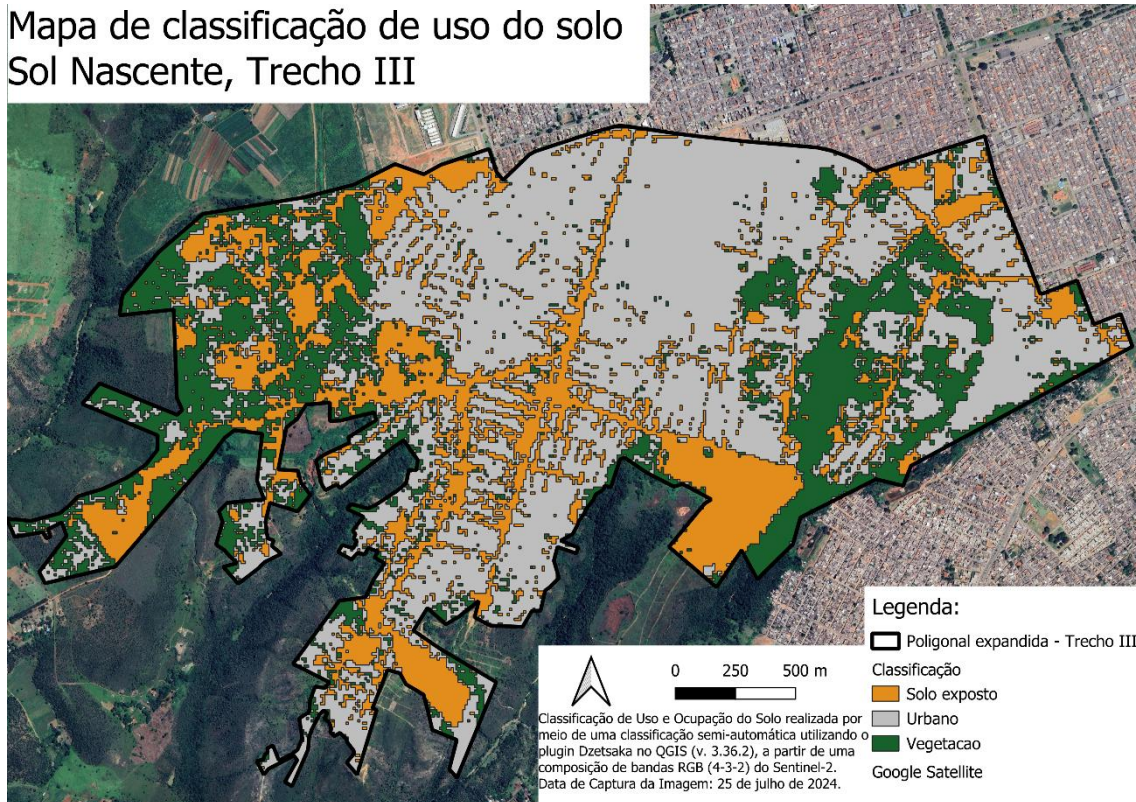
restringe, por exemplo, soluções que envolvam a infiltração de grandes volumes de água pluvial.

Segundo a classificação de grupos hidrológicos de solos feita por Tucci (1995), a área pode ser classificada como Grupo Hidrológico A, que agrupa tipos de solo com alta propriedade de infiltração e baixa geração de escoamento superficial. O outro dado necessário à definição do CN das sub-bacias é o uso e cobertura do solo, visto que determina a separação entre locais com capacidade de infiltração e locais que geram maior escoamento superficial da água pluvial. Áreas com alto grau de impermeabilização apresentam altos valores de CN, resultando em maior escoamento superficial, enquanto áreas vegetadas, como jardins, possuem menores valores de CN, graças à maior capacidade de infiltração da água.

Através da utilização do programa QGis e do plug-in Dzetsaka, foi possível obter a classificação de uso e cobertura do solo da área, com base na imagem do satélite Sentinel-2 da Agência Espacial Europeia (ESA), disponibilizada gratuitamente no portal *Copernicus Open Access Hub*. A imagem utilizada data do dia 25 de julho de 2024 e apresentou boa resolução espacial para a identificação das diferentes classes. Neste estudo, as classes de interesse são solo exposto, áreas urbana e áreas vegetadas e o classificador disponível no plug-in foi treinado a partir de amostras representativas de cada uma dessas classes. A Figura 18 mostra os resultados da classificação.

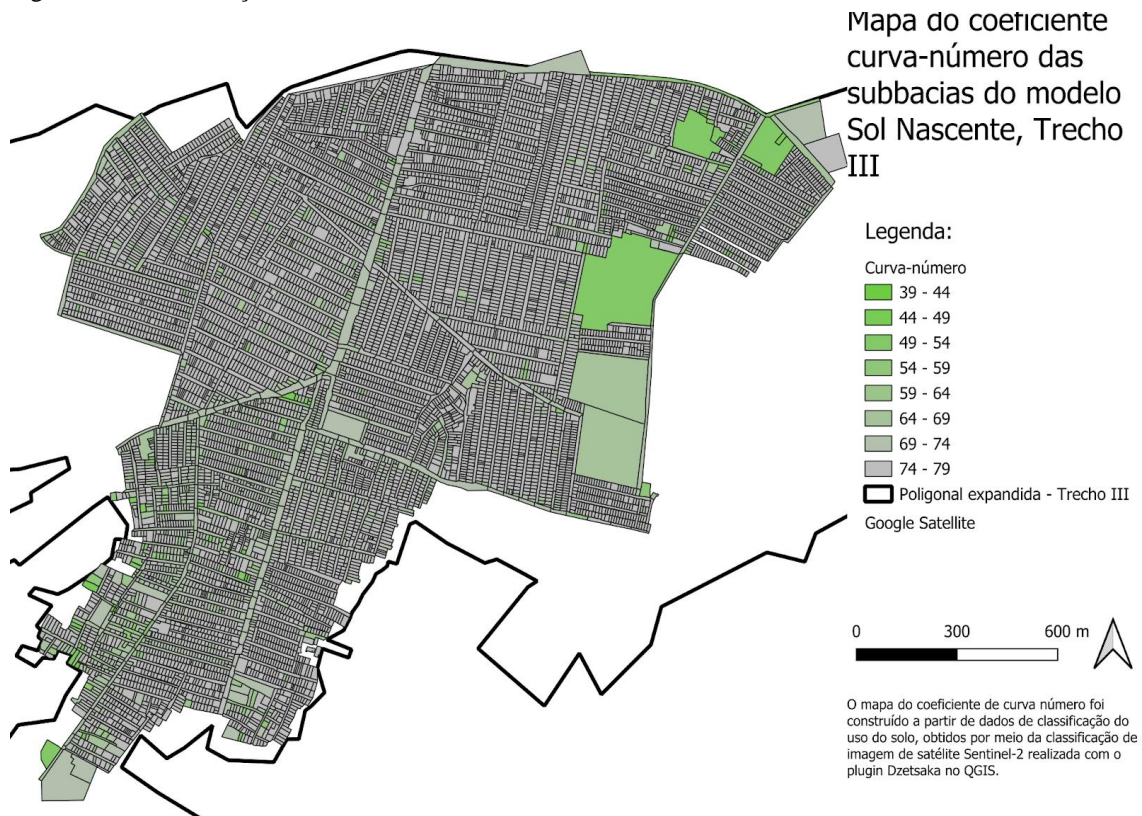
Figura 18 - Classificação de uso e cobertura do solo Trecho 3 do SHSN.

Mapa de classificação de uso do solo Sol Nascente, Trecho III



A identificação das classes de uso e cobertura do solo permite o agrupamento de áreas que promovem padrões parecidos de escoamento superficial. Dentro do Grupo Hidrológico A, os valores do CN adotados para as diferentes classes de interesse do estudo são: 77 para áreas urbanas, 72 para solo exposto e 39 para áreas vegetadas (Tucci, 2007). A Figura 19 mostra o resultado da definição do CN para cada sub-bacia do modelo, feita com base nas classes do mapa de uso e ocupação do solo.

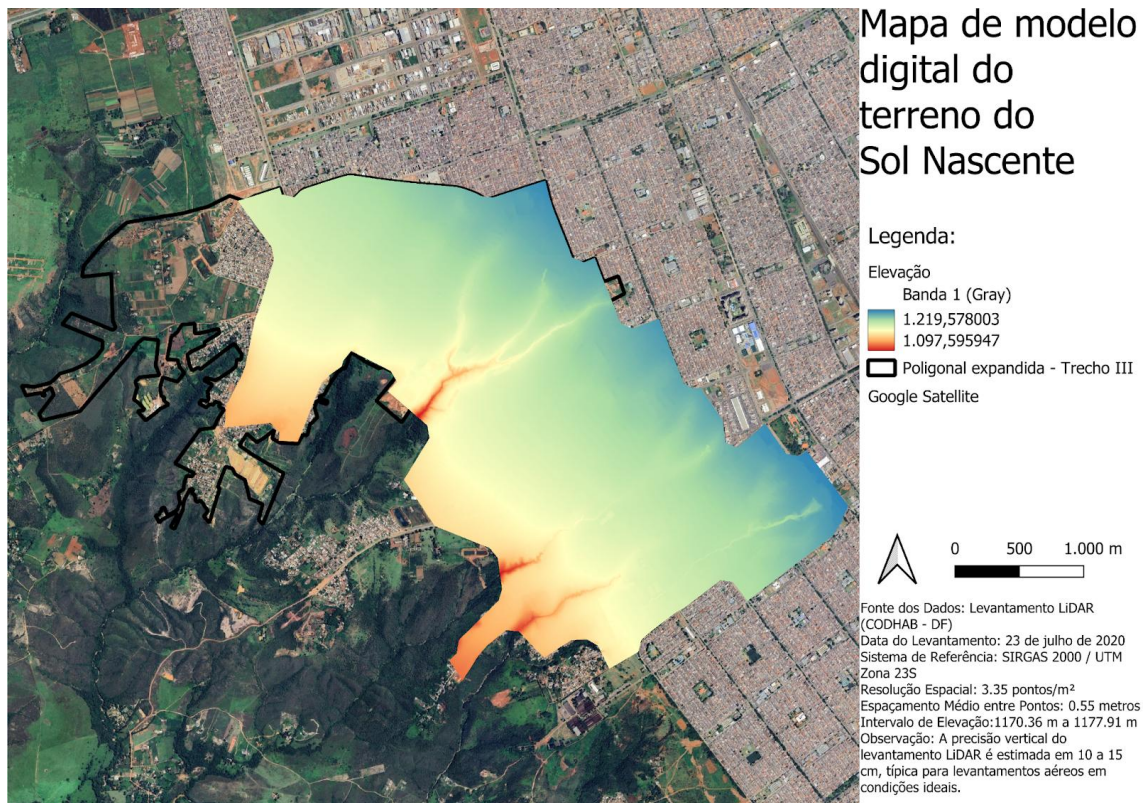
Figura 19 - Classificação do CN das sub-bacias do modelo.



(b) Incorporação de dados de entrada

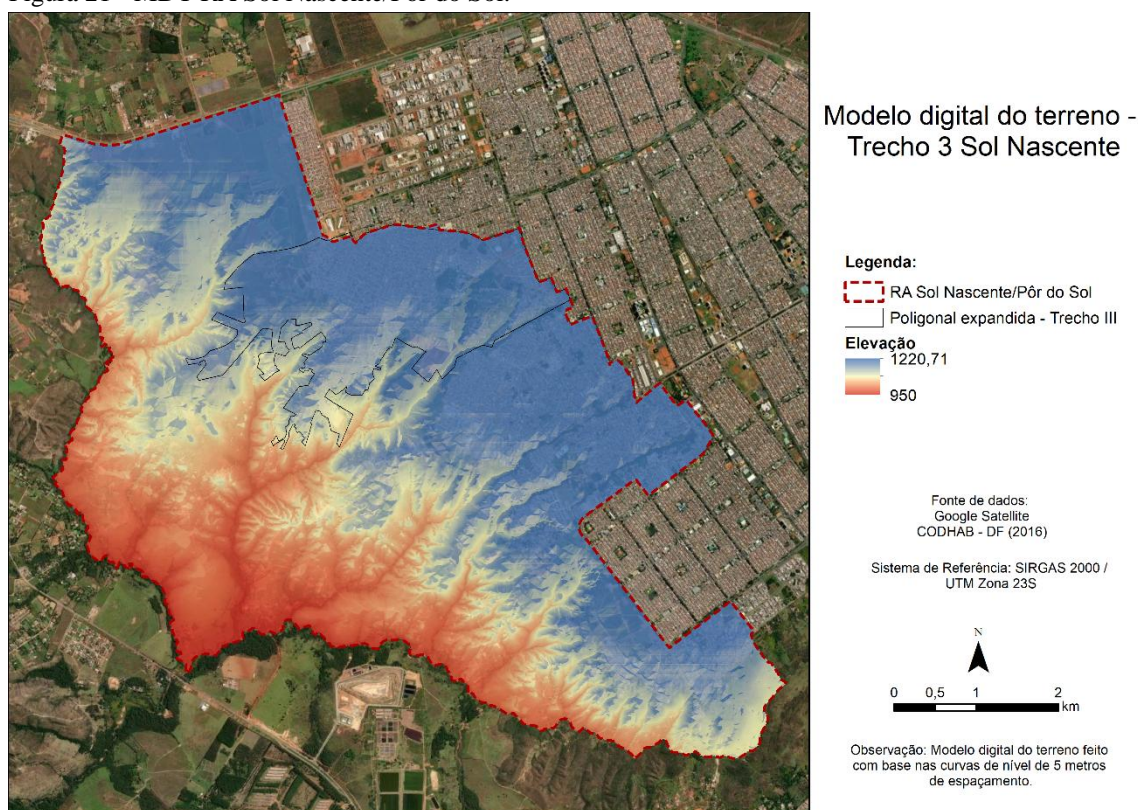
Os dados incorporados nessa etapa referem-se ao modelo digital do terreno (MDT) e à rede de drenagem. O MDT contribui para a melhor compreensão do comportamento hidrológico nas bacias, pois permite o cálculo de declividade e acúmulo de água de acordo com as condições de terreno específicas, influenciando de maneira direta as simulações de infiltração, volume e velocidade de escoamento. A partir da representação da topografia do solo é possível obter características das sub-bacias, da altura dos poços de visita (PV) e de outros trechos da rede. Foram utilizados dois MDT no estudo. O primeiro se refere ao levantamento LiDAR realizado em julho de 2020 pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional do Distrito Federal (Codhab). Esse dado reflete com precisão a topografia da área de estudo, já que possui uma densidade de 3.35 pontos por metro quadrado e espaçamento médio de 0,55 metros entre os pontos, relevando elevações que variam entre 1097,60 a 1219,60 metros. Apesar de muito detalhado, este levantamento cobriu apenas a área do trecho 3 que está dentro da poligonal de regularização, como pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 - MDT área de regularização.



Este MDT foi utilizado em algumas situações, como na configuração da rede de drenagem. Porém, para a realização de outras análises, como a medição de velocidade do escoamento nas ruas do trecho para identificar locais de enxurrada, foi produzido um MDT a partir das curvas de nível de 5 metros disponíveis no Geoportal do DF, que abrange toda a RA (Figura 21). Devido ao maior espaçamento entre as linhas das curvas de nível, esse MDT não fornece informações tão detalhadas como o da Codhab, ainda assim, demonstrou resultados satisfatórios nas análises, que puderam ser complementadas com as informações dos moradores.

Figura 21 - MDT RA Sol Nascente/Pôr do Sol.



Em relação à incorporação da rede de drenagem, no PCSWMM, a representação inclui condutos, poços de visita, canais, bocas de lobo e outras estruturas. Dessa forma, o programa realiza a simulação dos processos de transporte hídrico durante eventos pluviométricos, incluindo os fluxos de entrada, armazenamento temporário, vazão e possíveis transbordamentos. Uma boa caracterização da rede de drenagem no programa permite avaliar com maior precisão seu desempenho sob condições diversas de precipitação. Atualmente, as obras de drenagem do trecho 3 do Sol Nascente estão em fases de conclusão, segundo a Secretaria de Obras do DF, com apenas algumas partes da rede em funcionamento até o presente momento, junho de 2025. O projeto e o *as built* da rede em construção foi obtido com a Novacap (Companhia Urbanizadora da Nova Capital) e Secretaria de Obras do DF e incorporado ao modelo (Figura 22). Em todas as simulações realizadas no estudo foi considerada a rede de drenagem já finalizada, entendendo a importância de previsão do seu desempenho após a conclusão. A possibilidade de previsão do comportamento de sistemas é uma importante função da modelagem hidrológico-hidráulica.

Figura 22 - Incorporação da rede de drenagem no modelo.



(c) Configuração das chuvas

A precipitação é a principal fonte de escoamento superficial em áreas urbanizadas. Isso significa que o conhecimento de características como intensidade, volume, duração e frequência das chuvas é necessário para as simulações de comportamento da água pluvial na bacia hidrográfica. Podem ser atribuídas ao modelo chuvas de projeto, que são criadas dentro do programa seguindo parâmetros fixos, ou chuvas reais, a partir de dados de precipitações que ocorreram na área. Neste estudo, foram utilizadas tanto chuvas de projeto, que fornecem referências padronizadas para fins de planejamento, como chuvas reais, que fornecem maior entendimento da dinâmica do sistema de drenagem diante da variabilidade natural dos eventos pluviométricos. Primeiramente será apresentado o processo de definição da chuva real utilizada.

No Sol Nascente é comum a ocorrência de enxurradas e alagamentos após chuvas intensas e de curta duração, que geram grandes volumes de escoamento superficial, sobrecarregando o sistema. Diante disso, foi realizado um levantamento em portais de notícias dos dias em que foram registrados problemas na área relacionados à ocorrência de precipitações. Em seguida, foram consultadas as chuvas registradas no pluviógrafo nessas datas. Existe apenas um pluviógrafo em toda a região do Sol Nascente, localizado

na Escola Classe 66 no Trecho 3 e que opera pelo método de registro de basculada de 0,2 mm. Os dados registrados pelo pluviógrafo foram obtidos com a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do DF (Adasa), que disponibilizou planilhas com os registros de 2023 e início de 2024 para o estudo. Levando em consideração a variabilidade espacial da chuva, foram selecionadas, dentre as matérias jornalísticas, apenas as que citavam a localização dos impactos da chuva. Dessa forma, foi possível comparar a localização dos impactos com a do pluviógrafo.

Assim, para as análises feitas considerando uma chuva real, foi utilizada a precipitação registrada no dia 9 de fevereiro de 2023. A Figura 23 mostra as características da chuva tais como tempos de início e fim do evento, intensidade e tempo de retorno (TR). Este último termo se refere ao intervalo de tempo médio, em anos, em que um evento pode ser igualado ou superado (Oliveira, 2017). A Figura 24 mostra o local onde foi registrada a enxurrada causada pela chuva, segundo a matéria jornalística, em relação à localização do pluviógrafo.

Figura 23 - Chuva registrada no dia 9 de fevereiro de 2023.

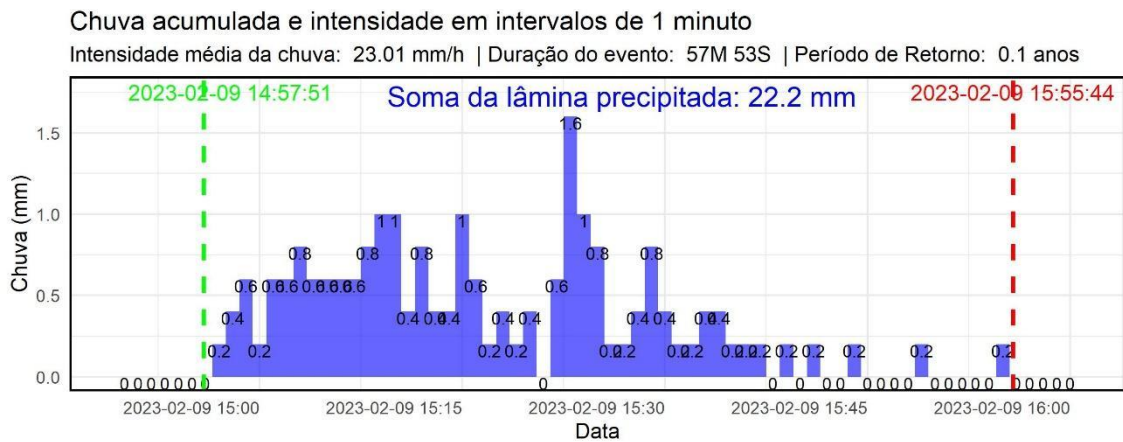
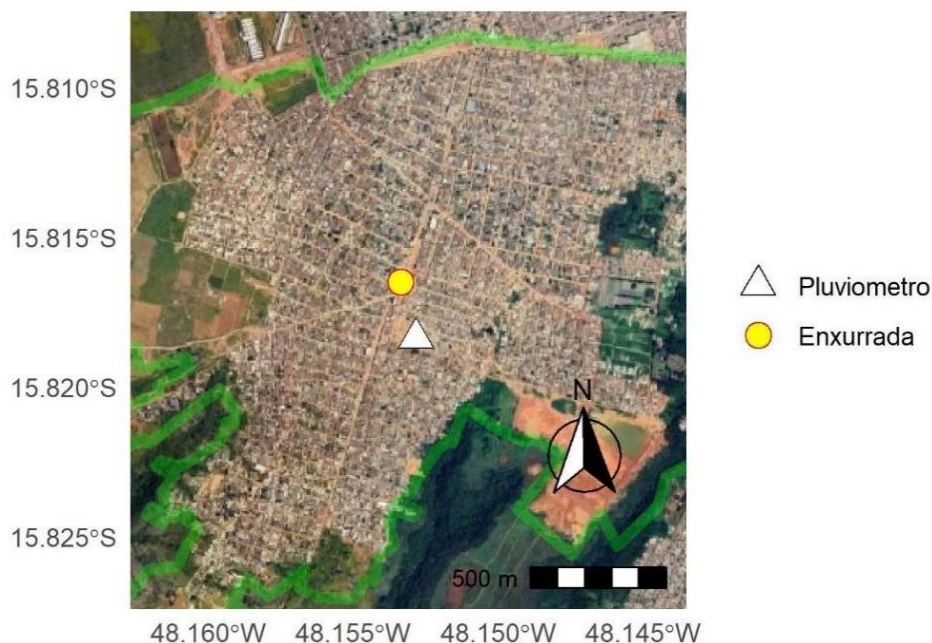


Figura 24 - Localização do registro de enxurrada no Trecho 3 do SHSN.

Mapa localização de enxurrada chuva registrada no dia 9 de fevereiro de 2023



<https://noticias.r7.com/brasilia/df-no-ar/videos/moradores-do-sol-nascente-df-enfrentam-caos-apos-forte-chuva-na-regiao-10022023/>

A precipitação teve intensidade média de 23,01 mm/h, duração de 57 minutos e TR igual a 0,1 anos. Estas características apontam para uma chuva ordinária, ou seja, recorrente na região, mas que ainda assim culminou na ocorrência de enxurradas. Essa análise reforça a hipótese de que a área sofre impactos não apenas das chuvas que caem no território, mas também do escoamento proveniente da área localizada à montante, a RA de Ceilândia. Outra hipótese aponta para a não conclusão das obras de drenagem e a falta de dispositivos de engolimento de água, as bocas de lobo, como contribuição para o aumento do escoamento superficial na área.

A escolha pela incorporação de chuvas de baixa intensidade possibilita análises referentes ao funcionamento de estruturas de SbN, como trincheiras e valas de infiltração, que têm o objetivo de amenizar o impacto de chuvas mais recorrentes e de menor intensidade. Além disso, optou-se por utilizar dados do pluviógrafo presente na região ao invés de médias anuais, por exemplo, graças às mudanças no regime de chuvas nos últimos anos. Em relação às chuvas de projeto, foram incorporadas ao modelo chuvas com TR de 1, 2, 5, 10 e 25 anos, configuradas no programa a partir de parâmetros fixos e utilizadas para

as análises de funcionamento da rede de drenagem. Após a configuração do modelo, foi possível simular o desempenho da rede de drenagem após a conclusão das obras, utilizando a chuva de TR 10 anos. O Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal da Adasa (2023) recomenda o uso da chuva de TR 10 anos para simulações de funcionamento, avaliação e dimensionamento de rede de drenagem, embora haja uma discussão em torno dessa recomendação, devido à alteração no regime de chuvas registrado nos últimos anos.

iii) Identificação e setorização dos riscos hidrológicos

Em seguida, partiu-se para a etapa de identificação dos locais suscetíveis a alagamentos, enxurradas e erosões na região, principais processos de natureza hidrológica e geológica que atingem a área, segundo a caracterização de fragilidade ambiental realizada e as informações dos próprios moradores. Segundo Amaral e Ribeiro (2009), alagamento é um acúmulo temporário de água em alguns locais causado por deficiência no sistema de drenagem. Já as enxurradas são conceituadas como um escoamento superficial de alta velocidade e energia, causado por chuvas intensas e concentradas, geralmente em bacias pequenas e de relevo acidentado (Cobrade, 2012). E as erosões são caracterizadas como a remoção das camadas mais superficiais do solo, geralmente causada por escoamento superficial não concentrado (Cobrade, 2012).

Nesta etapa houve uma integração entre dados técnicos gerados pela modelagem e os dados produzidos junto à comunidade a partir das atividades de elaboração do Plano Comunitário, como detalhado posteriormente. Para o levantamento dos pontos de alagamento e enxurrada no programa, foi utilizada a chuva de TR 10 anos, seguindo recomendação do Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal da Adasa (2023). Para identificar os PVs que alagam durante a precipitação, foi utilizada uma ferramenta de filtragem do programa (função *select by query*) e solicitada a seleção de PVs (*junctions*) em que o atributo de tempo de alagamento (*hours flooded*) fosse maior que zero. Os pontos filtrados foram exportados em formato *shapefile* para o programa QGis, onde foi aplicado um *buffer* de 40 metros na camada, gerando as manchas de alagamento. O valor de 40 metros foi definido com base na área de influência de um PV.

Para a identificação dos locais suscetíveis a enxurradas, considerou-se o parâmetro de velocidade do escoamento superficial, o que permitiu a identificação das ruas onde a água pluvial escoava mais rapidamente, gerando enxurradas. Já os locais com processos erosivos foram localizados pela população durante as oficinas comunitárias de mapeamento de risco, realizadas no âmbito do Plano Comunitário. Além das erosões, durante as oficinas a população mapeou diversos outros tipos de riscos, incluindo as enxurradas e os alagamentos. Os dados produzidos pela população durante as oficinas foram georreferenciados, gerando uma camada de pontos. Posteriormente foram filtrados os pontos que se referiam a riscos hidrológicos e cruzados com os dados gerados pela modelagem hidrológico-hidráulica para a criação de um mapa, em nível de detalhe, de locais suscetíveis a riscos hidrológicos na área. O mapeamento de riscos realizado pela população assumiu grande relevância nessa etapa, já que identificou áreas de risco não captadas pela modelagem, complementando e fortalecendo a análise.

A identificação dos locais suscetíveis a alagamentos, enxurradas e erosões permitiu que fosse feita uma setorização de riscos. Di Gregorio e Couto (2019) explicam que a setorização de risco é um importante instrumento para a gestão de riscos e configura-se em uma delimitação espacial das áreas sujeitas a tais ameaças e classificação quanto ao grau de risco (baixo, médio, alto e muito alto). Esta setorização deve ser documentada por meio de cartas ou mapas em escala adequada ao seu objetivo e pode ser elaborada tanto separadamente para cada tipo de processo ou conjuntamente reunindo as diferentes ameaças. Assim, para a setorização de riscos realizada, primeiramente a área de estudo foi dividida em pequenas unidades hidrográficas, traçadas com base nas vias, galerias de águas pluviais e bacias naturais. Esta divisão teve como objetivo agrupar regiões com características semelhantes de escoamento.

Posteriormente, cada unidade hidrográfica foi analisada individualmente e classificada quanto ao seu nível de risco (baixo, médio ou alto) com base nas informações de suscetibilidade a alagamentos, enxurradas e erosões, de proximidade com APP e de inclusão ou não na poligonal de regularização. Quanto maior o acúmulo desses fatores de perigo, maior é o nível de risco da unidade hidrográfica. A análise gerou um mapa de setorização de risco, também em nível de detalhe. Os mapas, tanto o de locais suscetíveis a riscos hidrológicos, quanto o de setorização de risco, foram apresentados e discutidos

com os moradores durante as oficinas para elaboração de um Plano de Contingência para a área, realizadas também no âmbito do Plano Comunitário. Nas ocasiões, os moradores propuseram ajustes e correções para os mapas, como melhor detalhado na etapa a seguir. Aqui destaca-se o caráter inovador da pesquisa de integração entre dados técnicos e comunitários.

iv) Participação comunitária

Os dados produzidos pela comunidade utilizados neste estudo foram obtidos por meio de oficinas comunitárias realizadas no território no contexto de elaboração do Plano Comunitário como parte da metodologia desenvolvida pelo Laboratório Periférico (Andrade *et al.*, 2024, 2025). Durante o desenvolvimento do Plano Comunitário, foram realizadas no território oficinas de mapeamento de riscos, oficinas de mapeamento de implantação de Sbn e oficinas de elaboração do Plano de Contingência.

(a) Oficina comunitária de mapeamento de riscos

Consistiu na localização, por parte dos moradores, dos pontos de ocorrência de diferentes tipos de risco. A metodologia utilizada envolveu a fixação de ícones representativos dos diferentes tipos de risco em um mapa impresso da área de estudo (Andrade *et al.*, 2025), como mostrado nas Figura 25 e Figura 26. Os dados levantados foram posteriormente georreferenciados em ambiente SIG utilizando o *software* QGis. Esses dados integraram e complementaram as simulações geradas pela modelagem na etapa de identificação e setorização de risco, como apresentado anteriormente.

Figura 25 - Mapeamento comunitário de riscos na área de estudo.



Fonte: Acervo da autora, 2024.

Figura 26 - Exemplos de ícones utilizados para o mapeamento comunitário de riscos.



Fonte: Laboratório Periférico, 2024.

(b) Oficina comunitária de mapeamento de implantação de SbN

Foi empregada uma metodologia semelhante à oficina de mapeamento de riscos, com a fixação de placas, por parte dos moradores, em um mapa impresso da área (Figura 27). Porém, o objetivo foi de localizar pontos para a implementação de soluções com base nos padrões de infraestrutura ecológica propostos por Andrade (2014), alguns exemplos são mostrados na Figura 28. A ação contribuiu para a etapa de simulação no PCSWMM de cenários alternativos com incorporação de

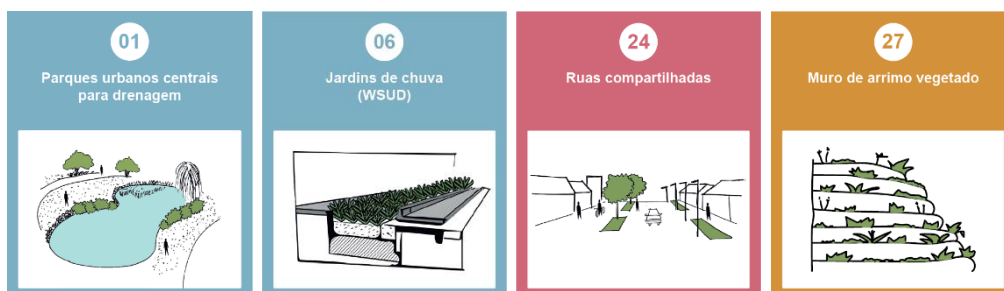
SbN, já que possibilitou um debate junto aos moradores sobre as diferentes possibilidades de mitigação dos impactos.

