



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Urbana  
Curso de Graduação em Engenharia Urbana

---

**Amanda de Paula Oliveira**

**Avaliação dos cenários de ocupação da zona de expansão urbana do vetor  
Saramenha, em Ouro Preto, e os impactos no comportamento hidrológico da região**

**Ouro Preto, MG**

**2025**

**Avaliação dos cenários de ocupação da zona de expansão urbana do vetor  
Saramenha em Ouro Preto e os impactos no comportamento hidrológico da região**

**Amanda de Paula Oliveira**

Projeto Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Urbana na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Data de aprovação: 25/08/2025

Áreas de concentração: Planejamento e gestão urbana; Saneamento e Recursos hídricos

Orientador: Prof. Dr. Yuri Queiroz Abreu Torres - UFOP

Co-orientadora: Profa. Dra. Aline de Araújo Nunes - UFOP

Ouro Preto, MG

2025

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

O48a Oliveira, Amanda de Paula.

Avaliação dos cenários de ocupação da zona de expansão urbana do vetor Saramenha em Ouro Preto e os impactos no comportamento hidrológico da região. [manuscrito] / Amanda de Paula Oliveira. - 2025. 112 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Yuri Queiroz Abreu Torres.

Coorientadora: Profa. Dra. Aline de Araújo Nunes.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Urbana .

1. Crescimento urbano. 2. Planejamento urbano. 3. Bacias hidrográficas urbanas. I. Torres, Yuri Queiroz Abreu. II. Nunes, Aline de Araújo. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 62:711.4

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Amanda de Paula Oliveira

### Avaliação dos cenários de ocupação da zona de expansão urbana do vetor Saramenha, em Ouro Preto, e os impactos no comportamento hidrológico da região

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Urbanista

Aprovada em 25 de agosto de 2025

#### Membros da banca

- [Doutor] - Yuri Queiroz Abreu Torres - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
[Doutora] - Aline de Araújo Nunes - Co-orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)  
[Doutora] - Flora d'El Rei Lopes Passos (Universidade Federal de Ouro Preto)  
[Doutor] - Deyvid Wavel Barreto Rosa (Universidade Federal de Minas Gerais )

[Yuri Queiroz Abreu Torres], orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 01/09/2025



Documento assinado eletronicamente por **Yuri Queiroz Abreu Torres, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/09/2025, às 19:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0970970** e o código CRC **B259AACA**.

*Às pessoas que sonharam junto comigo, me abraçaram e seguem acreditando na beleza das  
pequenas coisas da vida, do encontro, da magia de estar junto e partilhar*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente ao orientador deste trabalho Prof. Dr. Yuri Torres que com sua orientação cuidadosa e minuciosa possibilitou este caminho mais leve e fácil de ser trilhado. Agradeço também à co-orientadora Profa. Dra. Aline Nunes, que abriu caminhos para que eu pudesse aprofundar o interesse em recursos hídricos e a gestão das águas nas cidades. Obrigada! Sem vocês este trabalho não seria possível. Agradeço também à minha primeira orientadora, a Profa. Dra. Francisca Viana (DEPRO), que me despertou o desejo pela pesquisa e a desenvolver projetos, obrigada! As professoras Bárbara Abreu Matos e Bárbara Cristina Mendanha Reis, Hellen e Paloma do projeto Caminhos Habilidades. À LAGEM, pelos encontros dos curiosos da geotecnia. Agradeço à Universidade Federal de Ouro Preto, pelo ensino gratuito e de qualidade. Aos professores do Departamento de Engenharia Urbana (DEURB), que desde 2018 tem-se dedicado exaustivamente ao sucesso do curso. Às políticas de assistência estudantil que são geridas pela PRACE, às quais sem elas não seria possível a minha permanência na universidade. Agradeço também à Ouvidoria Feminina (UFOP) que em um momento delicado me acolheu e agiu para que eu continuasse na universidade em um ambiente seguro. Agradeço às minhas amigas iniciadas durante o curso, especialmente Aline, Marcela e Jaine. Agradeço a todos amigos que me incentivaram e colaboraram com a Vaquinha para que eu viesse até Portugal desbravar os conhecimentos do urbanismo.

Agradeço aos espaços que me acolheram sempre, mesmo antes do sonho de realizar uma graduação em uma universidade pública. Agradeço à minha mãe Evani, irmão Wellington por todo afeto, também à Maria que me viu crescer de perto. Aos amigos da escola pública Idalina, do Soberana, aos amigos que encontrei na Pastoral da Juventude, no IFSP, ao Cursinho Comunitário Cora Coralina, que me acolheram e me abraçaram, mesmo nos dias mais difíceis. Vocês foram essenciais e por falta de espaço para citar todos os nomes me referencio aqui no coletivo, com vocês aprendi que compartilhada a vida é mais gostosa e que sonhos que se sonha junto tem grandes chances de realização!

Agradeço aos meus amigos e família Lucas Henrique, Janu, Aninha, Douglas, Leide, Ariana de longa data. À Raissa, Wesley, Gabriela, Karina, Lucas, que me proporcionaram os melhores momentos na Casa 7. Agradeço à José Lucas e Bruna por todo apoio para que eu chegasse até aqui, igualmente à Gisele e Luna que foram casa em abraço. Agradeço também a quem me acolheu inicialmente em Mariana, Laura e em Ouro Preto à República Xiboca que me abriu as portas, quando tudo que eu tinha eram malas e um sonho e também aos bons momentos vividos na República Rebu.

Agradeço também de modo especial aos que me acolheram em Portugal, foram e têm sido família por aqui.

Ao meu companheiro Pedro, que entrou na minha vida e foi essencial nesse momento de finalização de um ciclo, com todo apoio possível. Sem palavras, obrigada por toda parceira!

Também agradeço e dedico este trabalho à memória de Patrick e Allan, que jovens não puderam continuar suas vidas, mas que os levarei eternamente em meu coração.

*"A natureza, na sua forma atual, é uma natureza socializada, histórica"*

*Milton Santos*

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar os impactos hidrológicos na bacia do Córrego Varjada, em Ouro Preto-MG, considerando diferentes cenários de uso e ocupação do solo na região. A cidade, assim como muitas brasileiras, enfrenta um alto déficit habitacional mas limitações de expansão e acomodação de novos empreendimentos em áreas seguras, sobretudo do ponto de vista hidrológico. Para isso, utiliza-se o método SCS-CN (Soil Conservation Service - Curve Number) para estimar o escoamento superficial a partir de dados de precipitação, características do solo e uso do solo. Foram definidos quatro cenários: o Cenário 1, representando a condição atual da bacia; os Cenários 2 e 3, que simulam a expansão urbana de acordo com a legislação vigente, mas com diferentes critérios de proteção para Áreas de Preservação Permanente (APPs) por declividade; e o Cenário 4, que modela a ocupação futura conforme a proposta em andamento do novo Plano Diretor Participativo de Ouro Preto (PDOP). A partir do cálculo do CN, foram gerados os hidrogramas de vazão para chuvas com tempo de retorno de 25 e 50 anos. Os resultados apontaram que os cenários de expansão urbana (2 e 3) elevam significativamente os valores de CN e, conseqüentemente, as vazões de pico, aumentando os riscos de inundação. Em contrapartida, o Cenário 4, baseado no novo PDOP, não apenas mitigou os impactos como também apresentou uma melhoria na condição hidrológica em relação ao cenário atual. Concluiu-se que o planejamento urbano, quando embasado em instrumentos como o Plano Diretor, é fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos, para a mitigação de desastres naturais e para conciliá-las com políticas habitacionais mais efetivas.

**Palavras-chave:** Expansão urbana; Bacia hidrográfica; Planejamento urbano e territorial, Ouro Preto.

## ABSTRACT

This study aims to assess the hydrological impacts on the Córrego Varjada watershed in Ouro Preto-MG, considering different land use and occupation scenarios. The city, like many in Brazil, faces a significant housing deficit but also limitations to expansion and the accommodation of new developments in safe areas, especially from a hydrological standpoint. To this end, the SCS-CN (Soil Conservation Service - Curve Number) method is used to estimate surface runoff based on precipitation data, soil characteristics, and land use. Four scenarios were defined: Scenario 1, representing the current watershed condition; Scenarios 2 and 3, which simulate urban expansion according to current legislation but with different protection criteria for Permanent Preservation Areas (APPs) based on slope; and Scenario 4, which models future occupation according to the ongoing proposal for the new Participatory Master Plan of Ouro Preto (PDOP). From the CN calculation, flow hydrographs were generated for rainfall with 25 and 50-year return periods. The results indicated that the urban expansion scenarios (2 and 3) significantly increase CN values and, consequently, peak flows, thereby increasing flood risks. In contrast, Scenario 4, based on the new PDOP, not only mitigated the impacts but also showed an improvement in the hydrological condition compared to the current scenario. It was concluded that urban planning, when based on instruments such as the Master Plan, is fundamental for the sustainable management of water resources, the mitigation of natural disasters, and for reconciling these goals with more effective housing policies.

**Keywords:** Urban expansion; Watershed; Urban and territorial planning, Ouro Preto.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Linha do tempo projetos de habitação pré período democrático   | 14 |
| Figura 2 - Foto da Cidade de Deus nos anos 1960   | 15 |
| Figura 3 - Unidades entregues Programa Minha Casa Minha Vida  | 17 |
| Figura 4 - Conjuntos Residenciais Torquato Neto II, III e IV - Teresina, Piauí  | 18 |
| Figura 5 - Carolina Maria de Jesus em 1958 na favela do Canindé, às margens do rio Tietê, onde viveu até lançar 'Quarto de Despejo' | 19 |
| Figura 6 - Carolina Maria de Jesus autografando um de seus livros, em 1960 - INSTITUTO MOREIRA SALLES                               | 20 |
| Figura 7 - Jardim Pantanal, distrito de SP na Zona Leste 01/02/2025   | 21 |
| Figura 8 - Mapa de localização bacia hidrográfica do Tucunduba  | 24 |
| Figura 9 - Bairro Montese: canal da Celso Malcher no baixo curso, Bacia Hidrográfica Rio Tucunduba                                  | 25 |
| Figura 10 - Sobreposição entre áreas suscetíveis a inundações, áreas edificadas e os pontos de alagamentos e inundações             | 27 |
| Figura 11 - Fluxograma metodológico   | 31 |
| Figura 12 - Localização bacia hidrográfica em Ouro Preto  | 34 |
| Figura 13 - Bacia Hidrográfica Córrego Varjada  | 35 |
| Figura 14 - Tipo de Solo Bacia Hidrográfica Córrego Varjada   | 36 |
| Figura 15 - Uso e ocupação Bacia Hidrográfica Córrego Varjada   | 37 |
| Figura 20 - Zoneamento Bacia hidrográfica Córrego varjada   | 40 |
| Figura 21 - Manifestação pelo direito à moradia em maio de 2025   | 42 |
| Figura 22 - Vista parcial do acampamento Novo Taquaral (registro em fevereiro de 2023)  | 43 |
| Figura 23 - Localização das glebas do REURB-E Novel   | 45 |
| Figura 24 - Valores de CN para áreas urbanas e suburbanas   | 48 |
| Figura 25 - Valores de CN - Lei de zoneamento de Prefeitura de Belo Horizonte - Lei 11.181/19                                       | 49 |
| Figura 26 - Mapa de declividade   | 54 |
| Figura 27 - Sub-bacias Córrego Varjada  | 56 |
| Figura 28 - representação bacia Córrego Varjada HEC HMS   | 61 |
| Figura 29 - Sub-bacias em Zoneamento do Cenário 1   | 63 |
| Figura 30 - Sub-bacias em Zoneamento do Cenário 2   | 65 |
| Figura 31 - Comparação CN's área de expansão - cenário  | 67 |
| Figura 32 - Sub-bacias em Zoneamento do Cenário 3   | 68 |
| Figura 33 - Macrozoneamento no novo Plano Diretor - cenário 4   | 71 |
| Figura 34 - Zoneamento no novo Plano Diretor- cenário 4   | 72 |
| Figura 35 - Comparativo CN e cenários   | 73 |
| Figura 37 - hidrograma TR 25 e 90 minutos   | 75 |
| Figura 38 - hidrograma TR 50 e 60 minutos   | 75 |
| Figura 39 - hidrograma TR 50 e 90 minutos   | 76 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Comparação APP por declividade nas legislações.  | 50 |
| Tabela 2 - Síntese comparativo Proposta de Zoneamento de Ouro Preto (Revisão do Plano Diretor) e Belo Horizonte | 51 |
| Tabela 3 - Dados morfométricos da bacia   | 57 |
| Tabela 4 - precipitação de 60 minutos   | 58 |
| Tabela 5 - precipitação de 90 minutos   | 58 |
| Tabela 6 - Lag - time   | 60 |
| Tabela 7 - Síntese Cenário 1  | 62 |
| Tabela 8 - Síntese Cenário 2  | 64 |
| Tabela 9 - Síntese Cenário 3  | 67 |
| Tabela 10 - Síntese Cenário 4   | 70 |

## LISTA DE SIGLAS

ABC 6 – Análise de Bacias Complexas

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

APP – Área de Preservação Permanente

BNH – Banco Nacional da Habitação

CN – Curve Number

FCP – Fundação da Casa Popular

FHC – Fernando Henrique Cardoso

HEC-HMS – Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System

HIS – Habitação de Interesse Social

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

MAPBIOMAS – Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra no Brasil

MSMV – Programa Minha Casa Minha Vida

PAIH – Plano de Ação Imediata para a Habitação

PDMAT – Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

REURB – Regularização Fundiária Urbana de Interesse Específico

SCS – Soil Conservation Service

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SWMM – Storm Water Management Model

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

ZAR-1 – Zona de Adensamento Restrito

ZIE – Zona de Intervenção Especial

ZPAM – Zona de Proteção Ambient

## SUMÁRIO

|   |            |
|---|------------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>  | <b>5</b>   |
| 1.1. Justificativa  | 6          |
| 1.2. Objetivos  | 7          |
| <b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>   | <b>9</b>   |
| 2.1 Planejamento urbano e territorial no Brasil   | 9          |
| 2.2. Constituição Federal de 1988 e o Estatuto da Cidade, marcos da política urbana   | 12         |
| 2.3 Habitações sociais em áreas seguras: dever e estratégia para redução das desigualdades nas cidades brasileiras                      | 13         |
| 2.4 A Bacia hidrográfica como unidade de Planejamento Territorial no Brasil   | 21         |
| 2.5 Modelagem hidrológica de bacias urbanas   | 28         |
| <b>3. METODOLOGIA</b>   | <b>31</b>  |
| 3.1 A sub-bacia hidrográfica Córrego Varjada: Caracterização da área da sub-bacia em relação à cidade de Ouro Preto                     | 32         |
| 3.2 O REURB-E em Ouro Preto e projeções de expansão urbana na bacia do Córrego Varjada  | 41         |
| 3.3 Modelagem dos fenômenos hidrológicos - construção de cenários a partir da ocupação urbana e impactos ambientais nas vazões da bacia | 46         |
| 3.4 Método SCS e <i>Curve Number</i> (CN)   | 46         |
| 3.5 Caracterização morfométrica da bacia  | 55         |
| 3.6 Elaboração do modelo hidrológico: chuva de projeto e HEC-HMS simulações   | 57         |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>   | <b>61</b>  |
| 4.1 Cenário 1: Situação Atual   | 61         |
| 4.2 Cenário 2: Expansão Urbana com APP > 30%  | 64         |
| 4.3 Cenário 3: Expansão Urbana com APP > 45%  | 67         |
| 4.4 Cenário 4: Proposta do Novo Plano Diretor   | 70         |
| 4.5 Simulações de precipitações: resultados vazões de pico  | 74         |
| <b>5. CONCLUSÕES</b>  | <b>78</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS</b>  | <b>82</b>  |
| <b>APÊNDICE A - Tabela CN cenário 1</b>   | <b>88</b>  |
| <b>APÊNDICE B - Tabela CN cenário 2</b>   | <b>92</b>  |
| <b>APÊNDICE C - Tabela CN cenário 3</b>   | <b>96</b>  |
| <b>APÊNDICE D -Tabela CN cenário 4</b>  | <b>101</b> |
| <b>APÊNDICE E - Chuvas de projeto discretização</b>   | <b>108</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

As cidades historicamente têm sua formação em proximidades de rios e demais cursos d'água. Neste contexto, a importância do ambiente urbano controlado, seu impacto sobre o ambiente natural e suas consequências no ciclo da água tem sido uma preocupação cada vez mais frequente (TUCCI, 2008). Tal preocupação se dá, sobretudo no contexto das mudanças climáticas, onde eventos de precipitação extrema tem sido cada vez mais frequentes e gerado a necessidade cada vez maior do estudo hidrológico para bacias hidrográficas urbanas (NUNES, 2018; GIORDANI, 2018).

O planejamento urbano e territorial no Brasil, neste sentido, tem buscado regulamentações que versem sobre o uso e ocupação do solo de modo a controlar e evitar que desastres ambientais sejam mais frequentes. No entanto, o histórico de ocupação urbana desordenada é sedimentado entre uma pequena parcela de cidade formal e um vasto território informal, sem infraestrutura adequada e com padrões de ocupações que aumentam a vulnerabilidade social e ambiental de uma parcela significativa da população (MARICATO, 2013). Desse modo, o avanço da urbanização não teve seu ritmo acompanhado de um processo de desenvolvimento de infraestrutura de saneamento adequado, com impactos negativos, sobretudo no sistema de drenagem (TUCCI, 2008).

À medida que as cidades se expandem, muitas delas ocupam suas bacias hidrográficas no sentido oposto ao fluxo natural da água, avançando das áreas mais baixas para as mais elevadas. Com isso, a impermeabilização progressiva da montante intensifica o volume de escoamento superficial para a jusante. A estratégia tradicional de drenagem adotada ao longo do último século, de enfoque higienista, canalizando e acelerando o escoamento das águas pluviais das regiões mais altas para pontos mais baixos, se provou ineficaz à medida que só deslocava os problemas sem resolvê-los. Esse modelo comprometeu a eficiência dos sistemas de drenagem existentes, exigindo constantes obras de ampliação e manutenção. Como resultado, há um aumento expressivo do fluxo de água e da velocidade do escoamento, agravando os alagamentos urbanos, já que a infraestrutura disponível frequentemente não suporta essas demandas (CANHOLI, 2005).

Para enfrentar essa questão, hoje trabalha-se com uma abordagem mais sustentável, conhecida como compensatória ou ambientalista, que busca reduzir os impactos da urbanização sobre a drenagem natural. Essa metodologia propõe minimizar o escoamento superficial desde sua origem, utilizando mecanismos como reservatórios e estruturas de infiltração para equilibrar a retenção hídrica. No entanto, sua implementação requer análises

hidrológicas detalhadas para comparar as condições anteriores e posteriores à urbanização, muito impactadas pelo zoneamento e os parâmetros urbanísticos contidos nele. Com o intuito de controlar melhor o crescimento urbano e evitar problemas relacionados ao escoamento pluvial, as cidades passaram a elaborar seus Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrU), orientando ações voltadas para um desenvolvimento mais equilibrado e resiliente.

Neste contexto, a cidade de Ouro Preto, que possui conjunto urbano tombado em nível federal e municipal e é reconhecido como Patrimônio Mundial pela UNESCO, tem sua ocupação inicial ligada também à água durante o século XVIII com a exploração de ouro aluvionar (OLIVEIRA, SOBREIRA, 2015). Séculos depois da primeira exploração mineral, passando por ciclos de estagnação e crescimento, as áreas mais frágeis foram progressivamente sendo ocupadas por moradias, sem o devido planejamento do ponto de vista urbanístico e mais precisamente sem um acompanhamento desse fenômeno nos padrões de drenagem urbana.

Após décadas de um crescimento e adensamento sobre áreas ambientalmente frágeis do ponto de vista geológico e da drenagem, atualmente o município possui, em seu Plano Diretor vigente (Lei de Zoneamento - Lei Complementar nº 93 de 2011), uma extensa área de expansão urbana em seu Distrito Sede, conhecida como vetor sul, coincidente com a Bacia do Córrego Varjada. Essa região, foco deste trabalho, também coincide com a grande área cuja Regularização Fundiária Urbana de Interesse Específico (REURB-E)<sup>1</sup>- Reurb Novelis está em curso, aumentando a vocação e as chances de uma ocupação futura, com a previsão de construção de habitações de interesse social pela Prefeitura Municipal (PAIVA, 2024).

## **1.1. Justificativa**

A expansão urbana em Ouro Preto, especialmente no vetor Saramenha, enfrenta desafios significativos devido à necessidade de equilibrar o crescimento urbano com a preservação ambiental. A cidade, com sua topografia acidentada e rico patrimônio cultural, requer um planejamento urbano para evitar o agravamento de problemas ambientais e sociais. Neste contexto, compreender os impactos da urbanização no comportamento hidrológico da bacia do Córrego Varjada é fundamental para mitigar riscos como inundações e degradação dos recursos hídricos, garantindo um futuro mais seguro e sustentável para a população local.

---

<sup>1</sup>A Regularização Fundiária Urbana de Interesse Específico (REURB-E) é uma das modalidades da Regularização Fundiária Urbana, aplicável aos núcleos urbanos informais ocupados por população que não se qualifica como de baixa renda (BRASIL, 2017).