Figura 27 - Mapeamento comunitário de padrões de infraestrutura ecológica na área de estudo.



Fonte: Acervo da autora, 2024.

Figura 28 - Exemplos de padrões de infraestrutura ecológica utilizados para o mapeamento comunitário de implantação de SbN.



Fonte: Laboratório Periférico, 2024.

(c) Oficina comunitária de elaboração do Plano de Contingência

Para a elaboração do Plano de Contingência, foram realizadas oficinas no território no formato de um curso de extensão voltado para a percepção de risco. O objetivo do curso foi de capacitar e engajar a comunidade para identificar riscos e vulnerabilidades existentes em seu território (Andrade *et al.*, 2025). Em uma das oficinas, os mapas de locais suscetíveis a riscos hidrológicos e de setorização de risco foram impressos e apresentados aos moradores, que puderam revisar as informações e direcionar ajustes, complementações e modificações necessárias, de acordo com suas vivências e conhecimento sobre o território. A oficina ocorreu no formato de diálogo e discussão com a comunidade a respeito dos mapas. Os apontamentos feitos pelos moradores foram registrados nos próprios mapas com o uso de *post-its*, como mostrado na Figura 29, para posterior ajuste.

Figura 29 - Revisão dos mapas de locais suscetíveis a riscos hidrológicos junto aos moradores.



Fonte: Acervo da autora, 2025.

v) *Simulação de cenários alternativos com incorporação de SbN*

Para simulação e análise dos efeitos de implantação de SbN no que diz respeito à redução dos impactos das chuvas, foi proposta a modelagem de 11 cenários distintos, sistematizados no Quadro 4. As SbN utilizadas nos cenários alternativos foram trincheiras de infiltração e valas vegetadas, que têm como função principal reduzir o escoamento superficial e melhorar a qualidade da água por meio de processos que interceptam, armazenam, detém e infiltram parte da água pluvial. Foram simulados cenários com diversidade de taxa de infiltração das trincheiras, incluindo taxa zero, para compreender a influência dessa propriedade no resultado final de redução do escoamento superficial, como será apresentado posteriormente. O cenário base serviu tanto para fins de comparação como também para entender a situação atual, o funcionamento da rede de drenagem, os pontos críticos do sistema em relação a alagamentos e enxurradas e os valores de vazão. O programa demonstra a interação da água pluvial com a bacia de drenagem urbana nos diferentes cenários modelados, isso contribui para a proposição de medidas mitigatórias mais eficazes e adaptadas à realidade da região.

Quadro 4 – Cenários simulados com a incorporação de SBN.

Cenário base	Cenário Base (CB)	Corresponde ao cenário base, considerando a conclusão da rede de drenagem, sem incorporação de nenhuma SBN.
Cenários com incorporação de trincheiras de infiltração	Cenário Trincheira 1 (CT1)	Considera o sistema de drenagem concluído, com a implantação de trincheiras, com a taxa de infiltração mínima segundo o RIMA, na principal avenida do trecho (avenida do ‘Trem Bão’) e lotes adjacentes, por ser um local bastante crítico em relação a enxurradas e alagamentos.
	Cenário Trincheira 1.1 (CT1.1)	Considera a mesma implantação do CT1, mas com trincheiras com a taxa de infiltração média segundo a variação trazida pelo RIMA.
	Cenário Trincheira 1.2 (CT1.2)	Considera a mesma implantação do CT1, mas com trincheiras com a taxa de infiltração máxima segundo a variação trazida pelo RIMA.
	Cenário Trincheira 1.3 (CT1.3)	Considera a mesma implantação do CT1, mas

		com trincheiras sem a propriedade de infiltração, servindo apenas de armazenamento e detenção da água pluvial.
	Cenário Trincheira 2 (CT2)	Considera o sistema de drenagem concluído, com a implantação de trincheiras, com taxa de infiltração mínima segundo o RIMA, em todas as ruas do trecho.
	Cenário Trincheira 2.1 (CT2.1)	Considera a mesma implantação do CT2, mas com trincheiras com a taxa de infiltração média segundo a variação trazida pelo RIMA.
	Cenário Trincheira 2.2 (CT2.2)	Considera a mesma implantação do CT2, mas com trincheiras com a taxa de infiltração máxima segundo a variação trazida pelo RIMA.
	Cenário Trincheira 2.3 (CT2.3)	Considera a mesma implantação do CT2, mas com trincheiras sem propriedade de infiltração, servindo apenas de armazenamento e detenção da água pluvial.

Cenários com incorporação de valas vegetadas	Cenário Vala 1 (CV1)	Considera o sistema de drenagem concluído, com a implantação de valas vegetadas na principal avenida do trecho (avenida do ‘Trem Bão’) e lotes adjacentes.
	Cenário Vala 2 (CV2)	Considera o sistema de drenagem concluído, com a implantação de valas vegetadas em todas as ruas do trecho.

O PCSWMM possui uma série de tipos de dispositivos SBN já predeterminados, mas, além disso, é possível representar outros tipos de estruturas modificando as configurações e propriedades das já existentes no programa. Dentro do *software*, os dispositivos SBN são representados por meio de uma combinação de camadas verticais, cujas propriedades são configuradas por unidade de área. A Figura 30 mostra um quadro, retirado do manual de uso do programa, com a combinação de camadas utilizada para cada tipo de controle SBN. As trincheiras de infiltração são representadas a partir de uma combinação das camadas de superfície, armazenamento e dreno profundo, sendo esta última opcional. Já as valas, por se tratarem de estruturas mais simples, são representadas apenas pela camada de superfície.

Figura 30 - Combinação de camadas para cada tipo de SBN no PCSWMM.

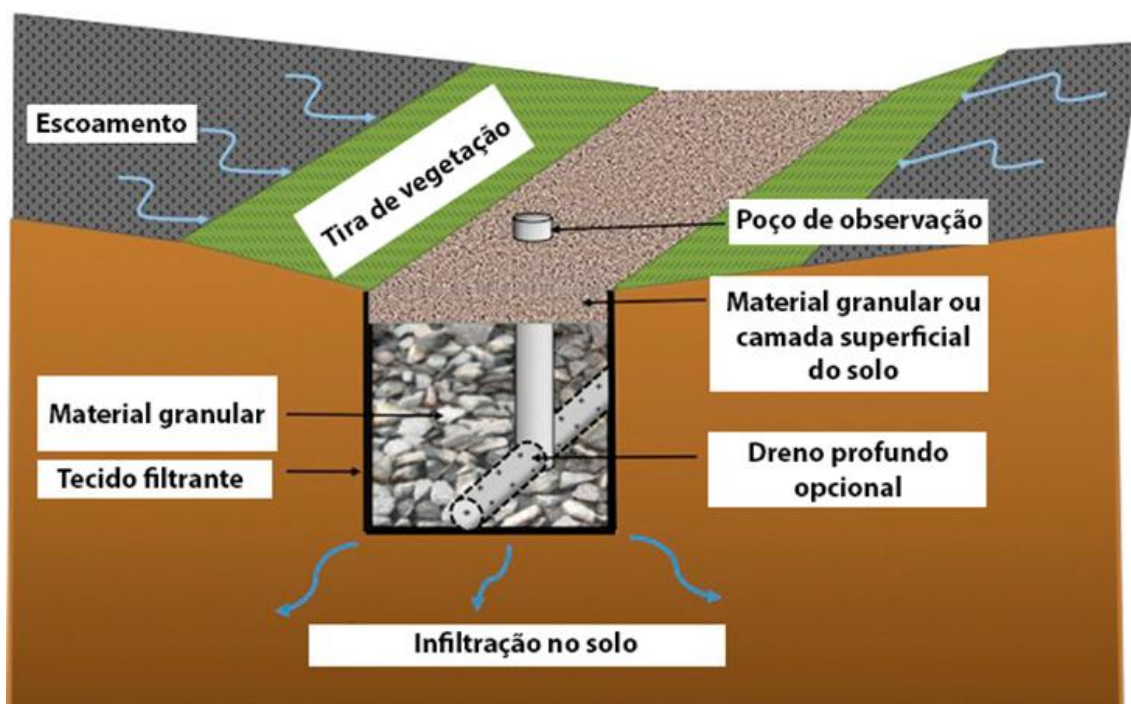
Controle LID	Superfície	Pavimento	Solo	Armazenamento	Dreno profundo
Bacia de filtração	x		x	x	o
Pavimento poroso	x	x		x	o
Trincheira de infiltração	x			x	o
Cisterna				x	x
Valas de infiltração	x				

Fonte: Manual do usuário PCSWMM. Modificado pela autora, 2024.

As trincheiras de infiltração estão entre as técnicas SbN mais difundidas e correspondem a valas escavadas no solo de maneira linear e preenchidas com material granular. Esses dispositivos agem no controle de vazão, retendo a água escoada da chuva e favorecendo a infiltração no solo ou o armazenamento temporário para posterior direcionamento ao sistema de drenagem (SWMM, 2012; Bezerra, 2018). Algumas vantagens de implantação dessas estruturas são a fácil integração ao ambiente urbano e a pequena demanda por espaço. Entre as desvantagens estão a diminuição de seu desempenho com o passar do tempo, causada pela obstrução dos espaços vazios da camada preenchida com material granular, processo conhecido como colmatagem e a dificuldade de monitoramento de sua eficiência em solo urbano, dado a heterogeneidade e incerteza das propriedades hidrodinâmicas deste (Baptista, 2005; Souza, 2002; Bezerra, 2018).

A Figura 31 ilustra os elementos que, comumente, compõem a trincheira de infiltração. Essas estruturas podem promover a infiltração ou apenas deter a água pluvial por um curto período de tempo, aumentando seu o tempo de concentração e diminuindo a sobrecarga do sistema de drenagem. Segundo Farias *et al.* (2011), o termo tempo de concentração se refere ao intervalo temporal, a partir do início da chuva, necessário para que toda a bacia hidrográfica contribua para o escoamento superficial.

Figura 31 - Elementos da trincheira de infiltração.



Fonte: FairFacts - Infiltration Practices. Modificado pela autora, 2024.

Para incorporar as SbN no programa é necessário primeiramente criar o dispositivo, neste caso as trincheiras de infiltração, e configurar suas camadas, de acordo com a Figura 30. A camada de ‘superfície’ das trincheiras possui as seguintes propriedades: ‘profundidade de armazenamento’, que foi mantida zero pois não foi considerado armazenamento de água na superfície das trincheiras; a ‘fração de cobertura vegetal’ também mantida zero, pois não foi considerado existência de vegetação sobre a trincheira; no ‘coeficiente de rugosidade da superfície’ foi mantido o valor de 0,1, de acordo com a recomendação do manual do ‘usuário e por fim, na propriedade de ‘declividade da superfície em porcentagem’, foi mantido o padrão do programa de 1%.

A camada de ‘armazenamento’ se refere às propriedades do estrato de cascalho das trincheiras, responsável por armazenar a água pluvial por um período até que infiltre no solo ou seja direcionada para o sistema de drenagem. As propriedades da camada são: ‘altura da camada de armazenamento’, que neste estudo foi considerada de 1000 mm, correspondendo à profundidade da estrutura; ‘relação entre espaços vazios e cheios da camada’, onde foi mantido o valor recomendado pelo manual de 0,75; a ‘taxa de infiltração’ foi uma propriedade que variou de acordo com o cenário. Foram considerados cenários com infiltração mínima, com o valor de 0,94 mm/h, média, com o valor de 71,21

mm/h, máxima, com o valor de 141,48 mm/h e sem a propriedade de infiltração, zerando o valor. Os valores foram definidos de acordo com a variação de taxa de infiltração em Latossolos com base no RIMA (Seduma, 2009).

Essas simulações com diferentes valores de infiltração foram realizadas para compreender o impacto da taxa de infiltração nos resultados finais de abatimento, isso devido a alguns fatores. Primeiramente, o Latossolo Vermelho-Amarelo, predominante na região, apesar de originalmente possuir altos níveis de permeabilidade, sofre alterações de estrutura no processo de urbanização e ocupação, fenômenos que ocorreram de maneira intensiva na área de estudo, o que reduz drasticamente essa propriedade (Reatto *et al.*, 2004). Em segundo lugar, a principal finalidade da implantação de trincheiras na área é de retenção da água pluvial e aumento do tempo de concentração e não necessariamente de infiltração, devido à condição de colapsividade do solo, citada anteriormente. Dadas essas condições, a simulação com taxas de infiltração variadas permitiu comparar e compreender quantitativamente se a propriedade de infiltração era fundamental ou se o uso das trincheiras apenas como dispositivos de retenção traria benefícios similares e satisfatórios.

A última propriedade da camada de armazenamento é o ‘fator de colmatação’, que se refere à perda da capacidade de acúmulo de água na camada ao longo dos anos e não foi considerada nesse estudo. A última camada considerada pelo programa para as trincheiras é o ‘dreno profundo’ e corresponde a um sistema opcional para esse tipo de estrutura, com a função de recolher a água armazenada e transportá-la para o sistema de drenagem. A camada foi considerada e foram mantidos os valores padrão do programa. Todas as configurações são mostradas no Quadro 5.

Quadro 5 - Configurações das camadas da trincheira de infiltração.

Camada de superfície	
Propriedade	Valor
Profundidade de armazenamento (mm)	0.0
Fração de cobertura vegetal	0.0
Coefficiente de rugosidade da superfície	0.1
Declividade de superfície (%)	1
Camada de armazenamento	

Propriedade	Valor
Altura da camada (mm)	1000
Relação entre cheios e vazios	0.75
Taxa de infiltração (mm/h)	0.94/71.21/141.48
Fator de colmatação	0
Dreno profundo	
Propriedade	Valor
Coeficiente de drenagem (mm/hr)	0.5
Expoente de drenagem	0.5
Altura de deslocamento do dreno (mm)	6

Após a criação e configuração da estrutura SbN no programa, deve-se atribuir esse dispositivo a cada sub-bacia onde se deseja instalar, configurando as propriedades de implantação. O Quadro 6 mostra as configurações de implantação adotadas para cada sub-bacia. Nos cenários CT1, CT1.1, CT1.2 e CT1.3, foram implantadas trincheiras apenas nas sub-bacias que correspondem à avenida do ‘Trem Bão’ e lotes adjacentes, já nos cenários CT2, CT2.1, CT2.2 e CT2.3 foram atribuídas trincheiras a todas as sub-bacias correspondentes às ruas do Trecho 3. As propriedades de implantação são: ‘área da trincheira’, que foi considerada 10m²; a ‘quantidade de unidades por sub-bacia’, que foi definida de modo a atingir aproximadamente 20% de ocupação da sub-bacia; a ‘largura da superfície por unidade’ foi configurada com 1 metro e o ‘percentual inicialmente saturado’ foi mantido zero, assumindo que a camada de armazenamento da trincheira esteja seca no momento de início da precipitação.

Quadro 6 - Configurações de implantação das trincheiras nas sub-bacias.

Propriedade	Valor
Área de cada unidade (m ²)	10
Quantidade de unidades por sub-bacia	De modo a atingir 20% de ocupação da sub-bacia
Largura da superfície por unidade (m)	1
Percentual inicialmente saturado (%)	0

As valas vegetadas também são soluções comumente adotadas e correspondem a canais ou depressões com laterais inclinadas, cobertas por vegetação, com função de armazenar e desacelerar o escoamento da água pluvial, podendo ter formato triangular, trapezoidal ou curva (Lourenço, 2014) (Figura 32). As valas são geralmente largas e pouco profundas, usualmente revestidas por grama, o que permite a infiltração gradual da água pluvial e/ou sua detenção por um período de tempo, aumentando também o tempo de concentração da água na bacia de drenagem. Algumas de suas vantagens são a boa integração ao meio urbano, proporcionando benefícios estéticos e de biodiversidade, além de possuir baixo custo de instalação e manutenção e serem capazes de remover poluentes da água pluvial (Almeida, 2020). Dentre as desvantagens estão a necessidade de manutenção periódica e a possibilidade de estagnação da água, causando implicações sanitárias como proliferação de vetores e doenças (Castro, 2002; Baptista *et al.*, 2005).

Figura 32 - Exemplo de vala vegetada



Fonte: Autor desconhecido.

Diferente das trincheiras de infiltração, as valas vegetadas possuem apenas uma camada de configuração no programa, que se refere à camada de ‘superfície’. As configurações adotadas para as valas são apresentadas no Quadro 7. A ‘profundidade de armazenamento da superfície’ se refere à profundidade total da vala e foi definida com 600 mm para o cenário CV1 e 400 mm para o cenário CV2. Por serem canais abertos, as valas possuem

profundidades menores que as trincheiras, por exemplo, por questões de segurança da população, especialmente de crianças. A ‘fração de cobertura vegetal’ não foi considerada, portanto, foi mantida zero. O ‘coeficiente de rugosidade de superfície’ definido, considerando que a vala será coberta por grama, foi de 0,2, com base no manual de uso do programa. No ‘percentual de inclinação da superfície’ foi mantido o valor padrão do programa, de 1. Na ‘declividade da parede lateral’ foi utilizado também o valor de 1, de forma que, no CV1 a largura de topo da vala atinge 1,2m (considerando a profundidade de 600 mm) e no CV2 atinge 80cm (considerando a profundidade de 400 mm), já que as ruas locais possuem dimensões menores. Observa-se que não existe a propriedade de infiltração para a configuração das valas, por esse motivo não houve a simulação de cenários com diferentes taxas de infiltração, como no caso das trincheiras.

Quadro 7 - Configurações da camada de superfície da vala vegetada.

Camada de superfície	
Propriedade	Valor
Profundidade de armazenamento (mm)	600 mm (CV1) / 400 mm (CV2)
Fração de cobertura vegetal	0.0
Coeficiente de rugosidade da superfície	0.2
Inclinação da superfície (%)	1
Declividade da parede lateral	1

Na etapa de atribuição das valas às sub-bacias, as propriedades foram definidas da seguinte forma: para a ‘área de cada unidade’ adotou-se o valor de 10 m²; a ‘quantidade de unidades por sub-bacia’ foi definida para atingir aproximadamente 10% de ocupação da sub-bacia; a ‘largura da superfície por unidade’ foi considerada de 1 metro e o ‘percentual inicialmente saturado’ foi mantido zero, assumindo que a vala esteja seca no início da chuva (Quadro 8). No cenário CV1 foram implantadas valas apenas nas sub-bacias que correspondem à avenida do ‘Trem Bão’ e lotes adjacentes, já no cenário CV2 foram atribuídas valas a todas as sub-bacias correspondentes às ruas do Trecho 3.

Quadro 8 - Configurações de implantação das valas nas sub-bacias.

Propriedade	Valor
Área de cada unidade (m ²)	10
Quantidade de unidades por sub-bacia	De modo a atingir 10% de ocupação da sub-bacia
Largura da superfície por unidade (m)	1
Percentual inicialmente saturado (%)	0

vi) Análise e discussão dos resultados do estudo de caso

Por fim, para o alcance do objetivo geral do trabalho, foram discutidos os resultados obtidos no estudo de caso. Assim, a partir da análise quali-quantitativa da experiência de aplicação da ferramenta dentro do contexto de elaboração de um plano comunitário de redução de riscos em uma área ambientalmente fragilizada, são apresentadas suas contribuições e limitações, traçando um paralelo com as etapas da gestão de riscos, descritas anteriormente.

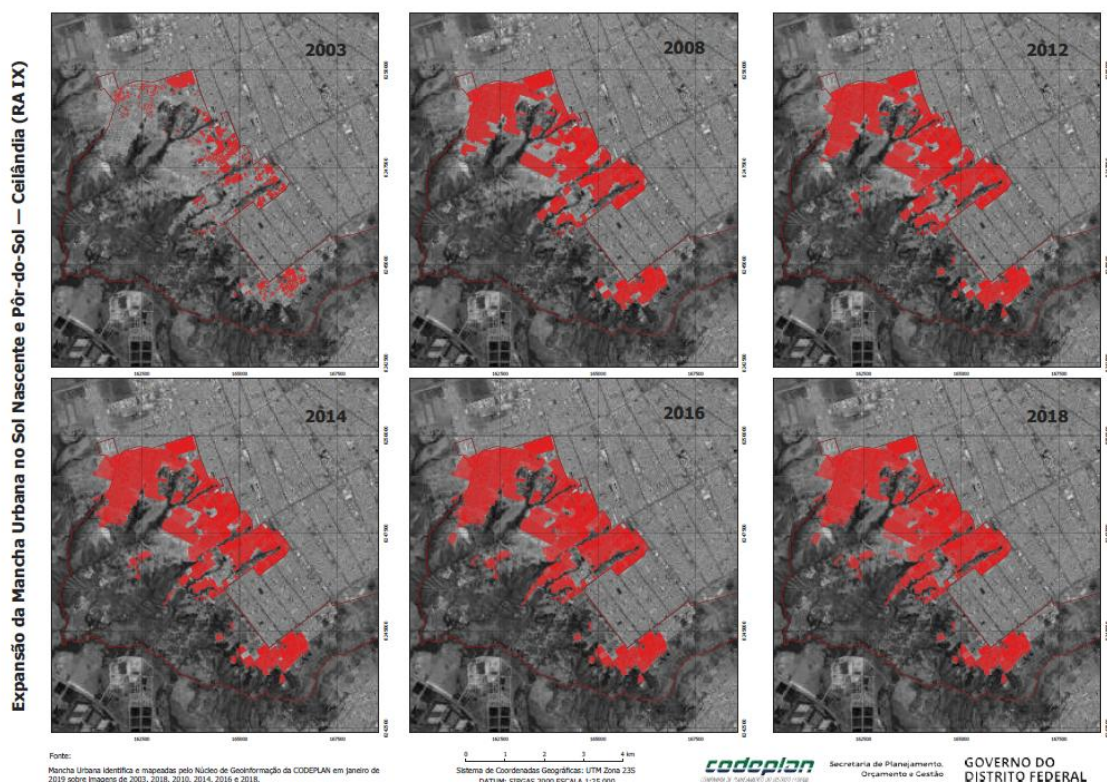
6 ÁREA DE ESTUDO

Este capítulo apresenta a área de estudo, iniciando com a caracterização do território a partir de dados socioeconômicos e físicos, em diálogo com a abordagem teórica adotada. Em seguida, é descrito de forma mais detalhada o processo de elaboração do Plano Comunitário de Gestão e Redução de Riscos do Sol Nascente, que constitui o estudo de caso e contexto empírico desta pesquisa.

6.1 Caracterização socioambiental

A atual área do Setor Habitacional Sol Nascente (SHSN) era, até a década de 1990, ocupada por pequenas chácaras e fazendas e correspondia à Zona Rural de Ceilândia, segundo o ordenamento territorial vigente na época. Em 1998, começaram a surgir os primeiros parcelamentos de solo na região, feitos de maneira irregular. Na década de 2000, o parcelamento e a ocupação da área se intensificaram e, em pouco tempo, um grande número de construções dominaram a paisagem dos platôs formados pelos vales dos córregos afluentes do Rio Melchior, na região conhecida como Bordas de Ceilândia. A região recebeu esse nome graças à abrupta quebra de relevo em direção ao Rio Melchior (Guimarães, 2019). A Figura 33 mostra o crescimento da mancha urbana da atual RA Sol Nascente/Pôr do Sol, região administrativa onde está inserido o SHSN, de 2003 a 2018. Na Figura é possível perceber o rápido avanço na ocupação da região, que teve seu auge entre os anos de 2003 a 2008.

Figura 33 - Evolução da mancha urbana da RA Sol Nascente/Pôr do Sol entre os anos 2003 e 2018



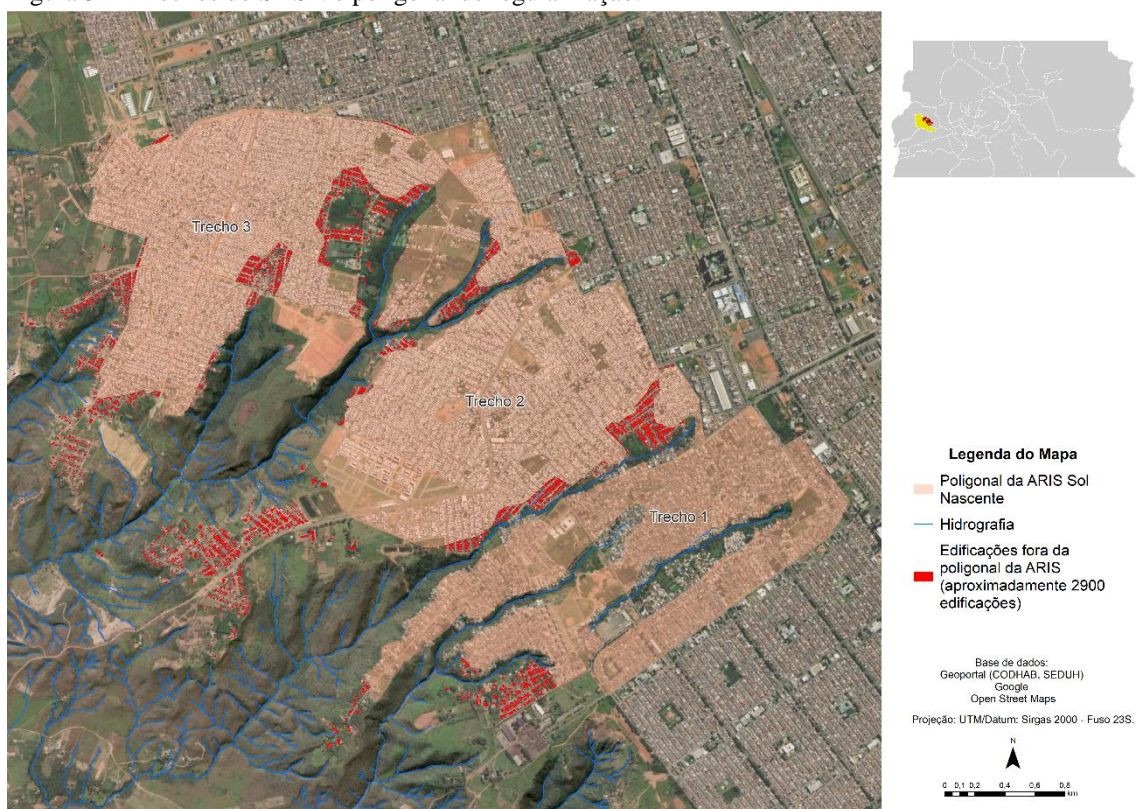
Fonte: Codeplan (atual IPEDF), 2019.

Em 2006, a pedido da Codhab para posterior elaboração do projeto urbanístico de regularização, a Secretaria de Obras do DF contratou uma empresa para elaborar um Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto do Meio Ambiente (EIA/RIMA) para as Bordas de Ceilândia. O principal objetivo do estudo foi de avaliar as ocupações irregulares nas bordas de Ceilândia. Em 2008 é criada Lei Complementar nº 785, reconhecendo o Sol Nascente como Setor Habitacional de Ceilândia e transformando-o em uma Área de Regularização de Interesse Social (ARIS). Em 2009, o Plano Diretor de Ordenamento Territorial - PDOT (Lei Complementar nº 803 de 25 de abril de 2009) estabeleceu os parâmetros urbanísticos de uso e ocupação do solo para a área.

Com base no EIA/RIMA e diretrizes urbanísticas do PDOT 2009, o projeto de regularização fundiária do setor incluiu o projeto urbanístico e o projeto de drenagem urbana, com licenciamento para instalação de esgotamento sanitário, drenagem pluvial, abastecimento de água, pavimentação e iluminação pública (Guimarães, 2019; Lima, 2018). Devido à grande extensão territorial, o projeto foi dividido em três etapas, correspondentes a três diferentes trechos do setor. A divisão dos trechos e a poligonal de

regularização são mostradas na Figura 34, com destaque para a grande área que encontra-se fora da poligonal atualmente, graças à rápida expansão da ocupação. Finalmente, em 2019, a Lei nº 6.359 separou oficialmente o SHSN da RA de Ceilândia, criando a RA XXXII Sol Nascente/Pôr do Sol. Em 2022, o Sol Nascente foi considerado pelo IBGE como a segunda maior favela do Brasil em questão populacional, superado apenas pela Rocinha (RJ). Este trabalho tem como foco o Trecho 3 do SHSN, que possui maior densidade populacional e um grande número de fragilidades e riscos socioambientais, como será apresentado posteriormente. O trecho está inserido atualmente na Zona Urbana de Expansão e Qualificação, segundo o PDOT 2009.

Figura 34 - Trechos do SHSN e poligonal de regularização.



6.1.1 Dados socioeconômicos

Os dados apresentados nesse item se referem, em sua maioria, à toda a RA onde o Sol Nascente está inserido, incluindo o setor Pôr do Sol, já que as pesquisas demográficas realizadas no DF são feitas geralmente por RA, sem separação de setores. Segundo o relatório da Evolução do Índice de Vulnerabilidade Social do Distrito Federal (IVS-DF) feito com base nos dados das PDAD de 2018 e 2021, nesses dois anos a RA Sol Nascente/Pôr do Sol esteve entre as três RAs de maior vulnerabilidade social do DF. O IVS-DF avaliou as RAs a partir de três dimensões: Dimensão Infraestrutura e Ambiência Urbana (D1), que inclui os indicadores acesso a saneamento básico, tempo de deslocamento entre moradia e trabalho, condição viária, condição da calçada e ambiência urbana; Dimensão Capital Humano (D2), que inclui indicadores como crianças fora da escola, adolescentes que tiveram filho, taxa de analfabetismo e outros; Dimensão Renda e Trabalho (D3), que inclui indicadores como renda, população desocupada, pessoas autônomas e outros. Em 2021, a RA Sol Nascente/Pôr do Sol foi a quarta com o pior índice na D1, a segunda com pior índice no D2 e primeira com pior índice na D3.

Esses resultados revelam a profundidade do quadro de vulnerabilidade social na região. A fim de fazer uma caracterização socioeconômica do Sol Nascente, foram consultadas as duas PDAD mais recentes, de 2021 e 2024. A população estimada da RA Sol Nascente/Pôr do Sol é de 108.713 pessoas, de acordo com dados da PDAD 2024 (IPEDF Codeplan, 2024), isso significa um aumento de pouco mais de 14% em relação a 2021. A pesquisa de 2024 mostra que, da mesma forma que em 2021, a população é em sua maioria feminina (50,8%), jovem (29,5 anos de idade média) e parda (56,3%). Ainda segundo a PDAD 2024, a taxa de migração na RA é de 37,1%, em sua maioria vindos do Nordeste a procura de oportunidades de trabalho. Já a taxa de analfabetismo é de 9,1%, maior que a de 2021, que foi de 4,5%. Nos relatórios da PDAD 2024 consultados para esse estudo não constavam informações de renda. Já a PDAD 2021 mostrou que a renda domiciliar média estimada foi de R\$ 2.188,30, o que corresponde a uma renda per capita domiciliar de R\$915,50, valor quase doze vezes menor que a do Lago Sul, RA com maior renda per capita do DF (IPEDF Codeplan, 2021) (Figura 35).

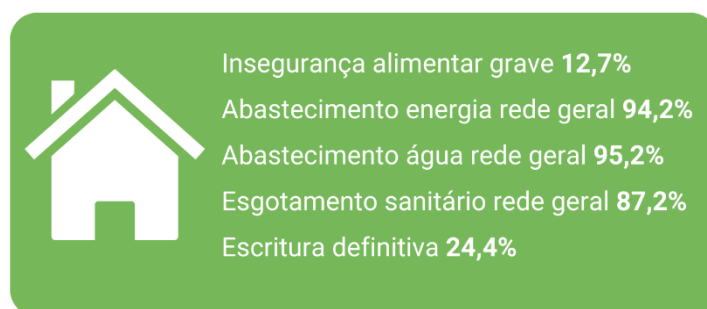
Figura 35 - Caracterização da população da RA Sol Nascente/Pôr do Sol.



Fonte: IPEDF Codeplan, 2021; 2024.

Em relação às características domiciliares, a PDAD 2024 levantou um número estimado de 37.505 domicílios ocupados na RA, com uma média de 2,9 moradores por unidade. Em 2021 esses números eram de 29.114 domicílios com uma média de 3,2 moradores em cada. Em 2024, o arranjo familiar mais observado foi o monoparental feminino, registrado em 17,5% dos domicílios, enquanto em 2021 esse valor era de apenas 10,8%. Além disso, em 2024 apenas 24,4% afirmaram possuir escritura definitiva do domicílio registrada em cartório. Quanto aos serviços de abastecimento, em 2024, 95,2% dos domicílios possuíam acesso à rede geral da Companhia de Saneamento Ambiental do DF (CAESB), 87,2% possuíam esgotamento sanitário com ligação à rede da CAESB e 94,2% eram abastecidos pela rede geral de energia elétrica da Neoenergia. Desses valores, a parcela de domicílios com esgotamento sanitário chama atenção, já que em 2021 o valor era de apenas 71,6%. Por fim, segundo a PDAD 2021, 12,7% dos domicílios possuíam insegurança alimentar grave, dado não encontrado na PDAD 2024 (Figura 36).

Figura 36 - Caracterização da infraestrutura domiciliar da RA Sol Nascente/Pôr do Sol.

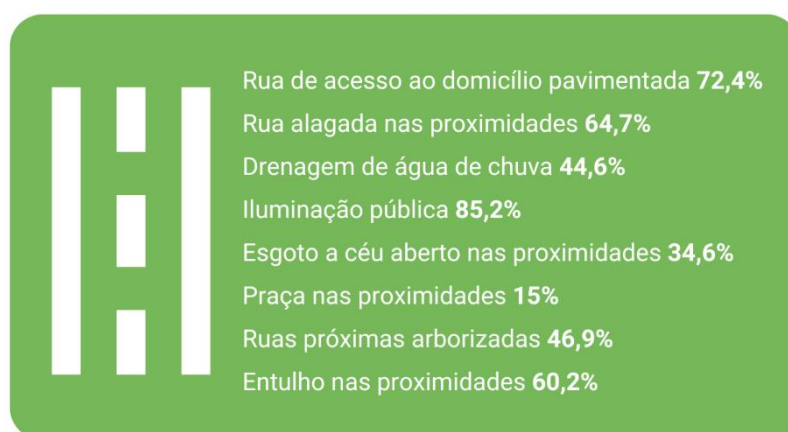


Fonte: IPEDF Codeplan, 2021; 2024.

De maneira geral, a RA, principalmente fora da poligonal de regularização, apresenta rede de esgoto e de drenagem incompleta, ruas sem pavimentação, presença de lixo nas ruas e carência de equipamentos públicos. Em relação à infraestrutura urbana nas proximidades dos domicílios, a PDAD 2024 revelou que 72,4% das unidades domiciliares possuem a rua de acesso principal pavimentada (em 2021 esse valor era de 56,4%), 55,9% possuem calçadas (em 2021 esse valor era de 48,2%) e 85,2% relataram existência de iluminação pública na rua principal de acesso ao domicílio (em 2021 esse valor era maior, de 93,4%). Apenas 44,6% dos entrevistados responderam que havia elementos de drenagem de água da chuva nas proximidades do domicílio, como bocas de lobo, e 64,7% relataram alagamento de ruas em ocasiões de chuva. Em 2021 esses valores eram de 38,1% e 44,5% respectivamente, acredita-se que este último valor tenha sofrido aumento graças à mudança no regime de chuvas intensificada nos últimos anos, alertando para a necessidade de elaboração de soluções para tal problema.

Ademais, 34,6% relataram a existência de esgoto a céu aberto e 60,2% afirmaram existir entulho nas proximidades de casa em 2024. Além disso, em 2024, menos da metade dos domicílios possuía ruas arborizadas nas proximidades e apenas 15% afirmou existir parques e praças próximas de casa (Figura 37). É importante lembrar que esses dados não representam fielmente a realidade da região, já que os domicílios fora da poligonal de regularização não são incluídos na pesquisa, o que modificaria especialmente os valores relacionados a infraestrutura domiciliar e urbana de entorno, já que são as áreas mais precárias do setor. Ainda assim, os dados apresentados evidenciam a vulnerabilidade socioeconômica da área.

Figura 37 - Caracterização da infraestrutura urbana da RA Sol Nascente/Pôr do Sol.



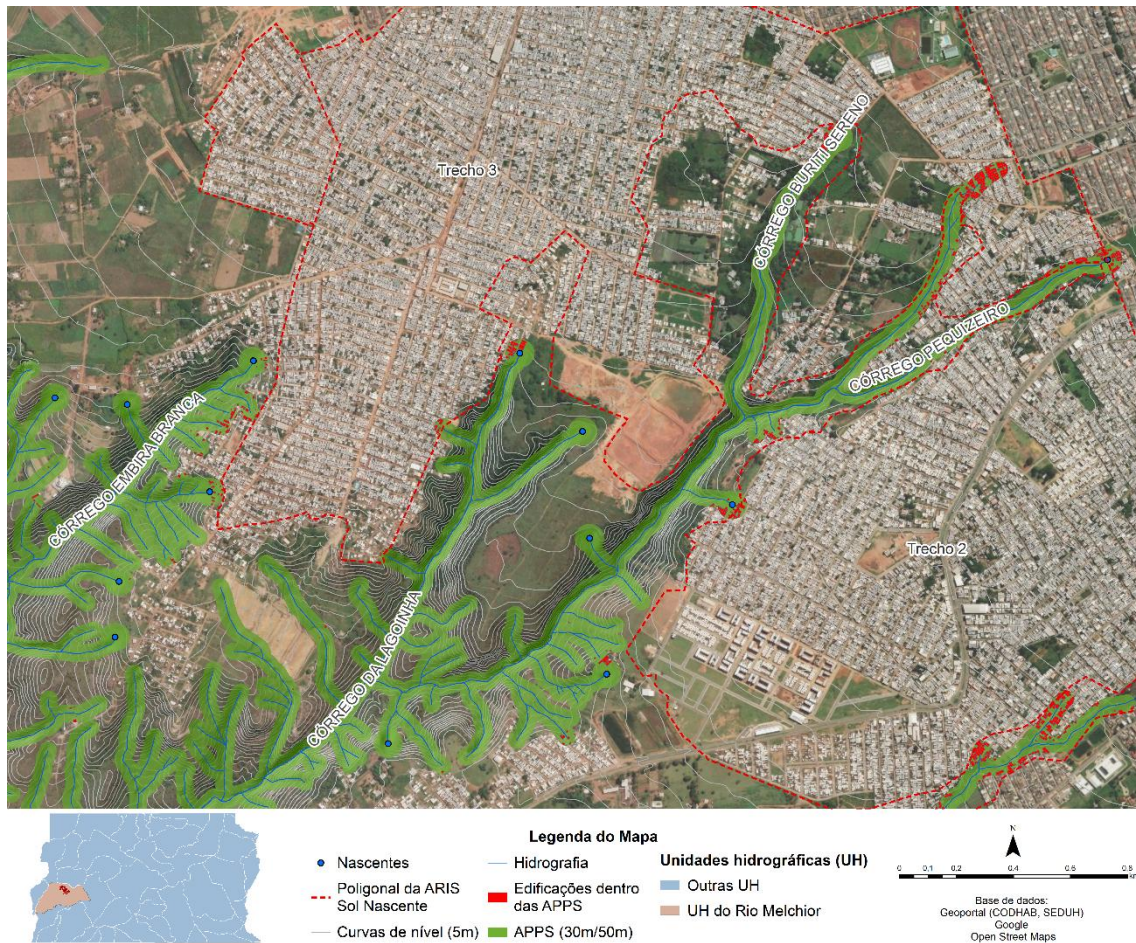
Fonte: IPEDF Codeplan, 2021; 2024.

6.1.2 Fragilidade ambiental e situações de risco

A área de estudo está inserida dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto, na Unidade Hidrográfica ou Microbacia do Rio Melchior. Segundo a Seduma (2009), a área, por estar localizada em uma região de encostas do rio Melchior, possui risco de desmoronamento de terras, além de alagamentos, graças ao escoamento natural das águas pluviais vindas de Ceilândia, região mais alta. O Trecho 3 do SHSN foi se desenvolvendo entre os córregos Lagoinha, Buriti Sereno, Embira Branca e Pequizeiro, com ocorrência de ocupação e antropização das APPs de nascentes e cursos d'água, como mostra a Figura 38. O Código Florestal (Lei 12.651/2012) define uma faixa marginal de preservação de pelo menos 30 metros para qualquer curso d'água natural, seja perene ou intermitente, e áreas de entorno de preservação de nascentes de no mínimo 50 metros.

A ocupação dessas áreas gera um duplo risco, tornando os ocupantes ao mesmo tempo causadores e vítimas, já que é prejudicial ao meio ambiente como um todo, mas seus efeitos negativos afetam principalmente os próprios ocupantes, como explica Maricato (1997). O EIA/RIMA sugere a remoção das ocupações em APPs, porém a atual poligonal de regularização inclui algumas dessas ocupações, como pode ser visto na Figura 38, já que em alguns casos é possível manter a população ocupante dessas áreas, principalmente levando em consideração os motivos que levaram essa população a ocupá-las, já discutidos anteriormente.

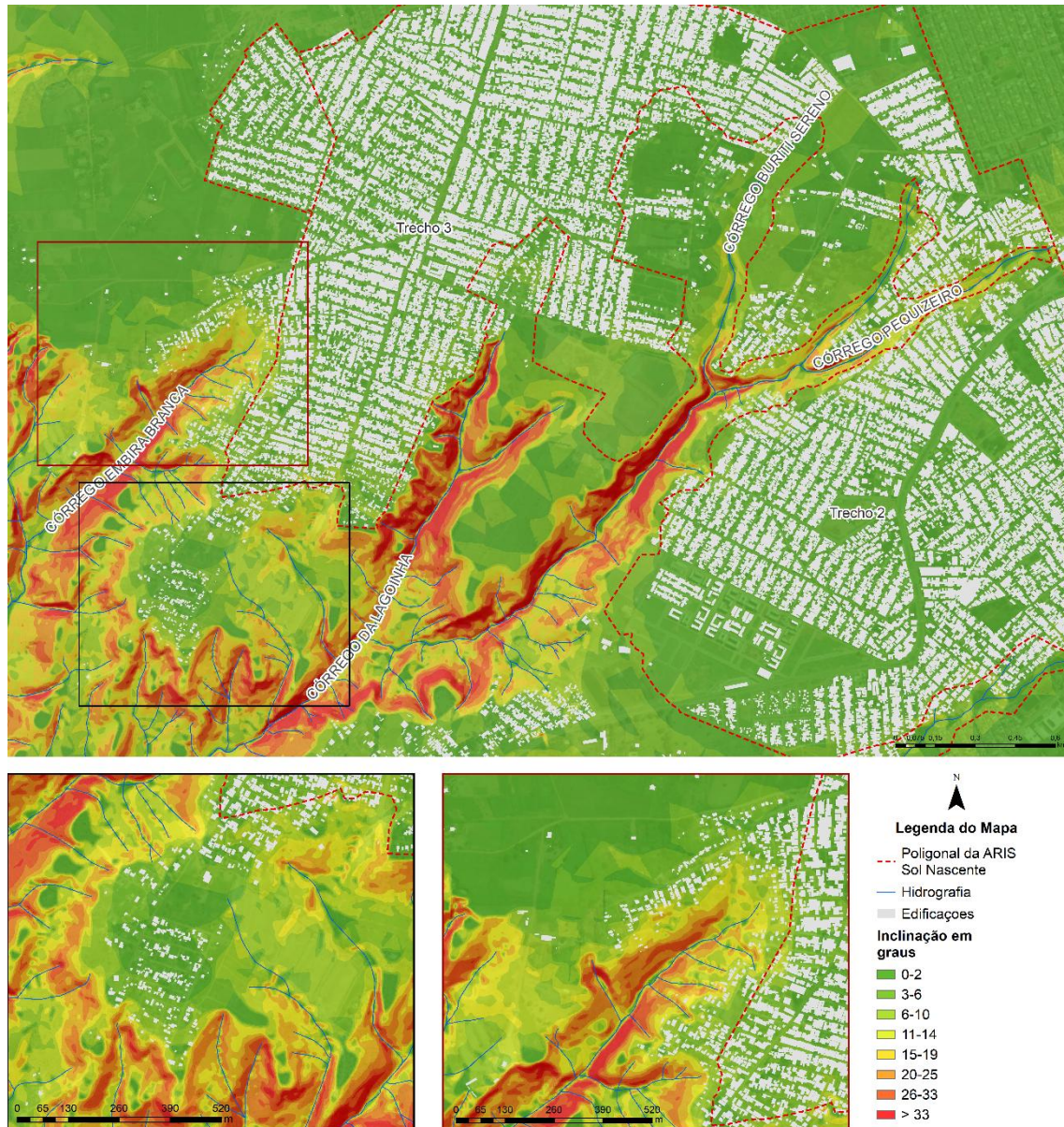
Figura 38 - Ocupações em APPs de nascente e cursos d'água no Trecho 3 do SHSN.



Outra característica física importante na análise de situações de risco é a inclinação do terreno. O Código Florestal restringe a ocupação de encostas com inclinação superior a 25°. A Figura 39 demonstra a inclinação da área em graus, variando entre 0° a maior que 33°. De maneira geral, percebe-se que a declividade é o principal fator limitante da expansão urbana da área e o desenho de ocupação do Trecho é delimitado, especialmente na porção mais a sul, pela ruptura de relevo. À medida em que o relevo se acentua é percebido o aumento na presença de vegetação, matas ciliares, fluxo hídrico e presença de fauna, características escassas na área edificada, já que a vegetação do local foi quase totalmente suprimida pela ocupação. Grande parte da ocupação se estende em área plana, com variação de 0° a 10° de inclinação, porém, existem edificações em locais com maiores variações. Esse tipo de ocupação gera situações de risco graças à instabilidade do solo, além de que quanto maior a declividade, maior é a velocidade atingida pelo escoamento superficial, gerando enxurradas e aumento de chance de ocorrência de processos erosivos (Lima, 2018). Outro agravante da situação de risco é que as edificações mais próximas a

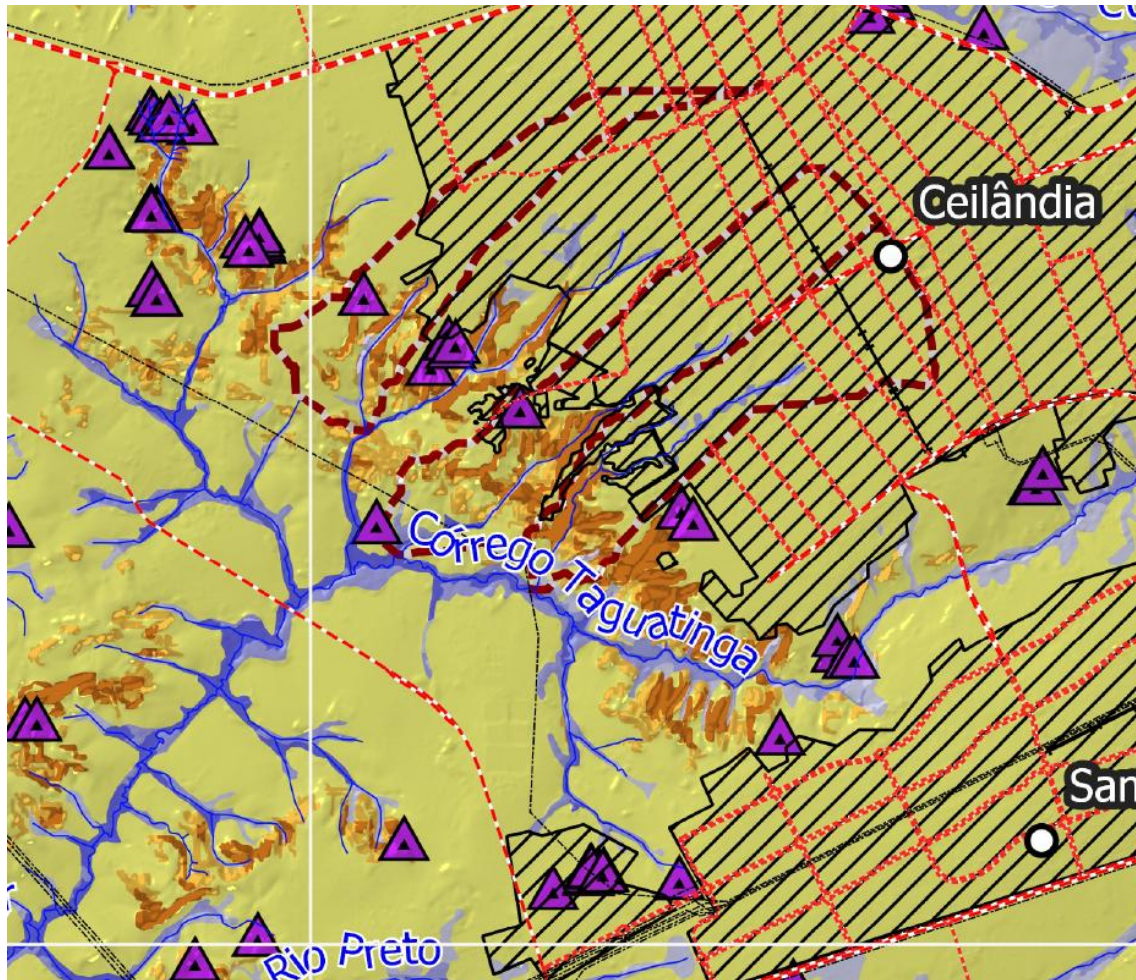
essas áreas de maior inclinação estão fora da poligonal de regularização e não possuem infraestrutura urbana básica para mitigação do problema, como rede de drenagem urbana por exemplo.

Figura 39 - Inclinação do terreno no Trecho 3 do SHSN.



As Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade (CGS) e de Aptidão à Urbanização (CGAU) do DF reforçam essa análise trazida nos parágrafos anteriores sobre os riscos existentes no Sol Nascente. Percebe-se que, nesses documentos, a declividade é o principal fator para a classificação de áreas como de alta suscetibilidade a fenômenos geológicos e hidrológicos e inaptas à urbanização. A CGS (SGB, 2023) aponta para a presença relevante de “ravina/boçoroca indicativas de suscetibilidade decorrentes de processos erosivos que podem induzir corridas de massa” na região, inclusive em áreas de considerável densidade de ocupação. Além disso, observa-se toda a área de relevo mais acentuado classificado como de média a alta suscetibilidade a movimentos gravitacionais, além da existência de “bacia de drenagem com alta suscetibilidade à geração de enxurrada, induzindo solapamento de talude marginal” (Figura 40).

Figura 40 - CGS-DF aproximada para a região do Sol Nascente.



Feições associadas a movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos

Feições erosivas

▲ Ravina/boçoroca indicativa de suscetibilidade local/pontual decorrente de processos erosivos, que podem induzir movimentos gravitacionais de massa

Paredão rochoso

▨ Paredão rochoso suscetível a quedas ou deslocamentos

Convenções Cartográficas

- Cidade sede
- Localidades
- Área edificada
- Linha de transmissão
- Rodovia principal
- Rodovia secundária
- Ferrovia
- Curso d'água

Corridas de massa e enxurradas



Enxurrada

▨ Bacia de drenagem com alta suscetibilidade à geração de enxurrada, que pode atingir trechos planos e distantes situados a jusante, induzindo, ainda, solapamento de talude marginal (Incidência: 156,85 Km², que corresponde a 2,7% da área do município; e 18,80 Km², que corresponde a 2,6% da área urbanizada/edificada do município).

Fonte: SGB, 2023.

A Figura 41 descreve as características predominantes consideradas na classificação quanto ao nível de suscetibilidade a movimentos gravitacionais.

Figura 41 - Classificação do SGB quanto à suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa.

QUADRO-LEGENDA A - SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA				
Classe	Foto ilustrativa	Características predominantes	Área urbanizada / edificada	
			(km ²)	(%) **
Alta		<ul style="list-style-type: none"> • Relevo: rebordos erosivos, escarpas da borda do planalto, morros altos e morros baixos; • Forma das encostas: côncavas e retilíneas; • Amplitudes: 50 a 250 m; • Declividades: 5 a 35°, paredões sub-verticais; • Litologia: quartzitos finos a médio, clorita-sericita xistos, metadolomitos e metacalcários, metassiltitos, metargilitos, filitos, calcixistos e formações lateríticas; • Densidade de lineamentos/estruturas: média/alta; • Solos: moderadamente evoluídos e pouco profundos; • Processos: deslizamento, queda e rolamento de blocos. 	1,23	0,17
Média		<ul style="list-style-type: none"> • Relevo: rebordos erosivos, escarpas da borda do planalto, morros altos e morros baixos; • Forma das encostas: côncavas e retilíneas; • Amplitudes: 50 a 250 m; • Declividades: 5 a 35°, paredões sub-verticais; • Litologia: quartzitos finos a médio, clorita-sericita xistos, metadolomitos e metacalcários, metassiltitos, metargilitos, filitos, calcixistos e formações lateríticas; • Densidade de lineamentos/estruturas: média/alta; • Solos: moderadamente evoluídos e pouco profundos; • Processos: deslizamento, queda e rolamento de blocos. 	4,53	0,62
Baixa		<ul style="list-style-type: none"> • Relevo: planícies fluviais, rampas de alúvio colúvio, planaltos, superfícies aplainadas degradadas; • Forma das encostas: convexas suavizadas e topos amplos; • Amplitudes: < 50 m; • Declividades: < 5°; • Litologia: formações lateríticas, quartzitos finos a médio, quartzitos micáceos, quartzo-sericita-clorita xistos, siltitos e argilitos; • Densidade de lineamentos/estruturas: baixa; • Solos: aluviais; evoluídos e profundos nas planícies e rampaz; • Processos: rastejo, ravinamento, voçoroca e erosão laminar. 	720,13	99,21

(*) Porcentagem em relação à área do município. (**) Porcentagem em relação à área urbanizada/edificada do município.

Fonte: SGB, 2023.

A carta mostra ainda a classificação quanto à suscetibilidade a inundações, que no trecho 3 aparece em nível médio e baixo, nas áreas próximas aos córregos. A classificação é descrita na Figura 42.

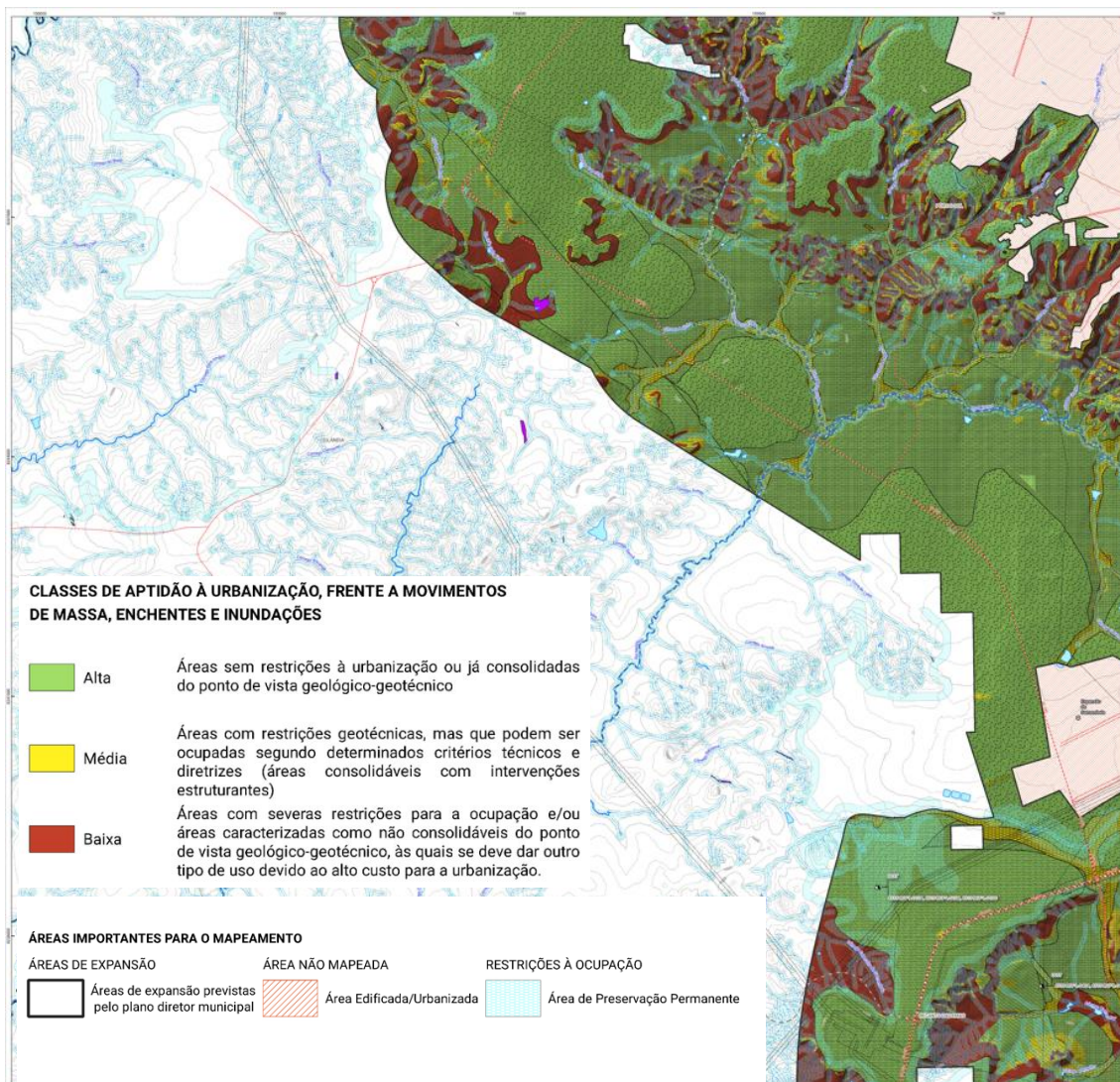
Figura 42 - Classificação do SGB quanto à suscetibilidade a inundações.

QUADRO-LEGENDA B - SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES				
Classe	Foto ilustrativa	Características predominantes	Área urbanizada/edificada	
			(km ²)	(%) **
Alta		<ul style="list-style-type: none"> • Relevo: planícies aluviais atuais com amplitudes e declividades muito baixas (<2°); • Solos: hidromórficos, em terrenos situados ao longo de curso d'água, mal drenados e com nível d'água subterrâneo aflorante a raso; • Altura de inundação: acima de 2 metros em relação à borda da calha do leito regular do curso d'água; • Processos: inundação, enchente, solapamento de margem e assoreamento. 	6,98	0,96
Média		<ul style="list-style-type: none"> • Relevo: planícies aluviais atuais, terraços fluviais baixos e/ou flancos de encostas, com amplitudes e declividades baixas (<5°); • Solos: hidromórficos e não hidromórficos, em terrenos argilo-arenosos e com nível d'água subterrâneo raso a pouco profundo; • Altura de inundação: acima de 2 e 5 metros em relação à borda da calha do leito regular do curso d'água; • Processos: inundação, enchente, solapamento de margem e assoreamento. 	20,08	2,77
Baixa		<ul style="list-style-type: none"> • Relevo: terraços fluviais baixos e/ou flancos de encostas, rampas de alúvio-colúvio, com amplitudes e declividades baixas (<5°); • Solos: hidromórficos e não hidromórficos, em terrenos argilo-arenosos e com nível d'água subterrâneo pouco profundo; • Altura de inundação: a partir de 5 metros em relação à borda da calha do leito regular do curso d'água; • Processos: inundação, enchente, solapamento de margem e assoreamento. 	13,98	1,93

Fonte: SGB, 2023.

A CGAU (SGB, 2022) fez análises geológicas, geomorfológicas e do solo nas áreas de expansão urbana do DF, previstas no plano diretor, para identificar a capacidade dos terrenos de suportar novos parcelamentos, evitando o surgimento de novas situações de risco. A Figura 43 mostra a aproximação da CGAU do DF para a região do Sol Nascente. É possível perceber que a área edificada, representada com hachura vermelha no mapa, avança e chega aos limites da área classificada como de baixa aptidão, representada em vermelho. Essas áreas de baixa aptidão correspondem à região de relevo acidentado das bordas de chapada, local para onde a ocupação está avançando e que, apesar de ser uma área de risco elevado, é bastante visada pelo mercado imobiliário informal, que visa o loteamento e a venda dos terrenos por valores baixos para a população de menor poder aquisitivo.

Figura 43 - CGAU-DF aproximada para a região do Sol Nascente.

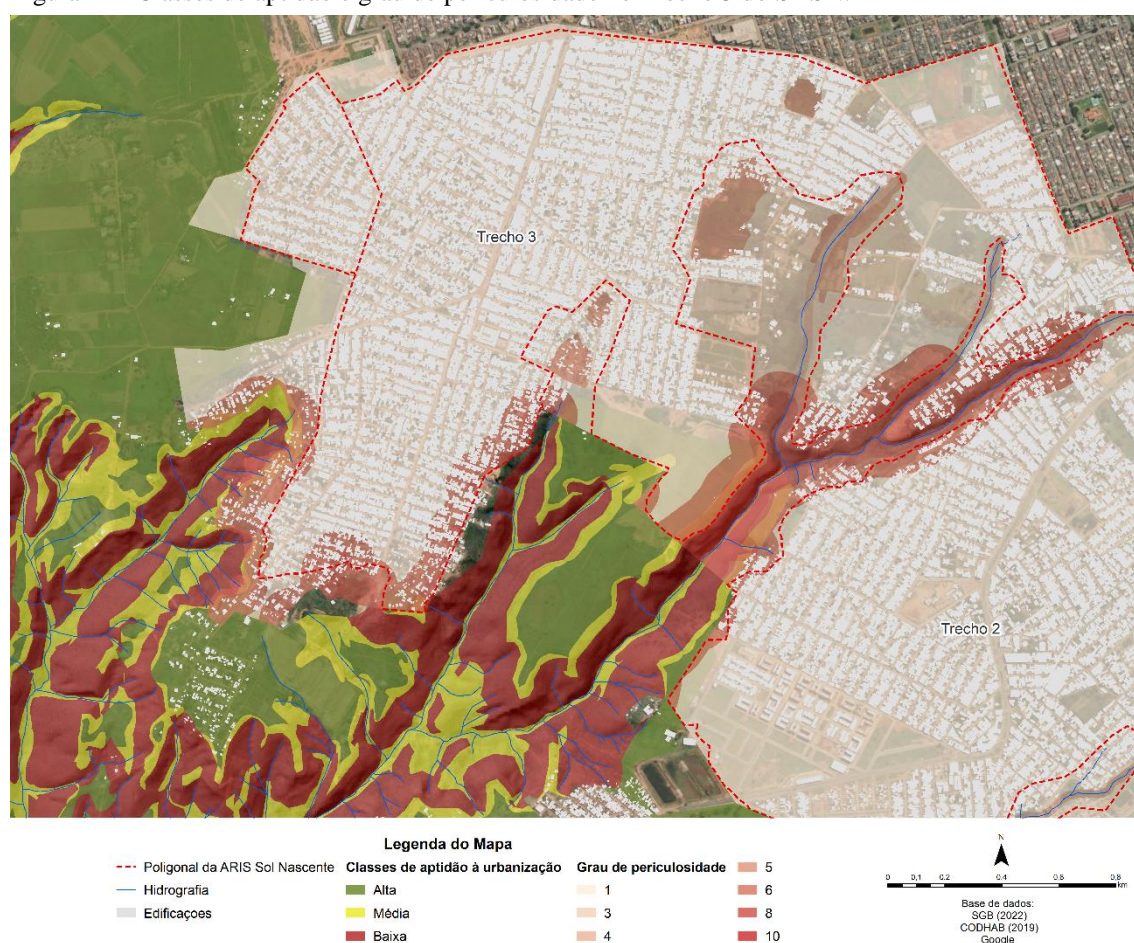


Fonte: SGB, 2022.