Este estudo se justifica pela necessidade de quantificar e analisar os efeitos da expansão urbana no ciclo hidrológico local, fornecendo uma base científica sólida para a tomada de decisões no planejamento urbano. A modelagem hidrológica proposta permitirá simular diferentes cenários de ocupação, oferecendo dados sobre como a impermeabilização do solo e as alterações no escoamento superficial afetam a região. No contexto desta oportunidade ímpar que o poder público tem de promover habitação nas áreas de Regularização Fundiária Urbana de Interesse Específico (REURB-E) para atender ao déficit habitacional do município, os resultados desta modelagem são essenciais para o desenvolvimento de estratégias eficazes de mitigação de riscos aos futuros moradores da região e para a elaboração de políticas públicas que promovam um crescimento urbano mais sustentável.

Além de sua relevância prática para Ouro Preto, este estudo tem o potencial de contribuir significativamente para o campo do planejamento urbano, voltado para áreas seguras, em cidades com características geográficas e hidrográficas similares. A abordagem metodológica incluindo a caracterização detalhada da área, a elaboração de um modelo hidrológico e as respectivas simulações de cenários, traz maior previsibilidade para as respostas técnicas, legais e gerenciais por parte do poder público.

## **1.2. Objetivos**

O objetivo geral do presente trabalho é analisar os cenários de ocupação da zona de expansão urbana do vetor Saramenha, em Ouro Preto, e avaliar seus impactos no comportamento hidrológico da região, a fim de subsidiar estratégias de planejamento urbano sustentável e mitigação de impactos ambientais.

Ainda são objetivos específicos:

- Caracterizar a área de estudo por meio do levantamento dos parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Córrego da Varjada, avaliando sua relação com a dinâmica territorial;
- Desenvolver um modelo hidrológico da bacia hidrográfica, considerando o uso e ocupação do solo no cenário atual e projetando os impactos hidrológicos em um cenário futuro de expansão urbana, a partir da consolidação do processo de ocupação pela legislação vigente e pela proposta;
- Avaliar os impactos da expansão urbana no aumento ou redução de vazões e

comparar cenários de modo a presumir as mudanças advindas da impermeabilização do solo.

Dessa forma, este estudo está assim estruturado: no segundo capítulo é apresentada a fundamentação teórica, que aborda o planejamento urbano no Brasil, o Estatuto da Cidade, a habitação social e a bacia hidrográfica como unidade de gestão territorial. Em seguida, a caracterização da área de estudo apresenta a Bacia Hidrográfica do Córrego Varjada, destacando aspectos como geologia, uso do solo e zoneamento. A metodologia é apresentada com foco na modelagem hidrológica aplicada para avaliar os impactos da impermeabilização, além dos resultados, discussão, conclusão e referências bibliográficas que embasaram o desenvolvimento da pesquisa. Por fim, são apresentadas tabelas de cálculos desenvolvidas durante a metodologia, como apêndices.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A fundamentação teórica deste trabalho buscou abordar, dentro do cenário brasileiro, as experiências históricas de produção do espaço urbano e da promoção da habitação social após a redemocratização em 1988, com enfoque nos impactos sobre as áreas ambientalmente mais frágeis, especialmente os recursos hídricos e seus planícies de inundação, e na vulnerabilidade dessas populações. Além disso, abordou-se também a temática de planejamento integrado a bacia hidrográfica, a fim de subsidiar a metodologia utilizada neste trabalho para análise da área de estudo, considerando a interdisciplinaridade dos estudos urbanos.

### **2.1 Planejamento urbano e territorial no Brasil**

A ocupação do território brasileiro durante os primeiros séculos do período colonial tem sua história ligada à exploração, atividades extrativas e produção de monoculturas (SANTOS, 2009) na sua extensa faixa litorânea. Por sua vez, as descobertas do ouro e de outros metais preciosos, durante as expedições dos bandeirantes no fim do século XVII, provocou um processo de interiorização e formação de novos núcleos urbanos, como a então Vila Rica, atual cidade de Ouro Preto (SOBREIRA; OLIVEIRA, 2015), o principal palco dessa exploração aurífera do século XVIII.

Mesmo com o surgimento e consolidação desses núcleos urbanos entre o fim do período colonial até o século XIX, e mais especificamente entre os anos 1890 e 1920, o índice de urbanização do Brasil se alterou em apenas 3%. (SANTOS, 2009).

Neste período, a cidade de Ouro Preto era a então capital das Minas Gerais, mas não apresentava condições favoráveis para o desenvolvimento urbano, motivo pelo qual, em 1897, foi concebida uma nova capital planejada, Belo Horizonte. O subsequente esvaziamento de Ouro Preto, com a manutenção das estruturas do período colonial, chamou a atenção dos modernistas na década de 1920, inaugurando o processo de patrimonialização no país. A relevância histórica e artística da cidade é reconhecida a partir da declaração como Monumento Nacional, ainda em 1933; no tombamento do seu conjunto arquitetônico e urbanístico representativo do período colonial pelo então SPHAN (atual IPHAN), em 1938, décadas antes de seu reconhecimento internacional a partir da declaração como Patrimônio Mundial pela UNESCO.

Nas décadas seguintes, entre 1920 e 1940, esta taxa de urbanização do país chegou a 32,24% (SANTOS, 2009). Tal crescimento está relacionado à revolução industrial que influenciou o país durante o governo de Getúlio Vargas, com a adoção de um processo intenso de industrialização nacional que promoveu migrações internas consideráveis (CARDOSO, 2007). Justamente neste período Ouro Preto recebe um novo impulso demográfico com a instalação da Alcan Alumínio S.A. (ALVAREZ; SOUZA, 2016).

Fruto desse processo de rápida urbanização, a ocupação do território urbano brasileiro se deu de modo desordenado. O processo de especulação imobiliária das áreas centrais fez com que parte considerável dessa massa de migrantes que se deslocaria para as cidades nas três décadas seguintes se assentasse em regiões mais periféricas das cidades, em áreas de risco e vulnerabilidade ambiental das mais diversas (ARAÚJO; ALBUQUERQUE, 2017). Mesmo com políticas voltadas para a solução do problema do déficit habitacional, iniciada em 1946 pelo governo Eurico Gaspar Dutra, as problemáticas não foram resolvidas (AMORIM, 2024). Dentre essas questões estão a falta de infraestrutura de saneamento, que sem acompanhar o processo de urbanização, gerou impactos profundos, sobretudo na drenagem urbana (TUCCI, 2008). Em Ouro Preto, a instalação da empresa siderúrgica representou uma mudança significativa na dinâmica econômica e urbana da cidade, criando demanda por moradia, ampliando a pressão sobre áreas naturais e intensificando as ocupações irregulares, principalmente em terrenos periféricos (SOBREIRA; OLIVEIRA, 2015).

A ausência de programas habitacionais quantitativamente mais abrangentes e qualitativamente mais eficazes resultou na proliferação de ocupações irregulares, em áreas ambientalmente sensíveis, incluindo as margens de corpos hídricos. Santos (2023) destaca como as populações vulneráveis são frequentemente compelidas a ocupar áreas de risco, incluindo Áreas de Preservação Permanente (APPs). Essas regiões, desvalorizadas pelo mercado imobiliário formal e negligenciadas pelo poder público, tornaram-se alvos de assentamentos precários. Acselrad (2004) enfatiza que a justiça ambiental deve abordar não apenas a proteção dos ecossistemas, mas também a distribuição equitativa dos riscos e benefícios ambientais. As populações de baixa renda, sem alternativas viáveis de moradia, ocuparam essas áreas ribeirinhas, expondo-se a riscos de enchentes, inundações e deslizamentos, além de contribuir para a degradação ambiental dos recursos hídricos.

Diante deste contexto, a compreensão do território para proposição de políticas públicas e ações governamentais, a fim de resolver problemas atuais das cidades brasileiras passa por um entendimento, entre o ambiente natural e construído. Maricato (2013) aponta em seu livro “Brasil, Cidades” oito pressupostos para se pensar em Planejamento Urbano de

modo democrático e sustentável, sendo que entre eles tem-se: “a bacia hidrográfica como referência para o planejamento e gestão”. Ikeda e Delijaicov (2024), corroboram com isso, afirmando a necessidade de considerar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, afirmando que o desenho das infraestruturas urbanas precisam considerar a bacia e o cursos dos rios .

Com isso, propõe-se nas seções seguintes compreender a evolução da política urbana brasileira com foco na expansão urbana e nos projetos habitacionais, além de defender a adoção das bacias hidrográficas como unidade de planejamento urbano, abordando sua relação com a segurança fundiária, patrimonial e de vidas humanas.

## **2.2. Constituição Federal de 1988 e o Estatuto da Cidade, marcos da política urbana**

As diretrizes sobre o planejamento urbano e territorial no Brasil, presentes na Constituição Federal de 1988, são constituídas no Capítulo II: Da Política Urbana (BRASIL, 1988). Neste capítulo, os artigos 182 e 183 versam sobre o desenvolvimento urbano, a partir da ação executiva do poder municipal, esta que por sua vez tem como dever garantir a função social no espaço da cidade, além de promover o bem estar de seus cidadãos.

Como instrumento político, tem-se como obrigatoriedade o Plano Diretor Participativo, que deve ser aprovado pela Câmara Municipal, para municípios que possuem acima de vinte mil habitantes<sup>2</sup>. O Plano Diretor deve conduzir o desenvolvimento urbano e a expansão urbana, regulando a ocupação do solo, a propriedade urbana e assegurando a função social da terra, de modo a evitar a subutilização, a não edificação e a não utilização do solo (BRASIL, 1988).

A Constituição estabelece ainda a autonomia dos municípios dentro da organização político-administrativa do país (Art. 18), mas questões de abrangência maior, como ordenamento territorial e desenvolvimento socioeconômico, são de competência da União (Art. 21). Os estados podem definir regiões, agrupando municípios com interesses comuns e obedecendo critérios espaciais e políticos. Na política urbana, entretanto, os municípios são os principais executores, sendo responsáveis pela elaboração do Plano Diretor. A política urbana, no âmbito do município, recebe novos direcionamentos a partir da promulgação do Estatuto da Cidade, Lei 10.257 de 2001, quando são reafirmados os princípios de ordenamento do território através dos instrumentos urbanísticos. Assim, o direito às cidades sustentáveis, com

---

<sup>2</sup> De acordo com o Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), a elaboração do Plano Diretor é obrigatória para municípios com mais de 20 mil habitantes, integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, entre outras situações específicas (art. 41).

reafirmação das funções sociais da cidade e da propriedade urbana garantiriam “o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte, ao lazer, aos serviços públicos e ao trabalho para as presentes e futuras gerações.” (Ferrão; Pozzer, 2018, p. 153).

Soma-se isso a considerações previstas no Estatuto da Cidade, de que a Lei institucional do Plano Diretor deve ser revista a cada dez anos, e que o procedimento de elaboração, fiscalização de sua implantação deve ser realizada por meio de um processo participativo, a fim de garantir a realização de audiências públicas e debates, bem como a transparência e a disponibilização de documentos e informações geradas (BRASIL, 1988; BRASIL; 2001).

Para Ferrão e Pozzer (2018), a partir da instituição do Estatuto da Cidade consolidou-se um novo modelo de Plano Diretor, que deixou de ser elaborado exclusivamente por técnicos contratados ou pelas equipes técnicas das prefeituras municipais. Segundo o autor, a legislação passou a exigir a participação da comunidade e das entidades locais no processo de elaboração, sendo então denominado Plano Diretor Participativo.

Vale ressaltar ainda que a legislação vigente, Estatuto das Cidades apresenta a obrigatoriedade de estabelecer nas cidades as Zonas de Edificações de Interesse Social (ZEIS), áreas estas destinadas à promoção ou regularização de moradia social para pessoas com vulnerabilidade socioeconômica. A habitação de interesse social (HIS) deste modo se apresenta como questão crucial no âmbito do planejamento urbano das cidades brasileiras para resolução do passivo de planejamento dos anos de acelerada urbanização.

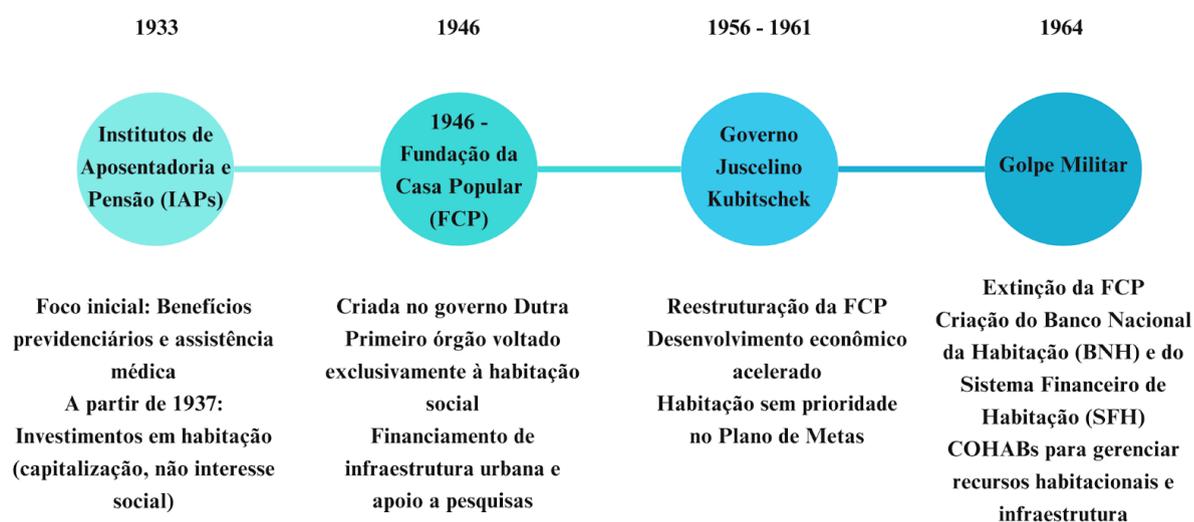
### **2.3 Habitações sociais em áreas seguras: dever e estratégia para redução das desigualdades nas cidades brasileiras**

Apesar da determinação das ZEIS apenas no Estatuto da Cidade em 2001, o Brasil já apresentava algumas alternativas voltadas para a temática da habitação em décadas anteriores. Rubin e Bolfe (2014), Bonduki (1998, 2004), Maricato (1997) e Botega (2007), versaram sobre o histórico da habitação no país antes do período democrático. Os autores convergem que, ao longo das décadas, os modelos de política habitacional no Brasil seguiram padrões semelhantes, baseados na oferta de financiamento para a construção e aquisição de

moradias, mas sem um planejamento urbano integrado que garantisse infraestrutura, serviços essenciais e, principalmente, a relação ambiental<sup>3</sup>.

Desde os primeiros investimentos habitacionais dos Institutos de Aposentadoria e Pensão (IAPs) (RUBIN; BOLFE, 2014), passando pela Fundação da Casa Popular (FCP) (PAIVA, 2024) e culminando no Banco Nacional da Habitação (BNH) e no Sistema Financeiro de Habitação (SFH) (BOTEGA, 2007), a lógica predominante foi a de expansão horizontal das cidades, notadamente para regiões periféricas com terras mais baratas e relações ambientais preocupantes. A Figura 1 apresenta uma linha do tempo dos programas habitacionais e uma pequena síntese a partir dos autores supracitados.

Figura 1 - Linha do tempo projetos de habitação pré período democrático



Fonte: Autora (2025)

Os projetos arquitetônicos, elaborados e padronizados para produção em massa, foram implantados em áreas com pouca ou nenhuma infraestrutura urbana, dificultando o acesso da população a serviços básicos como transporte, saúde, educação e lazer. Essa característica reforçou a segregação socioespacial, limitando a efetiva inclusão social dos beneficiários dessas políticas habitacionais (MARICATO, 1997).

Outro aspecto recorrente nesses modelos foi a escolha de áreas ambientalmente frágeis para a implantação de conjuntos habitacionais, o que não apenas expôs milhares de famílias a riscos, como também contribuiu para processos de degradação ambiental. A ausência de um planejamento que integrasse a produção habitacional à estrutura urbana já existente gerou

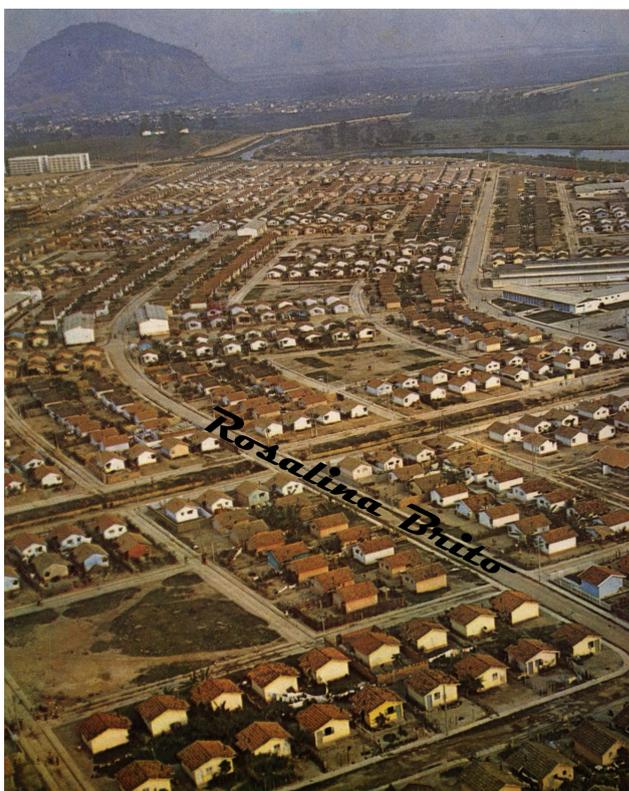
<sup>3</sup> Refere-se à inclusão de aspectos socioambientais no planejamento, implementação e gestão de programas habitacionais, considerando tanto os impactos ambientais gerados pela produção habitacional quanto a segurança da população, no intuito de evitar conflitos socioambientais e a vulnerabilidade.

bolsões de pobreza afastados dos centros econômicos. Além disso, desprovidos de equipamentos públicos adequados e vulneráveis a fenômenos naturais como inundações, alagamentos e processos erosivos intensos.

Apesar da grandiosidade dos programas e da promessa de redução do déficit habitacional, muitos desses projetos falharam em garantir moradias dignas e acessíveis. A título de exemplo. Iniciativas como a Fundação da Casa Popular tiveram seu impacto limitado, já que o próprio Plano de Metas do governo de Juscelino Kubitschek (1956-1961) não priorizou a habitação (BONDUKI, 1998).

Na década seguinte, um outro exemplo mais conhecido de projeto de habitação social da antiga COHAB, na Cidade de Deus, zona oeste do Rio de Janeiro (Figura 2), ficou mundialmente conhecido após o filme de 2002, que levou o mesmo nome do bairro.

Figura 2 - Foto da Cidade de Deus nos anos 1960



Fonte: DICIONÁRIO DE FAVELAS MARIELLE FRANCO (2023)

O conjunto habitacional, cuja construção se iniciou em 1960, ocupa a planície de inundação dos rios Grande e Anil, que receberam obras de drenagem para o avanço da urbanização (CARVALHO, 2013). O intuito era abrigar cerca de 4 mil famílias advindas de comunidades da Zona Sul carioca que haviam perdido suas casas com os eventos extremos

em janeiro de 1966. Estas famílias habitavam em forma de palafitas às margens da Lagoa Rodrigo de Freitas e na favela do Pinto (CRUVINEL, 2023). Para a viabilização do conjunto habitacional, a bacia sofreu com isso diversas modificações em sua rede fluvial com retificação de rios e aprofundamento de suas calhas (CARVALHO, 2013), algo comum em muitos outros projetos habitacionais de grande porte, para viabilizar e ampliar a área disponível para construção. No entanto, mesmo com a execução destas obras e outros planos de urbanização desenvolvidos, a área sofreu com a expansão urbana descontrolada. Como apontado por Carvalho (2013, p. 67) a região sofreu com “ocupações irregulares, adensamento populacional, carência de infraestrutura urbana e degradação de ecossistemas naturais”. Atualmente, o fato da área estar localizada em área suscetível à inundações e alagamentos e associada a uma altíssima vulnerabilidade social fazem com que a Cidade de Deus apresente o pior índice de vulnerabilidade ambiental dentro da bacia (NASCIMENTO, 2020).

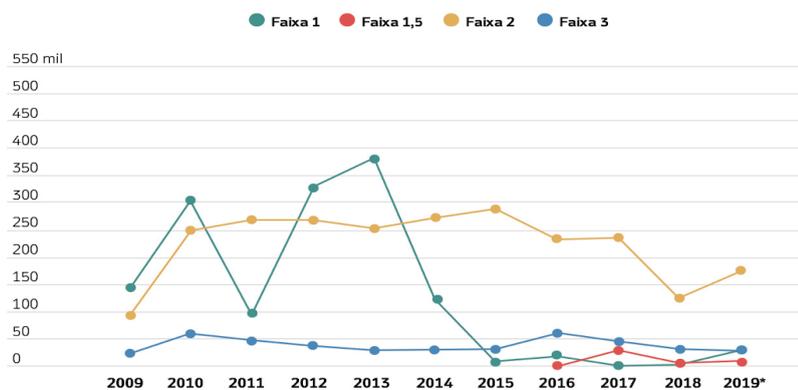
A discussão sobre a política habitacional e a produção de moradia em larga escala tomou outros rumos com a extinção do BNH em 1986, devido a inadimplência, corrupção e o não atingimento do déficit habitacional (CAVALCANTI, 2019). Com a redemocratização e a Constituição Federal de 1988, o direito à moradia foi constituído como um direito social, a partir da reivindicação e pressão de movimentos sociais e cooperativas de habitação. Deste modo, a produção de HIS foi colocada sob uma nova dimensão, incluindo aspectos que iriam para além do fornecimento de moradias, mas também da necessidade de se realizar com estas a inclusão social, favorecer a participação popular, a sustentabilidade e maior integração urbana (BONDUKI, 1998;2008).

Apesar do direito constitucional agora reforçado, na década de 1990 não houve grandes mudanças no setor de habitação social. As iniciativas desenvolvidas ao longo da década foram pouco expressivas. O Plano de Ação Imediata para a Habitação (PAIH), de 1992, contribuiu somente com a construção de 210 mil unidades habitacionais, das 245 mil unidades previstas inicialmente (PAIVA, 2024). Já no governo de Fernando Henrique Cardoso (FHC) o programa Pró-Moradia voltou a financiar programas habitacionais e de saneamento com a construção de 155 mil habitações, além do Programa de Arrendamento Residencial (PAR) com recursos do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) (AZEVEDO, 2007; BONDUKI e ROSSETTO, 2009). No entanto, a alocação de recursos favoreceu majoritariamente as famílias de renda média, com 78,84% dos investimentos destinados a aqueles que ganhavam mais de cinco salários mínimos (BONDUKI, 2008). Enquanto isso,

apenas 8,47% dos recursos foram direcionados às famílias com renda de até três salários mínimos, mesmo sendo essa a faixa com o maior déficit habitacional (BONDUKI, 2008).

Em 2003, com a eleição do presidente Luiz Inácio Lula da Silva, a política urbana foi fortalecida com a criação do Ministério das Cidades, pasta que ficou responsável por diferentes políticas para o desenvolvimento urbano de forma integrada. Dentre estas, o Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) se destacou pela expressividade dos números de construção e entrega de habitação social entre diferentes faixas de rendimento médio familiar, conhecidas então como: Faixa 1 - até 3; Faixa 2 - 3 a 6; Faixa 3- 6 a 10 salários mínimos (BONDUKI e ROSSETTO, 2009). Contudo, apesar do número alto de moradias entregues na década posterior (Figura 3), o mesmo recebeu críticas desde o seu lançamento, pautadas no risco de repetição de erros como a produção em grande escala e a falta de qualificação urbanística, além da localização distante dos centros urbanos, da economia e das oportunidades (BONDUKI, 2009).

Figura 3 - Unidades entregues Programa Minha Casa Minha Vida



Fonte: UOL, 2019

Sobretudo no que diz respeito à construção em áreas de risco, estudos apontam que parte desses empreendimentos continham impermeabilização excessiva e falta de sistema de drenagem adequado. Costa Júnior et al. (2023) e Silva e Silva (2023) apontam que muitos conjuntos habitacionais foram construídos inclusive em planícies naturais de inundação, sem considerar adequadamente a bacia hidrográfica como unidade de planejamento.

Segundo Nascimento (2016), a simples ampliação do número de residências não resolve a questão estrutural do problema. Além disso, o programa estabelecia um modelo uniforme de habitação social seguido pelos municípios, sem levar em conta particularidades como a topografia dos terrenos, o clima da região e as demandas específicas da população.

Essa padronização gerou impactos negativos, dificultando a adaptação das moradias ao contexto local e comprometendo a qualidade de vida dos residentes frente a eventos de precipitações extremas, por falhas na estrutura predial e no sistema de drenagem (NASCIMENTO, 2016).

Cardoso e Aragão (2016) destacam que a impermeabilização excessiva e a falta de sistemas de drenagem adequados desses projetos contribuíram não só para as patologias construtivas precoces, mas também para aumentar a frequência e magnitude das enchentes. Neste sentido, Silva e Silva (2021) observam que a ausência de infraestrutura adequada resultou em problemas como infiltrações, vazamentos e rápida deterioração das estruturas de drenagem superficial. Esses problemas evidenciam a necessidade de uma abordagem mais integrada e sustentável no planejamento habitacional, considerando aspectos como drenagem urbana, saneamento básico e resiliência a eventos climáticos extremos, como sugerido por Paulino e Santos (2013).

Como exemplo desta realidade, os Conjuntos Residenciais Torquato Neto II, III e IV, em Teresina, Piauí, com 1.388 unidades no total, apresentam situações críticas em relação à questão hidrológica (Figura 4). De acordo com Araújo e Albuquerque (2022), a população residente sofre com diversos problemas de alagamentos, devido a não observação dos aspectos hidrográficos da região na implantação do empreendimento. Os autores citam que a construção dos conjuntos habitacionais modificou o escoamento superficial da bacia hidrográfica, acarretando em uma aumento significativo das vazões (ARAÚJO; ALBUQUERQUE, 2022).

Figura 4 - Conjuntos Residenciais Torquato Neto II, III e IV - Teresina, Piauí



Fonte: G1 (2021)

Apesar do Brasil, nesse curto período de redemocratização, ter buscado o desenvolvimento de políticas urbanas e habitacionais com um aparato técnico mais

consolidado e com alguma participação dos movimentos sociais, ainda não se identifica uma solução factível para equalizar adequadamente a promoção de habitação e o ordenamento da expansão urbana. O que se observou mesmo após o avanço dessas políticas foi o crescimento do déficit habitacional, quantitativo e qualitativo, além da expansão urbana dada por ocupações espontâneas em áreas sem a infraestrutura urbana e planejamento adequados.

De acordo com Maricato (1996, p. 107), “testemunho dos que estão vivendo no ‘olho do furacão’”, ou testemunho daqueles que vivenciam diretamente os efeitos da urbanização excludente no Brasil, é essencial e “insubstituível” para a compreensão dessa realidade. Em registro de seu diário, posteriormente transformado no livro *Casa de Alvenaria*, a escritora Carolina Maria de Jesus, que ficou mundialmente conhecida a partir de seu livro *Diário de uma Favelada*, diz como resposta à um grupo de estudantes em uma palestra, que para abolir as favelas é preciso “procurar um lugar enxuto das águas na enchente, que os móveis que eles compram descolam na enchente, perdem os colchões e alguns tem que ficar dentro d’água. Eu fiquei na água por um mês por não ter onde ir” (JESUS, 2021, p. 44).

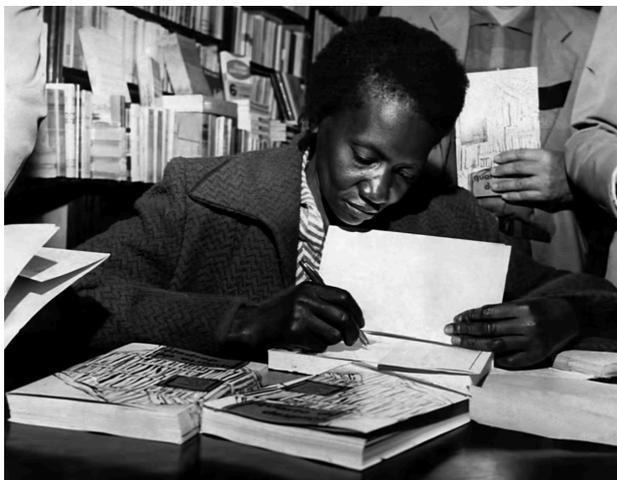
Para Tremba (2020), estas duas obras de Carolina trazem consigo uma descrição dos parâmetros de ocupação urbana, sobretudo em São Paulo, com grande sensibilidade de quem viveu na pele as consequências da marginalização. A escritora mineira morou em uma ocupação no bairro do Canindé, próximo ao Rio Tietê, cujas margens possuíam inúmeras outras ocupações naquele período. As Figuras 5 e 6 são fotos da escritora que relatou sua experiência cotidiana frente aos desafios de sobrevivência no espaço urbano em uma área de inundação.

Figura 5 - Carolina Maria de Jesus em 1958 na favela do Canindé, às margens do rio Tietê, onde viveu até lançar ‘Quarto de Despejo’



Fonte: CARRANÇA (2021)

Figura 6 - Carolina Maria de Jesus autografando um de seus livros, em 1960 - INSTITUTO MOREIRA SALLES



Fonte: GORTÁZAR (2021)

Décadas depois, um exemplo mais explícito dessas ocupações da bacia do Rio Tietê é a região do Jardim Pantanal, na zona leste da capital paulista. O assentamento surgiu entre os anos 1980 e 1990, como resultado de ocupação irregular acarretada pelo déficit habitacional presente na época (MALAGODI, PELOGGIA, 2015). A primeira grande inundação registrada no local aconteceu em 1992 e, ao longo de 20 anos, foram registrados e noticiados onze outros episódios de cheias (MALAGODI; PELOGGIA, 2015). Recentemente, em janeiro de 2025, a área sofreu uma nova inundação que durou mais de uma semana (Figura 7). A área integra a bacia do Alto Tietê, presente no Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê – PDMAT que em sua 3ª edição, com horizonte de projeto até 2020, tinha como objetivo evitar a ocupação das várzeas, preservando sua função essencial de retenção e amortecimento do pico de vazões no rio Tietê, especialmente no trecho central de São Paulo, durante períodos de chuvas prolongadas (CANHOLI, 2014).

Figura 7 - Jardim Pantanal, distrito de SP na Zona Leste 01/02/2025



Fonte: G1, 2025

A partir destas reflexões sobre o planejamento urbano associado a habitação social e os casos de habitações sociais em áreas frágeis do ponto de vista hidrológico, como exemplificado pela Cidade de Deus e os conjuntos residenciais piauienses, compreendemos como o estudo de bacias e sub-bacias hidrográficas é fundamental para associação a esses temas, na busca de um desenvolvimento urbano equilibrado e seguro.

Na seção a seguir são apresentados conceitos e legislações que versam sobre a temática da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, abordando também de forma exemplar a expansão urbana em bacias hidrográficas em diferentes regiões do país e suas consequências atuais do ponto de vista hidrológico.

#### **2.4 A Bacia hidrográfica como unidade de Planejamento Territorial no Brasil**

A bacia hidrográfica como unidade de planejamento territorial no Brasil se constitui na legislação através da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), promulgada em 1997. A PNRH tem como objetivo a gestão integrada desses recursos diante das diversidades ambientais, socioeconômicas e culturais presentes nas diversas regiões brasileiras. Além disso, o planejamento dos recursos, segundo a lei, deve se articular com outros planejamentos em escalas regional, estadual e nacional (BRASIL, 1997).

Os Planos de Recursos Hídricos são desenvolvidos em três níveis – nacional, estadual e de bacia hidrográfica e buscam integrar os diferentes usos da água, envolvendo órgãos governamentais, a sociedade civil, usuários e instituições responsáveis pela gestão dos recursos hídricos. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) atua coordenando e apoiando a elaboração de planos em bacias hidrográficas de rios de domínio da União, ou seja, aqueles que atravessam mais de um estado ou país. Além disso, a ANA pode oferecer suporte técnico na formulação de planos em outras esferas, auxiliando estados e municípios na gestão sustentável dos seus recursos hídricos (ANA, 2024).

Deste modo, o planejamento do uso do solo, que era tema específico até então dos Planos Diretores e das Leis de Uso e Ocupação do Solo, se torna também relevante e foco dos Planos de Recursos Hídricos, com áreas que estão para além dos limites municipais, por vezes (FERRÃO; POZZER, 2018). Assim, as legislações municipais como Plano Diretor e leis correlatas devem apresentar aspectos dos Planos de Recursos Hídricos, também como o Plano de Recursos Hídricos devem apresentar aspectos presentes nos Planos Diretores (FERRÃO; POZZER, 2018).

No ano de 2012, como consequência do aumento significativo de desastres ambientais no Brasil, se constitui a Política Nacional de Proteção a Defesa Civil, a Lei nº 12.608/2012 (TAVARES, 2023). A promulgação desta lei se deu no ano seguinte a um dos maiores desastres ambientais brasileiros frente a eventos de precipitação crítica ocorridos na Região Serrana do Rio de Janeiro, região caracterizada por forte ocupação informal em encostas com alta declividade. Segundo dados fornecidos pela Secretaria Nacional de Defesa Civil e pela Defesa Civil do Rio de Janeiro, conforme apresentados no Relatório de Perdas e Danos do Banco Mundial (2012), o desastre impactou diretamente 304.562 pessoas, sendo 905 o número de mortos e 16.458 o total de pessoas desabrigadas.

De acordo com esta legislação, os municípios inseridos no Cadastro Nacional de Municípios suscetíveis à ocorrência de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos devem ter seu Plano Diretor compatível ao Plano de Recursos Hídricos (BRASIL, 2012). Além disso, a lei também versa sobre a habitação de interesse social, esta que deve ser demarcada através de zonas especiais de interesse social e outros instrumentos de política urbana, para uso habitacional (BRASIL, 2012). De forma sucinta, a lei proíbe a criação de habitação social em áreas de risco mapeadas, vinculando a política habitacional à prevenção de desastres. Adicionalmente, exige que os municípios planejem a realocação das famílias que já vivem nesses locais perigosos para moradias seguras (BRASIL, 2012).

No Brasil, a lista mais recente publicada pelo Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, no âmbito da Proteção e Defesa Civil - SEDEC, inclui 1.942 dos 5.570 municípios (BRASIL, 2024). O município de Ouro Preto, no qual se encontra a área de estudo deste trabalho, está incluído nessa lista e apresenta risco à deslizamento, enxurrada e inundação, com 12.718 pessoas mapeadas vivendo sob influência de risco geo-hidrológico, o que corresponde a 17% da população total municipal de 74.824 habitantes (IBGE, 2023).

As recentes legislações e as políticas construídas a partir da redemocratização não foram suficientes para mudar a dinâmica exposta pela urbanização brasileira sem planejamento. Atrelada à expansão urbana, o impacto às bacias hidrográficas tem sido cada vez mais alvo de estudos que analisam suas mudanças em relação à impermeabilização crescente do solo associado ao aumento das vazões (LEAL, RAMOS, 2022; COSTA *et. al.* 2023; BARROS *et. al.*,2020), além de questões relacionadas a eventos frequentes de enchentes e inundações, que atingem populações de diferentes regiões brasileiras, principalmente as mais vulnerabilizadas.

Na região Norte do país, Leal e Ramos (2022) analisaram o impacto que o processo de urbanização e especulação imobiliária ocorrido em Belém, na capital do Pará, causou sobre a bacia hidrográfica do Rio Tucunduba. O processo se deu na década de 1970 com o intenso fluxo migratório do campo para a cidade, e consequente adensamento populacional em uma planície de inundação. Essa população, ainda segundo o autor, permanece nos dias de hoje em condições habitacionais precárias e sofre frequentemente com alagamentos, conforme apresentado nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 - Mapa de localização bacia hidrográfica do Tucunduba



Fonte: LEAL e RAMOS (2022)

Figura 9 - Bairro Montese: canal da Celso Malcher no baixo curso, Bacia Hidrográfica Rio Tucunduba



Fonte: LEAL, RAMOS, (2022)

Recentemente, os bairros que constituem a bacia receberam a autorização para regularização fundiária desta área (BRASIL, 2025). Estima-se que o programa irá beneficiar mais de 340 mil famílias, um quantitativo populacional significativo no município. Além disso, este processo de regularização soma-se a outros projetos para macrodrenagem e urbanização da região (BRASIL, 2025). Ações como estas, de políticas públicas, são essenciais para resolução de problemas socioambientais que possuem urgência no contexto da bacia hidrográfica (LEAL e RAMOS, 2022).

Para Costa, Sousa e Silva (2023), aliado à falta de planejamento do solo, ao crescimento populacional, a urbanização e a falta de políticas públicas de proteção ao meio ambiente têm impactos ambientais profundos. Ao analisar a ocupação do solo na bacia hidrográfica do Rio Beberibe, em Pernambuco, a partir de ferramentas do Sistema de Informação geográfica (SIG), os autores concluíram que a bacia hidrográfica sofreu rápida antropização ao longo de 30 anos (1990-2020) com um crescimento de 14% da área urbana sobre os demais usos do solo presentes na bacia, predominantemente vegetação.

A ocupação de áreas frágeis, para Barros *et al.* (2020), está ligada à falta de políticas habitacionais e torna essas populações mais expostas ao impacto de eventos naturais. Tal visão corrobora com o que foi supracitado por outros autores. Além disso, os autores expressam a necessidade de se acompanhar, monitorar e compreender tendências de expansão urbana nas bacias hidrográficas como forma de melhorar o planejamento. Fatores como densidade populacional, taxas de ocupação e impermeabilização do solo estão diretamente relacionados com a exposição gerada. O controle sobre estes parâmetros urbanísticos deste modo, não é realizado com o planejamento prévio.

A correlação entre a expansão urbana e áreas sujeitas a inundações devido a expansão espontânea e sem planejamento urbano tem se mostrado cada vez mais evidente ao longo dos anos. A falta de fiscalização, sobre os parâmetros supracitados leva cada vez mais a degradação ambiental associada à exposição de pessoas a desastres relacionados a fenômenos naturais (BARROS; DEUS; COSTA, 2020; QUEIROGA; FILGUEIRA; CUNICO, 2024).

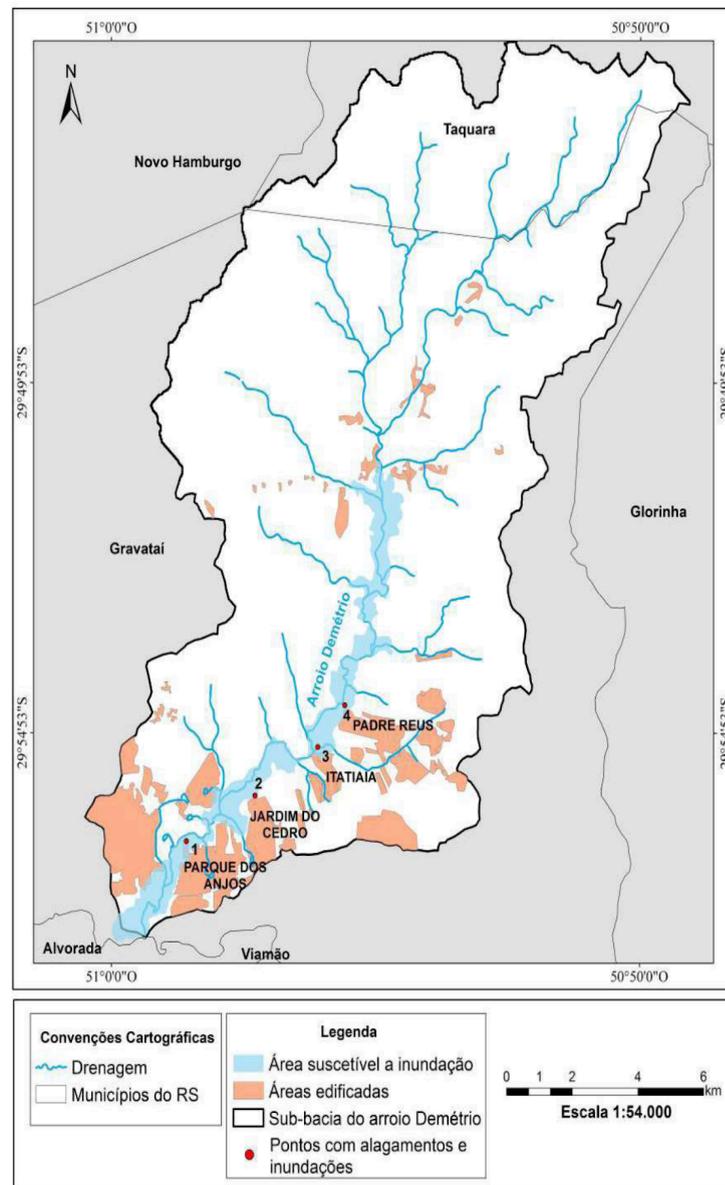
No Rio Grande do Sul, a bacia hidrográfica do Arroio Demétrio, que deságua no Rio Gravataí, localizado no município de mesmo nome, é também outro exemplo de áreas ocupadas com recorrentes inundações. Em 2013, 950 imóveis às margens do arroio Demétrio foram inundados, em 2015 mais de 8 mil pessoas foram afetadas, na mesma região (QUEVEDO *et al.*, 2017).

Quevedo *et al.* (2017) analisaram a ocupação das margens do arroio e destacam que a expansão urbana desordenada intensificou-se especialmente após o ano 2000, impulsionada pela instalação do Complexo Industrial General Motors e pela criação de loteamentos habitacionais. Esse crescimento contribuiu para o aumento da vulnerabilidade da região a inundações. Eventos como os de 2013 e 2015, afetaram significativamente a área, com cerca de 950 imóveis atingidos em 2013 e aproximadamente 8 mil pessoas impactadas pelas cheias em 2015.

A Figura 10 apresenta os pontos 1 e 3 que correspondiam a uma área que sofreu expansão após 1960, 2 uma área industrial e 4 onde ocorreu a construção de um loteamento habitacional onde 29.603,83 m<sup>2</sup> se encontra suscetível à inundação. Os autores destacam que o ponto 4 foi ocupado recentemente e concluem que mesmo com tempo de retorno de 50 anos utilizado para demonstrar as áreas suscetíveis a inundações, todos os pontos coincidiram com a mancha.