Notou-se ainda na CGAU que a área considerada edificada é menor do que a área edificada real do Trecho 3, ou seja, a área edificada real encontra-se ainda mais próxima às regiões de baixa aptidão à urbanização, demonstrado na Figura 44. Áreas mais a sul e a oeste da área edificada considerada na CGAU e que são classificadas de alta aptidão, atualmente já estão ocupadas. Além disso, a Figura 44 traz uma camada de periculosidade desenvolvida pela Codhab em 2019 a partir de estudos topográficos, geotécnicos, bióticos, químicos e físicos, que classifica a região em 10 níveis de periculosidade. O dado da Codhab limita-se à área de regularização, mas, ao ser complementado com o dado de classes de aptidão da CGAU, percebe-se a grande quantidade de edificações em áreas com situações de risco no Trecho 3 como um todo, fora e dentro da poligonal de regularização. Sabe-se que em alguns casos críticos é preciso fazer o reassentamento das

famílias em situação de risco, porém, os estudos do Plano Comunitário, incluindo a modelagem hidrológica, foram desenvolvidos com o objetivo de mitigar as situações de risco e aumentar a segurança da população, para que essa possa conviver com o risco, evitando o reassentamento. Como já comentado anteriormente, a realocação de famílias pode, por vezes, as expor a outras situações de risco de caráter social ou endereça-las em outros locais de fragilidade ambiental.

Figura 44 - Classes de aptidão e grau de periculosidade no Trecho 3 do SHSN.

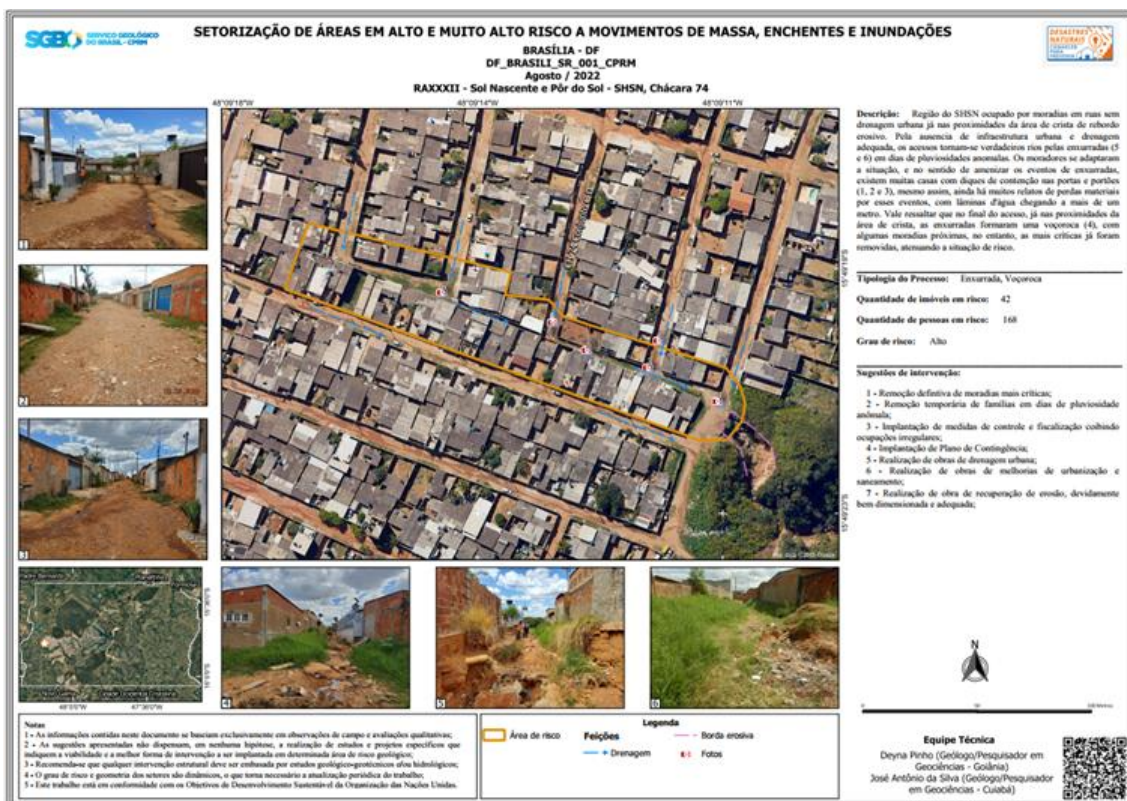


O último produto das cartas geotécnicas de risco se refere à Carta de Risco (SGB, 2022). As cartas de risco elaboradas para o DF foram resultantes do estudo feito pelo SGB em 2022, intitulado Setorização de Áreas de Risco Geológico no Distrito Federal¹². Diferente das cartas anteriores que possuíam caráter mais preventivo, a Carta de Risco trata sobre

¹² O SGB produziu mais de 800 setorizações de risco usando metodologia própria detalhada na publicação “Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial: setorização de áreas de risco geológico”. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/22262>

riscos já instalados em locais com ocupação humana permanente. Na RA Sol Nascente/Pôr do Sol foram identificados dois locais com alto risco geológico, para os quais foram produzidas as Cartas de Risco, sendo um localizado no Trecho 3 do Sol Nascente. Demais pontos foram identificados como de médio e baixo risco, estes são considerados pontos de monitoramento pelo SGB e não possuem Cartas de Risco. O local com alto risco geológico identificado no Trecho 3 sofre com fenômenos de tipologia enxurrada e voçoroca. A Carta de Risco, mostrada na Figura 45, traz a localização, imagens do local, descrição da situação de risco e sugestões de intervenção, dentre elas a remoção definitiva de moradias mais críticas, realização de obras de drenagem e saneamento e elaboração de Plano de Contingência.

Figura 45 - Carta de Risco Trecho 3 do SHSN.



Fonte: SGB, 2022.

No documento são destacadas algumas casas que estão em situação de maior risco por estarem localizadas em um trecho atingido por fortes enxurradas em dias de chuva intensa. Além disso, estas casas estão próximas à área de crista de rebordo erosivo e de formação de voçoroca. Segundo o SGB, as moradias em situação mais crítica já foram removidas do local. A Figura 46 mostra imagens do rebordo erosivo ao qual o documento

se refere, as imagens foram feitas com o uso de drone por equipe da UnB e demonstram a proximidade das casas existentes atualmente à área de erosão, que vem aumentando devido a ação de enxurradas.

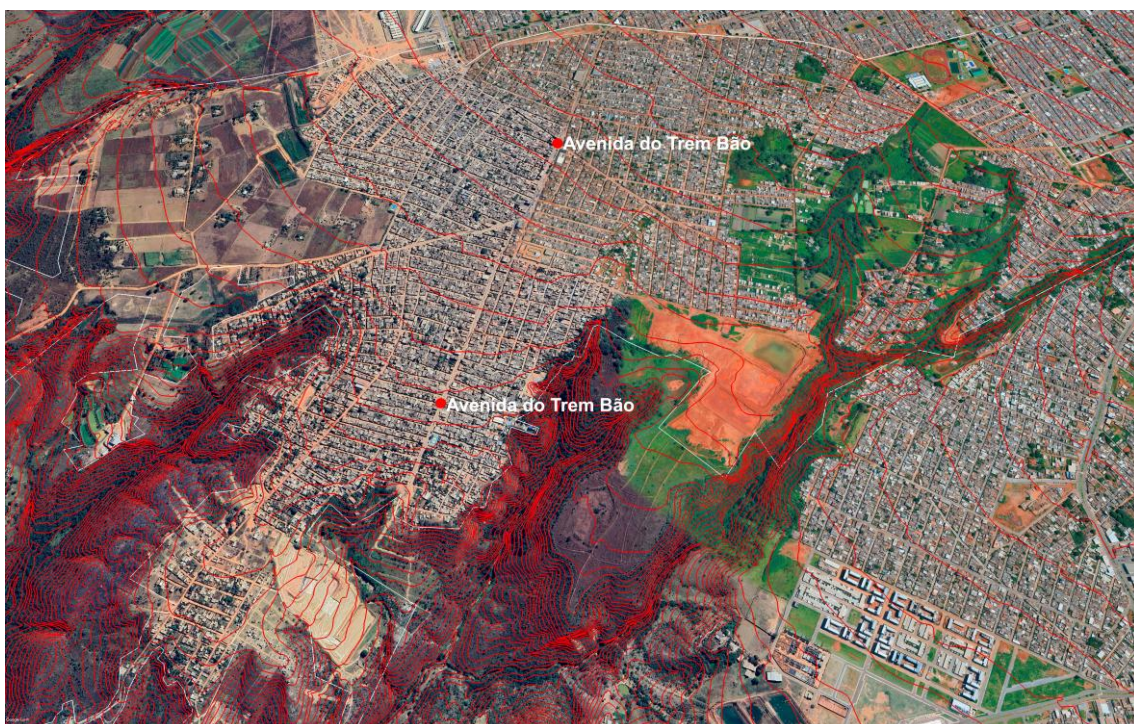
Figura 46 - Rebordo erosivo no Trecho 3 do SHSN.



Fonte: LABRAC, 2025.

Vale ressaltar que o próprio desenho urbano do Trecho 3 favorece a ocorrência de enxurradas e erosões, já que grande parte das vias cortam as curvas de nível em sentido perpendicular, como evidenciado na Figura 47. Esse desenho das vias contribui para que o escoamento superficial acelere à medida que se direciona à jusante, gerando enxurradas que resultam na retirada das camadas superficiais do solo em alguns pontos graças à força da água, ampliando as chances de ocorrência de processos erosivos. Destaca-se na imagem a avenida do ‘Trem Bão’ que, devido ao seu desenho que corta todo o Trecho 3 no sentido norte-sul e perpendicular às curvas de nível, caracteriza-se como o local de maior transtorno na área durante as chuvas, porque funciona como um canal de escoamento.

Figura 47 - Curvas de nível da área de estudo.



O Quadro 9 mostra a descrição das classes consideradas pelo SGB na setorização de áreas de risco. O local mostrado na Carta de Risco foi considerado como de risco alto ou muito alto (R3 ou R4) de acordo com essa classificação.

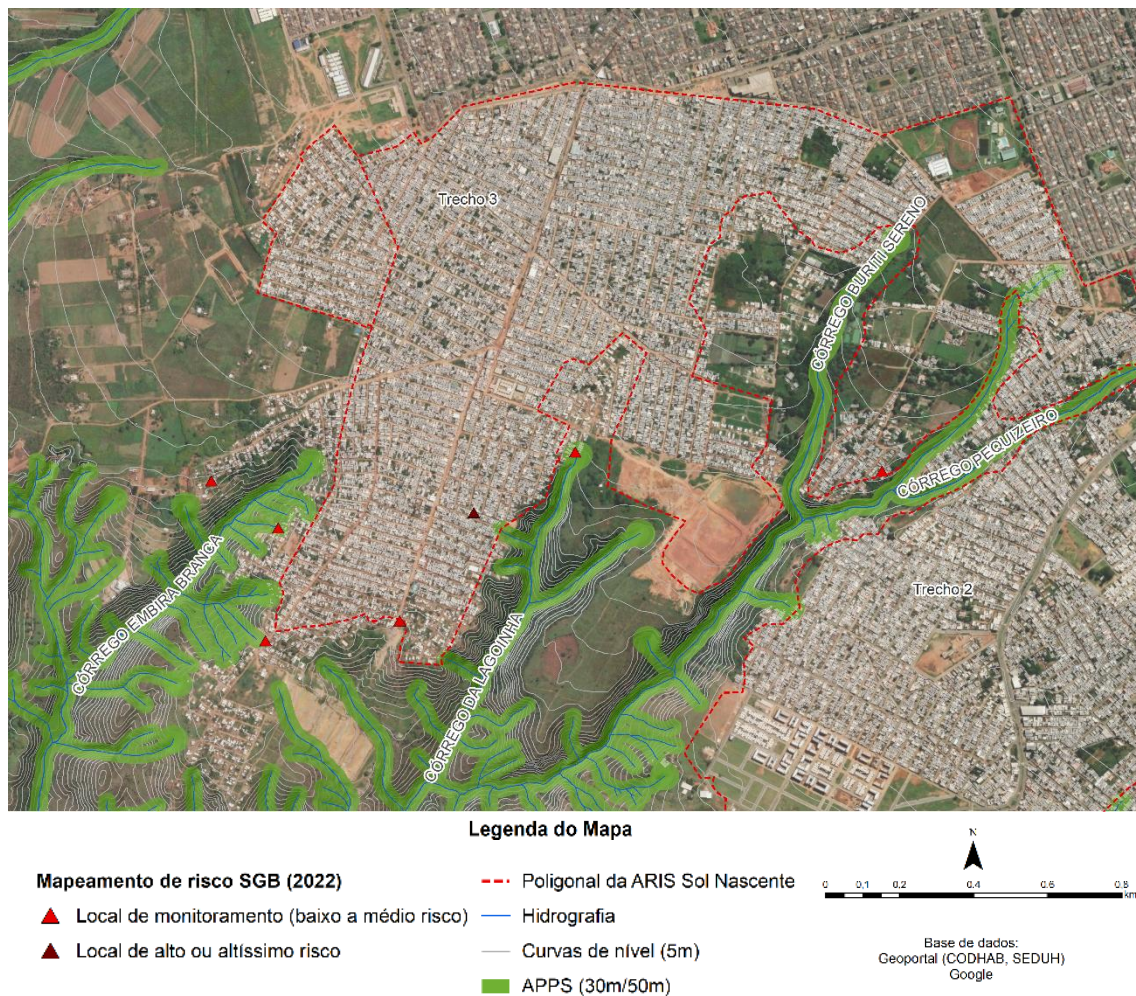
Quadro 9 – Classes de risco consideradas na setorização de áreas de risco pelo SGB.

Classificação dos graus de risco a processos hídricos (Modificado de Ministério das Cidades e IPT, 2004)	
Grau de probabilidade	Descrição
R1 Baixo	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com BAIXO POTENCIAL DE CAUSAR DANOS e baixa frequência de ocorrência (NÃO HÁ REGISTRO DE OCORRÊNCIAS significativas nos últimos 5 anos).
R2 Médio	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com MÉDIO POTENCIAL DE CAUSAR DANOS, média frequência de ocorrência (Registro de 1 OCORRÊNCIA SIGNIFICATIVA nos últimos 5 anos).
R3 Alto	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com ALTO POTENCIAL DE CAUSAR DANOS, média frequência de ocorrência (Registro de 1 OCORRÊNCIA SIGNIFICATIVA nos últimos 5 anos) e envolvendo moradias de ALTA VULNERABILIDADE.
R4 Muito alto	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com ALTO POTENCIAL DE CAUSAR DANOS, principalmente sociais, alta frequência de ocorrência (Pelo menos 3 EVENTOS SIGNIFICATIVOS nos últimos 5 anos) e envolvendo moradias de ALTA VULNERABILIDADE.

Fonte: SGB, 2022.

Os demais pontos identificados no Trecho, e para os quais não existem Cartas de Risco, foram considerados de nível baixo ou médio (R1 e R2) e são mostrados na Figura 48. Ao todo foram identificados seis pontos de monitoramento. Percebe-se que a maioria dos pontos encontram-se em áreas fora da poligonal de regularização, mais a jusante do Trecho, inclusive ao final da Avenida do Trem Bão, com a identificação de um processo erosivo, e próximos às APPs.

Figura 48 - Pontos de risco e monitoramento no Trecho 3 do SHSN.



A análise das situações de risco no SHSN, especialmente Trecho 3, possibilitou o reconhecimento das principais tipologias de processos hidrológicos e geológicos que atingem a região, sendo enxurrada, alagamento, erosão laminar, deslizamento de solo e/ou rocha e voçorocas. Esses processos são descritos no Quadro 10 de acordo com a definição do SGB e da Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE).

Quadro 10 – Processos hidrológicos e geológicos de risco identificados no Sol Nascente.

Processo	Descrição
Enxurrada	Escoamento superficial de alta velocidade e curta duração com elevação súbita da vazão. Provocada por chuvas intensas e concentradas. Alto potencial destrutivo e frequentemente associado a processos de erosão.

Alagamento	Acúmulo de água em ruas, calçadas e infraestruturas graças à extrapolação da capacidade dos sistemas de drenagem urbana.
Erosão Laminar	Remoção das camadas mais superficiais do solo, geralmente causada por escoamento superficial não concentrado (difuso).
Deslizamento de solo e/ou rocha	Movimentos de solo ou rocha com superfície de ruptura e volume de massa bem definidos. Ocorre quando o centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude.
Voçoroca	Forma erosiva de difícil estabilização por alcançar grandes profundidades. Provocada por escoamento superficial e subsuperficial (escoamento freático) concentrado.

Fonte: SGB, 2022; COBRADE, 2012.

As cartas geotécnicas são ferramentas relevantes para o reconhecimento preliminar das situações de risco de uma região, a orientação de ações preventivas e a gestão de risco. Porém, mostram-se ainda insuficientes para subsidiar estudos mais profundos da dinâmica de risco de um território e tomadas de decisão. A CGS e CGAU, por possuírem escalas muito grande, dificultam a análise detalhada de determinada área e por vezes, suprime informações. A Carta de Risco, por sua vez, tem como foco descrever riscos pontuais identificados, que, muitas vezes são subnotificados, como no caso do Trecho 3, onde foi mapeado um ponto de risco alto pelo SGB, mas os moradores mapearam um número bem maior, como será apresentado posteriormente. Ferramentas como a modelagem hidrológica, combinadas a processos participativos, acrescenta fortes contribuições para a elaboração de uma análise e mapeamento de risco mais detalhado, permitindo a inserção de dados de grande influência nessa dinâmica como rede de drenagem, dados de chuva e permeabilidade do solo.

Por fim, foram analisados dois importantes instrumentos legais que versam sobre estratégias e indicativos para a região do Sol Nascente, a fim de se discutir as medidas adotadas pelo governo para enfrentamento da situação de vulnerabilidade socioambiental da área. O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), regulamentado pela Lei Distrital nº 6.269/2019, objetiva alinhar o desenvolvimento socioeconômico e a proteção ambiental a partir de políticas públicas distritais voltadas para o desenvolvimento socioeconômico sustentável com melhoria na qualidade de vida da população. O ZEE buscou considerar problemas, potencialidades e particularidades das áreas para identificar vocações e

investimentos necessários, a fim de orientar ações de planejamento, gestão e uso do território. Para o Sol Nascente, os riscos ecológicos identificados no ZEE são: risco de perda de área de recarga de aquífero, risco de contaminação do subsolo, risco de perda de solo por erosão e risco de perda de área de cerrado nativo.

O ZEE resultou em uma organização do território sob a lógica de Zonas (ZEE) e Subzonas (SZ). As Zonas são divididas em duas: Zona Ecológica Econômica de Diversificação Produtiva e Serviços Ecológicos (ZEEDPSE) e Zona Ecológica Econômica de Dinamização Produtiva com Equidade (ZEEDPE). A região do Sol Nascente está enquadrada como ZEEDPE, destinada a diversificar as bases produtivas do DF, com desenvolvimento socioeconômico compatível aos riscos ecológicos e aos serviços ecossistêmicos e inclusão produtiva da população, gerando emprego e renda e reduzindo desigualdades (SEMA, 2019). Quanto às Subzonas, o Sol Nascente integra a de Dinamização Produtiva com Equidade 2 (SZDPE 2), que, segundo o Caderno Técnico de Zoneamento Final do ZEE (SEMA, 2019) e a lei de regulamentação, tem como prioridade assegurar o aporte de infraestrutura de saneamento ambiental, a implantação de infraestrutura de transporte público, a consolidação de centralidades urbanas e a qualificação urbana compatíveis com os riscos ecológicos identificados. No entanto, percebe-se que, embora a região esteja passando por obras de urbanização, a regularização não vem sendo acompanhada por mudanças sociais significativas, expresso no ainda profundo quadro de vulnerabilidade e desigualdade social do território.

O outro instrumento analisado foi o PDOT/2009, em vigência até o momento de escrita desse trabalho. Segundo o zoneamento do PDOT, a região está inserida na Zona Urbana de Expansão e Qualificação (ZUEQ) dentro da Macrozona Urbana, com exceção das áreas fora da poligonal de regularização, que, por não serem reconhecidas como área urbana são consideradas integrantes da Zona Rural de Uso Controlado (ZRUC) dentro da Macrozona Rural. Segundo o documento técnico do PDOT 2009, a ZUEQ tem como característica sua destinação urbana e consequente necessidade de qualificação para cumprimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, visto que essa zona reúne grande parcela das áreas destinadas para uso rural no PDOT de 1997, mas que sofreram processo de ocupação urbana com implantação de assentamentos informais. Já a ZRUC reúne áreas rurais com necessidade de controle do uso e ocupação do solo,

devido a uma série de restrições decorrente de sensibilidade ambiental e necessidade de proteção dos mananciais destinados ao abastecimento de água da população.

Algumas das diretrizes para a ZRUC são: coibir o parcelamento irregular de glebas rurais; adotar medidas de controle ambiental como controle de erosões e incentivar a implantação de agroflorestas como alternativa para produção e para recuperação de áreas degradadas. Além disso, no PDOT 2009 existe a previsão de implantação de um Parque Urbano Ecológico na área, que, passados mais de uma década da formulação do PDOT, não foi implantado e a área de previsão encontra-se ocupada por habitações. Existem muitos estudos que comprovam a fragilidade ambiental do Sol Nascente, já reconhecida em planos normativas do governo.

Porém, existe um cenário que dificulta o enfrentamento dos riscos na região, visto que, grande parte das áreas com situações graves de risco estão fora da poligonal de regularização, situadas nas encostas do Trecho 3, onde há ausência de atuação do poder público. De um lado a administração entende que a falta de fornecimento básico de infraestrutura nas áreas irregulares e de maior risco é um desincentivo à ocupação e geração de novos riscos. No entanto, ao contrário disso, o que se observa é a expansão da comunidade e estabelecimento de novos parcelamentos e construções ilegais nas áreas de risco, graças à falta de acesso digno à moradia. As Figura 49 e Figura 50 são imagens de 2025 e mostram traçados no solo que indicam novos parcelamentos ilegais sendo feitos nos trechos 2 e 3 do setor.

Figura 49 - Demarcação para parcelamento irregular do solo Trecho 2.



Fonte: *Google Earth*, 2025.

Figura 50 - Demarcação para parcelamento irregular do solo Trecho 3.



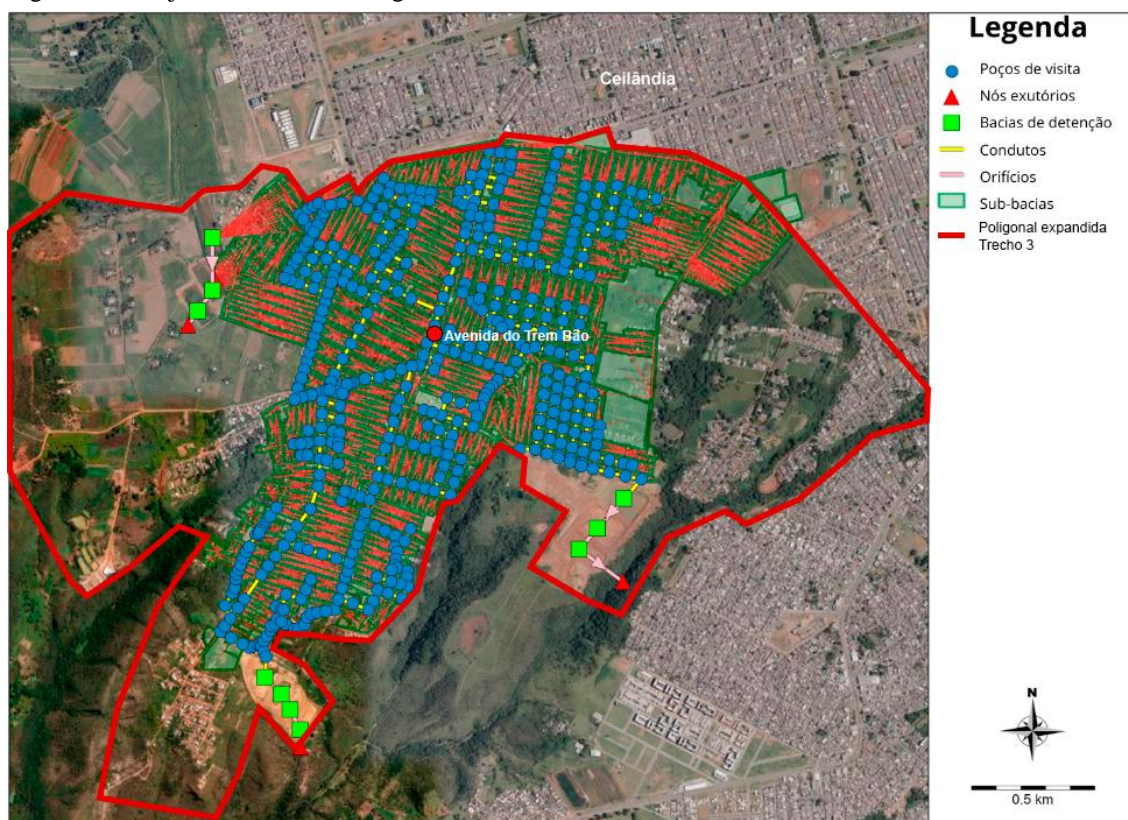
Fonte: *Google Earth*, 2025.

6.1.3 Caracterização do sistema de drenagem

Atualmente, o Trecho 3 do Sol Nascente vem passando por algumas obras de regularização, incluindo a construção da rede de drenagem, como citado anteriormente. Segundo a Secretaria de Obras do DF, responsável pela obra, a rede encontra-se em etapas de conclusão, porém, a região continua enfrentando transtornos causados pelas chuvas. Portanto, cabe ressaltar alguns pontos relacionados ao sistema de drenagem em construção para o reforço do entendimento a respeito da problemática de riscos no território.

Inicialmente, destaca-se a ausência de rede e de projeto em alguns locais do Trecho, que correspondem às áreas fora da poligonal de regularização, como pode ser observado na Figura 51, que mostra o projeto da rede de drenagem obtido com a Novacap e Secretaria de Obras e compara com a poligonal do Trecho 3 incluídas as áreas fora da poligonal de regularização. Percebe-se que grande quantidade de áreas não são atendidas pelo sistema da rede de drenagem e a maior parte encontra-se na região mais a jusante do Trecho, fator que intensifica os impactos causados pelas chuvas. Ou seja, são áreas mais suscetíveis aos impactos negativos das chuvas e não estão sendo atendidas pelas obras de drenagem.

Figura 51 - Projeto da rede de drenagem do Trecho 3.



Outro ponto importante é o caráter tradicional da rede de drenagem e a inadequação aos métodos atuais de manejo de águas pluviais que objetivam tornar as cidades mais resilientes às mudanças climáticas e urbanização. Com exceção das bacias de detenção ao final da rede, que servem para amortecer a vazão de água que chega aos corpos hídricos presentes na região, não existem quaisquer outros dispositivos de amortecimento ou tratamento de água ao longo da bacia de contribuição. Ademais, a concepção da rede apresenta outras inadequações do ponto de vista técnico que contribuem para um mau desempenho, como a insuficiência de bocas de lobo para o engolimento do escoamento superficial, constatada durante visitas de campo.

Tal fato, somado à vazão de água proveniente de Ceilândia, favorece a ocorrência de enxurradas na região mesmo quando registradas chuvas de baixa intensidade. Como já citado anteriormente, a RA de Ceilândia possui uma rede de drenagem ultrapassada e ineficiente, gerando um grande volume de escoamento superficial que chega com alta velocidade já nos limites com a região do Sol Nascente, acelerando ainda mais à medida que escoar para a jusante. A ausência de dispositivos suficientes para o engolimento desse

volume de água vindo de Ceilândia na área limítrofe entre as regiões, revela que o projeto da rede de drenagem para o Sol Nascente não considera o entorno e trata a região como uma área isolada. Este configura-se como um grave fator de risco, já que grande parte do escoamento superficial que atinge o Sol Nascente provém de Ceilândia, realidade que deveria ser considerada na concepção da rede. A Secretaria de Obras foi consultada, mas não foram obtidas respostas claras. Observou-se que ainda existem incertezas quanto à vazão vinda de Ceilândia, se irá entrar ou não na tubulação do Sol Nascente e qual será o volume.

A Figura 52 mostra as galerias que estão sendo implantadas no local, cujas dimensões se destacam quando comparadas aos veículos próximos. Contudo, a escassez de dispositivos de engolimento levanta questionamentos acerca do correto direcionamento do volume de água superficial até as galerias subterrâneas.

Figura 52 – Galerias implantadas no Trecho 3.



Fonte: Google Street View, 2024.

Outro agravante constatado na rede de drenagem é a convergência da maioria dos condutos laterais para o conduto central localizado na Avenida do Trem Bão, sobrecarregando-o durante as precipitações com a condução de um alto volume de água. Além disso, esse conduto central possui longa extensão e corta as curvas de nível perpendicularmente, fazendo com que esse grande volume de água atinja alta velocidade sem amortecimento ao longo da rede, gerando grandes impactos à jusante. Prevendo esse tipo de impacto nos córregos presentes na região, o Governo do Distrito Federal implantou alguns conjuntos de bacias de detenção e retenção no Sol Nascente, buscando atender à Resolução 26 de 2023 da Adasa, que definiu o valor máximo de vazão de descarga nos cursos hídricos de 24,4l/s/ha.

As bacias implantadas configuram-se como grandes escavações no solo e têm como função principal amortecer a vazão de lançamento de águas pluviais nos corpos hídricos da região. Para isso, as estruturas agem no controle do escoamento superficial, retendo a água da chuva por um curto período de tempo e posteriormente, por meio de um sistema de regulação de saída, libera a água aos poucos, atenuando efeitos de inundação à jusante (Peroni, 2018; Nascimento *et al.* 1999; Rodríguez *et al.* 2019). Tais estruturas, quando bem implantadas e dimensionadas, apresentam vantagens no controle de inundações pelo amortecimento de cheias, no aumento na qualidade da água que chega aos corpos receptores, graças à sedimentação de resíduos sólidos existentes e na redução do volume de escoamento superficial pela detenção e/ou infiltração da água pluvial (Baptista *et al.*, 2015). Por outro lado, quando mal concebidas, as bacias podem apresentar desvantagens de ordem ambiental, sanitária e de segurança para os moradores.