Os autores também apontam que áreas edificadas na bacia do arroio, que totalizam cerca de 17,86 km<sup>2</sup> (7,83% da bacia), estão suscetíveis a inundações. A modelagem realizada no estudo utilizou um tempo de retorno de 50 anos para delimitar as áreas de risco, e os resultados coincidiram com as manchas de inundação registradas historicamente. Isso reforça a necessidade urgente de estratégias de mitigação e adaptação na região, evidenciando a importância de um planejamento urbano mais criterioso para evitar a ocupação de áreas vulneráveis às cheias.

Figura 10 - Sobreposição entre áreas suscetíveis a inundações, áreas edificadas e os pontos de alagamentos e inundações



Fonte: QUEVEDO *et. al.* (2017)

A partir das reflexões apresentadas sobre a necessidade de estudos correlacionando as bacias hidrográficas ao ambiente urbano, pretende-se a seguir caracterizar a área de estudo deste trabalho que corresponde a Bacia Hidrográfica Córrego do Varjada em Ouro Preto, Minas Gerais, que coincide com uma zona de expansão urbana prevista pela legislação atual, que passa por um processo de regularização fundiária e que tem expectativa de ocupação e adensamento futuro. Uma das metodologias mais eficazes de gerenciar esses impactos é através da modelagem hidrológica, que será apresentada a seguir.

## 2.5 Modelagem hidrológica de bacias urbanas

Os modelos hidrológicos são ferramentas essenciais para compreender e representar o comportamento de uma bacia hidrográfica. Segundo Tucci (2005), eles possibilitam a análise dos fenômenos naturais que ocorrem na bacia por meio da coleta de dados, formulações matemáticas e técnicas estatísticas. Escarião (2001) ressalta que esses modelos são fundamentais para profissionais das áreas de planejamento e gestão dos recursos hídricos, pois permitem a quantificação dos volumes de água disponíveis e fornecem informações importantes para a tomada de decisão.

Entre os diversos *softwares* gratuitos disponíveis para modelagem hidrológica, destacam-se o ABC 6 (Análise de Bacias Complexas), o SWMM (Storm Water Management Model) e o HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System). Cada um possui características específicas e diferentes limitações. O SWMM e o HEC-HMS, por exemplo, são modelos voltados para a simulação da relação entre chuva e vazão, podendo ser aplicados tanto a eventos isolados quanto a simulações contínuas. As principais variáveis analisadas incluem o tempo de resposta da bacia, a vazão de pico e o hidrograma total do escoamento (SOUZA; CRISPIM; FORMIGA, 2012).

De acordo com Rennó (2003), um modelo hidrológico pode ser definido como uma representação matemática do fluxo de água e de seus constituintes na superfície ou subsuperfície terrestre. O uso desses modelos tem se expandido significativamente, com aplicações na previsão de cenários, avaliação de impactos ambientais e suporte ao desenvolvimento de projetos hidrológicos e hidráulicos (MARINHO FILHO et al., 2012). A escolha do modelo adequado para um estudo depende, entre outros fatores, da disponibilidade de dados que auxiliem na definição de parâmetros e da experiência do profissional com o *software* utilizado. A familiaridade do modelador com o programa é essencial para uma melhor interpretação dos resultados e das variações dos parâmetros simulados.

Os modelos hidrológicos podem variar em grau de complexidade, desde representações mais simplificadas até sistemas avançados que consideram múltiplas variáveis e diferentes escalas de tempo e espaço. Dependendo da abordagem adotada, as simulações podem abranger períodos de minutos a anos e representar desde áreas específicas até regiões extensas, chegando ao nível atmosférico. De maneira geral, esses modelos descrevem a distribuição da precipitação, as perdas por interceptação e evaporação, os processos de infiltração e o escoamento superficial e subsuperficial. Eles permitem a análise do trajeto da

água desde sua precipitação até a saída da bacia hidrográfica, seja por escoamento para fora da área de estudo ou por evapotranspiração (RENNÓ, 2003).

Siqueira et al. (2023) destacam que a compreensão do comportamento hidrológico e das mudanças no uso do solo em bacias urbanas é fundamental para orientar políticas de prevenção a inundações e conservação de recursos hídricos. Contudo, a carência de dados fluviométricos em áreas urbanizadas, como apontado por Fonseca Neto et al. (2020), dificulta a calibração de modelos matemáticos, comprometendo a precisão das simulações hidrológicas. Estudos como o realizado na bacia do ribeirão Cambé, em Londrina (PR), revelam os impactos drásticos da urbanização no local: aumento de 186% no escoamento superficial e elevação de 326% a 420% nas vazões máximas entre 1959 e 2022, devido à impermeabilização do solo, e redução de 56% no tempo de concentração. Essas alterações exigem revisão de estruturas hidráulicas dimensionadas para cenários anteriores, evidenciando a urgência de atualização de critérios técnicos (MANSOUR, 2024).

Neste estudo, será utilizado o *software* HEC-HMS para simular os processos hidrológicos da bacia hidrográfica delimitada da Bacia do Córrego Varjada. Este sistema permitirá a simulação de eventos desde a precipitação até a modelagem da vazão. Ambos foram desenvolvidos pelo Centro de Engenharia Hidrológica (HEC), um departamento especializado do Instituto de Recursos Hídricos do Exército dos Estados Unidos. O HEC é responsável pelo desenvolvimento de metodologias e ferramentas voltadas para a hidrologia de águas superficiais e subterrâneas, hidráulica fluvial, transporte de sedimentos, estatísticas hidrológicas e análise de riscos. Além disso, essa instituição também atua no planejamento de sistemas de reservatórios e no gerenciamento do controle de águas em tempo real, desenvolvendo estudos técnicos fundamentais para a gestão dos recursos hídricos (USACE, 2016).

O modelo HEC-HMS é uma ferramenta amplamente utilizada para simulação hidrológica, permitindo a transformação de chuva-vazão e a propagação de cheias. Ele incorpora métodos como o Número de Curva (SCS Curve Number) para calcular perdas por infiltração e o Hidrograma Unitário (SCS Unit Hydrograph) para converter chuva excedente em escoamento direto (ANDRADE, 2017). Além disso, utiliza o Muskingum-Cunge, para propagar cheias, considerando parâmetros como coeficiente de armazenamento e peso (ANDRADE, 2017).

A estimativa da vazão máxima, essencial para projetos de drenagem e obras hidráulicas, pode ser realizada por métodos como ajuste de distribuições estatísticas, regionalização de vazões ou modelagem baseada em precipitação (Tucci, 2012). A integração

de dados multidisciplinares, como radar meteorológico e pluviômetros, tem sido proposta para reduzir incertezas com a utilização do HEC-HMS, como demonstrado por Moreira et al. (2013) na bacia do Rio Barigüi (PR), onde técnicas estatísticas melhoraram a precisão das simulações. Boitrago et al. (2023) aplicaram o modelo para simular o escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Vieiras, em Montes Claros (MG), demonstrando sua eficácia na estimativa de vazões de pico em períodos centenários. Já Pereira e Nunes (2025) identificaram que a urbanização intensiva na bacia do Barro Preto em Mariana (MG), aumentou significativamente as áreas impermeabilizadas entre 2007 e 2024, resultando em um crescimento de até 92% nas vazões de pico para um tempo de retorno de 10 anos, superando a capacidade da infraestrutura existente.

Deste modo, a efetividade dos modelos hidrológicos é demonstrada pela sua versatilidade em diferentes aplicações, que vão desde a previsão de eventos extremos até a análise de mudanças no uso do solo. Eles são essenciais para quantificar com precisão os impactos diretos da urbanização, como o aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização. Essa capacidade analítica e preditiva fornece subsídios técnicos indispensáveis para o dimensionamento de obras de drenagem mais resilientes e adequadas à realidade de cada bacia. Ao traduzir dados de precipitação e características da bacia em vazões de pico, os modelos permitem antecipar problemas e testar soluções. Dessa forma, o uso de tais ferramentas se justifica por viabilizar um planejamento urbano mais consciente dos riscos hídricos e, conseqüentemente, mais seguro para a população.

### 3. METODOLOGIA

A exemplo das referências supracitadas constitui-se a metodologia do trabalho de modo a atingir o objetivo de avaliar os cenários de ocupação da zona de expansão urbana do vetor Saramenha, em Ouro Preto, e seus impactos no comportamento hidrológico da bacia do Córrego Varjada. Assim, esta se desenvolveu com intuito de integrar aspectos do planejamento urbano e territorial, com foco na unidade de planejamento da bacia hidrográfica. De modo que, associada à construção do modelo hidrológico, fossem consideradas questões relacionadas às leis de uso e ocupação do solo, atual e a proposta no âmbito da revisão da revisão do Plano Diretor Participativo em curso, simulando os cenários de alteração das vazões de acordo com os padrões de ocupação da bacia. As etapas seguidas na metodologia são apresentadas na Figura 11.

Figura 11 - Fluxograma metodológico



Fonte: Autora (2025)

A utilização de *softwares* se mostrou essencial para o desenvolvimento do trabalho. Os dois mais utilizados para sua concepção da metodologia foram o QGIS e HEC-HMS. Como descrito anteriormente o HEC-HMS permite a transformação de chuva-vazão e propagação de cheias, amplamente utilizado em para simulações hidrológicas (ANDRADE, 2017; MOREIRA et al., 2013). No que diz respeito ao QGIS, este *software* é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que permite a visualizar e gerar dados georreferenciados para representação gráfica do espaço.

A integração dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) com a modelação hidrológica, conforme destacado por Santos et al. (2006), constitui uma ferramenta indispensável para o planejamento e ordenamento do território, permitindo a manipulação e

análise combinada de dados espaciais essenciais como a topografia, o uso do solo e as condições meteorológicas de bacias hidrográficas. Desta forma, a combinação de ambos permitiu o desenvolvimento do trabalho de modo fluido. Vale destacar que ambos são *software* livres e de código aberto que permitem a ampla utilização para estudos e trabalhos desta natureza.

### **3.1 A sub-bacia hidrográfica Córrego Varjada: Caracterização da área da sub-bacia em relação à cidade de Ouro Preto**

A sub-bacia hidrográfica do Córrego Varjada, afluente do Córrego Tripuí, está localizada na porção leste do município de Ouro Preto, inserida na área urbana do distrito sede. Seu curso principal está às margens da rodovia MG-129 e em sua maior parte, além de seu trecho inicial estar às margens da BR-356.

Ainda em Ouro Preto, a sub-bacia estudada integra a sub-bacia do rio do Carmo, também conhecida como Ribeirão do Carmo, hoje quase integralmente inserida na área urbana do distrito sede. O rio é um afluente do rio Piranga, integra a bacia hidrográfica do rio Doce e é caracterizada por clima tropical central (GUERREIRO, 2000; SOBREIRA 2014; NIMER, 1979). Além disso, possui pluviosidade de 2.018 mm/ano com distribuição irregular e chuvas concentradas no verão (OURO PRETO, 2024).

A bacia é caracterizada pelos tipos de solo cambissolo háplico e neossolo litólico (OURO PRETO, 2025), conforme intersecção realizada para área de estudo sobre a classificação de solos desenvolvida pela convênio entre a Universidade Federal de Viçosa (UFV), o Centro Tecnológico de Minas Gerais (Cetec), a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e o Sistema Estadual do Meio Ambiente (Sisema). A infiltração da água no solo é influenciada por suas propriedades, variando desde argilas compactas, praticamente impermeáveis, até areias com alta capacidade de absorção. Neste estudo, são consideradas duas classes de solo, Cambissolos e Neossolos, conforme a classificação.

**Cambissolos:** Solos minerais pouco intemperizados, geralmente rasos e encontrados em terrenos acidentados. Com alto teor de silte, possuem textura média, elevada suscetibilidade à erosão e significativo escoamento superficial (EMBRAPA, 2011). Neste estudo, destaca-se a classificação CXbd29 (Cambissolos Háplicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Eutróficos + Afloramentos de Rochas).

**Neossolos:** Especificamente os Litólicos, caracterizam-se por serem rasos, com profundidade inferior a 50 cm, típicos de regiões montanhosas. São altamente erodíveis e

apresentam grande potencial de escoamento superficial (EMBRAPA, 2011). Neste estudo, considera-se a classificação RLd10 (Neossolos Litólicos Distróficos + Argissolos Vermelhos Eutróficos + Cambissolos Háplicos Tb Eutróficos).

Para uma classificação do uso e cobertura do solo mais criteriosa do solo atual, pensando na proximidade e dos possíveis impactos da zona urbana, utilizou-se a imagem de satélite da base USGS Earth Explorer do satélite Landsat-8 coleção level 2 com reflectância. A partir disso, a classificação dos solos foi possível com a utilização do plugin do Qgis, Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), gerando 5 categorias (Formação florestal; Formação campestre; Pastagem; Mosaico de usos; Área urbana), que posteriormente foram unidas em uma camada shapefile.

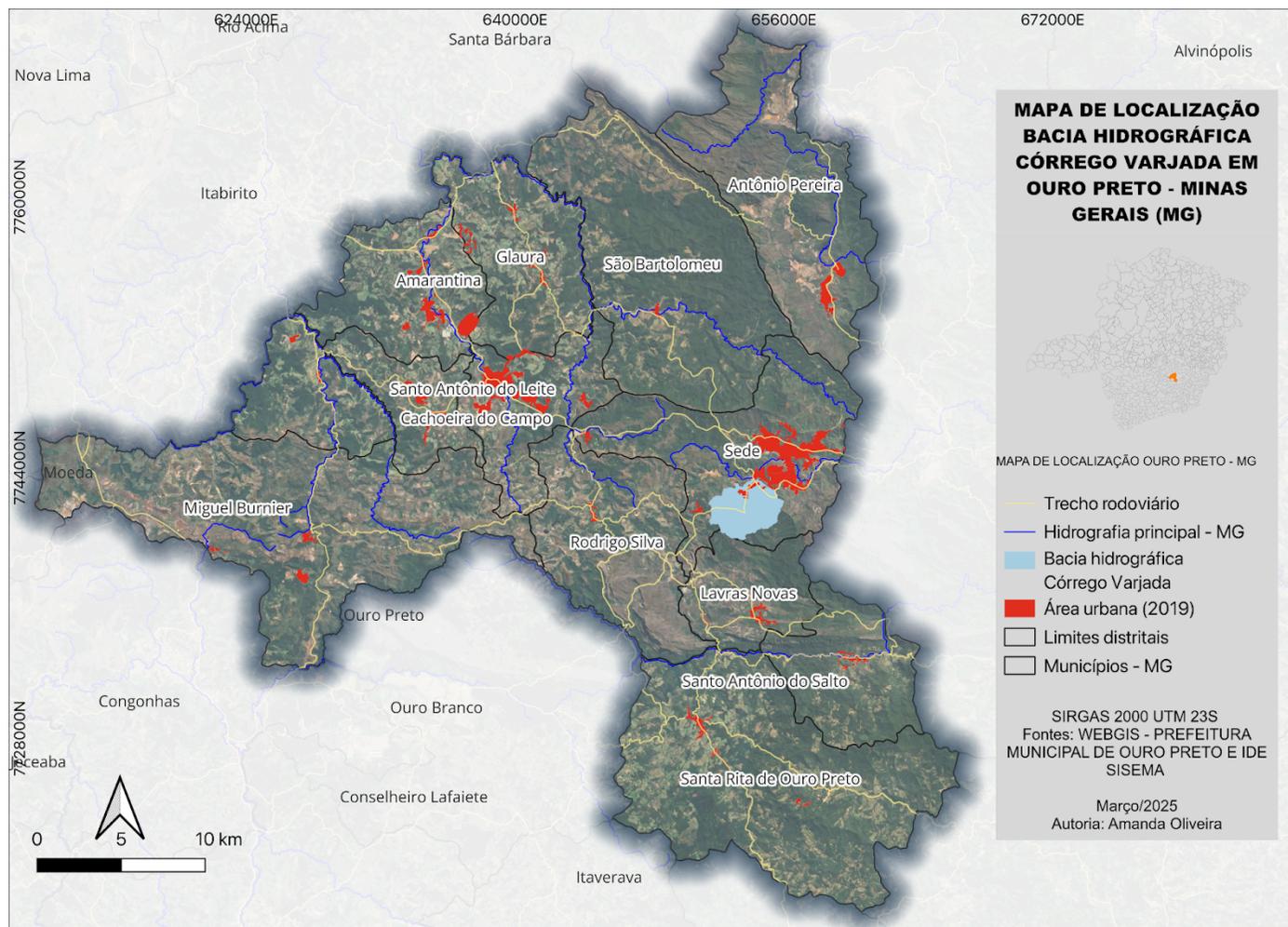
Considerou-se como área urbana, as áreas que seriam relacionadas também a empreendimentos de mineração, por se observar nestas áreas edificações. Além disso, a categoria “Mosaico de usos” foi considerada como uma junção de edificações a uma área com pouca vegetação (pastagem). Além disso, utilizou como sobreposição as camadas Mapa Biomas - coleção 9 (2023) e Google satélite (2025), esta última disponível através do plugin *QuickMapservice*, para consolidação das nomeações referentes a caracterização definida das áreas.

Notou-se, a partir desta classificação, que a área urbanizada é mais densa na região nordeste da bacia devido à proximidade aos bairros consolidados do distrito sede (Tavares e Saramenha) e à ocupação às margens das duas rodovias. Essa ocupação se deu, sobretudo, após a locação de uma indústria de alumina denominada Alcan, posteriormente vendida e nomeada Novelis, em sequência Hidalco e mais recentemente ACTHEC – Alumina Chemical Technology. Tais considerações são relevantes para entender como se deu o processo histórico de ocupação territorial da sub-bacia hidrográfica e futuramente sua influência no regime hidrológico local.

A implantação da Alcan no ano de 1950 foi o principal vetor de crescimento urbano na região do Córrego Varjada. Entre os bairros que surgiram e já se consolidaram décadas após a instalação da siderúrgica, além de Tavares e Saramenha, são: Vila Itacolomi, Vila dos Engenheiros, Vila Aparecida, Vila, Operária e Morro do Cruzeiro, onde está instalado o maior campus da Universidade Federal de Ouro Preto (OLIVEIRA, SOBREIRA, 2015).

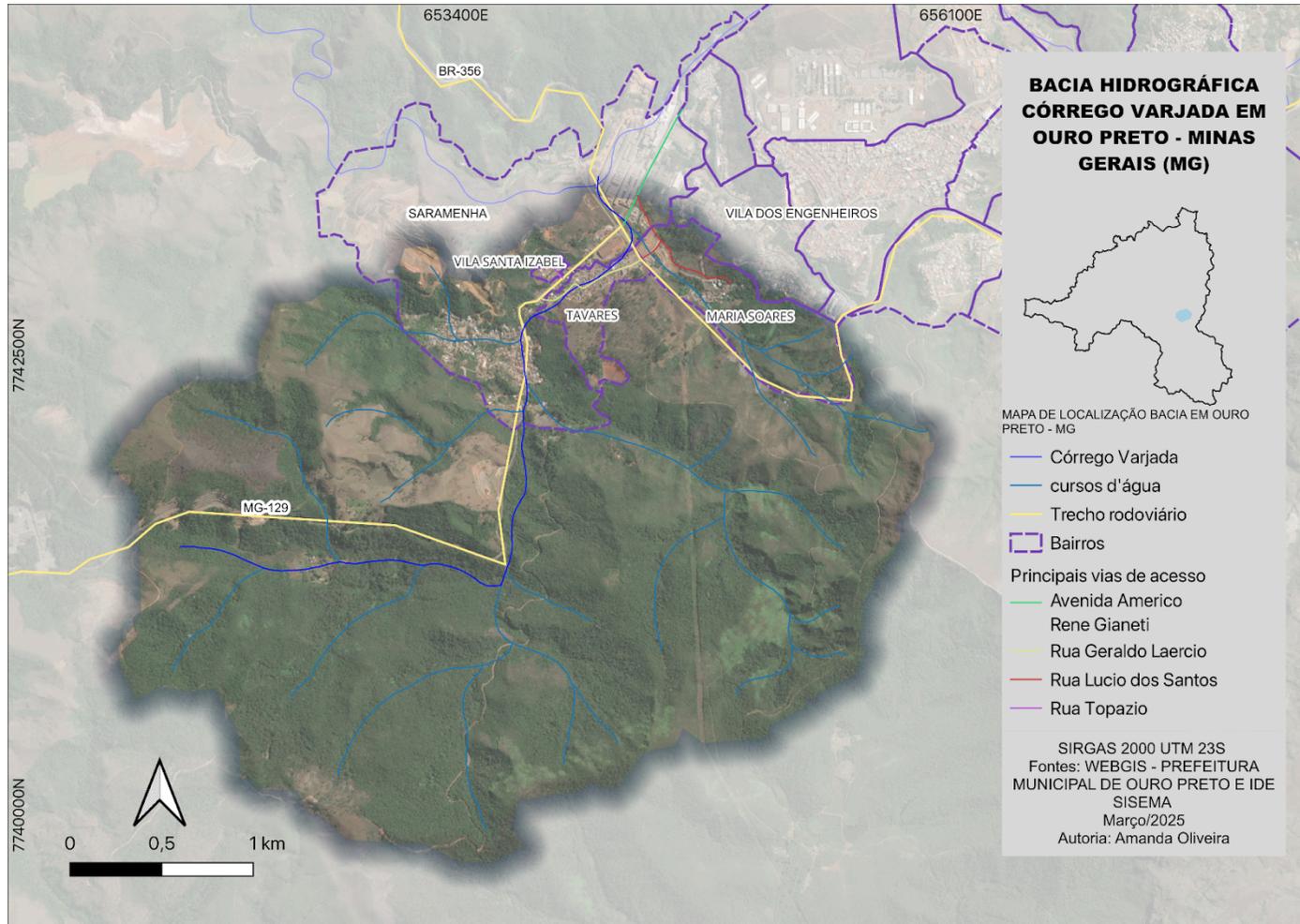
As Figuras 12, 13, 14 e 15 apresentam a localização da bacia hidrográfica Córrego Varjada no município de Ouro Preto, a bacia e a caracterização do solo e de uso e ocupação, respectivamente e como supracitado.

Figura 12 - Localização bacia hidrográfica em Ouro Preto



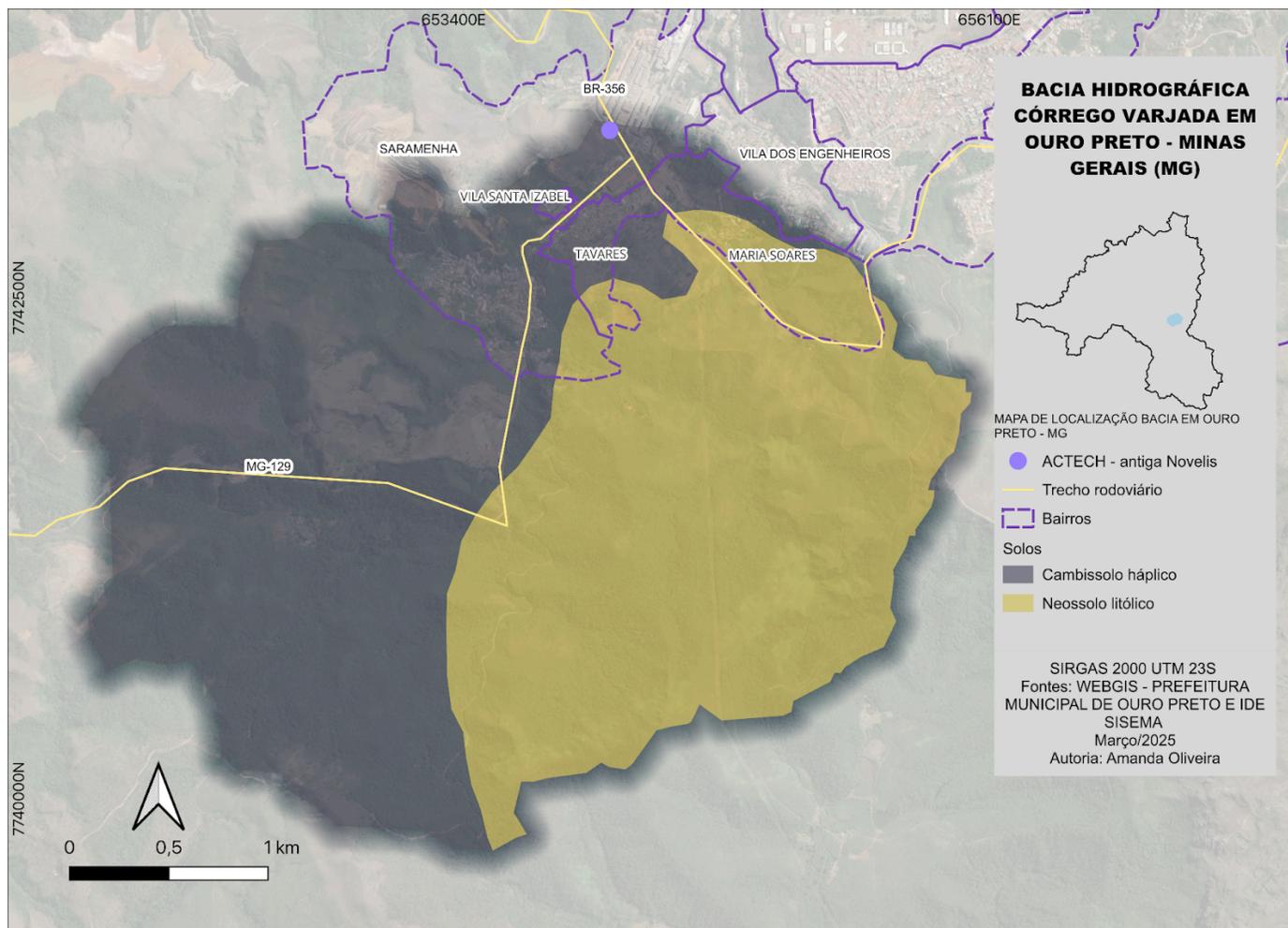
Fonte: Autora (2025)

Figura 13 - Bacia Hidrográfica Córrego Varjada



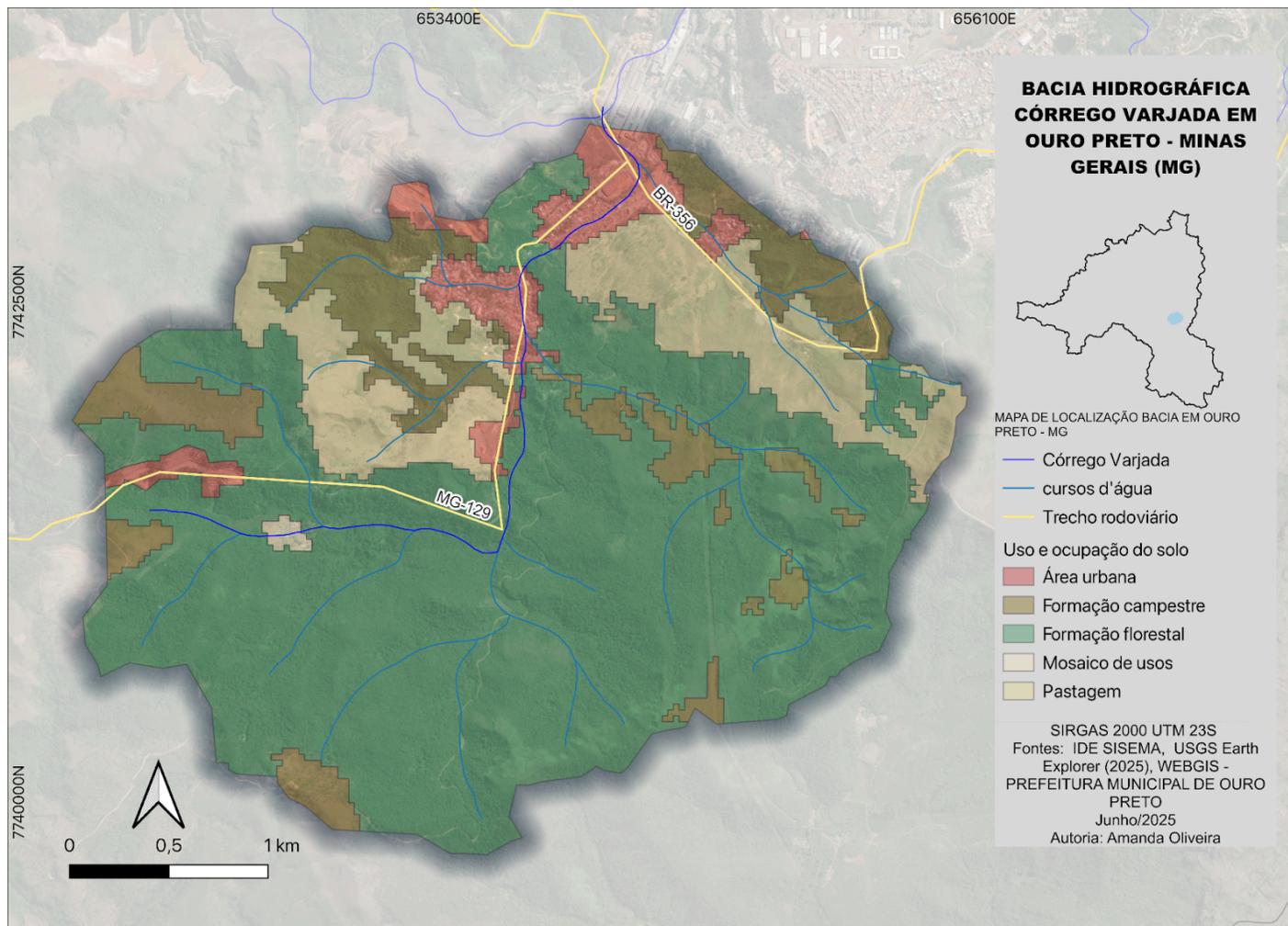
Fonte: Autora (2025)

Figura 14 - Tipo de Solo Bacia Hidrográfica Córrego Varjada



Fonte: Autora (2025)

Figura 15 - Uso e ocupação Bacia Hidrográfica Córrego Varjada



Fonte: Autora (2025)

As figuras pretendem apresentar a bacia e pontos de interesse para esta pesquisa. Para isso, considerou-se as principais rodovias, cursos d'água, bairros e principais vias de acesso a estes últimos. As figuras apresentam ainda os bairros Maria Soares e Vila Santa Isabel, que nos estudos referenciados foram incorporados a Vila dos Engenheiros e Saramenha. Deste modo, as caracterizações referente a tipologias abordadas a seguir podem ser interpretadas com estas considerações.

No que diz respeito ao zoneamento atual da área do Plano Diretor vigente, este possui as Zona de Adensamento Restrito ZAR-2, Zona de Adensamento ZA, Zona de Intervenção Especial ZIE e Zona de Proteção Ambiental ZPAM, além de apresentar parte da área de expansão considerada como vetor sul, com proximidade aos bairros consolidados de Tavares e Saramenha, conforme Figura 20.

Como estabelecido pela atual legislação:

Art. 9º A ZAR - Zona de Adensamento Restrito compreende as áreas em que a ocupação e o uso do solo são controlados, em razão da ausência ou deficiência de infraestrutura de drenagem, de abastecimento de água ou esgotamento sanitário, da precariedade ou saturação da articulação viária externa ou interna, de condições topográficas, hidrográficas e geológicas desfavoráveis e da interferência sobre o patrimônio cultural ou natural, além das áreas que, por suas características geo-ambientais incluindo o seu entorno, devem ser preservadas, podendo ser parceladas e/ou ocupadas mediante condições especiais, observando a tendência ou a forma de ocupação existente (OURO PRETO, 2011).

Neste contexto, a ZAR-2 corresponde “às áreas que devem ser preservadas por suas características geo-ambientais e por seu entorno, mas que poderão ser parceladas e/ou ocupadas mediante condições especiais”.

De acordo com a normativa “A ZA - Zona de Adensamento corresponde às áreas que, em virtude de condições favoráveis de topografia e de infra-estrutura existente ou potencial, bem como de condições ambientais favoráveis, são passíveis de maior adensamento”. Ainda nesta área, a ZA2 corresponde à “ZA-2 – regiões com características favoráveis ao adensamento” (OURO PRETO, 2011, Art. 10º).

A ZIE por sua vez,

corresponde às áreas degradadas por processos naturais ou antrópicos que demandam recuperação ambiental definida por plano específico aprovado pelo Conselho Municipal de Desenvolvimento Ambiental – CODEMA, ou ainda às áreas destinadas à urbanização de assentamentos informais ou à remoção de moradores de áreas de risco, ou de interesse ambiental, paisagístico ou cultural (OURO PRETO, 2011, Art. 12º).

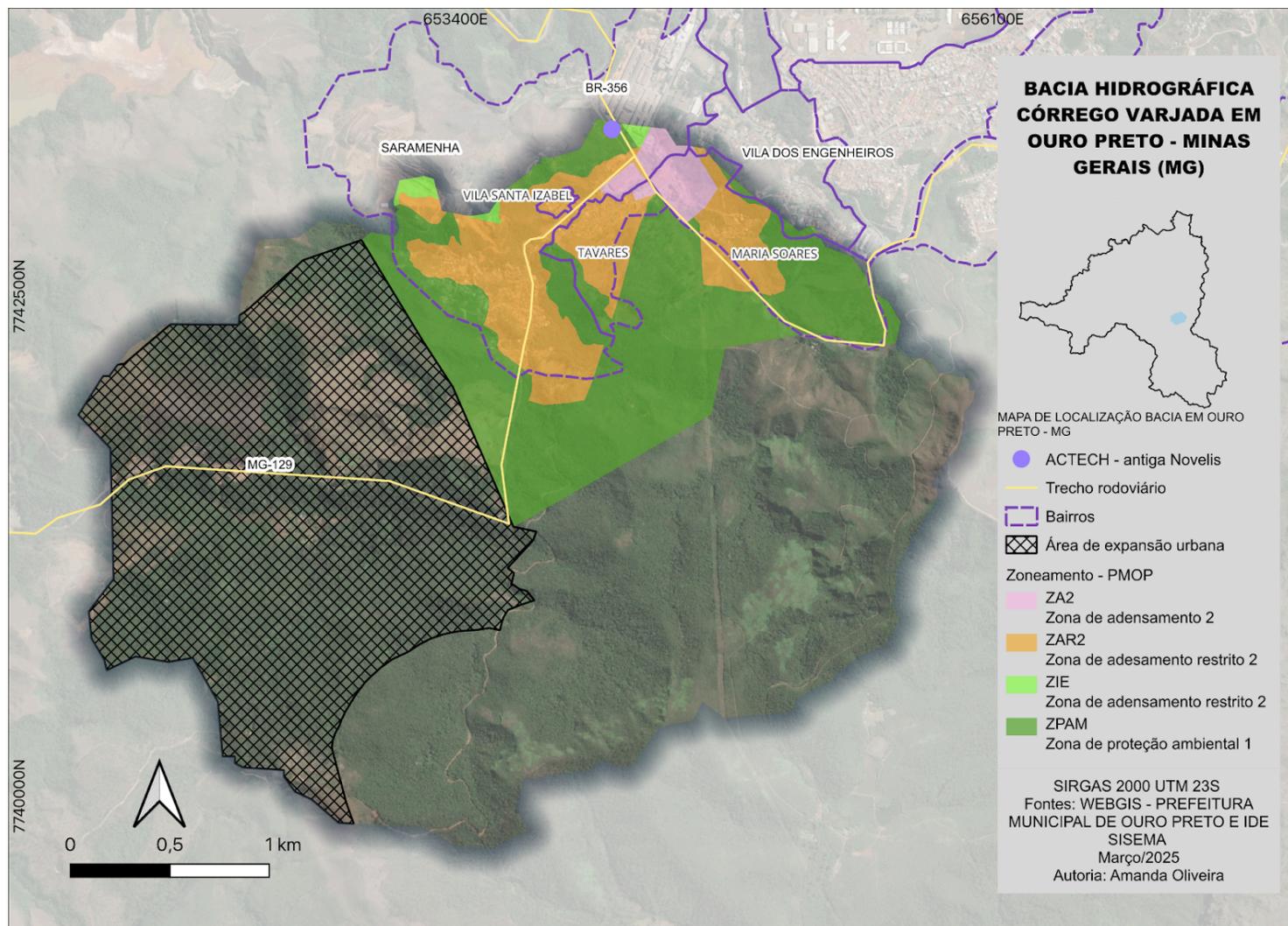
Atualmente a área de ZIE presente na bacia refere-se à área industrial ocupada pela Alumina Chemical Technology (ACTECH). Além disso, a área de estudo também apresenta a área de expansão definida por:

Compreendem as áreas de expansão urbana a transição entre a zona rural e a zona urbana, apresentando características e potenciais para urbanização, devido a se localizarem em trechos contíguos, lindeiros ou nas proximidades da zona urbana, que em função do crescimento da cidade apresentam vocação e tendência ao parcelamento, ao uso e à ocupação para fins urbanos, com baixa densidade populacional (OURO PRETO, 2011, Art. 14º).

A legislação local estabelece a Zona de Proteção Ambiental (ZPAM) como uma área destinada a resguardar ecossistemas de alto valor, definindo-a como locais que abrigam "Reservas Legais, as Reservas Particulares do Patrimônio Natural – RPPN e os remanescentes de Mata Atlântica" (OURO PRETO, 2011). Essa definição cria uma expectativa de que tais zonas contenham ecossistemas nativos e preservados. No entanto, ao analisar a aplicação dessa classificação na prática, surge uma discussão crítica. Conforme observado neste estudo, nem toda área designada como ZPAM na zona urbana de Ouro Preto necessariamente possui de fato essas características. Na bacia em estudo, por exemplo, a cobertura vegetal predominante dentro da ZPAM é de floresta comercial (plantações de eucalipto), e não de mata nativa.

Enquanto a legislação associa a ZPAM à preservação da biodiversidade e de ecossistemas originais, a aplicação em campo recai sobre uma monocultura com finalidades econômicas e com valor ecológico distinto e inferior ao da Mata Atlântica em termos de biodiversidade e oferta de serviços ecossistêmicos para a comunidade urbana. Este tipo de zoneamento, estando em um vetor de expansão urbana claramente definido pela lei, cria uma ambiguidade enquanto a própria vocação, sem contar a viabilidade, de receber empreendimentos formais de parcelamento do solo e programas habitacionais mais abrangentes.

Figura 20 - Zoneamento Bacia hidrográfica Córrego varjada



Fonte: Autora (2025)

Além desse zoneamento presente na área da bacia, há também o processo de Regularização Fundiária Urbana de Interesse Específico (REURB-E), que vem sendo considerada para suprir o déficit habitacional da cidade através da construção de moradias sociais. O que pode levar, para esses fins específicos, alterações no zoneamento da região que poderá ser alterado no futuro, utilizando-se, por exemplo, da prerrogativa de delimitação de ZEIS- Zonas de Especial Interesse Social.

### **3.2 O REURB-E em Ouro Preto e projeções de expansão urbana na bacia do Córrego Varjada**

A proposta de Regularização Fundiária Urbana de Interesse Específico (REURB-E)-Novelis baseia-se na regularização das terras da cessão original realizada pelo poder público para instalação da empresa ALCAN, posteriormente Novelis do Brasil Ltda. Atualmente ACTECH, localizada no exutório da bacia do Córrego Varjada. Em 1953, a prefeitura concedeu aproximadamente 1.191.595 m<sup>2</sup> de terras à empresa para estimular o desenvolvimento econômico da região, criando empregos e renda. Com o crescimento da fábrica, surgiram bairros como a Vila Itacolomi, Saramenha e Vila dos Engenheiros, além da Vila Operária, que abrigava trabalhadores da empresa (SOBREIRA; OLIVEIRA, 2014; PAIVA, 2024). No entanto, essas ocupações ocorreram sem regulamentação adequada e sem os devidos repasses que a legislação posteriormente exigiria, resultando em uma configuração urbana informal e com insegurança jurídica para os moradores.

A promulgação da Lei Federal nº 11.977/2009 trouxe um novo cenário ao permitir a formalização de núcleos urbanos informais como esses. Dentre as principais mudanças está a definição de duas categorias para o REURB, sendo elas REURB-E e REURB-S. Conforme a Lei Federal nº 13.465/2017, a principal diferença entre as modalidades de REURB reside no critério socioeconômico dos ocupantes, sendo a REURB-S voltada à população de baixa renda e a REURB-E destinada àquela não enquadrada nesta condição (BRASIL, 2017).

Em 2021, diante de uma Ação Civil Pública do Ministério Público de Minas Gerais, a Prefeitura de Ouro Preto e a Novelis iniciaram o processo de REURB-E para conceder títulos de propriedade aos ocupantes e integrar a área ao planejamento urbano. O processo de regularização abrange cerca de 598.122 m<sup>2</sup>, aproximadamente metade do total cedido à empresa em 1953 (PAIVA, 2024).

Após negociações entre a Novelis, o Ministério Público e a prefeitura, foi definido que 35% da área original, hoje parcelada ou ocupada irregularmente, ficaria sob controle do poder público municipal, como rege a Lei 6.766 (BRASIL, 1979), com a particularidade de ser

destinada prioritariamente à construção de habitações de interesse social para suprir o déficit habitacional do distrito sede. Para viabilizar essa medida, foram identificadas áreas da empresa passíveis de desapropriação, resultando no Decreto nº 6.526, que delimitou sete glebas na região, totalizando aproximadamente 354.476 m<sup>2</sup> (PMOP, 2022).<sup>4</sup>

Esta ação reforça a tendência das últimas três décadas de expansão urbana para o vetor sul, consolidando as áreas ainda não ocupadas do perímetro urbano atual, principalmente às margens da BR-356 e MG-129, dos terrenos planos ou com declividades mais suaves.

Ressalta-se, além disso, recentes manifestações públicas realizadas pelo movimento de luta por moradia em Ouro Preto, Ocupação Chico Rei, ligada ao MTST (Movimento de Trabalhadores sem Teto) (Figura 21). Tais manifestações ocorreram em maio deste ano que reivindicaram as terras da antiga FEBEM (Fundação Estadual para o Bem Estar do Menor) e da Novelis para habitação social (ITATIAIA, 2025; AGÊNCIA PRIMAZ, 2025). Além disso, o movimento também esteve presente em algumas audiências públicas de revisão do Plano Diretor (ITATIAIA, 2025).