No caso do Sol Nascente, estas estruturas têm gerado grandes impactos para a população de entorno, que relata problemas como falta de manutenção e limpeza, mau cheiro e acúmulo de lixo, condições mostradas na Figura 53. Em 2022, houve o transbordamento de uma bacia após fortes chuvas na região, na ocasião a água atingiu e destruiu casas próximas. Segundo o próprio governo, o transbordamento foi causado pela presença de lixo, que entupiu os pontos de saída de água da bacia.

Figura 53 - Atual condição das bacias de detenção do Sol Nascente.

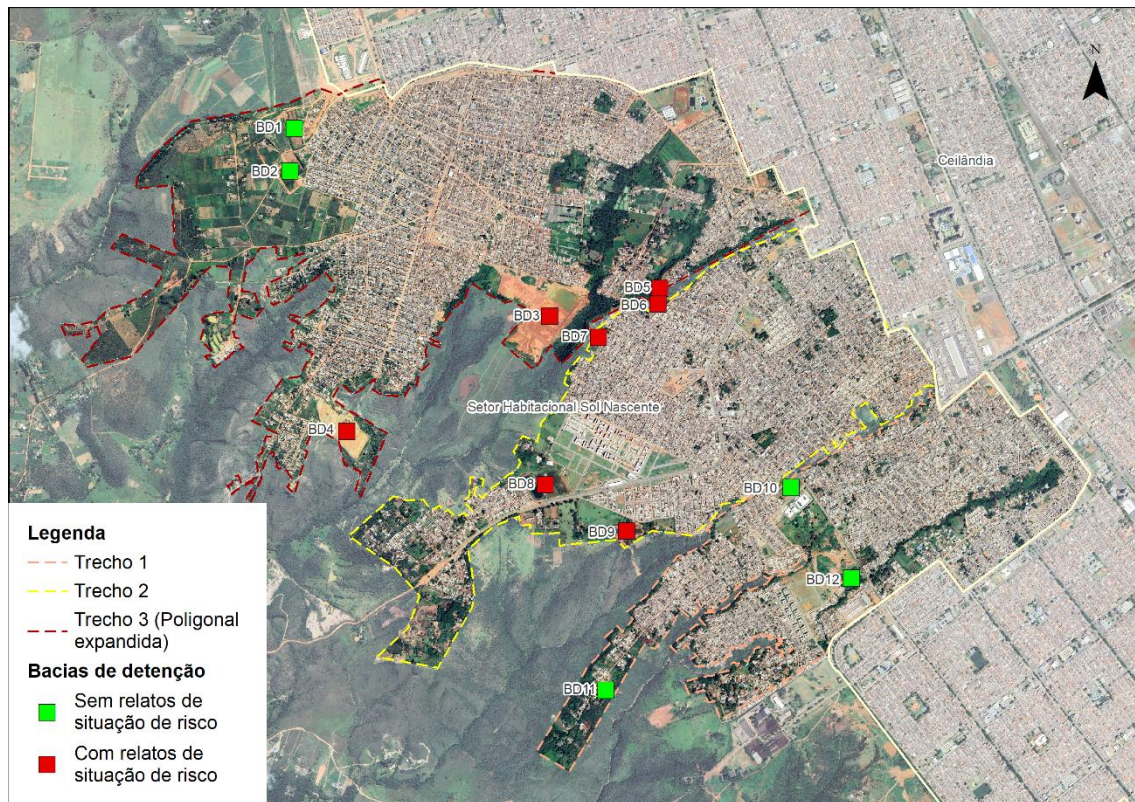


Fonte: Acervo da autora, 2024.

Além disso, devido à profundidade e à ausência de elementos de isolamento, as estruturas oferecem perigo à população. Em 2024, por exemplo, houveram dois casos de morte por afogamento nas bacias, enquanto eram utilizadas para banho. É importante ressaltar que, em alguns casos, os moradores se apropriam das bacias para atividades de pesca e banho, mesmo sem estrutura para tal, devido à falta de equipamentos de lazer na região.

A Figura 54 mostra a localização das bacias no Sol Nascente e destaca as que, segundo a população, apresentam situações de risco tais como transbordamento, processos erosivos e problemas sanitários. Dos cinco conjuntos de bacias existentes no Trecho 3, três foram considerados problemáticos pela população, segundo informações levantadas durante as oficinas do Plano Comunitário.

Figura 54 - Bacias de detenção e retenção do SHSN.



Na Figura 54 é possível notar ainda que foi adotado para as bacias o sistema *end-of-pipe*, que se caracteriza pela localização das estruturas ao final da rede. Por um lado, tal sistema atende à função de amortecimento da vazão de descarga nos corpos hídricos, por outro lado, por não controlar o escoamento superficial ao longo da bacia de contribuição, não ameniza os problemas de enxurradas e alagamentos enfrentados pela população. Ou seja, são estruturas monofuncionais, que não fornecem nenhum acréscimo paisagístico ou de lazer para a região, além de não contribuem na resolução dos problemas causados pela chuva. Ao contrário disso, as bacias agravam a situação de risco para os moradores. Ademais, marcam a paisagem como se fossem feridas no desenho urbano, dado suas dimensões e forma de implantação, como pode ser visto na Figura 55.

Figura 55 - Impacto das bacias de detenção na paisagem do Trecho 3.



Fonte: *Google earth*, 2024.

Tais estruturas poderiam ter sido concebidas de outra forma, com menores dimensões e localizadas ao longo da bacia de drenagem, funcionando, para além do amortecimento do escoamento superficial, como pequenos parques com qualidade ambiental, suprimindo parte da carência local por equipamentos de lazer. Durante o desenvolvimento do Plano Comunitário, foram feitos encontros com a Secretaria de Obras para discutir sobre a obra de drenagem e compartilhar os estudos feitos pelo Laboratório Periférico. Os encontros tiveram como objetivo alertar para as inadequações encontradas no projeto e propor soluções mais sustentáveis. Porém, as sugestões não foram incorporadas ao projeto.

6.2 Plano Comunitário de Gestão e Redução de Riscos do Sol Nascente

O Plano Comunitário de Gestão e Redução de Riscos para o Sol Nascente – trechos 2 e 3, teve início em 2024 e foi concluído em abril de 2025. O Plano Comunitário teve dois objetivos principais: (1) a partir da identificação das situações de risco, propor soluções de infraestrutura local para mitigação com SbN; (2) criar uma gestão participativa de riscos socioambientais por meio da comunidade como agente ativo e transformador. A metodologia empregada no Plano Comunitário teve como base o “interacionismo sociotécnico pedagógico”, metodologia participativa desenvolvida pelo Laboratório Periférico, em que o conhecimento técnico e científico é assimilado ao conhecimento social, dando origem ao saber sociotécnico e à coprodução de saberes (Andrade *et al.*, 2022). Assim, o Plano Comunitário foi construído por meio de estratégias participativas de compartilhamento e integração de conhecimentos para identificação de riscos e prevenção de desastres (Andrade *et al.*, 2025). O Quadro 11 sintetiza as etapas de desenvolvimento do Plano, que em sua maioria ocorreram de forma simultânea.

Quadro 11 – Etapas de elaborados do Plano Comunitário de Gestão e Redução de Riscos do Sol Nascente.

Etapa	Meta	Descrição
1	Elaboração de metodologia e planejamento	Detalhamento de proposta metodológica; definição do cronograma de atividades; constituição das equipes técnicas e comunitárias.
2	Consolidação do conhecimento técnico da área de estudo	Sistematização de informações técnicas disponíveis e estudos já elaborados para a área; análise da bacia hidrográfica e identificação dos problemas críticos; proposição de cenários de mitigação com SbN e medidas emergenciais de redução de risco em forma de estudo preliminar.
3	Formulação do plano comunitário – identificação de riscos e melhoria de segurança	Táticas urbanas e agenciamento de atores; intersecção dos estudos técnicos e comunitários; preparação de produto

		intermediário sobre SbN e debate com a comunidade.
4	Comunicação, monitoramento de riscos e ações em situações críticas	Debates e definição, junto à comunidade, de ações emergenciais em situações críticas para prevenir riscos e reduzir consequências; operacionalização dos sistemas de comunicação e alerta.

Fonte: Andrade *et al.*, 2025.

A partir da definição das etapas e metas, foi feito o cronograma e planejamento das atividades, que incluiu, além das análises feitas pela equipe técnica, a leitura territorial comunitária, que teve como principais ações as oficinas participativas. Esse planejamento constituiu a etapa 1 do Plano, que ocorreu concomitantemente à etapa 2. As oficinas participativas (etapa 3) foram antecedidas por uma série de atividades preparatórias, como encontros com lideranças comunitárias para apresentação do plano de trabalho e alinhamento de cronograma (Figura 57), caminhadas diagnósticas para reconhecimento preliminar de riscos, eventos públicos para discussão da temática e dos problemas enfrentados no Sol Nascente (Figura 56), além da mobilização da comunidade e divulgação do projeto pelos mobilizadores locais (Figura 58).

Figura 57 - Encontro com lideranças locais para debate sobre o plano de trabalho.



Fonte: Acervo da autora, 2024.

Figura 56 - Caminhadas diagnóstico e eventos ocorridos em 2024 para discussão sobre a questão socioambiental do Sol Nascente.



Fonte: Acervo da autora, 2024.

Figura 58 - Ação dos mobilizadores locais para divulgação do projeto.



Fonte: Acervo da autora, 2024.

Ao todo foram realizadas seis oficinas comunitárias, três em cada trecho, além das oficinas para elaboração do Plano de Contingência que ocorreram todas no Trecho 3. As oficinas são descritas no Quadro 12. A execução das oficinas integrou a etapa 3 do projeto, onde, por meio de leitura territorial participativa, foi feita a análise multirrisco dos trechos para identificação dos principais problemas. Além disso, a partir do debate com a comunidade, a etapa orientou a formulação de estratégias e alternativas para encaminhamentos com SbN para enfrentamento das situações de risco.

Quadro 12 – Oficinas comunitárias do Plano Comunitário do Sol Nascente.

Oficina	Descrição
(1) Mapeamento afetivo e de risco	Teve como objetivo a identificação e análise de riscos e vulnerabilidades por meio da integração entre abordagens técnicas e participativas de mapeamento. Buscou-se, além do levantamento de informações, promover uma conexão da população com o território, valorização do conhecimento local, reflexão crítica e diálogo entre a comunidade em si e com a equipe técnica, gerando maior

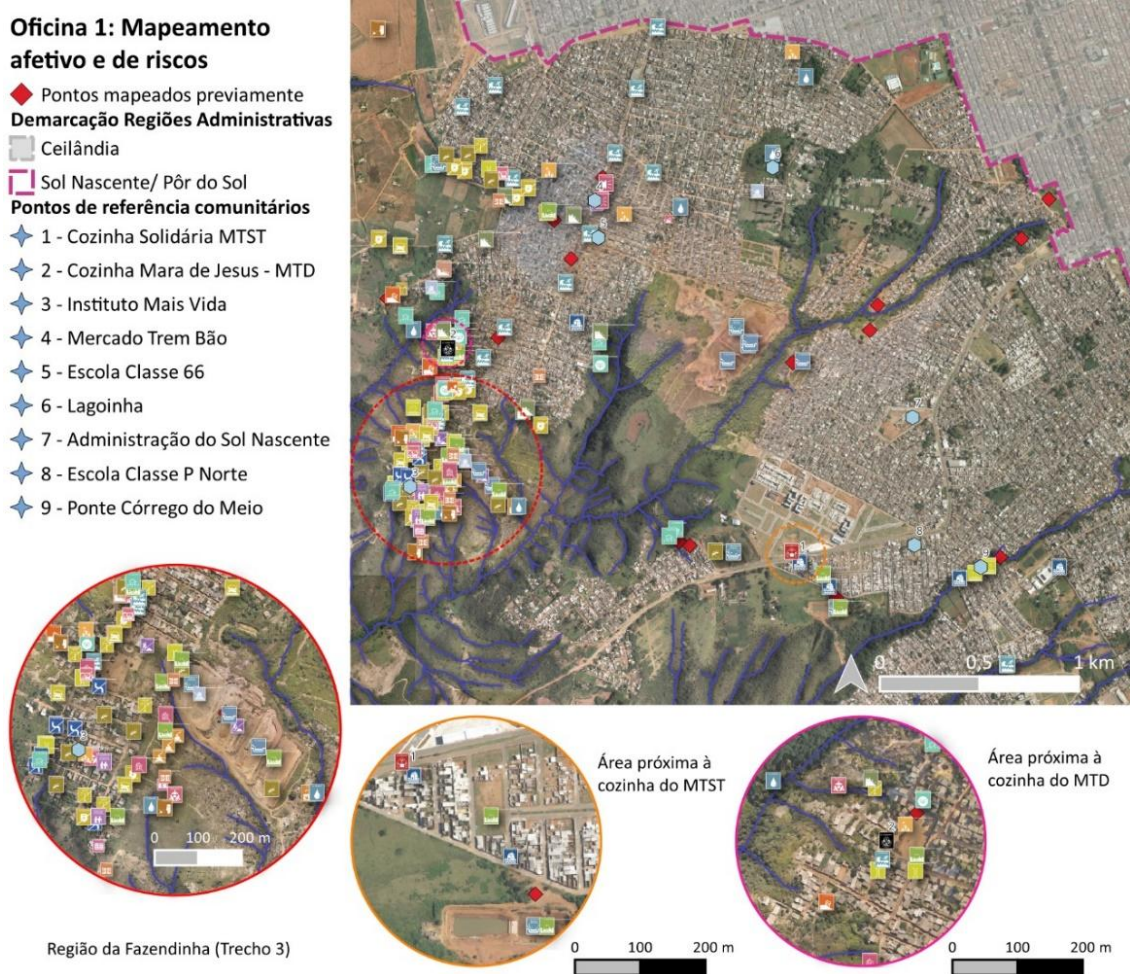
	apropriação e compreensão das condições da área por ambas as partes.
(2) Mapeamento de soluções baseadas na natureza	A atividade buscou promover a reflexão coletiva de soluções a partir da apresentação das práticas SbN aos moradores, seguido do mapeamento de possíveis locais para a implantação. Na ocasião foram discutidas as expectativas e desejos da população a respeito da implantação de soluções para os riscos hidrológicos e geológicos que atingem a comunidade. Foram apresentados os padrões de SbN retirados do manual ainda não publicado “Desenhando com a água padrões espaciais e técnicas de infraestrutura ecológica”, que reúne 52 padrões de infraestrutura ecológica sistematizados de acordo com as definições de Andrade (2014).
(3) Tática Urbana	Intervenções urbanas pontuais de micro planejamento em locais definidos junto aos moradores.
(4) Elaboração do Plano de Contingência	O Plano de Contingência foi construído por meio de um curso de extensão voltado para a capacitação da comunidade para identificar riscos e vulnerabilidades existentes no território. O curso explorou temas como percepção de risco, estudos de casos e estratégias, o papel da comunidade e o papel da Defesa Civil. Nesta etapa buscou-se, junto à comunidade, criar estratégias para a orientação de ações tanto preventivas como de preparo da população para situações de emergência. Por fim, foi realizado um encontro para o debate sobre os resultados, incluindo a revisão dos mapas de suscetibilidade e setorização de risco e das propostas de melhoria de segurança no local. Após a consolidação, todas as medidas definidas foram disponibilizadas à comunidade por meio de uma cartilha, que inclui, além de ações preventivas e de identificação do risco, procedimentos de evacuação, zonas

	de maior perigo e locais seguros para abrigo (Andrade <i>et al.</i> , 2025).
--	--

Fonte: Andrade *et al.*, 2025.

A interação entre comunidade e equipe técnica, por meio das oficinas, contribuiu para o reconhecimento coletivo dos riscos e potencialidades do território, gerando um diagnóstico participativo e um entendimento de suas questões prioritárias. As informações levantadas nas oficinas de mapeamento foram posteriormente georreferenciadas e os mapas finais gerados são apresentadas nas Figura 59 e Figura 60, resultados das oficinas 1 e 2 respectivamente. Na Figura 59 é possível perceber a maior concentração de pontos de risco no Trecho 3 (porção à esquerda), especialmente na região mais a jusante e fora da poligonal de regularização. Essa região é popularmente conhecida como “Fazendinha” e os moradores relataram diversos problemas devido à falta de acesso a serviços urbanos como drenagem, coleta de lixo e saneamento, que agrava a situação de risco.

Figura 59 - Resultado do mapeamento da Oficina 1.



Fonte: Andrade *et al.*, 2025.

Na Figura 60, apesar do intenso mapeamento de soluções em toda a área dos dois trechos, é possível novamente notar uma maior concentração na porção sul do Trecho 3. As soluções mapeadas para a área se referem principalmente a contenção de encostas, devido à localização nas bordas da chapada e existência de muitos aterros irregulares. O resultado dessa oficina apontou para a forte carência de infraestrutura nos trechos e para o potencial da população em propor soluções com base em suas vivências e conhecimentos profundos do território e seus problemas.

Figura 60 - Resultado do mapeamento da Oficina 2.

Oficina 2: Mapeamento de padrões e Soluções Baseadas na Natureza (SbN)

◆ Pontos mapeados previamente
Demarcação Regiões Administrativas

■ Ceilândia

■ Sol Nascente/ Pôr do Sol

Pontos de referência comunitários

◆ 1 - Cozinha Solidária MTST

◆ 2 - Cozinha Mara de Jesus - MTD

◆ 3 - Instituto Mais Vida

◆ 4 - Mercado Trem Bão

◆ 5 - Escola Classe 66

◆ 6 - Lagoinha

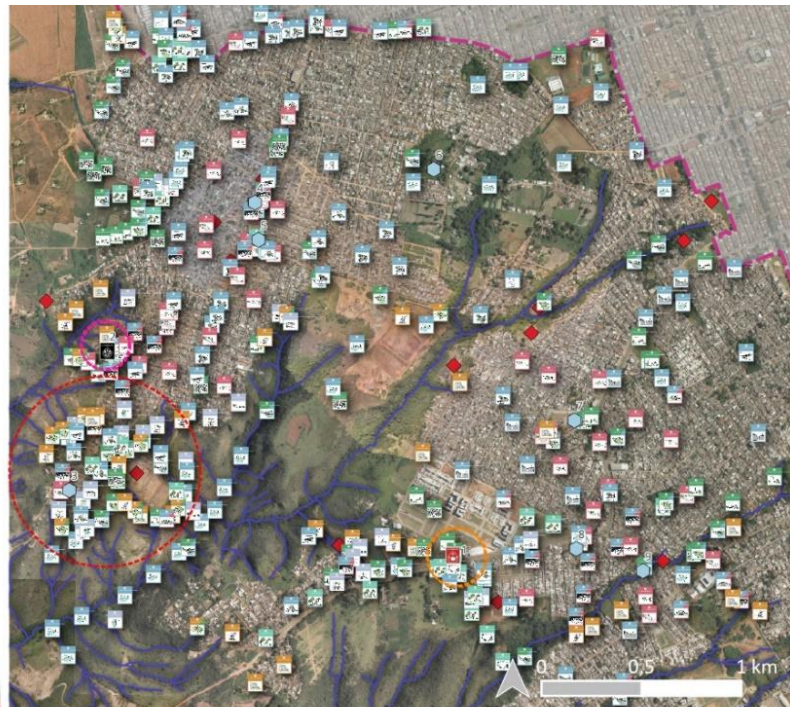
◆ 7 - Administração do Sol Nascente

◆ 8 - Escola Classe P Norte

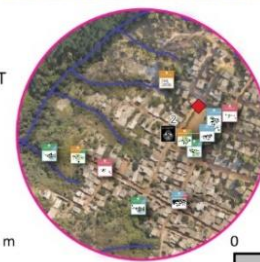
◆ 9 - Ponte Córrego do Meio



Região da Fazendinha (Trecho 3)



Área próxima à cozinha do MTST



Área próxima à cozinha do MTD

Fonte: Andrade *et al.*, 2025.

Os estudos e análises hidrológicas, feitos a partir da modelagem hidrológico-hidráulica, integraram os estudos técnicos desenvolvidos para o Plano, especialmente as etapas 2 e 3 descritas no Quadro 8. As análises hidrológicas tiveram como objetivo colaborar tanto para a compreensão mais precisa a respeito do comportamento e dinâmica dos riscos hidrológicos que atingem o território, como apontar quais as soluções estruturais mais adequadas para a minimização do problema. Assim, a etapa de oficinas teve forte contribuição para tal, fornecendo informações a respeito de áreas críticas, que puderam complementar as análises de risco, validando constatações iniciais e oportunizando a discussão a respeito das soluções possíveis, simuladas no modelo.

As análises técnicas, tanto hidrológicas como outras, foram desenvolvidas ao longo de todo o processo de elaboração do Plano e, da mesma forma que colaboraram com o

desenvolvimento das etapas e construção de entendimento, ficaram mais robustas à medida em que a comunidade participava e o conhecimento era integrado.

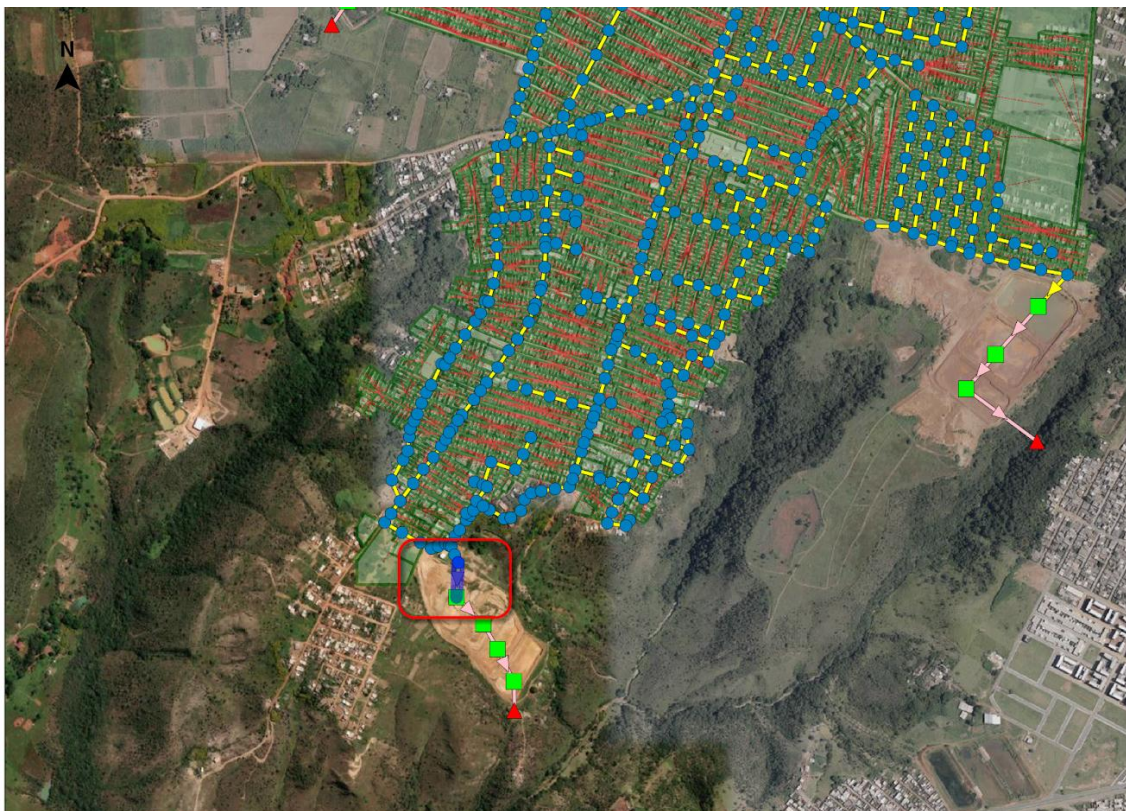
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia. Primeiramente, são mostrados os resultados referentes à situação atual do Trecho 3, com análise do desempenho da rede de drenagem em construção e identificação dos locais suscetíveis a riscos hidrológicos. Em seguida, são mostrados os ganhos em diferentes cenários alternativos com implantação de SbN.

7.1 Previsão do desempenho da rede de drenagem após conclusão

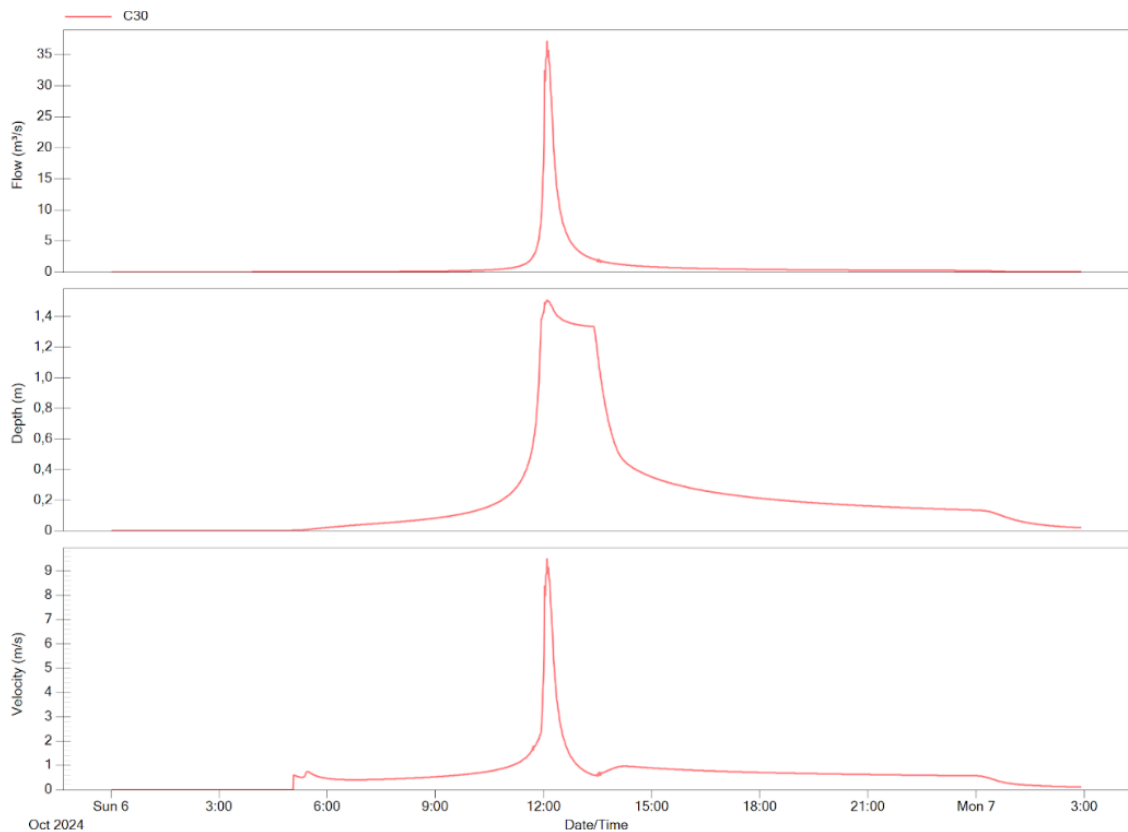
A análise do sistema de drenagem urbana é fundamental para avaliar o manejo de águas pluviais da região, prever e evitar problemas relacionados, principalmente, a alagamentos e enxurradas. Os resultados apresentados se referem a uma previsão do comportamento da rede de drenagem que vem sendo construída no Trecho 3 após a conclusão das obras. Tal simulação foi feita a partir da chuva de projeto de TR de 10 anos, como recomendado pelo Manual de Drenagem da Adasa para o DF. A análise foi possível por meio da modelagem da rede no PCSWMM a partir das informações de projeto e *as built* obtidas com a NOVACAP e Secretaria de Obras e as configurações do modelo descritas no capítulo de Metodologia. Para a avaliação dos parâmetros hidráulicos do sistema foi selecionado o conduto C30 como o representativo da rede geral. O C30 localiza-se ao final da rede, imediatamente antes das bacias de detenção e retenção (Figura 61), possibilitando uma visão geral da bacia de drenagem. Foram avaliados parâmetros de vazão, profundidade e velocidade.

Figura 61 - Localização do conduto C30 na rede de drenagem.



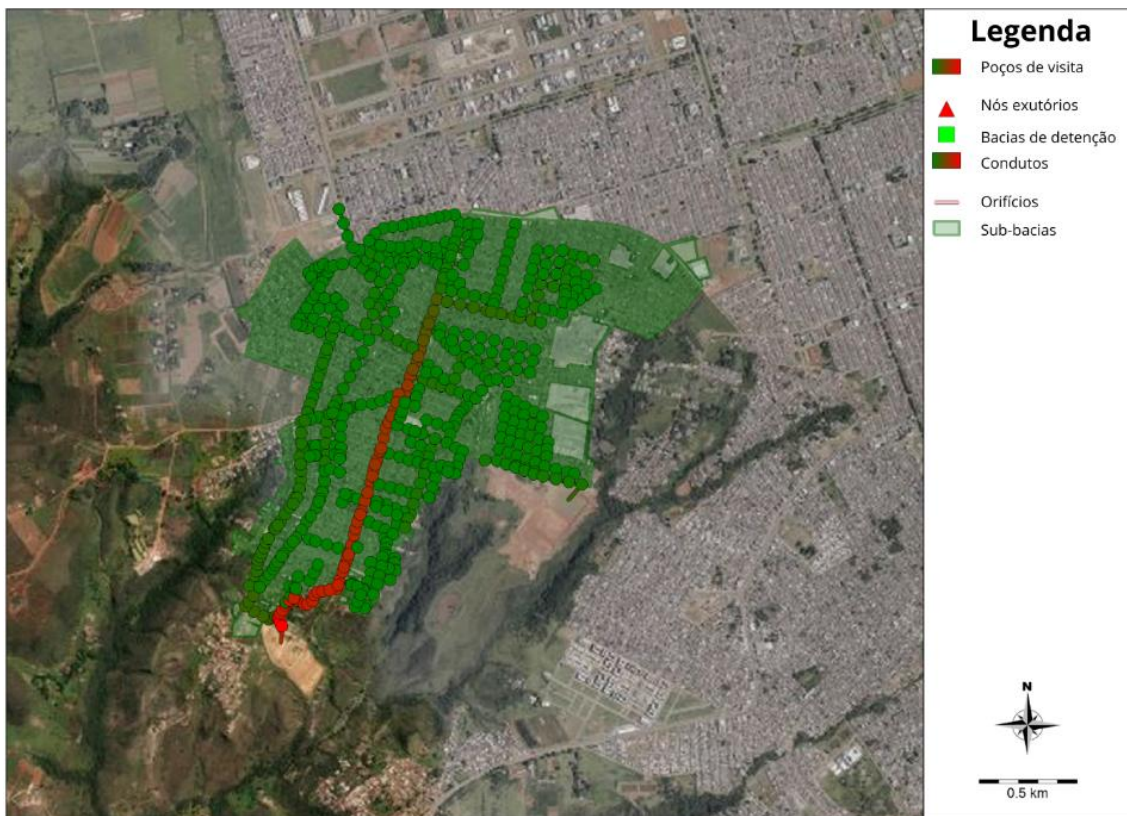
As simulações resultaram em valores elevados nos três parâmetros observados (Figura 62). Os dados não foram calibrados com os dados reais devido à ausência de monitoramento hidrológico no local, portanto, as informações apresentadas a seguir são somente estimativas. Por exemplo, a vazão de pico atingiu o valor de aproximadamente $35 \text{ m}^3/\text{s}$, que será amortecida pelas bacias de retenção a jusante e provavelmente irá atender à vazão máxima de lançamento de água pluvial nos corpos hídricos, definida pela Adasa como $24,4 \text{ l/s/ha}$. Já a velocidade da água na rede atinge pouco mais de 9 m/s , ultrapassando o valor de 6 m/s , estabelecido como máximo pela NOVACAP. Seria necessário a implantação de dispositivos ao longo da rede que promovessem a redução da velocidade, como as SbN, que são capazes de reduzir volumes de escoamento, retardar e amortecer as vazões de pico e tratar a água pluvial, que muitas vezes possui poluentes difusos devido à lavagem da bacia de drenagem, além de proporcionar outros serviços ecossistêmicos. Em relação à profundidade, os condutos foram preenchidos em pouco mais da metade, atendendo às limitações da NOVACAP, que recomenda o preenchimento máximo de 82% do conduto para garantir livre escoamento.