Figura 21 - Manifestação pelo direito à moradia em maio de 2025



Fonte: Agência Primaz (2025)

Somadas a estas manifestações e também no contexto do recorte da área de estudo, se encontra atualmente um acampamento organizado pelo movimento de moradia supracitado.

<sup>4</sup> O processo REURB Novellis conta com áreas destinadas ao reconhecimento de áreas consolidadas por meio do REURB-E, além da destinação de áreas não construídas para construção de conjuntos habitacionais por meio do Decreto Municipal nº 6.526 DE 22 DE JUNHO DE 2022 da destinação de glebas para este fim.

Junto à Ocupação Chico Rei, algumas famílias que precisaram ser desalojadas devido ao risco geológico após fortes chuvas que atingiram o bairro Taquaral em janeiro de 2022, se uniram em protesto na Fazenda Maria Soares e Barcelos, popularmente conhecida como “antiga terra da Novelis” ao lado da UPA Dom Orione (TENÓRIO *et. al.*, 2024). O acampamento tem recebido apoio do grupo de pesquisa e extensão “Saneamento Sustentável”, da UFOP, e realizado discussões e ações a respeito da temática que norteia o grupo. A Figura 22 apresenta o acampamento em 2023.

Figura 22 - Vista parcial do acampamento Novo Taquaral (registro em fevereiro de 2023)



Fonte: Vieira et al. (2024)

Deste modo, o presente estudo tem sua relevância a partir do objetivo de trazer a compreensão, sob a luz do modelo hidrológico, previsões que possam ser incorporadas nos projetos de drenagem urbana. Considerando as características da bacia do Córrego Varjada para sua iminente ocupação e a garantia de uma território seguro para as famílias a serem ali reassentadas. Com isso, pretende-se reforçar a necessidade da interdisciplinaridade dos estudos urbanos, de modo a garantir que os projetos de habitações sociais não reforcem a vulnerabilidade nos aspectos ambientais e sociais dos seus beneficiários.

Figura 23 - Localização das glebas do REURB-E Novel



Fonte: PLUS ULTRA (2023)

### **3.3 Modelagem dos fenômenos hidrológicos - construção de cenários a partir da ocupação urbana e impactos ambientais nas vazões da bacia**

Para o estudo hidrológico da bacia do Córrego Varjada, foram construídos quatro cenários que contemplam diferentes configurações de uso e ocupação do solo, visando prever as vazões de pico geradas em cada cenário. Com as considerações preliminares supracitadas conclui-se a necessidade de separar os cenários em relação às APP 's, devido a permissividade de ocupação perante laudo técnico. Além disso, as considerações sobre as glebas do REURB apresentadas como possíveis áreas para construção de habitação social, bem como a área de expansão urbana prevista no Vetor Sul Saramenha. Atribuiu-se coeficientes de escoamento, tempos de concentração e armazenamento com base nos diferentes cenários de uso e cobertura do solo. Por fim, foram simulados cenários atual e futuro para avaliar as alterações no comportamento hidrológico devido à urbanização progressiva, prevista se as iniciativas do REURB significarem de fato na aceleração do processo de ocupação na região.

Os cenários propostos serão:

- "Cenário 1 ": Representará a situação da sub-bacia no ano de 2025, considerando as ocupações existentes e o uso do solo no período atual;
- "Cenário 2": situação projetada para área de expansão previstas pela atual legislação, considerando áreas de APP as áreas com restrição de ocupação de declividade para áreas com percentual maior que 30%;
- "Cenário 3": a situação projetada para área de expansão previstas pela atual legislação, considerando áreas de APP as áreas com restrição ocupação de declividade para áreas com percentual maior que 45%;
- "Cenário 4": a situação projetada com a nova proposta de Macrozoneamento e Zoneamento para a área de estudo proposta na revisão da legislação atual.

### **3.4 Método SCS e Número da Curva (CN)**

A metodologia adotada inclui a aplicação do método *Soil Conservation Service* (SCS) Curve Number, para estimar perdas por infiltração. O método do SCS , desenvolvido em 1957 pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), tem como objetivo estimar a transformação direta da precipitação em escoamento superficial em bacias hidrográficas. Este

método utiliza o parâmetro chamado *Curve Number* (CN), que é uma medida empírica e adimensional que relaciona o volume de chuva com o volume de escoamento gerado, considerando características da bacia como tipo e uso do solo, cobertura vegetal e condições de umidade antecedente.

O método SCS propõe uma relação chuva-vazão que permite calcular o escoamento potencial a partir da precipitação total, focando na capacidade de absorção e retenção da bacia hidrográfica. O CN varia de 0 a 100, representando desde alta capacidade de infiltração no solo (valores baixos) até alta geração de escoamento superficial (valores altos). Este método é simples, eficaz e amplamente utilizado para estimar escoamento superficial em estudos hidrológicos, planejamento e gerenciamento de recursos hídricos (ANA, 2018; RANKINS, 2018).

Diante disso, tem-se a compreensão de que o aumento da impermeabilização do solo está diretamente relacionado ao tipo de solo encontrado na área de estudo e sobretudo às áreas que são constituídas por áreas residenciais, industriais, de uso misto. O valor de CN neste caso aumenta devido a incapacidade de infiltração de água no solo, o que aumenta o escoamento superficial, conseqüentemente nos valores de vazões gerados da sub-bacia. Além do CN tem-se o parâmetro de impermeabilização do solo, que também é associado ao uso e ocupação do solo e foi definido de acordo com as mesmas referências utilizadas para definição do CN.

Para o cálculo do parâmetro CN na bacia do córrego Varjada, foram utilizados os dados de uso e ocupação do solo supracitados na caracterização da sub-bacia Córrego Varjada, somados da Lei de Zoneamento atual de Ouro Preto (Lei Complementar nº 153/2014). Além, da previsão da legislação futura para macrozoneamento e zoneamento, apresentada nos fóruns participativos de Janeiro de 2025, ainda em discussão, disponibilizada no Webgis pela Prefeitura de Ouro Preto, como parte da Revisão do Plano Diretor.

A partir das ponderações realizadas sobre a área da bacia Córrego Varjada, pretende-se estabelecer um CN que seja representativo conforme a tipologia de uso do solo presente na área de estudo. Com isso, foi considerada a tabela utilizada por diversos estudos elaborada por Tucci (1993), Figura 24. Além disso, utilizou-se a associação ao grupo de hidrológico de solo supracitado, respectivamente, Cambissolo háplico - grupo C e Neossolo litólico - grupo D para áreas sem zoneamento da bacia, conforme uso e ocupação da Figura 15, apresentada anteriormente.

Figura 24 – Valores de CN para áreas urbanas e suburbanas

| Utilização ou cobertura do solo                     | Grupo hidrológico de solos |    |    |    |
|---|----------------------------|----|----|----|
|   | A                          | B  | C  | D  |
| Zonas cultivadas sem conservação do solo            | 72                         | 81 | 88 | 91 |
| Zonas cultivadas com conservação do solo            | 62                         | 71 | 78 | 81 |
| Pastagens ou terrenos em más condições              | 68                         | 79 | 86 | 89 |
| Terrenos baldios em boas condições                  | 39                         | 61 | 74 | 80 |
| Prado em boas condições                             | 30                         | 58 | 71 | 78 |
| Bosques ou zonas com cobertura ruim                 | 45                         | 66 | 77 | 83 |
| Floresta com cobertura boa                          | 25                         | 55 | 70 | 77 |
| Zonas comerciais e de escritórios                   | 89                         | 92 | 94 | 95 |
| Zonas industriais                                   | 81                         | 88 | 91 | 93 |
| Zonas residenciais                                  | 77                         | 85 | 90 | 92 |
| Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc. | 98                         | 98 | 98 | 98 |
| Vias asfaltadas e com drenagem de águas pluviais    | 98                         | 98 | 98 | 98 |
| Arruamentos em paralelepípedos                      | 76                         | 85 | 89 | 91 |
| Terra exposta                                       | 72                         | 82 | 87 | 89 |

Fonte: TUCCI (1993)

Para consideração dos valores de CN para áreas que possuem descrição e são determinadas pela lei de zoneamento, utilizou-se como referência os valores de CN e impermeabilização (IMP) definidos para a lei de zoneamento da Prefeitura de Belo Horizonte (Lei 11.181/2019). Com uma abordagem mais conservadora optou-se por definir o valor de CN, para toda bacia, de modo a considerar a área urbana, de diferentes zonas, além da zona industrial como tipo de solo D, menos impermeável e o valor adotado de CN referência a ZAP (1996) ou Zonas de Ocupação preferencial 1,2 e 3 em Belo horizonte. Deste modo, o valor adotado foi CN de 90 e IMP de 80%. A Figura 25, apresenta a relação descritiva das zonas, grupos hidrológicos e valores adotados em um estudo utilizado como referência.

Figura 25 - Valores de CN - Lei de zoneamento de Prefeitura de Belo Horizonte - Lei 11.181/19

| Código da Zona (1996) | Código da Zona (2019) | Descrição da Zona (2019)                | Grupo Hidrológico |       | Adotado | IMP (%) |
|-----------------------|-----------------------|---|-------------------|-------|---------|---------|
|                       |                       |   | B                 | D     |         |         |
| ZPAM                  | PA-1*                 | Zona de Preservação Ambiental 1         | 55-73             | 77-86 | 64      | 5       |
| ZP-1                  | PA-1                  | Zona de Preservação Ambiental 1         | 60-75             | 80-87 | 68      | 30      |
| ZP-2                  | PA-2                  | Zona de Preservação Ambiental 2         | 72                | 82    | 72      | 70      |
| ZP-3                  | PA-3                  | Zona de Preservação Ambiental 3         | 78                | 85    | 78      | 70      |
| ZAR-1                 | OM-1<br>OM-2          | Zona de Ocupação Moderada 1 e 2         | 86                | 88    | 86      | 80      |
| ZAR-2                 | OM-3<br>OM-4          | Zona de Ocupação Moderada 3 e 4         | 87                | 89    | 87      | 80      |
| ZA                    | -                     | -                                       | 88                | 90    | 88      | 80      |
| ZAP                   | OP-1<br>OP-2<br>OP-3  | Zona de Ocupação Preferencial 1, 2 e 3  | 88                | 90    | 88      | 80      |
| ZHIP                  | -                     | -                                       | 92                | 94    | 92      | 80      |
| ZCBA                  | -                     | -                                       | 92                | 94    | 92      | 80      |
| ZCBH                  | -                     | -                                       | 92                | 94    | 92      | 80      |
| ZCVN                  | -                     | -                                       | 92                | 94    | 92      | 80      |
| ZEIS                  | ZEIS-1<br>ZEIS-2      | Zona Especial de Interesse Social 1 e 2 | 85                | 90    | 85      | 70      |
|                       | AEIS-1<br>AEIS-2      | Área Especial de Interesse Social 1 e 2 |                   |       |         |         |
|                       | ZE                    | AGEUCS                                  |                   |       |         |         |

Fonte: Canholi *et al.* (2022)

Na sequência, realizou-se a intersecção dos dados de uso de solo (caracterização e leis de zoneamento atual e proposta) com os limites definidos das sub bacias, de acordo com com a classificação Otto nível 7, o que gerou a classificação completa para se definir o CN médio de cada bacia. Além disso, também foram definidos os cenários a partir da consideração da condição atual da bacia, futura com a área de expansão e respectivas Áreas de Preservação Permanente (APP) previstas na legislação vigente, e cenário futuro com a proposição de Macrozoneamento e Zoneamento para bacia.

Para as APP's foram consideradas as APP's hídrica, de topo de morro e as demais camadas de *shapefile* disponíveis no Webgis da Prefeitura de Ouro Preto. Somadas a essas, as APP's por declividade são delimitadas conforme legislação ambiental e urbanística vigente,

especialmente no Plano Diretor e no Código Florestal, Lei n Lei n.º 254/2009, de 24 de setembro.

A delimitação de APP pelo município, conforme previsto na Lei Complementar nº 93/2011, considera áreas com declividade superior a 45% como zonas ambientalmente frágeis, onde a ocupação é proibida para evitar riscos geológicos e impactos ambientais. Para declividades entre 30% e 45%, o parcelamento ou ocupação só é permitido mediante laudo técnico e avaliação de viabilidade geotécnica emitidos por profissionais habilitados.

Sendo assim, a Legislação local difere da Federal e do Código Florestal, que possui parâmetros mais permissíveis sobre a declividade, como descritos na Tabela 1. Como a camada *shapefile* disponível no Webgis se refere ao Código Florestal, realizou-se a produção de um mapa de declividade para a área de estudo para definir as áreas de APP's pela legislação municipal e considerando o intervalo entre as declividades de 30% à 45% onde a ocupação é permitida, mediante a laudo técnico emitido, conforme apresentado na Figura 26.

Tabela 1 - Comparação APP por declividade nas legislações.

| <b>Critério</b>                   | <b>Lei Federal (12.651/2012 – Código Florestal)</b>                                     | <b>Lei Municipal (Ouro Preto – Art. 19)</b>                          |
|-----------------------------------|---|--|
| Declividade mínima para restrição | > 100% (corresponde a 45 graus)   | ≥ 30%  |
| Possibilidade de ocupação         | Proibida em áreas com declividade superior a 100%                                       | Permitida entre 30% e 45%, desde que com laudo técnico               |
| Possibilidade acima de 100%       | Proibida em qualquer hipótese, por ser considerada Área de Preservação Permanente (APP) | Não há vedação explícita, desde que com laudo técnico do responsável |
| Natureza da restrição             | Ambiental (proteção permanente – APP)   | Urbano-técnica (viabilidade construtiva)                             |
| Flexibilidade                     | Nenhuma (proibição absoluta, salvo exceções legais rigorosas)                           | Existe, mediante justificativa técnica                               |

Fonte: Autora (2025)

Por fim, para o cenário 4, realizou-se uma comparação entre as denominações de zoneamento propostas no âmbito da revisão do Plano Diretor de Ouro Preto, em curso, e as referidas em Belo Horizonte, considerando as similaridades a partir de parâmetros urbanísticos. Os parâmetros avaliados foram: TO-Taxa de Ocupação e TP-Taxa de Permeabilidade. A Tabela 2, apresenta o detalhamento da comparação realizada.

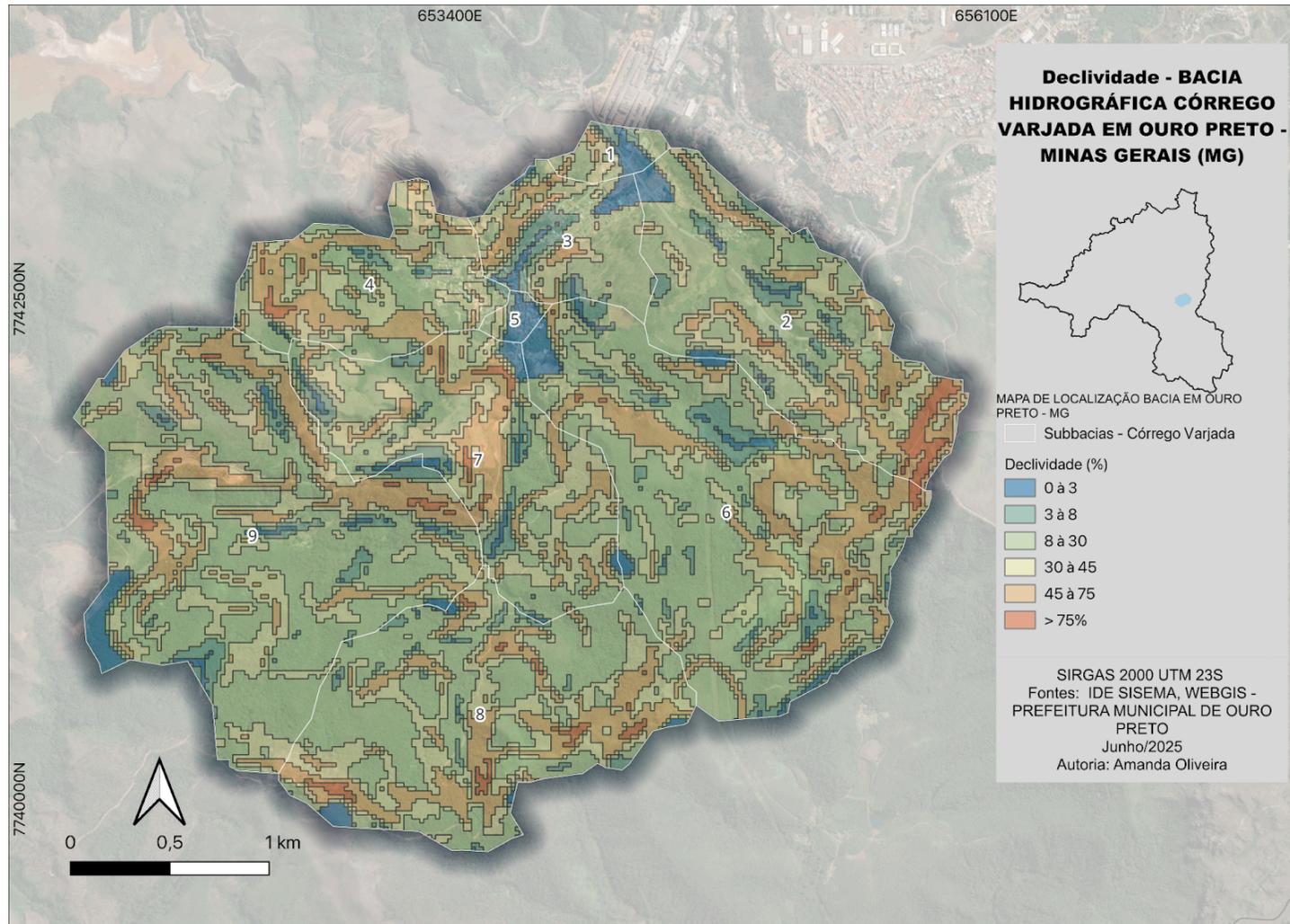
Tabela 2 - Síntese comparativo Proposta de Zoneamento de Ouro Preto (Revisão do Plano Diretor) e Belo Horizonte

| <b>Zoneamento Proposto (Ouro Preto)</b> | <b>Tipo</b> | <b>Descrição (Plano Diretor Ouro Preto)</b>  | <b>Parâmetros Urbanísticos Chave (Ouro Preto)</b> | <b>Análise Comparativa e Equivalência (Ref. Belo Horizonte)</b> | <b>CN Proposto</b> | <b>IMP (%) Proposto</b> |
|---|-------------|--|---|---|--------------------|-------------------------|
| ZPE                                     | Zona        | Zona de Proteção Especial: Áreas de patrimônio cultural onde a ocupação é controlada para preservar a ambiência.               | TO/TP Variável                                    | Equivalente à PA-3 (Preservação com ocupação significativa).    | 78                 | 70%                     |
| ZPAM-1                                  | Zona        | Zona de Proteção Ambiental 1: Áreas de preservação integral com o intuito de proteger fauna, flora e recursos hídricos.        | Não edificável                                    | Equivalente à PA-1* (Preservação sem construção).               | 64                 | 5%                      |
| ZPAM-2                                  | Zona        | Zona de Proteção Ambiental 2: Áreas de uso sustentável contíguas à ZPAM-1, com ocupação compatível.                            | TO: 20%, TP: 70%                                  | Equivalente à PA-1 (Preservação com baixa ocupação).            | 68                 | 30%                     |
| ZIM-1                                   | Zona        | Zona Industrial e de Mineração 1: Estruturas da atividade mineradora no perímetro urbano com restrição de ocupação no entorno. | TO: 20%, TP: 70%                                  | Hidrologicamente similar à PA-1 devido à alta permeabilidade.   | 68                 | 30%                     |
| ZIM-2                                   | Zona        | Zona Industrial e de Mineração 2: Áreas para atividades industriais de portes variados.  | TO: 60%, TP: 30%                                  | Equivalente às antigas Zonas Industriais (ZHIP).                | 92                 | 80%                     |
| ZAR-1a                                  | Zona        | Zona de Adensamento Restrito 1a: Áreas periurbanas com ausência de infraestrutura, ocupação controlada.                        | TO: 30%, TP: 60%                                  | Ocupação de baixa densidade, sem equivalente direto em BH.      | 80                 | 40%                     |
| ZAR-2                                   | Zona        | Zona de Adensamento Restrito 2: Áreas onde o relevo e a ocupação residencial exigem restrição ao                               | TO: 50%, TP: 30%                                  | Equivalente à OM (Ocupação Moderada) de BH.                     | 87                 | 70%                     |

|             |               |   |                            |  |                        |        |
|-------------|---------------|---|----------------------------|--|------------------------|--------|
|             |               | adensamento.  |                            |  |                        |        |
| ZAR-3       | Zona          | Zona de Adensamento Restrito 3: Entorno de Zonas de Proteção Especial (ZPEs) para controle de interferência na paisagem.  | TO: 60%, TP: 30%           | Próximo da OM-3/4 de BH.   | 87                     | 70%    |
| ZAR-4a / 4b | Zona          | Zona de Adensamento Restrito 4: Áreas de risco geológico (4b) ou de inundação (4a), com ocupação restrita.                | TO: 50%, TP: 50%           | Zona de risco, sem equivalente hidrológico direto.                         | 80                     | 50%    |
| ZAR-5       | Zona          | Zona de Adensamento Restrito 5: Áreas com potencial para desenvolvimento de centralidades locais (comércio e serviços).   | TO: 60%, TP: N/A           | Equivalente à OM-3/4 (Ocupação Moderada) de BH.                            | 87                     | 80%    |
| ZUE         | Zona          | Zona de Uso Especial: Áreas em eixos de circulação para projetos estratégicos e de diversificação econômica.              | TO: 70%, TP: 30%           | Equivalente à OP (Ocupação Preferencial) de BH.                            | 88                     | 80%    |
| ZEIS-1      | Zona          | Zona Especial de Interesse Social 1: Ocupações consolidadas por população de baixa renda para regularização fundiária.    | TO: 80%, TP: 15%           | Equivalente à ZEIS de BH.  | 85                     | 80%    |
| ZEIS-2      | Zona          | Zona Especial de Interesse Social 2: Áreas vazias ou subutilizadas para novos projetos de habitação de interesse social.  | TO: 60%, TP: 20%           | Equivalente à ZEIS de BH.  | 85                     | 70%    |
| MZPA        | Macrozon<br>a | Macrozona de Preservação Ambiental Integral: Áreas para proteção de ecossistemas e biodiversidade, com restrições de uso. | N/A (Contém a Zona ZPAM-1) | Equivalente ao conceito geral da Zona de Preservação Ambiental (PA) de BH. | 64 (Baseado na ZPAM-1) | ~5-30% |

|      |           |  |   |  |                        |      |
|------|-----------|--|---|--|------------------------|------|
| MZDS | Macrozona | Macrozona de Desenvolvimento Sustentável: Promove o uso sustentável e a conservação de recursos naturais, integrando comunidades locais. | N/A (Contém a Zona ZPAM-2)                                  | Conceito misto de preservação e uso, assemelha-se à lógica da PA-1 de BH, que permite alguma ocupação de baixo impacto.              | 68 (Baseado na ZPAM-2) | ~30% |
| ZUE  | Zona      | Zona de Uso Especial: Áreas limítrofes a grandes eixos de circulação, cuja ocupação não residencial é indutora de transformação urbana.  | CA: 1.5, TO: 70%, TP: 30%, LM: 720m <sup>2</sup> , Alt: 12m | Zona de alta densidade e transformação. Análoga à Zona de Ocupação Preferencial (OP) de BH em termos de impacto e impermeabilização. | 88                     | 80%  |

Figura 26 - Mapa de declividade



Fonte: Autora (2025)

### 3.5 Caracterização morfométrica da bacia

Com a utilização de ferramentas de geoprocessamento e referencial bibliográfico encontrou-se os parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de estudo. Estes parâmetros descrevem questões físicas da bacia e são utilizados posteriormente para a elaboração do modelo hidrológico com a utilização do HEC-HMS. Tais parâmetros são: área da bacia, perímetro, extensão do curso principal, declividade do curso principal (CARVALHO, ZUFFO, 2021; VENEZIANI, MANTOVANI, 2020; PEREIRA 2025).

O processo de caracterização iniciou-se com a delimitação das sub-bacias, ao utilizar a divisão de Bacias Hidrográficas Ottocodificadas nível 7, disponibilizada pela ANA (2017). O ponto de exutório foi delimitado considerando o limite das ottobacias pertencentes ao curso d'água principal, o Córrego Varjada, e seus afluentes na área de estudo. A junção também se deu a partir da identificação do código com início em comum das sub-bacias presentes na tabela de atributos do arquivo *shapefile*: 7896481, 7896482, 7896483, 7896484, 7896485, 7896486, 7896487, 7896488, 7896489. Deste modo, optou-se por nomear as sub-bacias com o dígito final apresentado em seu indicador, conforme apresenta Figura 27.

Prosseguiu-se o estudo para o cálculo da área da bacia, perímetro, extensão do curso principal, declividade do curso principal, com a utilização da ferramenta calculadora diretamente na tabela de atributos dos arquivos *shapefiles* nas sub-bacias e cursos d'água. Além destes arquivos iniciais, também utilizou-se curvas de nível espaçadas de 20 metros, disponibilizadas no Webgis pela Prefeitura de Ouro Preto (OURO PRETO, 2025).

Com a definição das sub-bacias, os trechos principais de cada sub-bacia foram definidos como aqueles de maior comprimento e conseqüentemente ou se conecta ao Córrego Varjada ou já é um trecho deste. Com este recorte de trecho principal por bacia, calculou-se a extensão do curso d'água e sua declividade, de acordo com a intersecção por trechos com as curvas de nível. A declividade do curso d'água principal foi calculada para cada bacia a partir do método S3, definido pela equação 1.

$$S3 = \left( \frac{\sum Li}{\sum Li/\sqrt{Si}} \right)^2 \quad (1)$$

Em que, Li: comprimento de cada trecho de rio (m); Si: declividade de cada trecho de rio. Como resultados sintetizados dos procedimentos supracitados tem-se a Tabela 3.

Figura 27 - Sub-bacias Córrego Varjada

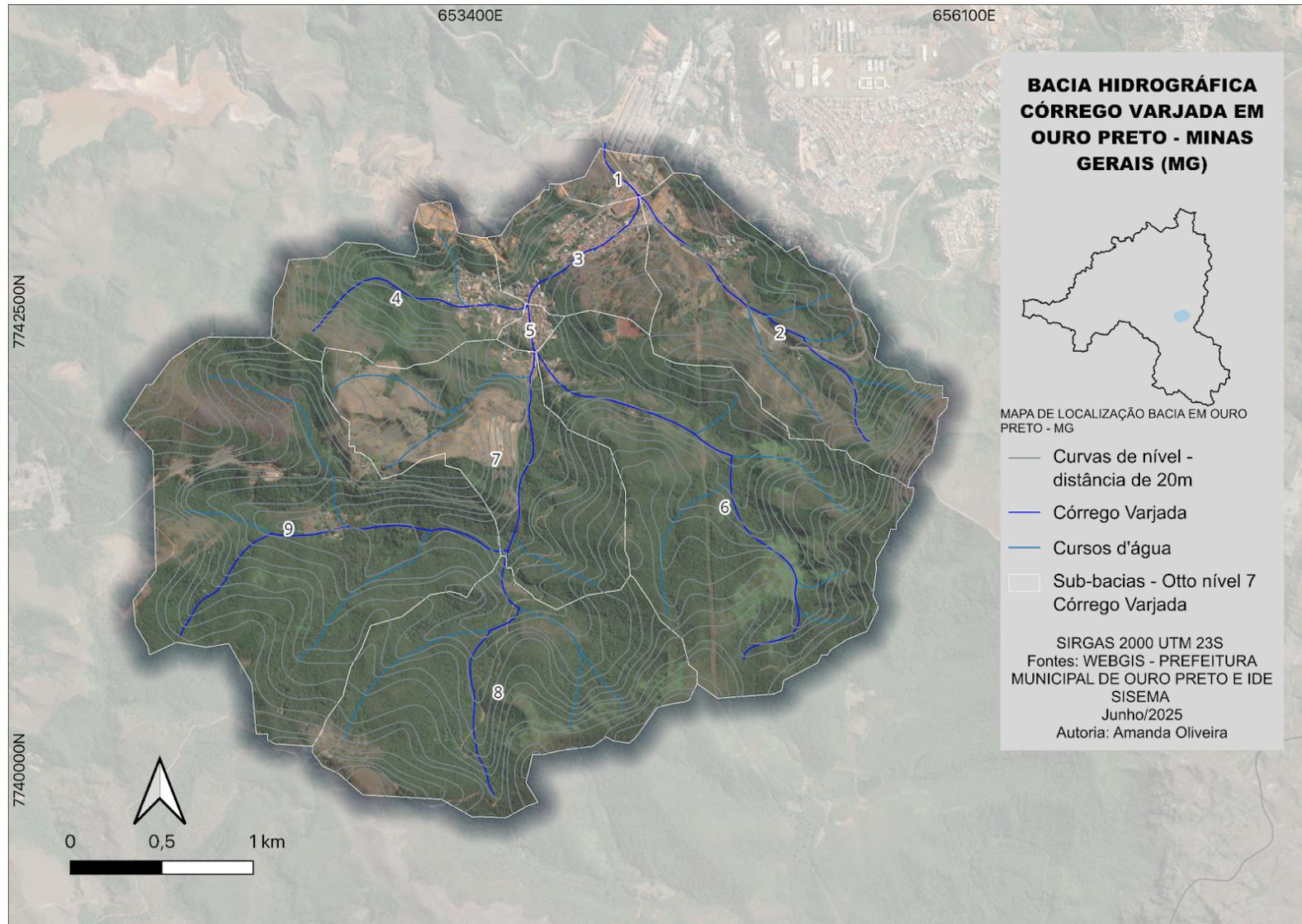


Tabela 3 - Dados morfométricos da bacia

| Sub-bacia | Área (km <sup>2</sup> ) | Perímetro (km) | Extensão do curso principal (m) | Extensão do curso principal (km) | Declividade do curso principal (m/m) | Declividade do curso principal (%) |
|-----------|-------------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1         | 0,12                    | 1,48           | 351,02                          | 0,35                             | 0,02                                 | 1,80                               |
| 2         | 1,34                    | 5,58           | 1954,07                         | 1,95                             | 0,06                                 | 5,99                               |
| 3         | 0,50                    | 3,04           | 908,97                          | 0,91                             | 0,01                                 | 1,16                               |
| 4         | 0,77                    | 4,10           | 1336,50                         | 1,34                             | 0,06                                 | 6,36                               |
| 5         | 0,05                    | 0,99           | 262,56                          | 0,26                             | 0,02                                 | 1,83                               |
| 6         | 2,28                    | 6,73           | 2670,53                         | 2,67                             | 0,05                                 | 5,23                               |
| 7         | 1,66                    | 5,57           | 1138,62                         | 1,14                             | 0,05                                 | 4,77                               |
| 8         | 1,78                    | 6,06           | 1434,22                         | 1,43                             | 0,12                                 | 11,89                              |
| 9         | 2,61                    | 7,54           | 2106,66                         | 2,11                             | 0,07                                 | 7,02                               |

### 3.6 Elaboração do modelo hidrológico: chuva de projeto e HEC-HMS simulações

A modelagem hidrológica da Sub-bacia do Córrego do Varjada foi realizada com o software HEC-HMS versão 4.11. Este modelo computacional é amplamente reconhecido por sua eficácia na simulação da transformação chuva-vazão e propagação de cheias em rios e canais. A escolha deste *software* se justifica por sua interface intuitiva, domínio público e extensa aplicação em pesquisas de recursos hídricos, como supracitado.

Para a simulação de cenários e construção do modelo hidrológico, utilizou-se como dados de entrada as características que descrevem a bacia e seu curso principal, conhecidas como dados morfométricos, descritos anteriormente. Tais dados, que formam a base para a representação física da bacia no ambiente do software, foram obtidos a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE) processado em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), como supracitado.

A determinação do tempo de retorno de (TR) 25 anos foi realizada conforme recomendação técnica, comumente adotada, para projetos de macrodrenagem de canais (BRASIL, 2020). Já o TR de 50 anos foi definido com base em estudos usados e por ser também frequentemente empregado em projetos de macrodrenagem considerando potenciais inundações (PEREIRA, 2024; BELO HORIZONTE, 2022). As durações de 60 e 90 minutos foram definidas com base nas aplicações à bacias urbanas, e as maiores vazões obtidas em simulações para o cenário atual da bacia em comparação às outras durações que foram testadas de 15, 30 e 45 minutos. A chuva crítica será considerada como a precipitação capaz

de produzir a maior vazão nos pontos no ponto de exutório da bacia (NUNES, 2018), que serão posteriormente as simulações apresentadas.

Para chuva de projeto, definiu-se chuvas com tempo de retorno TR de 25 e 50 anos, com os dados de precipitações de projeto obtidos por meio da Equação IDF (Intensidade-duração-frequência), fornecida pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM (2014), com duração de 90 e 60 minutos. A discretização das chuvas de projeto por sua vez se deu através da distribuição da curva de Huff 2º quartil (ROCHA NETO e SILVA JUNIO, 2022) com 50% de probabilidade de excedência (NUNES, 2018).

Foram obtidos para precipitações de 60 minutos e seus respectivos tempos de retorno (TR) de 25 e 50 anos, conforme Tabela 4, com valores discretizados de 15 minutos com PPT(mm) acumulado a cada 15 minutos. Já para precipitações de 90 minutos a Tabela 5 se apresenta também discretizada em 15 minutos.

Tabela 4 - precipitação de 60 minutos

| 60 minutos | t(h) | TR 25 anos         |         | TR 50 anos         |         |
|------------|------|--------------------|---------|--------------------|---------|
|            |      | PPT acumulada (mm) | PPT(mm) | PPT acumulada (mm) | PPT(mm) |
| 15         | 0,25 | 10,99              | 10,99   | 12,12              | 12,12   |
| 30         | 0,50 | 34,98              | 23,99   | 4,41               | 26,45   |
| 45         | 0,75 | 45,48              | 10,50   | 50,14              | 11,57   |
| 60         | 1,00 | 49,98              | 4,50    | 55,10              | 4,96    |
|            |      | Total              | 49,98   | Total              | 55,10   |

Tabela 5 - precipitação de 90 minutos

| 90 minutos | t(h) | TR 25 anos         |         | TR 50 anos         |         |
|------------|------|--------------------|---------|--------------------|---------|
|            |      | PPT acumulada (mm) | PPT(mm) | PPT acumulada (mm) | PPT(mm) |
| 15         | 0,25 | 7,59               | 7,59    | 8,37               | 8,37    |
| 30         | 0,50 | 20,3               | 12,71   | 22,39              | 14,02   |
| 45         | 0,75 | 39,85              | 19,55   | 43,93              | 21,54   |
| 60         | 1,00 | 48,96              | 9,11    | 53,97              | 10,04   |
| 75         | 1,25 | 53,7               | 4,74    | 59,2               | 5,23    |
| 90         | 1,50 | 56,92              | 3,22    | 62,76              | 3,56    |
|            |      | Total              | 56,92   | Total              | 62,76   |

O tempo de concentração foi calculado pela Equação Empírica de Kirpich (Equação 2), comumente utilizada na prática da engenharia para bacias urbanas (SILVEIRA, 2005). De

modo simplificado define o tempo que a gota de chuva que cai no ponto hidráulicamente mais distante da bacia leva, para viajar por toda a superfície e pelos canais até chegar ao ponto de saída (exutório).

O tempo de retardo (lag time), de diversos estudos indica que este, pode ser aproximado como 60% do tempo de concentração,  $t_c$ , da bacia (SILVEIRA, 2005). O HEC-HMS utiliza como parâmetro de entrada o tempo de pico (lag time), que pode ser representado como uma parcela do tempo de concentração (Equação 3), conforme as recomendações do SCS, que representa considerações sobre a chuva que de fato escoa, já descontadas as perdas por infiltração.

$$t_c = 0,39 \left( \frac{L^2}{Se} \right)^{0,385} \quad (2)$$

Onde,  $t_c$  é o tempo de concentração (horas),  $L$  o comprimento axial (km) e  $Se$  a declividade média em %.

$$t_p = 0,60 * t_c \quad (3)$$

Onde,  $t_p$  é o tempo de pico (horas) e  $t_c$  é o tempo de concentração (horas).

Em ambos os cenários, considerou-se as mesmas sub-bacias delimitadas inicialmente, assumindo que a morfologia da bacia não sofrerá mudanças drásticas no período analisado. De modo que a Tabela 6 apresenta os valores obtidos.

Tabela 6 - Lag - time

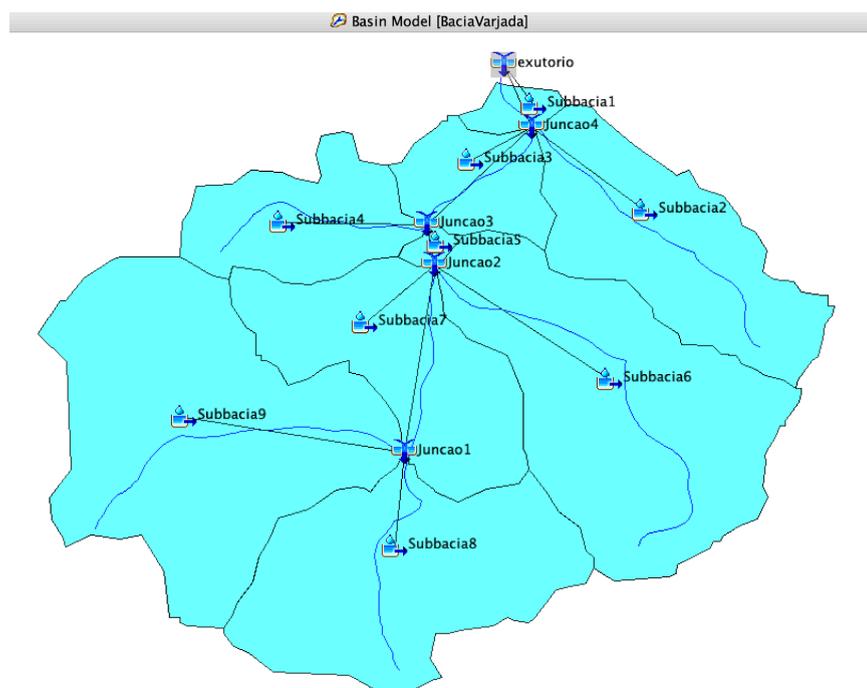
| Sub-bacia | Tempo de concentração (horas) | Tempo de pico (lag time) (horas) | Tempo de pico (lag time) (minutos-entrada no HEC-HMS) |
|-----------|-------------------------------|----------------------------------|---|
| 1         | 0,14                          | 0,08                             | 5,00  |
| 2         | 0,33                          | 0,20                             | 11,81   |
| 3         | 0,34                          | 0,21                             | 12,32   |
| 4         | 0,24                          | 0,14                             | 8,61  |
| 5         | 0,11                          | 0,07                             | 3,98  |
| 6         | 0,44                          | 0,26                             | 15,82   |
| 7         | 0,24                          | 0,14                             | 8,50  |
| 8         | 0,20                          | 0,12                             | 7,15  |
| 9         | 0,33                          | 0,20                             | 11,77   |
| Total     |                               |                                  | 84,95   |

A construção do modelo hidrológico foi realizada no software HEC-HMS, partindo da estruturação do modelo da bacia. Esta etapa inicial envolveu a importação das camadas vetoriais (shapes) das sub-bacias e dos cursos d'água, seguida pela inserção dos elementos hidrológicos, como as sub-bacias, junções de rios e o exutório (ponto de saída). A conectividade da rede de drenagem foi estabelecida através das ligações de jusante (downstream) de cada elemento.

Posteriormente, o modelo foi parametrizado. Para cada sub-bacia, foram inseridos os dados de área (km<sup>2</sup>) e definidos os métodos de cálculo: o método **SCS Curve Number** para as perdas por infiltração e o **SCS Unit Hydrograph** para a transformação da chuva em escoamento. Em seguida, foram preenchidos os parâmetros específicos de cada método, como o valor do *Curve Number* e o percentual de área impermeável (*imperviuos %*), além do tempo de retardamento (*Lag time*) para o hidrograma unitário.

Por fim, foram configuradas as simulações. Foram criadas as séries de dados de precipitação para os eventos de chuva de 60 e 90 minutos, com tempos de retorno de 25 e 50 anos. Estes dados alimentaram o modelo meteorológico, que foi associado ao modelo da bacia. As especificações de controle definiram o intervalo de tempo de cada simulação, permitindo a execução dos diferentes cenários propostos.

Figura 28 - Representação bacia Córrego Varjada HEC HMS.



Fonte: Autora (2025)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados e analisados os resultados obtidos a partir da metodologia descrita, focando na determinação do potencial de escoamento superficial da bacia hidrográfica do Córrego Varjada atrelada ao processo de expansão e ocupação urbana. A análise foi estruturada em quatro cenários, conforme descrito na metodologia, para avaliar tanto a condição atual quanto os impactos de futuras alterações no uso e ocupação do solo, potencializados com o REURB-E. O parâmetro central para esta avaliação é o *Curve Number* (CN), que reflete a capacidade de uma área gerar escoamento superficial a partir de uma determinada precipitação. O detalhamento do cálculo realizado em cada um dos cenários está disponível em apêndices do trabalho.

### 4.1 Cenário 1: Situação Atual

O diagnóstico da condição atual da bacia hidrográfica do Córrego Varjada foi realizado através da classificação de uso do solo, que identificou o predomínio de formações florestais e pastagens, somado à lei de zoneamento atual (Figura 29), como representação para o cenário 1. Deste modo, considerou-se para área que possui zoneamento as considerações que versam sobre este zoneamento em comparação ao zoneamento de Belo Horizonte e para áreas que não possuem zoneamento, considerou-se o uso e ocupação definidos no capítulo anterior de caracterização.

Os valores de Curve Number (CN) calculados para cada uma das nove sub-bacias, que servem como linha de base para este estudo, são apresentados conforme a Tabela 7. Além disso, o detalhamento de respectivas áreas e referência para o CN são encontradas no Apêndice A.

Os valores de CN do Cenário 1 refletem diretamente a cobertura do solo existente. Sub-bacias com menor CN, como a 8 (74,34) e a 9 (71,87), possuem maior cobertura de vegetação nativa, o que aumenta a capacidade de infiltração da água e, conseqüentemente, reduz o potencial de escoamento superficial.