Figura 62 - Parâmetros observados na avaliação da rede de drenagem.



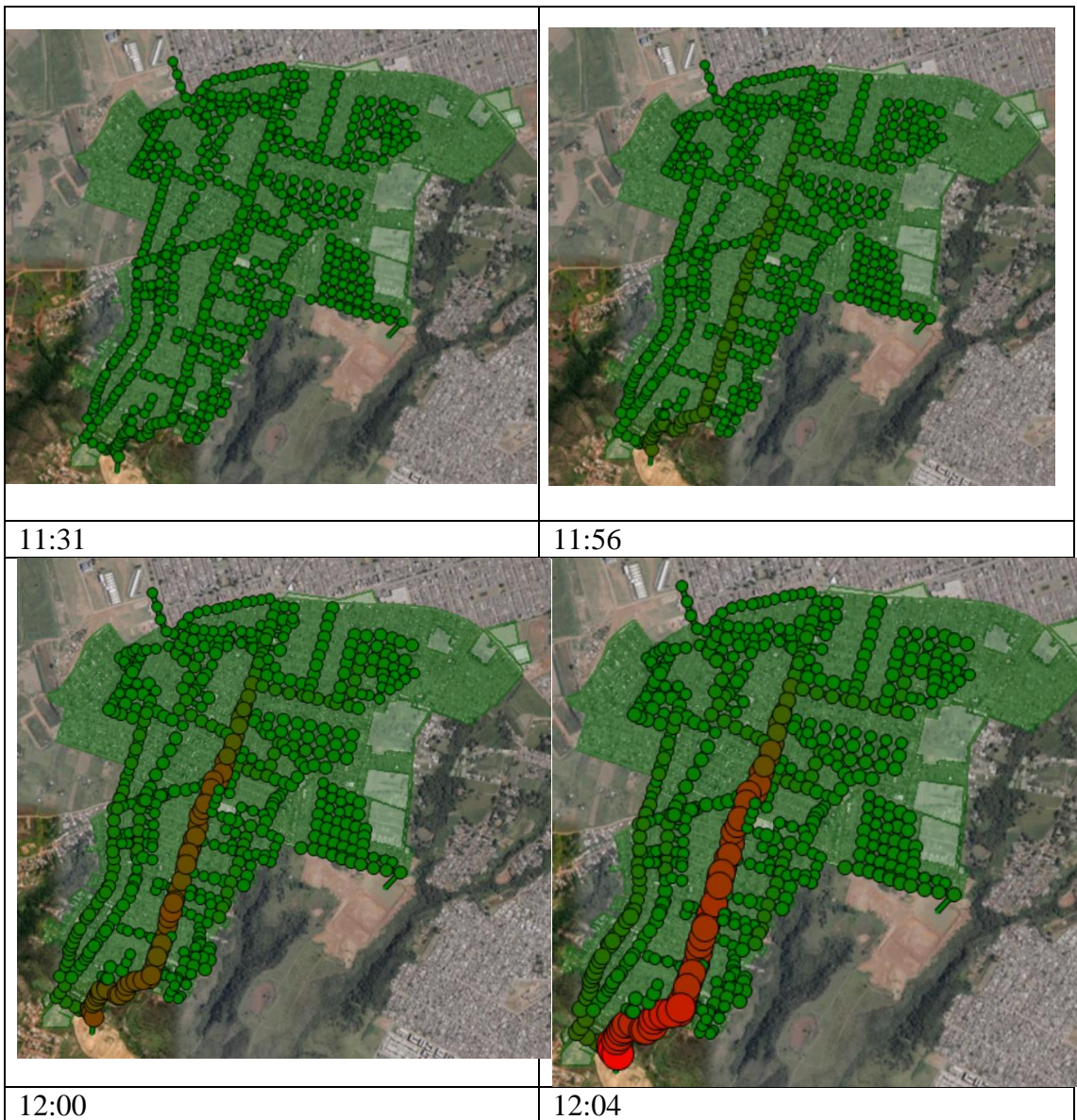
Também foram identificados pontos críticos da rede, que se concentram quase totalmente na avenida do Supermercado ‘Trem Bão’, resultado da convergência dos condutos menores laterais para esse conduto central de grande extensão, como apontado na caracterização da rede. A Figura 63 mostra pontos vermelhos ao longo de quase toda a avenida, que representam PVs que trabalham sob pressão ou sobrecarregados durante uma precipitação de TR 10 anos.

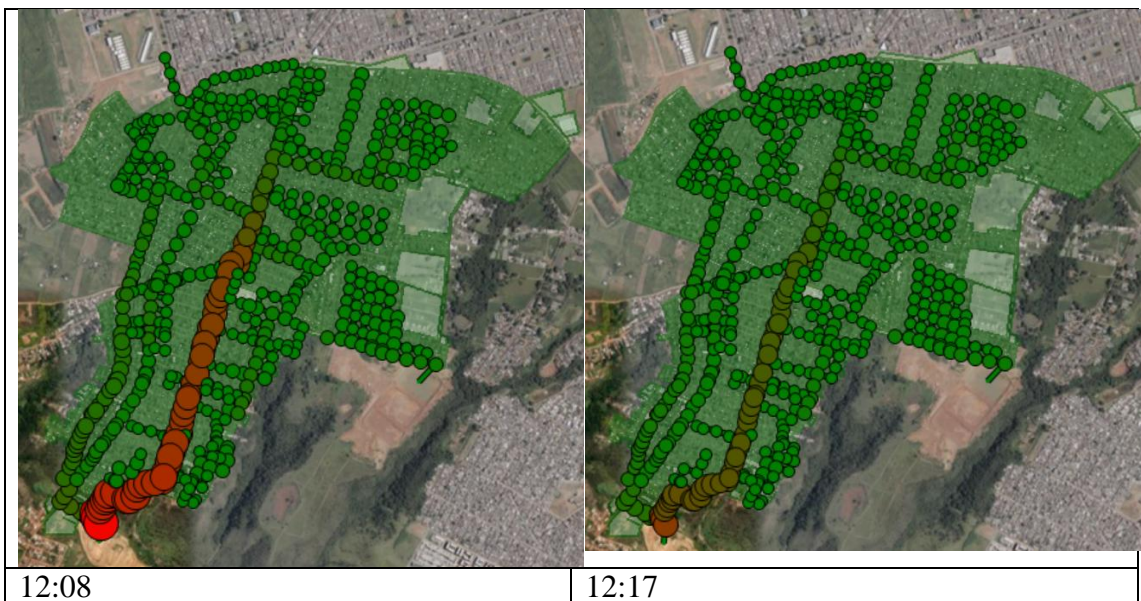
Figura 63 - Pontos críticos da rede de drenagem durante precipitação de TR 10 anos.



O Quadro 13 traz uma sequência de imagens representando o comportamento da rede durante a passagem da chuva. A rede começa a encher às 11h56min, permanece em carga de 12h às 12h08min, onde ocorre a sobrecarga dos PVs e condutos, e começa a esvaziar a partir das 12h17min. O pico da chuva de projeto ocorre às 12h, enquanto o máximo enchimento dos PVs e condutos ocorre após oito minutos. Isso evidencia a rápida propagação das vazões na rede, resultando em um escoamento acelerado no sistema.

Quadro 13 – Comportamento da rede de drenagem durante precipitação com TR de 10 anos.





O mapa da Figura 64 mostra os condutos da rede de acordo com a velocidade que a água pluvial atinge, variando do verde, menor velocidade, para o vermelho, maior velocidade. Além da avenida do ‘Trem Bão’, quase todos os grandes trechos de condutos e que cortam transversalmente as curvas de nível atingem velocidade crítica. Esse já era um comportamento esperado, já que as redes de drenagem tradicionais, como nesse caso, lançam as águas pluviais a jusante em um ponto concentrado, aumentando vazão e velocidade. Esses resultados evidenciam a importância da implementação de soluções que promovam retenção e amortecimento das vazões, reduzindo a sobrecarga na rede de drenagem.

Figura 64 - Variação de velocidade da água pluvial nos condutos do sistema.



7.2 Locais suscetíveis a alagamentos, enxurradas e erosões e setorização de risco

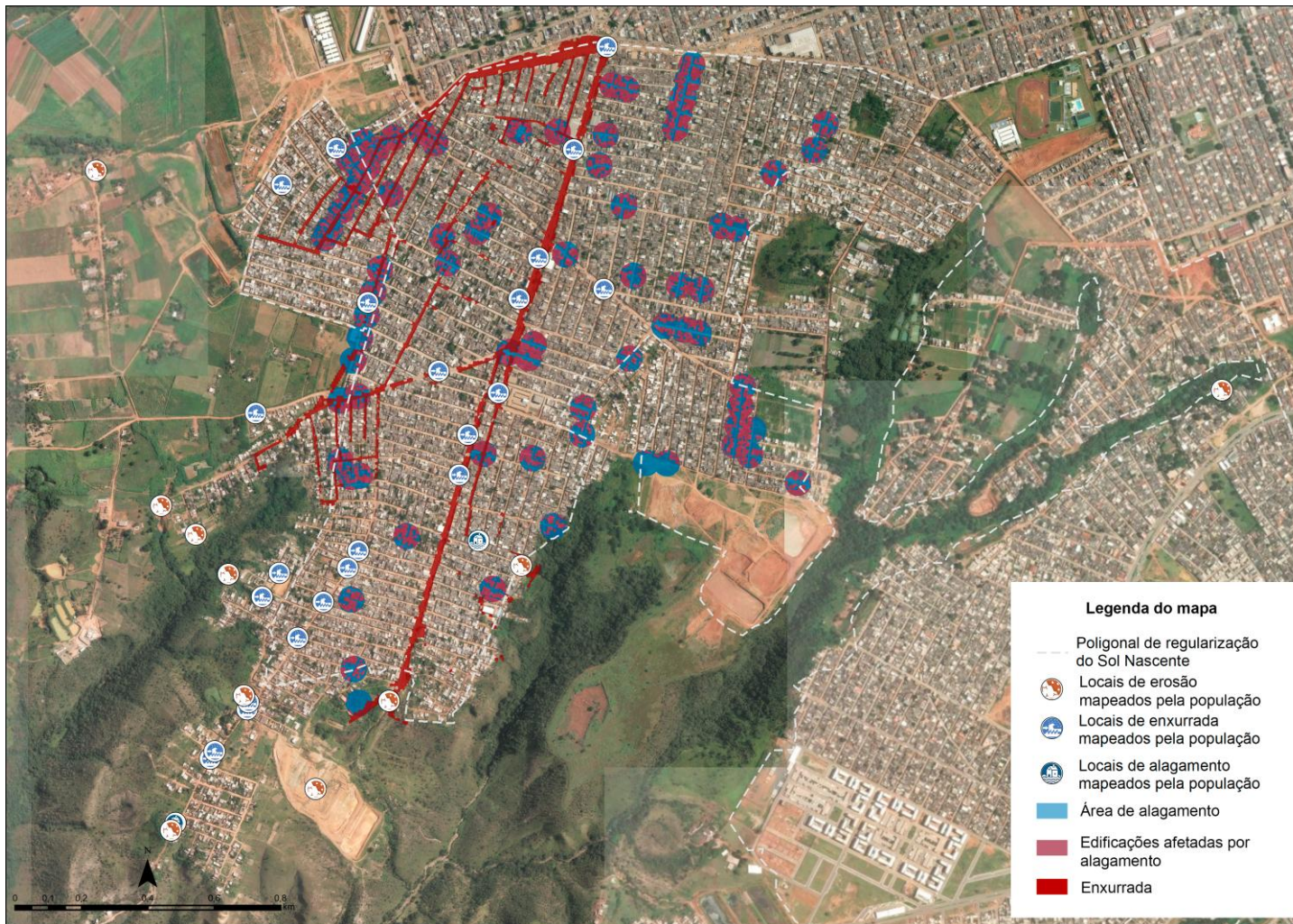
A Figura 65 mostra o mapa com os resultados da identificação das áreas suscetíveis a alagamentos, enxurradas e erosões, a partir do cruzamento entre dados gerados com a modelagem hidrológico-hidráulica e dados produzidos junto aos moradores nas oficinas do Plano Comunitário. Observa-se que o mapeamento da população foi necessário para a identificação de áreas não detectadas pela modelagem, revelando fragilidades na ferramenta técnica, ao mesmo tempo que em diversos outros pontos os dados comunitários e o da modelagem coincidem, dando certa validação para ambos. A maioria das áreas suscetíveis a alagamentos apontadas pela população, e que não foram captadas pela modelagem, estão nas regiões fora da poligonal de regularização, onde não existe projeto de rede de drenagem, dado necessário para o levantamento de pontos de alagamento segundo a metodologia aplicada na modelagem.

Da mesma forma, a maioria dos locais de ocorrência de enxurradas mapeados pela população e não captados pela modelagem estão fora da poligonal de regularização. Tal fato aponta para a possibilidade de que a falta do MDT detalhado para todo o trecho tenha influenciado nos resultados, já que esse é um dado importante para o cálculo de enxurrada e o levantamento LiDar feito pela Codhab limitou-se à poligonal de regularização. Além da escassez de dados, condição comum em contextos de vulnerabilidade, é importante

ressaltar que a modelagem busca retratar, em ambiente computacional, cenários complexos e multifacetados, não possuindo capacidade de representar fielmente a realidade, ou seja, apresenta falhas.

Ademais, durante as oficinas comunitárias, os moradores mapearam locais com ocorrência de erosão, processos também causados por eventos de natureza hidrológica, porém, não possíveis de serem identificados com exatidão a partir da modelagem. Ou seja, a participação comunitária possibilita a captação de nuances muitas vezes não identificados por ferramentas técnicas, além de contornar, em grande parte, a escassez de dados. Dessa maneira, evidencia-se que a participação da comunidade foi fundamental nessa etapa de análise de risco, possibilitando o refinamento e qualificação dos resultados, permitindo análises e diagnósticos mais realistas e contextualizados com as dinâmicas locais e direcionando medidas mitigatórias mais eficazes.

Figura 65 – Mapa de identificação de áreas suscetíveis a enxurradas, alagamentos e erosões.



Ao analisar o mapa, interessa observar que quase todos os pontos de erosão mapeados pela população estão concentrados nas bordas da ocupação, especialmente na porção sul do Trecho, em regiões mais a jusante. Além disso, grande parte das enxurradas ocorrem nas ruas no sentido norte-sul, perpendiculares às curvas de nível, antecedendo os pontos de erosão. Tal fato reforça a constatação de que o escoamento superficial chega com grande velocidade à jusante, causando erosões, devido à inadequação do desenho urbano do Trecho, com vias que favorecem a ocorrência de enxurradas.

A Avenida do Trem Bão se destaca tanto nos resultados da modelagem, com a identificação de suscetibilidade a enxurradas ao longo de toda sua extensão, como na alta quantidade de pontos de enxurrada mapeados pela população. A avenida configura-se como um local crítico do Trecho 3 pelo seu desenho e pela própria concepção da rede de drenagem, como mostrado anteriormente. Percebe-se ainda que a bacia de detenção construída ao final da mancha urbana para amortecer o escoamento superficial possui um ponto de erosão, possivelmente causada pela força da água.

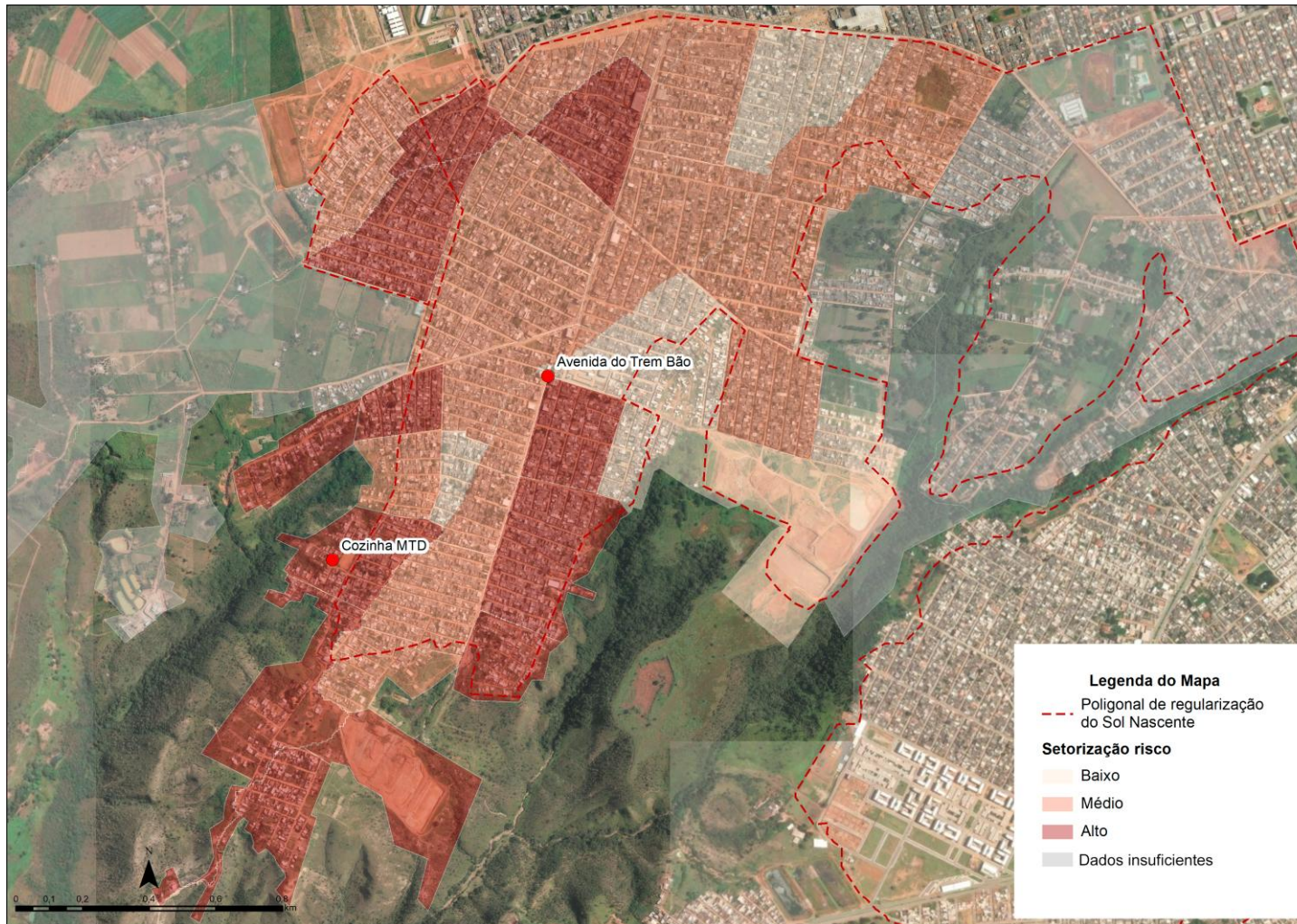
Enquanto a ocorrência de enxurradas se concentra na porção oeste do Trecho, os alagamentos ocorrem em todo o território de forma mais distribuída. Observa-se que muitas manchas aparecem já no início do Trecho, indicando sobrecarga, reflexo das falhas na rede drenagem comentadas anteriormente. Aproximadamente 1666 edificações são atingidas pelas manchas de alagamento geradas com a modelagem, mostradas no mapa. Acredita-se que esse valor seja ainda maior ao considerar os pontos mapeados pela população e outras regiões não captadas pela modelagem.

Cabe ressaltar novamente o fato de que muitos dos pontos de risco mapeados pela população estão fora da poligonal de regularização, o que já era esperado já que essa expansão ocorreu em áreas de maior declividade, fragilidade ambiental e infraestrutura urbana precária, caracterizando essas regiões como as mais socioambientalmente vulneráveis do Trecho 3. Tal vulnerabilidade é reforçada ainda pela própria escassez de dados relatada. Nesses casos, os dados produzidos junto à população nas oficinas mostraram-se ainda mais necessários, endossando Basco-Carrera *et al.* (2027) e Kotir *et al.* (2027) ao afirmarem que o emprego de metodologias sociotécnicas são fundamentais em contextos urbanos mais vulneráveis.

A Figura 66 mostra o resultado da setorização de risco, que considerou não só a sobreposição de ocorrência de alagamentos, enxurradas e erosões como também a proximidade a APPs e localização fora da poligonal de regularização. A setorização de risco é fundamental na identificação de áreas críticas e prioritárias para intervenções, ações de prevenção e preparação dos moradores para resposta em situações emergenciais.

As porções leste e oeste do Trecho, representadas em cinza no mapa, apresentaram dados insuficientes para a classificação. A porção oeste possui uma baixa ocupação, com características predominantemente rurais. Já a porção leste possui áreas com ocupação mais densa quando comparada à porção oeste, apesar de também apresentar características rurais. Nestas duas porções, além da escassez de dados necessários para a identificação de riscos pela modelagem, não foram mapeados pontos de risco hidrológico pelos moradores, por isso não foram consideradas na setorização. É importante ressaltar que esse fato não significa necessariamente a inexistência de riscos nessas áreas e pode estar relacionado a outros motivos, como a não participação de moradores dessas áreas nas oficinas de mapeamento. Já outras áreas fora da poligonal de regularização e com escassez de dados para a modelagem foram consideradas na setorização a partir do mapeamento e percepção de risco da população, como as áreas a jusante do Trecho.

Figura 66 - Mapa de setorização de riscos.



Observa-se que grande parte das unidades hidrográficas delimitadas no Trecho foi classificada de médio a alto risco. Nas unidades classificadas de alto risco na porção Noroeste do Trecho, foi identificada uma sobreposição de suscetibilidade a alagamentos e enxurradas, enquanto nas demarcadas como risco médio foi identificada a ocorrência de apenas um tipo de processo. Na porção Nordeste foi identificada a forte presença de alagamentos, sem sobreposição com enxurradas, portanto, as unidades dessa porção variaram entre baixo e médio risco com base no menor ou maior número de edificações atingidas por alagamento. As porções Sudeste e Sudoeste do Trecho possuem a maior concentração de unidades com alto risco. Nessas regiões a jusante do Trecho, além da ocorrência de enxurradas e alagamentos, foram identificados processos erosivos, maior proximidade às APPs e maior declividade, além de boa parte das edificações estarem fora da poligonal de regularização, configurando-se em áreas críticas.

Os mapas das Figura 65 e Figura 66 integraram a Cartilha de Prevenção de Riscos elaborada junto à população para a área do Sol Nascente como parte do Plano de Contingência desenvolvido através do Plano Comunitário (Andrade *et al.*, 2025). A documentação dos locais suscetíveis a determinados processos e a setorização de risco, através de mapas em escalas adequadas, são importantes instrumentos para a construção de capacidade e autonomia local de enfrentamento e resposta frente aos riscos socioambientais. Uma valiosa possibilidade criada a partir dessa documentação, por exemplo, é o traçado de rotas de fuga e identificação dos locais de permanência seguros durante uma situação de emergência, fundamental para a construção do plano de contingência.

A importância dessa etapa se dá não apenas pelo produto em si, que instrumentaliza a comunidade e qualifica a etapa de resposta, mas principalmente pelo processo de construção coletiva. Este, uma vez estendido à população atingida, possibilita a aprendizagem social através da interação entre diferentes grupos, promove o engajamento, o sentimento de pertencimento e a apropriação social das questões territoriais. Assim, a abordagem sociotécnica, que neste caso integrou a modelagem hidrológico-hidráulica à participação comunitária, revelou potencial estratégico para apoiar processos que visam a mitigação e redução de riscos em áreas vulneráveis.

7.3 Desempenho dos cenários com aplicação de SbN

Os cenários com implantação de SbN foram simulados com a chuva real do dia 9 de fevereiro de 2023, apresentada no capítulo de Metodologia. A partir disso, foram analisados tanto parâmetros de fluxo de água, como parâmetros de funcionamento dos elementos da rede de drenagem, como condutos e poços de visita. Para a análise dos parâmetros relacionados ao fluxo de água também foi utilizado o conduto C30 (Figura 61) como representativo da rede em toda a bacia de contribuição. Assim, em cada cenário foram consultados os valores referentes ao fluxo de água que chega no último conduto do sistema, indicando o comportamento geral da rede de drenagem.

7.3.1 Cenários com trincheiras de infiltração

A Figura 67 apresenta a comparação entre os hidrogramas de fluxo de água pelo tempo nos cenários base (CB) e com implantação de trincheiras de infiltração na Avenida do ‘Trem Bão’ e lotes adjacentes (CT1; CT1.1; CT1.2; CT1.3). Ao analisar os hidrogramas, é possível observar inicialmente que os diferentes cenários apresentaram pouca diferença de fluxo em relação ao CB. Além disso, possuem semelhança no padrão de vazão, atingindo o pico próximo às 15h, apesar do CB apresentar maior atraso no pico em relação aos outros. O CT1 (trincheiras na avenida do ‘Trem Bão’ e lotes adjacentes com taxa de infiltração mínima) apresentou o maior pico de vazão, com valor de 24,66 m³/s, que ocorre às 15h8min, 11 minutos após o início da chuva. Esse cenário mostrou-se parecido com o CB, mas com uma discreta piora, visto que houve um pequeno aumento no valor de pico de vazão, como mostrado na Tabela 1.

Figura 67 - Hidrogramas do C30 nos cenários CB, CT1, CT1.1, CT1.2, CT2.1.3.

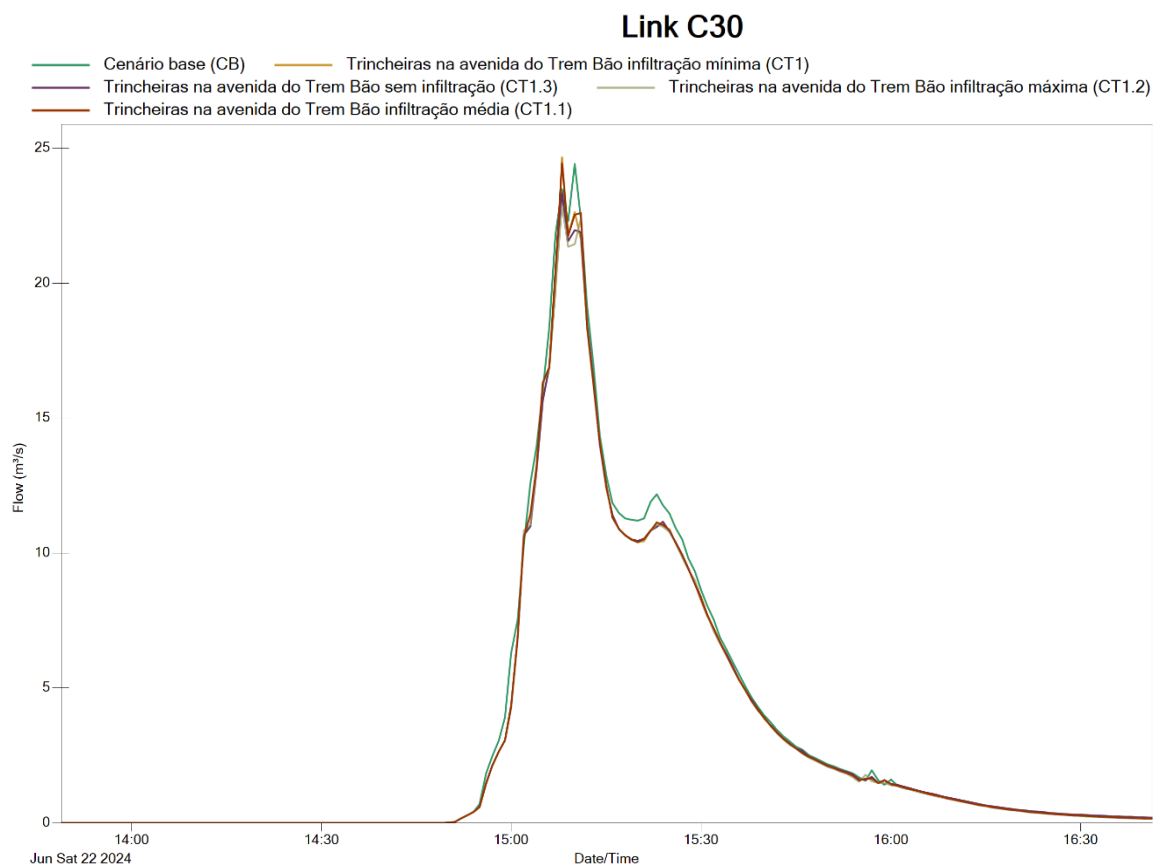


Tabela 1 – Comparação dos parâmetros de fluxo dos cenários CB e CT1.

Parâmetros	Cenários		
	CB	CT 1	Abatimento
Vazão de pico (m³/s)	24,42	24,66	-1%
Vazão média (m³/s)	0,3993	0,3939	1%
Volume do escoamento superficial excedente (m³)	34350	33900	1%

Os demais parâmetros analisados (vazão média e volume do escoamento superficial excedente) apresentaram melhoras pouco significativas, com abatimento de 1% em relação ao CB. Além disso, o pico de vazão do CB ocorre às 15h10min, o que significa que no CT1 há um adiantamento de 2 minutos no pico. Do ponto de vista prático, esses valores de abatimento são insignificantes para a mitigação de risco por redução de escoamento superficial na área. Ainda assim, cabe uma análise do motivo pelo qual a

vazão de pico do CT1 foi maior que a do CB. Tal resultado pode indicar uma alteração na dinâmica do escoamento superficial decorrente da inserção do dispositivo, com o aumento na vazão de pico, uma vez que esta é influenciada por inúmeros fatores. É possível afirmar ainda que a resposta do sistema não se restringe à redução direta do pico e, nesse sentido, observa-se que a vazão média e o volume de escoamento excedente apresentaram melhoras. Ainda assim, é importante destacar que o modelo não foi calibrado, o que diminuiria a possibilidade de falhas da ferramenta, por isso, os resultados devem ser interpretados como estimativas.

A Tabela 2 mostra a comparação e os valores de abatimento do CT1.1 (trincheiras na avenida do ‘Trem Bão’ e lotes adjacentes com taxa de infiltração média) em relação ao CB. Observa-se que no CT1.1 o valor de vazão de pico se mantém em relação ao CB, indicando uma ligeira melhora em relação ao CT1, que apresentou piora nesse parâmetro. Já a vazão média e o volume de escoamento excedente têm um abatimento de 4% em relação ao CB, maior que no CT1. Esse resultado evidencia dois pontos, primeiramente que o aumento na taxa de infiltração influenciou na melhoria do cenário principalmente nos parâmetros ‘vazão média’ e ‘volume de escoamento excedente’, mas de maneira pouco significativa. Em segundo lugar, observa-se que a vazão de pico, apesar de apresentar melhora, foi pouco influenciada pela mudança na taxa de infiltração, que era de 0,94 mm/h no CT1 e foi aumentada para 71,21 mm/h no CT1.1.

Tabela 2 – Comparação dos parâmetros de fluxo dos cenários CB e CT1.1.

Parâmetros	Cenários		
	CB	CT 1.1	Abatimento
Vazão de pico (m ³ /s)	24,42	24,42	0%
Vazão média (m ³ /s)	0,3993	0,3816	4%
Volume do escoamento superficial excedente (m ³)	34350	32830	4%

Já no CT 1.2 (trincheiras na avenida do ‘Trem Bão’ e lotes adjacentes com taxa de infiltração máxima) os valores de abatimento em relação ao CB mostraram-se melhores que nos demais cenários, havendo um abatimento de 6% em todos os parâmetros observados (Tabela 3). No caso da ‘vazão média’ e do ‘volume excedente’, o aumento no

valor de abatimento já era esperado, considerando o cenário anterior. Porém, nesse cenário observa-se que a taxa de infiltração máxima (141,48 mm/h) influenciou com mais força no parâmetro ‘vazão de pico’, diferente dos cenários anteriores, o que, inicialmente, aponta para um padrão em que quanto maior a taxa de infiltração, maior o abatimento na vazão de pico. Porém, como mostrado adiante na Tabela 4, o CT1.3 (trincheiras na avenida do ‘Trem Bão’ sem a propriedade de infiltração) contraria esse padrão.

Tabela 3 – Comparação dos parâmetros de fluxo dos cenários CB e CT1.2.

Parâmetros	Cenários		
	CB	CT 1.2	Abatimento
Vazão de pico (m ³ /s)	24,42	22,87	6%
Vazão média (m ³ /s)	0,3993	0,3772	6%
Volume do escoamento superficial excedente (m ³)	34350	32460	6%

No CT1.3, os parâmetros de ‘vazão média’ e ‘volume do escoamento excedente’ apresentaram abatimento de 1% em relação ao CB, igual ao CT1. Porém, a ‘vazão de pico’ teve um abatimento de 5% em relação ao CB, maior que todos os cenários, exceto o CT1.2. Esse resultado mostra que, quando existe a propriedade de infiltração nas trincheiras, taxas menores não são tão eficientes para reduzir a vazão de pico, diferente dos demais parâmetros, que apresentaram melhoras à medida em que aumentou-se a taxa de infiltração. Ainda assim, de maneira prática, os valores de abatimento em todos os cenários pouco alteram a situação de risco na área de estudo.

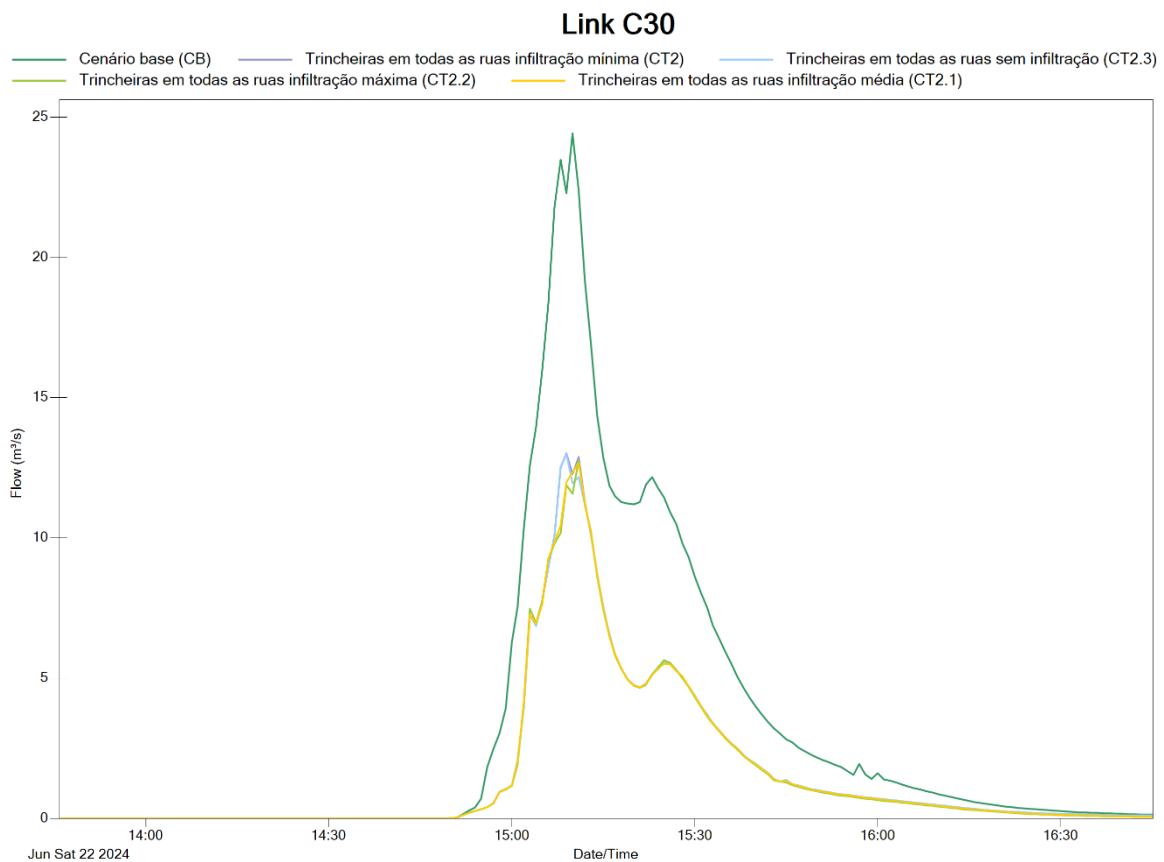
Tabela 4 – Comparação dos parâmetros de fluxo dos cenários CB e CT1.3.

Parâmetros	Cenários		
	CB	CT 1.3	Abatimento
Vazão de pico (m ³ /s)	24,42	23	5%
Vazão média (m ³ /s)	0,3993	0,3938	1%
Volume do escoamento superficial excedente (m ³)	34350	33880	1%

Assim, de maneira geral, os pequenos valores de abatimento obtidos apontam para uma baixa eficiência dos cenários com implantação de trincheiras apenas na Avenida do ‘Trem Bão’ e lotes adjacentes em relação à rede geral. Isso se dá, possivelmente, devido à pequena área de implantação de trincheiras quando comparada à área total do Trecho 3, que é bastante extensa. Ademais, indica a importância de avaliar o local de aplicação das estruturas SbN na bacia de contribuição, o que não impede, porém, que tenha ocorrido uma melhora quando analisada a rede da avenida do ‘Trem Bão’ isoladamente.

Por outro lado, os cenários envolvendo a implantação de trincheiras em todas as ruas do Trecho (CT2; CT2.1; CT2.2 e CT2.3) apresentaram resultados satisfatórios, com abatimentos próximos a 50% nos parâmetros avaliados. A Figura 68 mostra a comparação entre os hidrogramas dos cenários. Nota-se que, diferente da Figura 67, os cenários alternativos apresentaram uma redução de fluxo de água significativa em relação ao CB. Já entre si, os parâmetros de vazão nos cenários alternativos mantiveram-se semelhantes.

Figura 68 - Hidrogramas do C30 nos cenários CB, CT2, CT2.1, CT2.2, CT2.3.



O valor de ‘vazão de pico’ no CT2 (trincheiras em todas as ruas do Trecho, com infiltração mínima) foi de 13,02 m³/s, correspondendo a uma redução de 47% em relação ao CB, mesmo valor de abatimento dos demais parâmetros (Tabela 5). Apesar disso, o horário de pico pouco se alterou, havendo um atraso de 1 minuto no CT2 em relação ao CB. Acredita-se que o padrão de horário se manteve quase o mesmo em todos os cenários devido à própria dinâmica da chuva utilizada.

Tabela 5 – Comparação dos parâmetros de fluxo dos cenários CB e CT2.

Parâmetros	Cenários		
	CB	CT 2	Abatimento
Vazão de pico (m ³ /s)	24,42	13,02	47%
Vazão média (m ³ /s)	0,3993	0,2101	47%
Volume do escoamento superficial excedente (m ³)	34350	18080	47%

O CT2.1 (trincheiras em todas as ruas do Trecho com infiltração média) teve abatimento de 48% em relação ao CB na ‘vazão de pico’ e 52% nos demais parâmetros (Tabela 6), apresentando pequena melhora em relação ao CT2. Isso demonstra que, assim como nos cenários anteriores, o aumento na taxa de infiltração influenciou nos valores de abatimento, especialmente na ‘vazão média’ e ‘volume de escoamento’, mas, de maneira discreta, o que não impactaria no escoamento superficial na prática.

Tabela 6 – Comparação dos parâmetros de fluxo dos cenários CB e CT2.1.

Parâmetros	Cenários		
	CB	CT 2.1	Abatimento
Vazão de pico (m ³ /s)	24,42	12,76	48%
Vazão média (m ³ /s)	0,3993	0,1934	52%
Volume do escoamento superficial excedente (m ³)	34350	16640	52%

No CT2.2 (trincheiras em todas as ruas do Trecho com infiltração máxima), observou-se que a variação nos valores dos parâmetros ocorreu de maneira tão discreta que não influenciou nas porcentagens de abatimento, que se mantiveram iguais ao CT2.1 (Tabela

7). Ou seja, o aumento da taxa de infiltração de média para máxima, nesse caso, não impactou os resultados finais.

Tabela 7 – Comparação dos parâmetros de fluxo dos cenários CB e CT2.2.

Parâmetros	Cenários		
	CB	CT 2.2	Abatimento
Vazão de pico (m ³ /s)	24,42	12,67	48%
Vazão média (m ³ /s)	0,3993	0,1916	52%
Volume do escoamento superficial excedente (m ³)	34350	16490	52%

Por fim, o CT2.3 (trincheiras em todas as ruas do Trecho sem a propriedade de infiltração) apresentou valores semelhantes ao CT2 e uma pequena piora em relação CT2.1 e CT2.2 (Tabela 8). Assim, observa-se que não existe diferença entre o cenário com taxa de infiltração mínima e o com taxa de infiltração zero e, ainda que haja uma diminuição nas porcentagens de abatimento do CT2.3 em relação ao CT2.1 e CT2.2, a variação é pequena, de tal forma que não traria grandes efeitos na prática, principalmente no parâmetro ‘vazão de pico’.

Tabela 8 – Comparação dos parâmetros de fluxo dos cenários CB e CT2.3.

Parâmetros	Cenários		
	CB	CT 2.3	Abatimento
Vazão de pico (m ³ /s)	24,42	13	47%
Vazão média (m ³ /s)	0,3993	0,2099	47%
Volume do escoamento superficial excedente (m ³)	34350	18060	47%

Portanto, no que se refere aos parâmetros de fluxo dos cenários com trincheiras no geral, o CT2, CT2.1 e CT2.2 e CT2.3 mostram-se bastante eficientes, reduzindo aproximadamente pela metade o valor de vazão quando comparados ao CB. Constatou-se que, no caso da região de estudo, a taxa de infiltração exerce pouca influência sobre os valores finais de vazão de água pluvial. Esse achado é particularmente relevante para

áreas com restrições de infiltração por fatores como a presença de solos argilosos ou suscetibilidade à instabilidade geotécnica, como é o caso do Sol Nascente, devido à sua condição de colapsividade do solo. Portanto, as simulações demonstram que a utilização de trincheiras apenas com a função de armazenamento e detenção de água, sem infiltração, é eficaz nesses contextos e produz benefícios equivalentes aos cenários que consideram diferentes taxas de infiltração. Nesse sentido, essas estruturas contribuem para o retardo do escoamento superficial e aumento no tempo de concentração, reduzindo os impactos de enxurradas e alagamentos, uma vez que o transporte da água ocorre mais lentamente, evitando elevadas vazões de pico e altas velocidades como ocorre atualmente no Trecho.

A Tabela 9 evidencia as estimativas dos resultados referentes ao funcionamento dos elementos da rede de drenagem, tais como poços de visita e condutos, durante um evento chuvoso nos cenários com implantação de trincheiras na Avenida do ‘Trem Bão’ e lotes adjacentes. Todos os cenários tiveram pouca alteração em relação ao CB, principalmente nos parâmetros de ‘volume extravasado’, ‘PVs sobrecarregados’ e ‘condutos forçados’, que mantiveram-se praticamente iguais em todos os cenários. Os demais parâmetros apresentaram maiores alterações, porém pouco significativas também. Tal resultado já era esperado, visto o baixo impacto desses cenários nos parâmetros de fluxo de água apresentados anteriormente.

Tabela 9 – Comparação dos parâmetros de funcionamento da rede dos cenários com implantação de trincheiras na avenida do Trem Bão.

Parâmetros Observados	Cenários				
	CB	CT1	CT1.1	CT1.2	CT1.3
Número total de PV	598	598	598	598	598
Número de PV extravasados	70	71	70	69	71
Horas inundados (média)	1,24	1,22	1,38	1,25	1,27
Volume extravasado (10 ⁶ litros)	13,28	13,27	13,27	13,27	13,27
Número de PV sobrecarregados	88	87	87	87	87
Horas sobrecarregados (média)	4,78	4,69	4,69	4,69	5,13
Número total de condutos	579	579	579	579	579
Número de condutos forçados	133	131	131	130	131

Nos cenários com implantação de trincheiras em todas as ruas, ocorrem melhorias de mais de 60% em quase todos os parâmetros, apontando para um melhor funcionamento da rede de drenagem nesses cenários (Tabela 10). Nota-se que nos cenários alternativos houve um aumento nos valores de ‘médias de horas que os PVs ficam inundados e sobrecarregados’ durante um evento chuvoso. Esse aumento sugere que, com o retardamento do escoamento pluvial nesses cenários, a rede de drenagem passa a ser mais exigida, uma vez que a água, em vez de permanecer na superfície, provocando o alagamento nas ruas, é direcionada para dentro do sistema. Portanto, esses resultados apontam para um impacto positivo significativo no que diz respeito à mitigação dos efeitos de alagamento e enxurradas nesses cenários.

Tabela 10 – Comparação dos parâmetros de funcionamento da rede dos cenários com implantação de trincheiras em todas as ruas.

Parâmetros Observados	Cenários				
	CB	CT2	CT2.1	CT2.2	CT2.3
Número total de PV	598	598	598	598	598
Número de PV extravasados	70	26	26	26	26
Horas inundados (média)	1,24	2,31	2,30	2,30	2,24
Volume extravasado (10 ⁶ litros)	13,283	4,35	4,94	4,80	4,310
Número de PV sobrecarregados	88	34	34	34	34
Horas sobrecarregados (média)	4,78	11,72	11,72	11,72	11,72
Número total de condutos	579	579	579	579	579
Número de condutos forçados	133	54	54	54	54

A Figura 69 mostra a configuração atual da Avenida do Supermercado ‘Trem Bão’, que recebe grande parte do fluxo de água vindo de Ceilândia e para a qual foram propostos os cenários CT1, CT1.1, CT1.2 e CT1.3. Já na Figura 70 é apresentada uma proposta de intervenção da via a partir da implantação das trincheiras. As imagens foram produzidas para fins de visualização de possibilidades dos cenários. Além da implantação das unidades de infiltração no canteiro central já existente, foi proposta a implantação também ao longo das vias, criando uma divisão entre a área de pedestres e ciclistas e área de veículos.

É importante ressaltar ainda que na atual configuração da avenida, há um estreitamento do canteiro central em alguns trechos para a inserção de vagas de estacionamento. Por se tratar de uma via com forte presença de comércio, sugere-se que esses trechos sejam mantidos, sem a implantação de trincheiras, e que os estacionamentos sejam preservados, visto sua importância para o comércio local.

Figura 70 - Avenida do 'Trem Bão', Trecho 3 do SHSN.



Fonte: *Google Earth*, 2024.

Figura 69 - Proposta para implantação de trincheiras na Avenida do 'Trem Bão'.



A Figura 72 mostra uma das ruas locais do trecho, cuja configuração se repete em grande parte das demais vias, para as quais foram pensados os cenários CT2, CT2.1, CT2.2 e CT2.3. Por possuírem dimensões reduzidas, propõe-se a transformação em vias compartilhadas entre pedestres, carros e ciclistas e de mão única. As trincheiras foram implantadas de maneira descontínua, não interferindo no acesso dos veículos às garagens, como mostra a Figura 71.

O estacionamento de veículos nas ruas é uma prática comum no local, mesmo nas vias de largura reduzida. Algumas alternativas ao conflito entre a implantação das trincheiras e o estacionamento de carros nas ruas são o desenvolvimento de um modelo que suporte a permanência de veículos por meio de reforço estrutural ou a implantação de um número reduzido de trincheiras, aumentando o espaço entre os dispositivos e preservando locais para o estacionamento.

Figura 72 - Configuração de rua local do Trecho 3 do SHSN.



Fonte: *Google Earth*, 2024.

Figura 71 - Proposta para implantação de trincheiras nas ruas.



7.3.2 Cenários com valas vegetadas

A Figura 73 traz a comparação entre os hidrogramas resultantes dos cenários com implantação de valas vegetadas (CV1 e CV2) e o cenário base (CB). Os padrões de fluxo de água pelo tempo são semelhantes, com pico de vazão por volta das 15h. Nesse caso, o CB apresentou o maior pico de vazão, com o valor de 24,42 m³/s às 15h10min. Porém, houve pouca variação no CV1, que atingiu 24,17 m³/s de vazão de pico, às 15h08min, apenas 1% de abatimento em relação ao CB (Tabela 11). O restante dos parâmetros observados no CV1 obtiveram abatimento de 6%. Se comparado ao CT1.3, já que os cenários com vala também não possuem a propriedade de infiltração, o CV1 apresentou menor abatimento na ‘vazão de pico’, porém, maior abatimento na ‘vazão média’ e no ‘volume de escoamento excedente’. Novamente, na prática, tais valores não promovem alterações significativas na redução do escoamento

Figura 73 - Hidrograma do C30 nos cenários CB, CV1 e CV2.

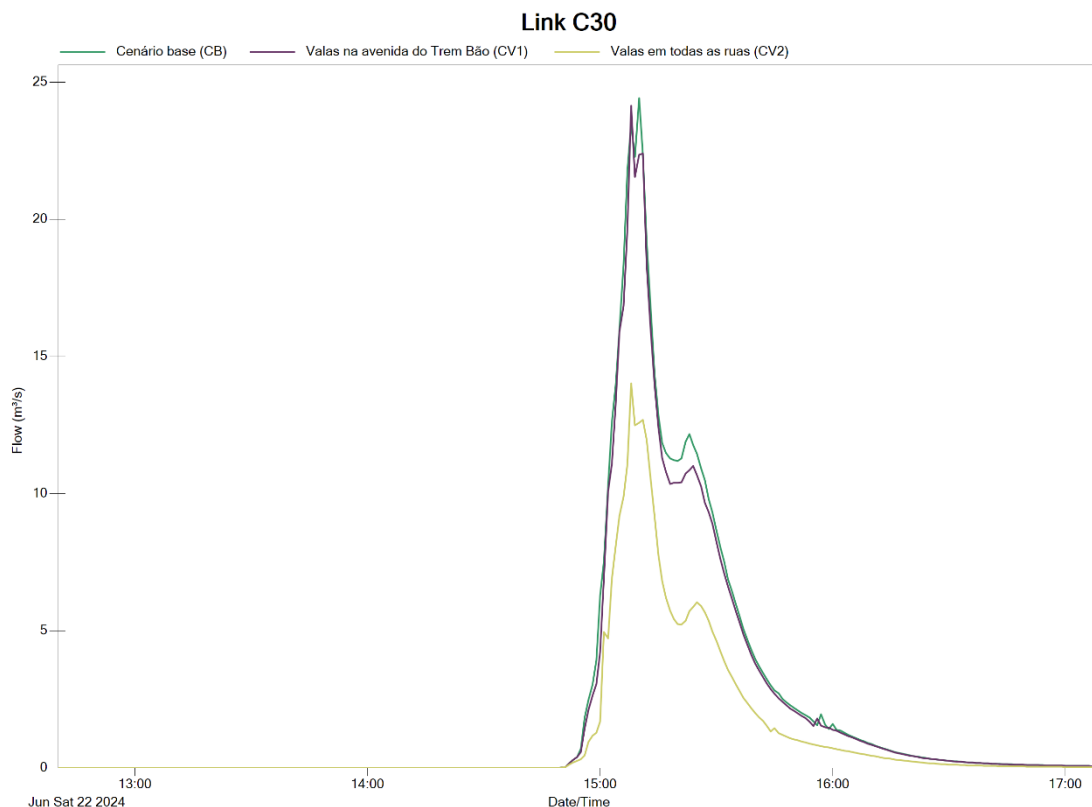


Tabela 11 – Comparação dos parâmetros de fluxo dos cenários CB e CV1.

Parâmetros	Cenários		
	CB	CV1	Abatimento
Vazão de pico (m ³ /s)	24,42	24,17	1%
Vazão média (m ³ /s)	0,3993	0,3765	6%
Volume do escoamento superficial excedente (m ³)	34350	32390	6%

Assim como nos cenários com trincheiras, o cenário com implantação de dispositivos em todas as ruas apresentou melhores resultados de abatimento. Houve redução de 43% na ‘vazão de pico’ e 47% nos demais parâmetros em relação ao CB (Tabela 12). É interessante observar que os valores de abatimento nos cenários com implantação tanto de trincheiras como de valas em todas as ruas se assemelham no geral, com pequenas melhoras nos valores dos cenários com trincheiras.

Tabela 12 - Comparação dos parâmetros de fluxo dos cenários CB e CV2.

Parâmetros	Cenários		
	CB	CV2	Abatimento
Vazão de pico (m ³ /s)	24,42	14,73	43%
Vazão média (m ³ /s)	0,3993	0,2121	47%
Volume do escoamento superficial excedente (m ³)	34350	18250	47%

As variações registradas nos parâmetros de funcionamento dos elementos da rede também foram parecidas com as observadas nos cenários com trincheiras (Tabela 13). Alguns valores no CV1 se mantiveram inalterados em relação ao CB, como o número de PVs extravasados, enquanto os demais apresentaram mudanças pouco significativas. No CV2, por outro lado, todos os parâmetros considerados obtiveram melhora de aproximadamente 60%, assim como nos cenários CT2, CT2.1, CT2.2 e CT2.3, apontando para uma semelhança entre esses cenários e conseqüentemente entre a operação e funcionamento das SbN analisadas.

Tabela 13 – Comparação dos parâmetros de funcionamento da rede dos cenários com implantação de valas.

Parâmetros Observados	Cenários		
	CB	CV1	CV2
Número total de PV	598	598	598
Número de PV extravasados	70	70	26
Horas inundados (média)	1,24	1,21	2,54
Volume extravasado (10 ⁶ litros)	13,283	13,272	4,504
Número de PV sobrecarregados	88	87	34
Horas sobrecarregados (média)	4,78	4,91	11,72
Número total de condutos	579	579	579
Número de condutos forçados	133	131	56

Assim como nos cenários com trincheiras, foram produzidas imagens ilustrativas para os cenários com valas vegetadas. A Figura 74 mostra a avenida do Trem Bão com a implantação de valas no canteiro central e em alguns trechos ao longo da via, representando o CV1. Sugere-se a mesma solução dada para o estacionamento de veículos no cenário com trincheiras.

Figura 74 - Proposta para implantação de valas na Avenida do 'Trem Bão'.



A Figura 75 demonstra a proposição para implantação de valas nas ruas locais, representando o CV2. Nesse caso, também foi pensado na transformação das ruas em vias compartilhadas e de mão única, com a instalação das valas junto aos muros das casas, simulando pequenos jardins. Sugere-se as mesmas alternativas dadas para o estacionamento de veículos no cenário com trincheiras.

Figura 75 - Proposta para implantação de valas nas ruas.



Por um lado, dentre todos os cenários simulados nesse estudo, os com trincheiras apresentaram os melhores desempenhos, por outro lado, de maneira geral, todos os cenários apresentaram valores muito próximos, entre 46% a 52% de abatimento nos parâmetros observados. Isso significa que, na prática, todos os cenários com aplicação de SbN em todas as ruas do trecho são eficazes para a redução do escoamento superficial na área, devendo, portanto, serem adotadas as medidas de menor custo e que melhor se adequem às condições físicas e sociais locais.

Por fim, é importante ressaltar a dificuldade de representar por meio de simulações computacionais uma realidade complexa, dinâmica e influenciada por inúmeros fatores. Ainda assim, as simulações possuem grande potencial em orientar as tomadas de decisão ao apresentar estimativas aproximadas do comportamento do sistema diante diferentes cenários.

Diante de tais resultados, é reconhecida a importância da conclusão das obras de drenagem na região e a necessidade de sua integração com soluções que promovam maior armazenamento, detenção e retenção da água pluvial, a exemplo das mostradas neste trabalho. As análises apontaram para impactos significativos no escoamento superficial a partir da combinação entre SbN e infraestrutura de drenagem convencional,

especialmente nos cenários de implantação das estruturas em todas as ruas. Além disso, tais soluções devem ser pensadas de forma ampliada e sistêmica, incluindo também a região à montante, Ceilândia, responsável por grande parte do escoamento pluvial que atinge o Sol Nascente. Assim, entende-se que para alcançar maiores valores de abatimento, sobretudo nos cenários com implantação de SbN apenas em ruas específicas ou áreas reduzidas, é necessário o desenvolvimento de estratégias voltadas ao aumento do tempo de concentração, à redução e infiltração de grande parte do escoamento superficial em Ceilândia, reduzindo os impactos no Sol Nascente.

Outro ponto importante refere-se ao desenho urbano das vias, em especial da Avenida do Trem Bão, que, conforme já mostrado, contribui no aumento da velocidade do escoamento superficial na área, favorecendo a ocorrência de enxurradas e a formação de processos erosivos a jusante. Não se pode descartar, portanto, a possibilidade de tal característica dificultar o desempenho das medidas SbN, como observado nos cenários com a implantação apenas na Avenida do Trem Bão e lotes adjacentes. Seria necessária uma investigação mais aprofundada acerca do impacto da adoção de estratégias de desenho urbano sensível à água sobre o valores de abatimento de escoamento superficial, orientando soluções que articulem desenho urbano e medidas SbN.

Tanto os resultados referentes à avaliação da rede de drenagem, como os obtidos com a implantação das SbN, foram apresentados durante uma audiência pública que fez parte das atividades realizadas no âmbito do Plano Comunitário (Figura 76) e serviram para a instrumentalização da população na discussão sobre os problemas que enfrentam no território. O tema da audiência foi “Gestão de riscos, desastres ambientais e planejamento comunitário no Sol Nascente” e teve a participação de órgãos distritais e federais, dos moradores do Sol Nascente e da equipe técnica do projeto.

Na ocasião, foram apresentadas constatações e questões prioritárias a serem tratadas com base nos estudos sociotécnicos desenvolvidos e nos relatos da população, que tiveram participação em todo o processo. Como resultado da audiência, foram feitos encaminhamentos junto aos órgãos competentes para o enfrentamento da situação no Sol Nascente.

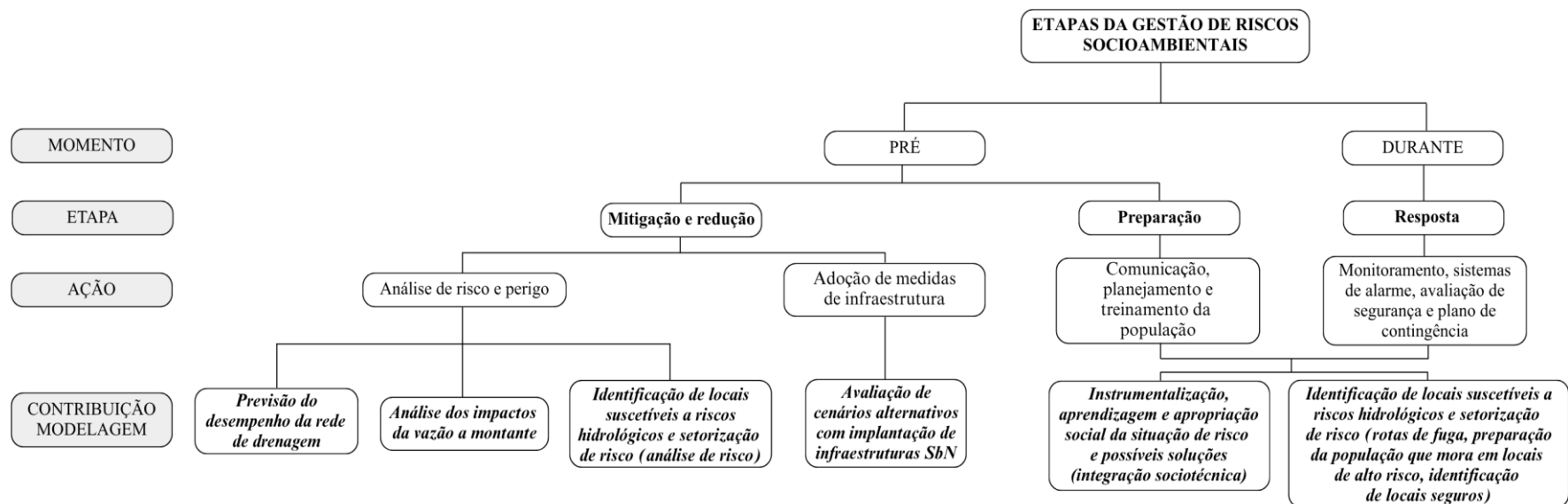
Figura 76 - Audiência pública com apresentação dos estudos hidrológicos.



Fonte: Acervo da autora, 2024.

Os resultados apresentados nesse capítulo evidenciam de forma concentra as contribuições da modelagem hidrológico-hidráulica como instrumento de apoio à construção de processos comunitários de gestão de riscos em áreas ambientalmente fragilizadas, indicando caminhos possíveis para sua utilização em contextos semelhantes. A Figura 77 mostra um esquema que relaciona, de maneira sucinta, as contribuições da ferramenta, no caso do presente estudo de caso, nas etapas mais importantes da gestão de riscos socioambientais segundo Di Gregorio e Couto (2019), de mitigação e redução, preparação e resposta.

Figura 77 – Contribuições da modelagem hidrológico-hidráulica na construção do processo comunitário de gestão de riscos socioambientais no Sol Nascente.



8 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo explorar as contribuições da modelagem hidrológico-hidráulica como ferramenta de apoio à construção de processos comunitários de gestão de riscos em áreas ambientalmente fragilizadas, a partir do estudo de caso do Trecho 3 do Sol Nascente, DF. Para tanto, partiu-se de uma abordagem teórica bem delimitada à luz da Ciência Pós-Normal e consequente desenvolvimento de um método replicável, baseado na integração sociotécnica entre modelagem hidrológico-hidráulica e participação comunitária. Entende-se a replicabilidade e a eficácia do método como fatores fundamentais para que o estudo possa contribuir com o enfrentamento dos riscos socioambientais em outras áreas do território brasileiro, não se limitando apenas ao estudo de caso. Assim, a análise dos resultados buscou responder à seguinte pergunta de pesquisa: *como a modelagem hidrológico-hidráulica pode contribuir na construção comunitária de gestão de riscos em áreas ambientalmente fragilizadas?*

Primeiramente, interessa pontuar que os resultados obtidos no estudo evidenciaram a importância da integração sociotécnica para a superação de limitações técnicas-científicas diante de problemas complexos e multifacetados, como os de caráter socioambiental, especialmente em áreas de maior vulnerabilidade social. Tal integração possibilitou o uso do modelo como meio de comunicação, mediação e aprendizagem social, facilitando e simplificando o diálogo entre as partes, além de qualificar as etapas, fornecendo análises mais contextualizadas e soluções mais adaptadas às realidades territoriais. Ao mesmo tempo, potencializou o engajamento social, a compreensão coletiva, a instrumentalização da população e a capacidade local de resposta. Esta caracterizou-se, do ponto de vista do estudo, como uma importante contribuição do uso da ferramenta no processo de construção comunitária de gestão de riscos para a área, em consonância com os resultados dos estudos analisados na revisão de literatura.

De maneira mais específica, a modelagem hidrológico-hidráulica contribuiu para as principais etapas da gestão de riscos, sendo mitigação e redução, preparação e resposta. Na etapa de mitigação e redução, que envolve medidas preventivas de análise de risco e adoção de medidas de infraestrutura, a modelagem pode ser utilizada na previsão do comportamento da rede de drenagem, na análise dos impactos da vazão proveniente da região à montante, na identificação dos locais suscetíveis a riscos hidrológicos e na

avaliação de cenários alternativos com implantação de medidas SbN. Tais contribuições são fundamentais para a prevenção de desastres.

Nas etapas de preparação e resposta, que envolvem a elaboração do protocolo de comunicação, planejamento e treinamento da população e o monitoramento, sistemas de alarme, avaliação de segurança e plano de contingência respectivamente, o processo de construção coletiva e o uso da modelagem contribuiu sobretudo na instrumentalização da população. Isto se deu tanto pelo apoio na elaboração de materiais para o Plano de Contingência, que incluiu o traçado de rotas de fuga, a demarcação de áreas de maior risco e preparação da população residente e a identificação de locais seguros, como na construção de uma aprendizagem e apropriação social coletiva. Portanto, ao apoiar etapas estratégicas, a modelagem, aliada a processos participativos, mostrou-se de forte contribuição para o planejamento e orientação de decisões preventivas e fortalecimento de políticas de gestão de riscos orientadas para territórios ambientalmente fragilizados.

Dentre os principais achados do estudo, destacam-se as análises que demonstraram a baixa influência da propriedade de infiltração no desempenho dos dispositivos SbN avaliados, resultado especialmente relevante para áreas com restrições de infiltração, como o Sol Nascente. Outros pontos fundamentais levantados no trabalho a partir da avaliação dos cenários alternativos foram: i) a importância de soluções de infraestrutura sistêmicas e abrangentes, sem considerar a área de maneira isolada, ou seja, com necessidade de intervenção à montante; ii) a similaridade nos resultados de abatimento das distintas SbN simuladas, revelando uma menor importância do tipo de dispositivo implantado e maior importância na quantidade ao longo da bacia, do ponto de vista da redução de escoamento superficial e iii) a influência do desenho urbano na potencialização dos impactos causados pelas chuvas. Pressupõe-se que a consideração conjunta desses aspectos possa ampliar significativamente os ganhos nos resultados de abatimento do escoamento superficial nas simulações. Tais pontos, apesar de levantados nesse estudo, precisam ser aprofundados e melhor explorados em estudos futuros, devido ao maior grau de complexidade.

Portanto, posteriormente devem ser desenvolvidos estudos que, além de incluir a avaliação de outras formas de implantação de tecnologias SbN, também investiguem de maneira mais aprofundada o grau de interferência do desenho urbano nos resultados de

abatimento do escoamento superficial, dado o reconhecimento de sua influência na drenagem urbana e considerando os conceitos do desenho urbano sensível a água. Por desenho urbano entende-se, a partir da visão de Andrade (2014), o estudo de novos padrões de organização espacial e estratégias que potencializem a capacidade de resiliência das cidades.

Ademais, tais avaliações devem compreender também a região à montante da área de estudo, já que no caso apresentado esta mostrou-se como uma região estratégica de intervenção. A avaliação detalhada e correta dos impactos da vazão proveniente dessa região na área de estudo exige maior disposição de tempo e dados, o que limitou a possibilidade de análise nesse estudo. Surgem assim novas questões, como: (1) qual a influência do desenho na potencialização e na redução dos impactos causados pelas chuvas e na capacidade de resiliência urbana? (2) qual o potencial de abatimento no escoamento superficial de um desenho urbano sensível a água? (3) quais resultados estariam associados ao uso de diferentes tipologias e estratégias de implantação das SbN, como, por exemplo, a inclusão de dispositivos na região à montante?

Por fim, cabe ressaltar as principais dificuldades e limitações encontradas ao longo do desenvolvimento do estudo. Primeiramente, destaca-se que o modelo exige uma série de dados para a modelagem, de forma que quanto maior a quantidade e precisão dos dados, mais qualificadas serão as análises. Porém, especialmente em territórios informais, há uma grande escassez de informações sistematizadas, como já citado anteriormente. Nesse sentido, dá-se ênfase à falta de monitoramento hidrológico na área, que resulta na ausência de dados para a calibração e validação do modelo e alcance de resultados mais precisos em relação aos valores numéricos, por exemplo. A participação comunitária foi fundamental à superação da ausência de alguns dados, ainda que se reconheça a dificuldade em alcançar uma ampla adesão da população nesses processos, já que, se considerada a população total do Trecho 3 do Sol Nascente, a parcela que participou das atividades é ainda pequena, mesmo com a intensa divulgação do projeto.

Assim, considerando o contexto das cidades do Sul Global com graves quadros de vulnerabilidade social, a efetiva participação e engajamento da comunidade associada à ciência e tecnologia pode superar limitações para a qualificação de diagnóstico e proposição de soluções adaptadas ao território, reduzindo os desastres associados a

eventos hidrológicos, instrumentalizando a população e criando possibilidades de enfrentamento dos riscos socioambientais.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. (org.). **Previsão de impactos: o estudo de impacto ambiental no leste, oeste e sul: experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha**. São Paulo: Edusp, 1994.

ADASA - AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL. **Print RESOLUÇÃO Nº 26, DE 17 DE AGOSTO DE 2023**. [S. l.], 17 ago. 2023.

AERTS, J. C. J. H. *et al.* Integrating human behaviour dynamics into flood disaster risk assessment. **Perspective**, [S. l.], p. 193-199, 2 mar. 2018.

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL (ADASA). **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal**. [S. l.: s. n.], 2023. ISBN 978-65-992701-1-6.

ALMEIDA, Isis de Castro. **SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM URBANA: UMA PROPOSTA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO PEDRO, EM JUIZ DE FORA - MG**. 2020. Monografia (Graduação em engenharia ambiental e sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora, [S. l.], 2020.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. D.; SANTORO, J.; AMARAL, R (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. cap. 3, p. 39-52.

ANDRADE, Liza Maria Souza de; LOUREIRO, Vânia Raquel Teles; MORETTI, Ricardo de Sousa; GONÇALVES, Beatriz Vicentin; GOMES, Jéssica Cristina Dias; JALOWITZKI, Ivana Almeida de Figueiredo (org.). **Cartilha de prevenção de riscos: plano de contingência comunitário para emergência climática no Sol Nascente**. Brasília: LaSUS FAU, 2025. 55 p.

ANDRADE, LIZA MARIA SOUZA DE. **CONEXÃO DOS PADRÕES ESPACIAIS DOS ECOSSISTEMAS URBANOS: A construção de um método com enfoque transdisciplinar para o processo de desenho urbano sensível à água no nível da comunidade e da paisagem**. 2014. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

ANDRADE, Liza Maria Souza de *et al.* **PLANO COMUNITÁRIO DE REDUÇÃO DE RISCO DO SOL NASCENTE E SBN: METODOLOGIA E TÁTICAS**. -, [s. l.], 2025.

ANDRADE, Liza Maria Souza de; LOUREIRO, Vânia Raquel Teles; MORETTI, Ricardo de Sousa; GONÇALVES, Beatriz Vicentin (org.). **Plano comunitário de redução de riscos e adaptação climática: Sol Nascente – trechos II e III**. Brasília: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo [Universidade de Brasília], 2025. 187 p.

ANDRADE, L. M. S. *et al.* (eds.). **Residência em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS): habitat, agroecologia, economia solidária e saúde ecossistêmica: integrando pós-graduação e extensão**. Brasília: FAU, 2022. ISBN 978-65-84854-07-9. DOI 10.29327/577140.

ARAÚJO, A. S.; GAERTNER, F. C.; FERREIRA, D.; ALBINO, L.; PIRES, A.C.; FREITAS, M. J. C. C. Planos Comunitários em Gestão de Riscos e Desastres: uma abordagem preliminar no Estado de Santa Catarina. In: **Congresso Brasileiro de Redução de Riscos e Desastres**, 2. Rio de Janeiro. Anais. 2017.

AWAH, Lum Sonita *et al.* A participatory systems dynamic modelling approach to understanding flood systems in a coastal community in Cameroon. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [S. l.], p. 1-15, 2 jan. 2024.

Baptista, M. B.; Nascimento, N. O.; Barraud, S. (2005). **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Primeira Edição. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, Porto Alegre, 266p.

Basco-Carrera L, Warren A, van Beek E, Jonoski A and Giardino A (2017) **Collaborative modelling or participatory modelling?** A framework for water resources management. *Environmental Modelling & Software* 91: 95–110, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.014>.

BERTRAND, Georges. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **Revista Ra'E Ga**, Curitiba, Ed. UFPR, n.8, p. 141-152, 2004.

BEZERRA, Paulo Henrique Lopes. **Dinâmica da água em trincheira de infiltração em lote urbano**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

BOTELHO, Maurilio Lima. Favelização mundial: o colapso urbano da sociedade capitalista. **Territórios transversais: resistência urbana em movimento**, [S. l.], ano 1, p. 6-8, 12 jun. 2014. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/385708408/Territorios-transversais>. Acesso em: 19 dez. 2024.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC**. Brasília: Diário Oficial da União, 11/04/2012.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Institui o novo Código Florestal Brasileiro**.

BRASIL. Decreto nº 10.692, de 3 de maio de 2021. **Institui o Cadastro Nacional de Municípios com Áreas Suscetíveis à Ocorrência de Deslizamentos de Grande Impacto, Inundações Bruscas ou Processos Geológicos ou Hidrológicos Correlatos**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2021.

BRASIL. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente (Seduma). Companhia Imobiliária de Brasília. Estudo de Impacto Ambiental- EIA, **Avaliação das ocupações irregulares nas bordas da cidade de Ceilândia**. Brasília: DF, 2009.

CABRAL, J.; Mascarenhas, F.; Castro, M.; Miguez, M.; Peplau, G.; Bezerra A. Cap. 3 - Modelos Computacionais para Drenagem Urbana. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 396 p.

CANIL, K.; MORETTI, R. “Desafios para articulação entre cartografias de risco e o planejamento territorial”. **Diálogos Sócioambientais**. São Paulo, Vol. 3, N. 08, p. 19-23, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufabc.edu.br/index.php/dialogossocioambientais/article/view/347>. Acesso em: 7 fev. 2025.

CANIL, K.; LAMPIS, A.; SANTOS, K. “Vulnerabilidade e a construção social do risco: uma contribuição para o planejamento na macrometrópole paulista”. **Cadernos Metr pole**. São Paulo: INCT Observatório das Metr poles, 2020 Vol.22, N.48, pp. 397-416.

CAPRARIO, Jakcemara *et al.* Socio-technological tool for mapping susceptibility to urban flooding. **Journal of Hydrology**, [S. l.], p. 1152-1163, 4 maio de 2019.

CARDONA, O. The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. In: [BANKOFF *et al.*]. **Mapping vulnerability: disasters, development, and people**. Londres: Earthscan Publications, 2004. pp.37-51.

CARDOSO, Cristiane *et al.* (org.). **Geografia e os Riscos Socioambientais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020.

CARVALHO, S. S.; ANDRADE, L. M. S.; MORETTI, R. S. DE RISCO AMBIENTAL A RISCO SOCIALMENTE CONSTRUÍDO: A RELA O ENTRE DADOS SOCIOECONÔMICOS E DADOS DE ÁREAS EM SITUA O DE RISCO NO DISTRITO FEDERAL. In: **Anais do Encontro Nacional da Associa o de Pesquisa e Pós-Gradua o em Arquitetura e Urbanismo: Encruzilhadas – convergências e dispersões**. Anais...Rio de Janeiro(RJ) FAU/UFRj, 2024. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/enanparq8/852339-DE-RISCO-AMBIENTAL-A-RISCO-SOCIALMENTE-CONSTRUIDO---A-RELACAO-ENTRE-DADOS-SOCIOECONOMICOS-E-DADOS-DE-AREAS-EM-SIT>. Acesso em: 23/03/2025.

Castro, L. M. A. (2002). **Proposi o de indicadores para a avalia o de sistemas de drenagem urbana**. Disserta o de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 118p. CBH Paranoá – Comit  de Bacia do Rio Paranoá. (2015).

COBRADE, **Codifica o e classifica o Brasileira de Desastres**. 2012.

COSTA, Maria Elisa Leite. **MONITORAMENTO E MODELAGEM DE ÁGUAS DE DRENAGEM URBANA NA BACIA DO LAGO PARANOÁ**. 2013. Disserta o (Mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

COSTA, R. C.  reas de risco em bacias hidrográficas urbanizadas. In: COSTA, Reinaldo Corrêa. **Riscos, Vulnerabilidades e Condicionantes Urbanos**. Jundiaí, SP: Paco, 2019. v. Série Estudos Reunidos, 68, cap. 1, p. 13-28. ISBN 978-85-462-1629-1.

DAVIS, Mike. **Planeta Favela**. São Paulo: Boitempo, 2006. 265 p. ISBN 978-85-7559-087-4.

DI GREGORIO, L. T. .; COUTO, E. A. Gestão de riscos socionaturais para cidades resilientes. In: COSTA, Reinaldo Corrêa. **Riscos, Vulnerabilidades e Condicionantes Urbanos**. Jundiaí, SP: Paco, 2019. v. Série Estudos Reunidos, 68, cap. 1, p. 13-28. ISBN 978-85-462-1629-1.

DISTRITO FEDERAL. Lei Complementar nº 785, de 14 de novembro de 2008. **Cria o Setor Habitacional Sol Nascente e a Área de Regularização de Interesse Social (ARIS) Pôr do Sol na Região Administrativa de Ceilândia e estabelece parâmetros para aprovação de projetos de urbanismo**. Brasília, DF, 2008.

DISTRITO FEDERAL. Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009. **Aprova a revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal (PDOT) e dá outras providências**. Brasília, DF, 2009.

DISTRITO FEDERAL. Lei nº 6.269, de 29 de janeiro de 2019. **Institui o Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal (ZEE-DF) em cumprimento ao art. 279 e ao art. 26 de Ato das Disposições Transitórias da Lei Orgânica do Distrito Federal e dá outras providências**. Brasília, DF, 2019.

DISTRITO FEDERAL. Lei nº 6.359, de 14 de agosto de 2019. **Cria a Região Administrativa do Sol Nascente/Pôr do Sol – RA XXXII e dá outras providências**. Brasília, DF, 2019.

EVERS, Mariele *et al.* Collaborative decision making in sustainable flood risk management: A socio-technical approach and tools for participatory governance. [*S. l.*], p. 335-344, 20 out. 2015.

FUNTOWICZ, Silvio O.; RAVETZ, Jerome R. **La ciencia posnormal: la ciencia con la gente**. Barcelona: Icaria, 1997.

GOUVÊA, Luiz Alberto de Campos. Uma política habitacional de interesse social para o Distrito Federal. In: PAVIANI, Aldo (org.). **Brasília - gestão urbana: conflitos e cidadania**. Brasília: UnB, 1999. p. 253-270.

GUIMARÃES, Luiz Guilherme Arantes. **ESTRATÉGIAS DE INFRAESTRUTURA VERDE APLICADAS À DRENAGEM URBANA EM ÁREAS DENSAMENTE OCUPADAS: O CASO DO TRECHO 3 DO SETOR HABITACIONAL SOL NASCENTE**. 2019. Dissertação (Mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos) - Universidade de Brasília, [*S. l.*], 2019.

HAVRYS, Andrii *et al.* Use of the Computer Modelling for the Analysis of Dangerous Areas during Flooding of Territories. **Ecological Engineering & Environmental Technology**, [*S. l.*], p. 336-343, 28 fev. 2024.

HEWITT, Kenneth (ed.). **Interpretations of Calamity: From the Viewpoint of Human Ecology**. Boston: Unwin Hyman, 1983.

IBRAHIM, Abdul-Salam *et al.* On mapping urban community resilience: Land use vulnerability, coping and adaptive strategies in Ghana. **Journal of Environmental Management**, [*S. l.*], p. 1-17, 8 set. 2024.

IPEDF – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA DO DISTRITO FEDERAL. **Evolução do Índice de Vulnerabilidade Social do Distrito Federal (IVS-DF) 2018-2021**. Relatório. Brasília: IPEDF, 2024.

IPEDF – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA DO DISTRITO FEDERAL. **Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios – PDAD**. Resultados por RA. Brasília: Instituto de Pesquisa e Estatística do Distrito Federal (IPEDF), 2021.

IPEDF – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA DO DISTRITO FEDERAL. **Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios – PDAD**. Resultados por RA. Brasília:, 2024.

SAMPAIO, James de Melo Júnior *et al.* Modelagem de Sistema de Drenagem com Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID). **Paranoá**, [s. l.], 2023.

Kotir JH, Brown G, Marshall N and Johnstone R (2017) Systemic feedback modelling for sustainable water resources management and agricultural development: an application of participatory modelling approach in the Volta River Basin.

Environmental Modelling & Software 88: 106–118,

<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.11.015>.

KOURY, Ana Paula *et al.* Modelagem hidrológica como instrumento de planejamento urbano e governança climática na cidade de São Paulo. In: ANELLI, Jeferson Tavares Renato (org.). **Notas introdutórias: Sobre infraestruturas e mudança climática**. [S. l.: s. n.], 2023.

LAVELL, A., & MASKREY, A. (2014). **The future of disaster risk management**. **Environmental Hazards**, 13(4), 267-280.

LIMA, Alice Cunha. **OCUPAÇÃO URBANA EM ÁREAS DE FRAGILIDADE AMBIENTAL: ESTUDO DE ÁREAS DE RISCO SOCIOAMBIENTAL NO SETOR SOL NASCENTE – DF**. 2018. Dissertação (Mestrado em arquitetura e urbanismo) - Universidade de Brasília, [S. l.], 2018.

LOURENÇO, R. R. A. **Sistemas urbanos de drenagem sustentáveis**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2014.

MACHADO, Thiago Adriano. DA FORMAÇÃO SOCIAL EM MARX À FORMAÇÃO SOCIOESPACIAL EM MILTON SANTOS: CATEGORIA GEOGRÁFICA PARA INTERPRETAR O BRASIL? **GEOgraphia**, [s. l.], ano 18, n. 38.

MAJUMDER, Suranjan *et al.* Multiscale GIS based-model to assess urban social vulnerability and associated risk: Evidence from 146 urban centers of Eastern India. **Sustainable Cities and Society**, [S. l.], p. 1-21, 1 jun. 2023.

MARICATO, E. Terror imobiliário ou a expulsão dos pobres do centro de São Paulo: A luta pelo direito à cidade. In: **Para entender a crise urbana**. São Paulo: Expressão popular, 2012. p. 57-63.

- MARICATO, Erminia. **Meio ambiente e reforma urbana**. São Paulo, 1997. Disponível em: <https://www.labhab.fau.usp.br/publicacoes/questao-fundiaria-urbana-no-brasil-e-o-ministerio-das-cidades/>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- MARICATO, Erminia. **Questão fundiária urbana no Brasil e o Ministério das Cidades**. São Paulo, 2005. Disponível em: <https://www.labhab.fau.usp.br/publicacoes/questao-fundiaria-urbana-no-brasil-e-o-ministerio-das-cidades/>. Acesso em: 16 jan. 2025.
- MIGUEZ, Marcelo G.; DI GREGORIO, Leandro T.; VERÓL, Aline P. **Gestão de Riscos e Desastres Hidrológicos**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.
- MOHAMMED, Murphy. Flood Hazard Zoning of Tarlac City: Towards the Development of Flood Overlay Zones and Provision. **Procedia Engineering**, [S. l.], p. 69-77, 29 nov. 2018.
- MORETTI, R.S; ATAÍDE, R; CANIL, K.; CARVALHO, C e BENTES, D. Em segurança mas sem casa, em casa mas sem segurança. **JUSTIFICANDO**, 24 abril 2019. Disponível em: <https://ibdu.org.br/opiniao/em-seguranca-mas-sem-casa-em-casa-mas-sem-seguranca/>. Acesso em: 16 abr. 2024.
- MULLIGAN, Joe *et al.* Participatory flood modelling for negotiation and planning in urban informal settlements. **Engineering Sustainability**, [S. l.], p. 1-18, 22 maio 2019.
- NASCIMENTO, N.O.; BAPTISTA, M.B.; SPERLING, E.V. Problemas de Inserção Ambiental de Bacias de Detenção em Meio Urbano. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 1999. Anais [...]. 1999. p. 2242-2250.
- NEWIG, Jens *et al.* Does stakeholder participation improve environmental governance?: Evidence from a meta-analysis of 305 case studies. **Global Environmental Change**, [S. l.], p. 1-11, 7 jun. 2023.
- NOGUEIRA, F. R.; OLIVEIRA, V. E. de; CANIL, K. Políticas Públicas Regionais para Gestão de Riscos: o processo de implementação no ABC, SP. **Ambiente & Sociedade**, 17(4):177-194, 2014.
- NOGUEIRA, Fernando Rocha *et al.* Gestão regional de riscos e coprodução de conhecimento. In: **CAMINHOS participativos para gestão integrada de riscos e desastres: Um projeto de pesquisa e extensão universitária**. Santo André: UFABC, 2022. cap. 3, p. 61-73.
- NÓBREGA, PAULO VINICIUS DE MORAIS. **ANALISE DO SISTEMA DE DRENAGEM DE CAMPINA GRANDE/PB PARA PROTEÇÃO DE ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, [S. l.], 2012.
- NTAJAL, Joshua *et al.* Flood disaster risk mapping in the Lower Mono River Basin in Togo, West Africa. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [S. l.], p. 93-103, 28 abr. 2017.

O'GRADY, Michael J. *et al.* Supporting participative pre-flood risk reduction in a UNESCO biosphere. **Journal of Flood Risk Management**, [S. l.], p. 1-12, 19 dez. 2018.

ONSAI, Emmanuel *et al.* Bagyong Kristine (TS Trami) in Bicol, Philippines: Flood Risk Forecasting, Disaster Risk Preparedness Predictions and Lived Experiences through Machine Learning (ML), Econometrics, and Hermeneutic Analysis. **Natural Hazard Research**, [S. l.], p. 1-54, 4 fev. 2025.

ONU - NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**, 2015.

O'SHEA, Thomas *et al.* Integrating social narratives of flood events into a text network analysis-based decision support framework to reduce vulnerability to climate change in Africa. **Climate Services**, [S. l.], p. 1-18, 13 jan. 2024.

PERERA, Duminda *et al.* Available online 15 August 2020 2212-4209/© 2021 Published by Elsevier Ltd. Identifying societal challenges in flood early warning systems. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [S. l.], p. 1-9, 15 jul. 2020.

PERONI, CAROLINA SULZBACH LIMA. **AVALIAÇÃO DE BACIAS DE DETENÇÃO NA GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM ARARAQUARA, SP**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

REATTO, A.; MARTINS, É. de S.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. **Mapa pedológico Digital: SIG atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

RIGHETTO, A. M. **Manejo De Águas Pluviais Urbanas**. 1. ed. Rio de Janeiro: PROSAB. 2009.

ROSS, J. Análise Empírica da Fragilidades dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, São Paulo, n.8, 1994.

ROSSMAN, L. **Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1 - manual**. US EPA Office of Research and Development, Washington, DC, EPA/600/R-14/413 (NTIS EPA/600/R-14/413b), 2015. Disponível em:< https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=310032

ROSSMAN, L. **Storm water management model User's manual Version 5.0. Cincinnati: U. S. Environmental Protection Agency**, 2010. 285 p. Disponível em:< https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=114231

RODRÍGUEZ, Carlos Andrés Martínez *et al.* Avaliação de bacias de retenção de águas pluviais implantadas no município de São Carlos (SP), Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Carlos, v. 26, n. 1, 2019.

SANTOS, A. R. dos. **Enchentes e deslizamentos: causas e soluções: Áreas de risco no Brasil**. 1. ed. São Paulo: Pini Ltda., 2012.

- SANTOS, M. Sociedade e espaço: a formação social como teoria e como método. *Boletim Paulista de Geografia*, São Paulo, 54, p.81-100, 1977.
- SEDUH. Documento do Plano de Ordenamento Territorial do Distrito Federal-PDOT. [S. l.: s. n.], 2009. Disponível em: https://www.seduh.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/09/documento_tecnico_pdot12042017.pdf. Acesso em: 3 ago. 2024.
- SEMA. **Caderno Técnico de Zoneamento Final do Zoneamento Ecológico Econômico-ZEE**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.zee.df.gov.br/documentos-tecnicos-do-zee-df/>. Acesso em: 3 ago. 2024.
- SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo, 2017.
- SGB/CPRM. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações -1:25.000, **Nota Técnica Explicativa**. [S. l.: s. n.], 2014b. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/manuais-tecnicos-cartas-de-suscetibilidade>. Acesso em: 3 ago. 2024.
- SGB, Serviço Geológico do Brasil. **Setorização de áreas de risco geológico**. Brasília - Distrito Federal, 2022.
- SHMUELI, Deborah F. *et al.* Collaborative planning principles for disaster preparedness. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [S. l.], p. 1-8, 20 nov. 2020.
- SMITH, K; PETLEY, D.N. **Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster**. 5. ed. Londres: Routledge, 2009.
- SOUSA, N. A. P. **A PRODUÇÃO DA CIDADE DO SOL NASCENTE E DO PÔR DO SOL/DF: entre o tempo da autoconstrução e o tempo do planejamento urbano**. 2023. Tese (Doutorado em Sociologia) - Universidade de Brasília, [S. l.], 2023.
- Souza, D.; Motta, D.M., Silveira A. (2011). Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment in a small urban-rural basin within high resolution GIS R. **Anais do 12nd International Conference on Urban Drainage**, Porto Alegre/Brazil.
- SPIEKERMANN, Raphael *et al.* The Disaster-Knowledge Matrix – Reframing and evaluating the knowledge challenges in disaster risk reduction. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [S. l.], p. 1-13, 8 maio 2015.
- STEINBERG, T. **Acts of God: The Unnatural History of Natural Disaster in America**. 2 ed. Nova Iorque: Oxford University Press, 2000.
- SULAIMAN, S. N., JACOBI, P. R., & ALEDO, A. T. (2019). Riscos e desastres naturais: contribuições da Ciência Pós-normal para um novo paradigma de conhecimento e gestão. In: P. R. Jacobi, R. F. Toledo, & L. L. Giatti (Org.), **Ciência Pós-normal: ampliando o diálogo com a sociedade diante das crises ambientais contemporâneas**. São Paulo: FSP-USP.

SULAIMAN, S. N., MOURA, R. B., & NOGUEIRA, F. R. (2021). Da geotecnia para a gestão participativa: uma análise crítica de projetos de extensão universitária com foco na redução de risco de desastre. urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.14, e20210118. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.014.e20210118>

SULAIMAN, Samia Nascimento *et al.* O projeto de extensão "Caminhos participativos para a gestão de riscos e desastres". In: SULAIMAN, Samia Nascimento; NOGUEIRA, Fernando Rocha; CANIL, Kátia; MOURA, Rodolfo Baesso; LEITE, Marília de Azevedo Baptista. **Caminhos participativos para gestão integrada de riscos e desastres: Um projeto de pesquisa e extensão universitária**. Santo André: UFABC, 2022. cap. 1, p. 21-39. ISBN 978-65-89992-16-5. Disponível em: <https://editora.ufabc.edu.br/interdisciplinar/101-caminhos-participativos-para-gestao-integrada-de-riscos-e-desastres>. Acesso em: 11 dez. 2024.

TATE, Eric. Flood exposure and social vulnerability in the United States. **Natural hazards**, [S. l.], p. 435-457, 4 jan. 2021.

TERRACAP/PROGEA. RIMA - **Relatório de Impacto Ambiental de Avaliação das Ocupações Irregulares nas Bordas da Cidade de Ceilândia**. PROGEA Engenharia e Estudos Ambientais. 2009.

TOMINAGA, E. N. S. **Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2013.

TUCCI, C.E.M. (1995). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS/ABRH. 428 p.

TUCCI, Carlos. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. [S. l.]: UFRGS, 2007. ISBN 9788570259240.

UNDP. **Reducing disaster risk: a challenge for development, a global report**. UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery. New York: UNDP, 2004.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction – UNDRR (org.). (2005). **Summary of the Hyogo Framework for Action 2005-2015**.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction – UNDRR (org.). (2015). **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030**.

USDA (1986) **Urban Hydrology for Small Watersheds**. USDA, NRCS, CED, TR55. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf

VARGAS, Richard.A. **Guía Municipal para la Gestión del Riesgo**. Bogotá, Colombia: Ministerio Del Interior y de Justicia, 1a ed., 150p., 2010.

VEYRET, Y.; RICHEMOND, N. M. “O risco, os riscos”. In: Veyret, Y. (org) **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. Trad. Dilson Ferreira da Cruz. São Paulo: Contexto. 2007.

VIAVATTENE, C. *et al.* Selecting coastal hotspots to storm impacts at the regional scale: a Coastal Risk Assessment Framework. **Coastal Engineering**, [S. l.], p. 33-47, 22 set. 2017.

WARNER, J.; WAALEWIJN, P.; HILHORST, D. (2002) **Public Participation in Disaster-Prone Watersheds: Time for Multi-Stakeholder Platforms?** Disaster site 6, Wageningen university. Irrigation and water management group. Disaster studies.

Wang, K. e Altunkaynak, A.M. (2012). Comparative Case Study of Rainfall-Runoff Modeling between SWMM and Fuzzy Logic Approach. **Journal of hydrologic engineering**. Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 17, No. 2.

WHITEHEAD, P. G.; ROBINSON, M. Experimental basin studies: an international and historic perspective of forest impacts. **Journal de Hydrology**, 145:217-230, 1993.

Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/222741324_Experimental_basin_studies-an_international_and_historical_perspective_of_forest_impacts.

XAVIER, Jailly Moreira. **ESTUDO DO COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO DE UM SOLO COLAPSÍVEL VOLTADO PARA FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

XV ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 2024, Recife. **APLICAÇÃO DE MODELAGEM HIDROLÓGICA COMO SUPORTE À DEFINIÇÃO DE TIPOLOGIAS DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE APPS URBANAS VISANDO À PROPOSIÇÃO DE CENÁRIOS DE INTERVENÇÃO COM O USO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA SBN: PERSPECTIVAS PARA O PROJETO TERRITÓRIOS DA ÁGUA NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO [...]**. [S. l.: s. n.], 2024.

XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS, 2011, Maceió. **ANÁLISE COMPARATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO: Um ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO CÔNEGO, MUNICÍPIO DE NOVA FRIBURGO/RJ [...]**. [S. l.: s. n.], 2011.

XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011, Maceió. **O MÉTODO DO SOIL CONSERVATION SERVICE REVISITADO: verificação de validade de premissas e aplicabilidade em projetos de mineração [...]**. [S. l.: s. n.], 2011.

ZHANG, Ke *et al.* An integrated flood risk assessment approach based on coupled hydrological-hydraulic modeling and bottom-up hazard vulnerability analysis. **Environmental Modelling and Software**, [S. l.], p. 1-11, 16 dez. 2021.