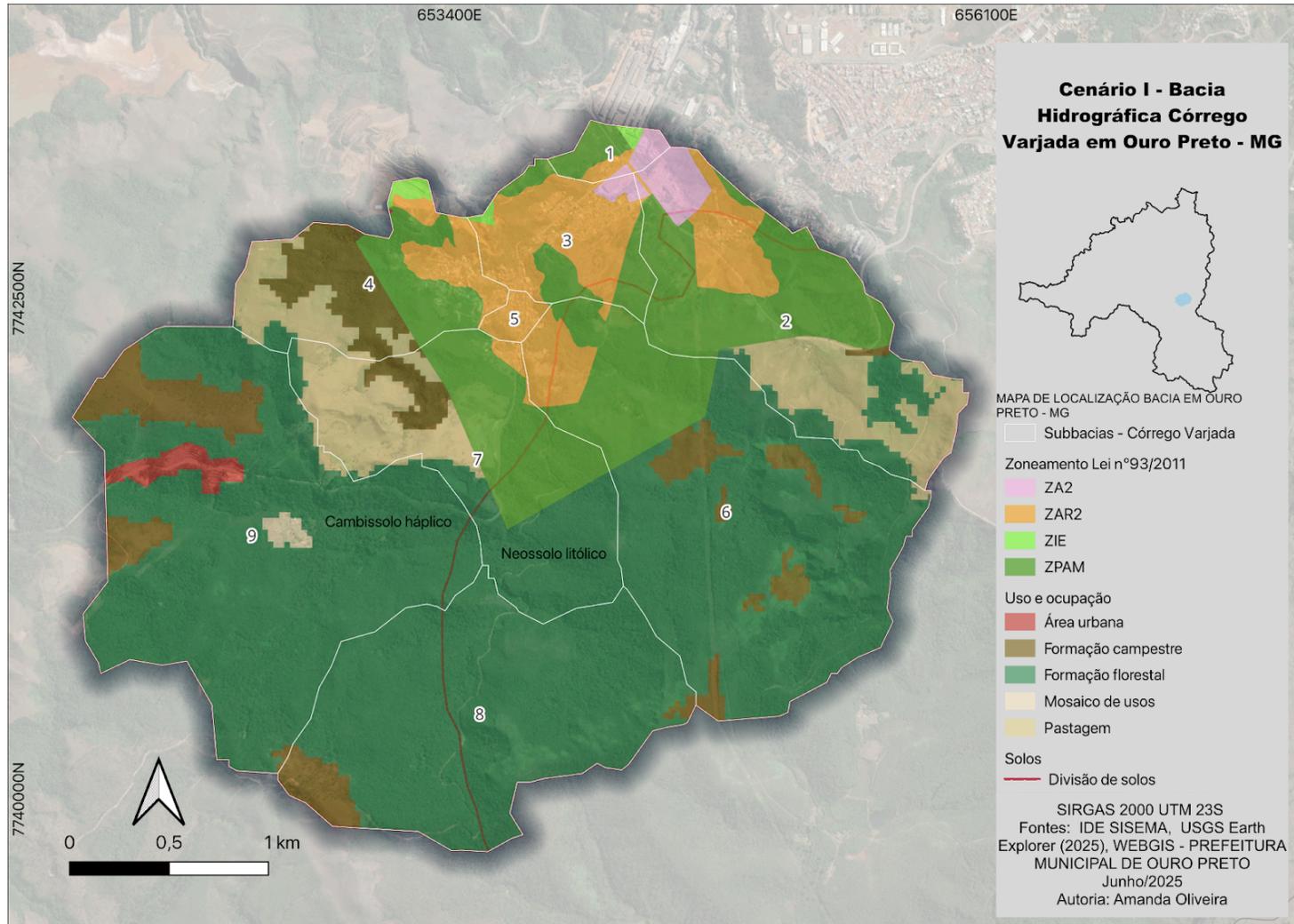
Em contraste, as sub-bacias 1, 3 e 5 apresentam os maiores valores de CN, e se localizam próximo ao exutório da bacia, indicando áreas com maior grau de impermeabilização devido à presença urbana consolidada e às características do solo que favorecem o escoamento.

Este cenário é o ponto de referência fundamental para avaliar o impacto das mudanças futuras que com o aumento da impermeabilização em outras sub-bacias pode aumentar o risco de inundações associado ao aumento das vazões.

Tabela 7 - Síntese Cenário 1

| Sub-bacia | Área  | CN cenário 1 | IMP(%) |
|-----------|-------|--------------|--------|
| 1         | 0,117 | 87,99        | 79,90  |
| 2         | 1,344 | 87,45        | 50,84  |
| 3         | 0,497 | 89,09        | 80,02  |
| 4         | 0,771 | 83,77        | 19,40  |
| 5         | 0,054 | 89,96        | 80,09  |
| 6         | 2,284 | 80,33        | 22,25  |
| 7         | 1,266 | 82,51        | 6,28   |
| 8         | 1,783 | 74,34        | 5,00   |
| 9         | 2,609 | 71,87        | 8,32   |

Figura 29 - Sub-bacias em Zoneamento do Cenário 1



Fonte: Autora (2025)

#### 4.2 Cenário 2: Expansão Urbana com APP > 30%

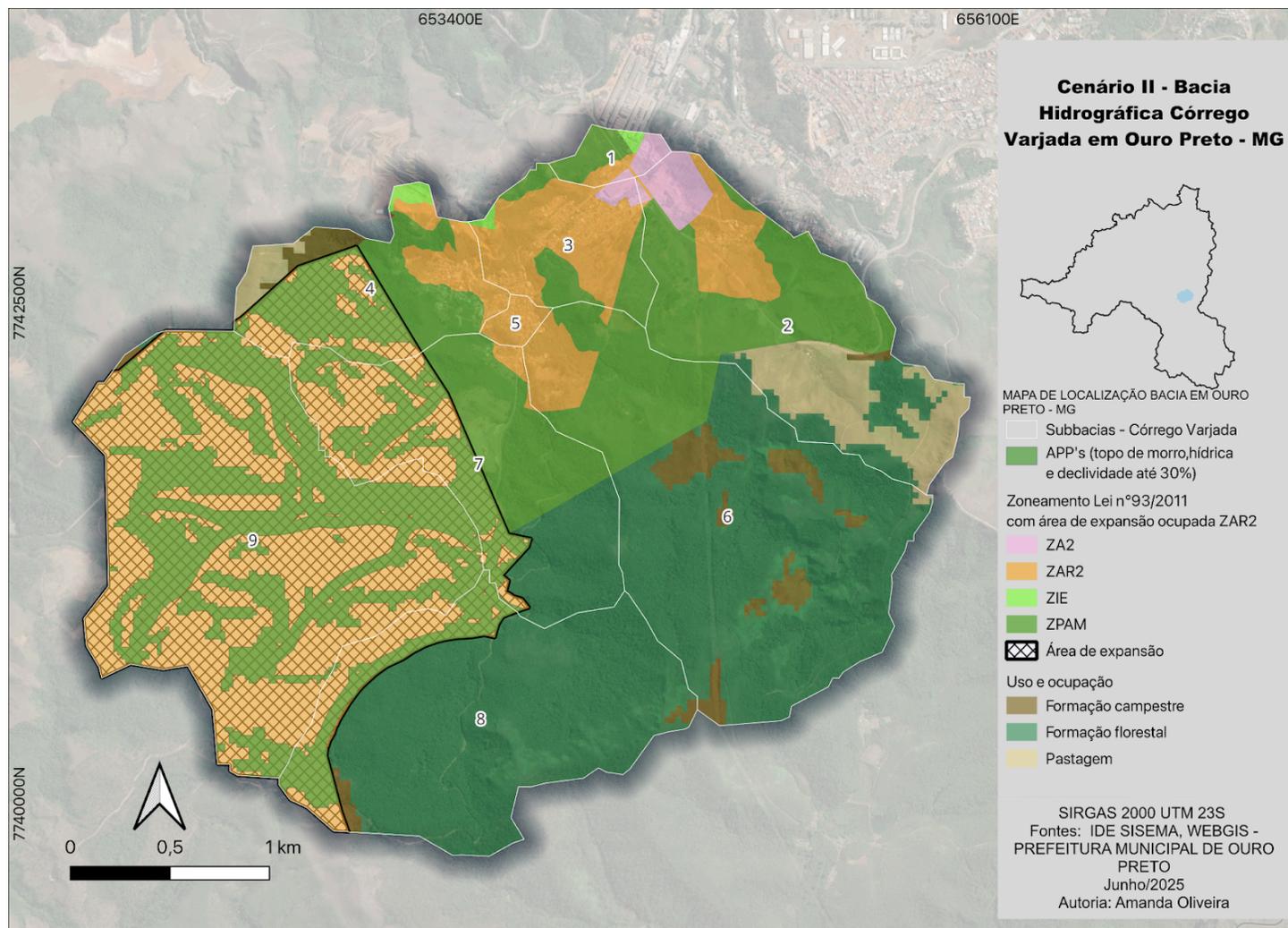
Este cenário simula a expansão urbana de acordo com a lei de zoneamento vigente e considerando como as APPs a declividade superior a 30%. A simulação afetou as sub-bacias 4, 7, 8 e 9, resultando em um aumento do CN nestas áreas (Figura 30), como representação para o cenário 2. Os valores de Curve Number (CN) calculados para cada uma das sub-bacias, que servem como linha de base para este estudo, são conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Síntese Cenário 2

| Sub-bacia | CN cenário 2 | IMP(%) |
|-----------|--------------|--------|
| 4         | 86,86        | 28,73  |
| 7         | 85,49        | 21,06  |
| 8         | 77,07        | 10,64  |
| 9         | 88,74        | 45,03  |

O aumento dos valores de CN no Cenário 2 é uma consequência direta da substituição de superfícies permeáveis, como pastagens e matas, por superfícies impermeáveis ou semi-impermeáveis, características da urbanização. O caso mais crítico é o da sub-bacia 9, onde o CN salta de 71,87 para 88,74, uma alteração drástica que a transforma de uma área de baixa para uma de altíssima geração de escoamento. Isso indica que, mesmo com a proteção das APPs por declividade, a expansão urbana sob a lei atual, influenciada pela presença da rodovia, tem o potencial de degradar significativamente a saúde hidrológica da bacia.

Figura 30 - Sub-bacias em Zoneamento do Cenário 2



Fonte: Autora (2025)

### 4.3 Cenário 3: Expansão Urbana com APP > 45%

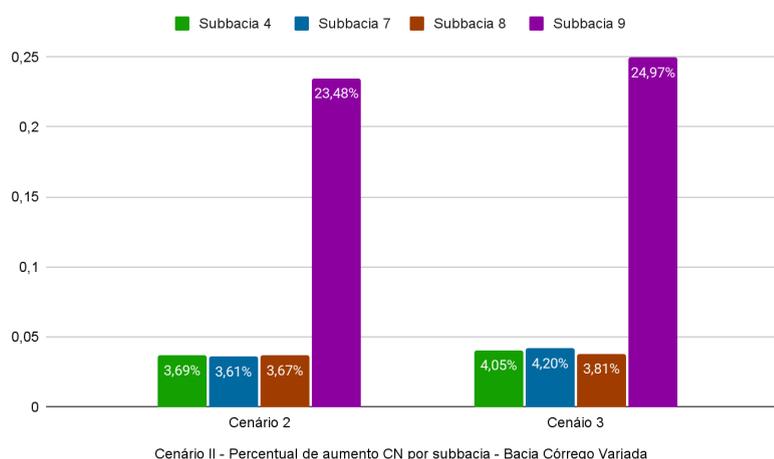
Similar ao Cenário 2, este simula a expansão urbana, porém com uma regra de proteção ambiental menos restritiva, considerando como APPs apenas áreas com declividade superior a 45%. Isso permite uma área de expansão maior, resultando em valores de CN ainda mais elevados, conforme apresentados na Tabela 9 e na Figura 32:

Tabela 9 - Síntese Cenário 3

| Sub-bacia | CN cenário 3 | IMP(%) |
|-----------|--------------|--------|
| 4         | 87,16        | 33,05  |
| 7         | 85,97        | 28,33  |
| 8         | 77,17        | 12,37  |
| 9         | 89,82        | 60,78  |

O Cenário 3 representa o pior prognóstico para a bacia hidrográfica. Ao adotar um critério de preservação menos rigoroso, permite-se uma maior área para impermeabilização do solo, o que eleva ainda mais o potencial de escoamento em comparação ao Cenário 2. A sub-bacia 9 atinge um CN de 89,82, valor próximo ao máximo em estudos hidrológicos, indicando que quase toda a chuva sobre a área seria convertida em escoamento superficial. Este cenário evidencia uma preocupação ao risco de intensificação de enchentes, erosão do solo e nas vias e sobrecarga da infraestrutura de drenagem. A Figura 31 apresenta o aumento percentual em relação ao cenário 1 (cenário atual, sem área de expansão ocupada) dos CN's para as sub-bacias 3,7,8 e 9.

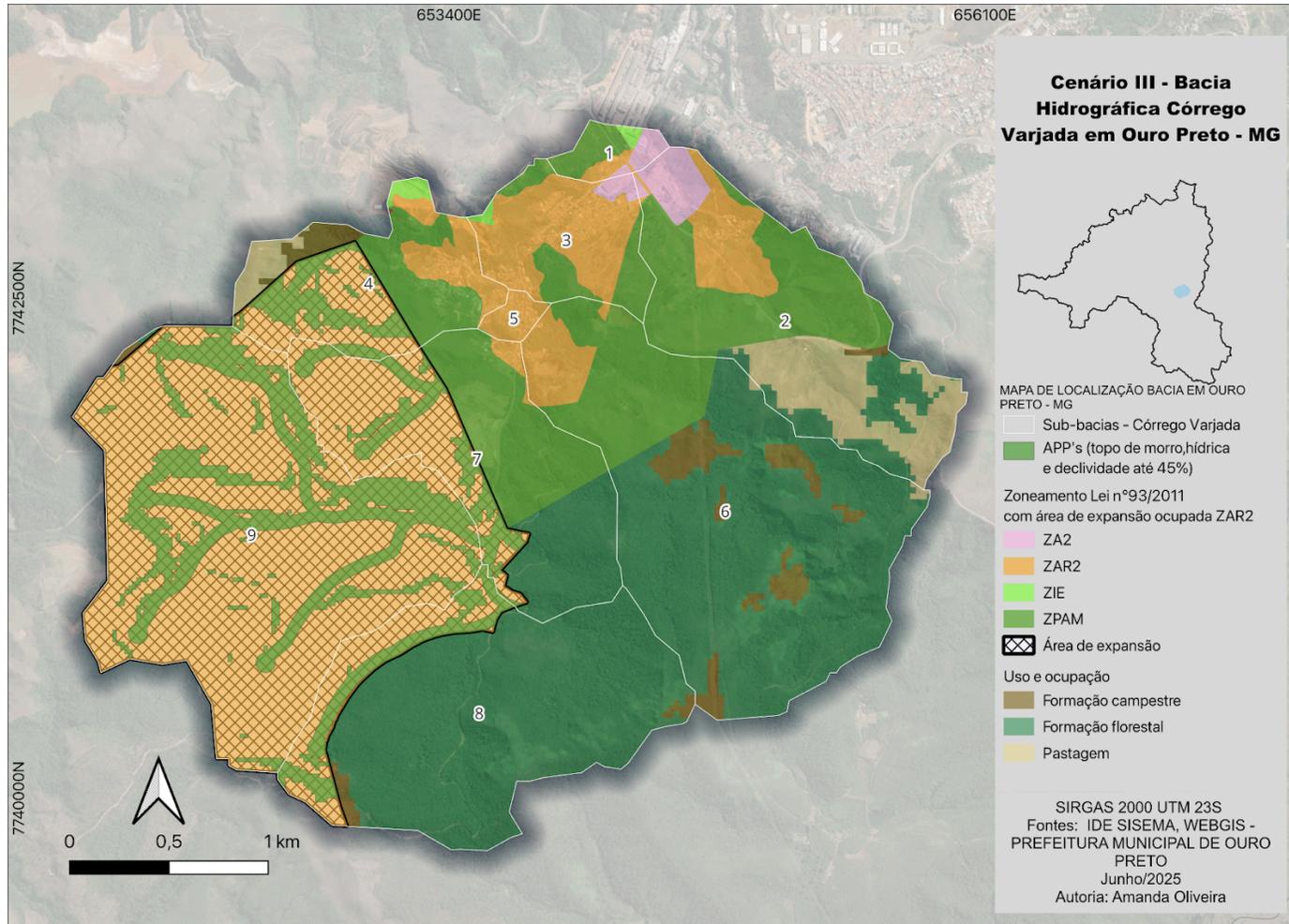
Figura 31 - Comparação CN's área de expansão - cenário



Cenário II - Percentual de aumento CN por subbacia - Bacia Córrego Varjada

Fonte: Autora (2025)

Figura 32 - Sub-bacias em Zoneamento do Cenário 3.



Fonte: Autora (2025)

#### 4.4 Cenário 4: Proposta do Novo Plano Diretor

Este cenário avalia o impacto da implementação da proposta de revisão do Plano Diretor de Ouro Preto. Os cálculos de CN para esta nova configuração de uso e ocupação do solo consideraram a proposta de Macrozoneamento e de Zoneamento apresentadas nas Figuras 33 e 34. Vale destacar que a zona de expansão apresentada, diferente da atual e não contígua ao perímetro urbano, não se encontra dentro da área de estudo, como nos cenários anteriores. Como resultado a Tabela 10 apresenta os valores correspondentes a cada sub-bacia.

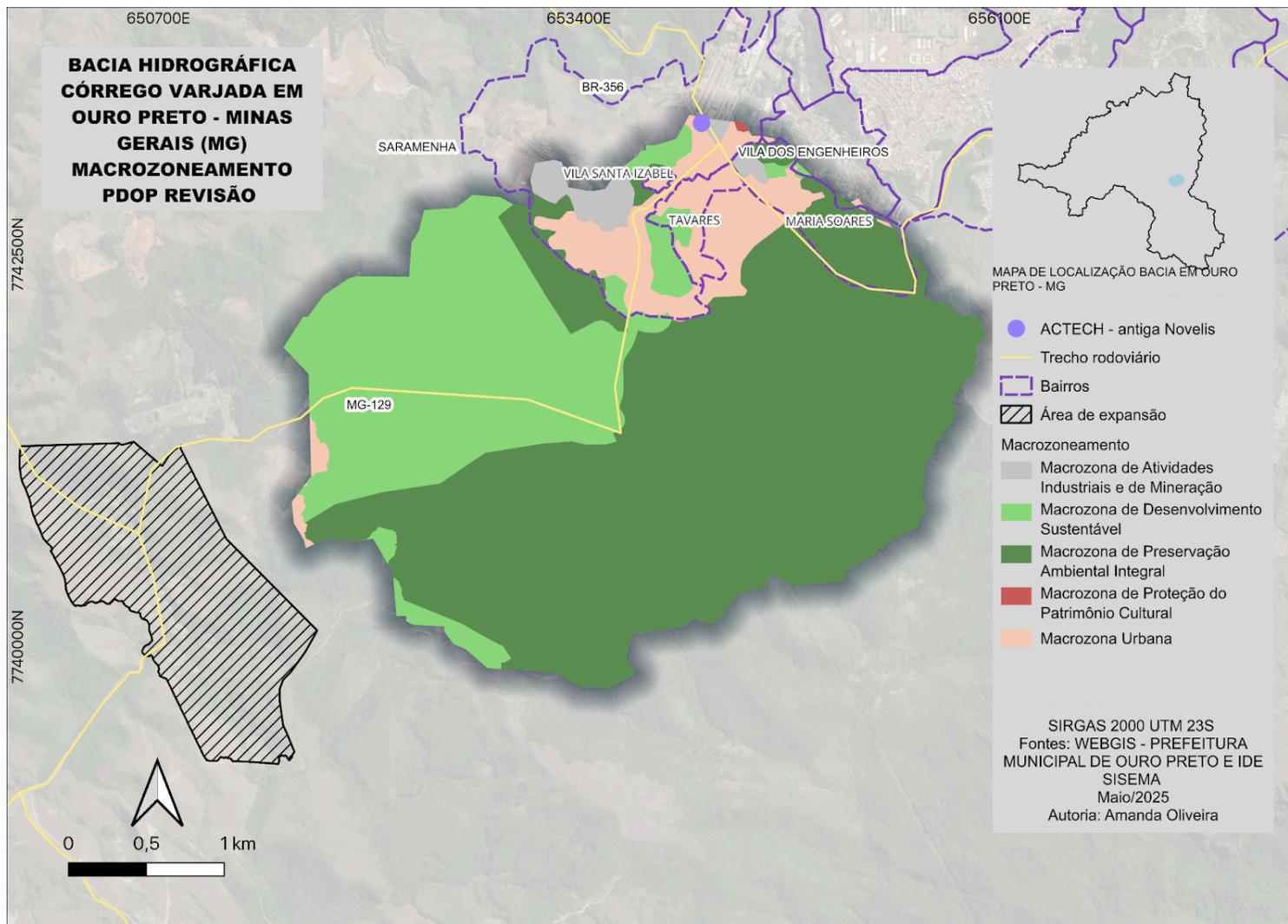
Tabela 10 - Síntese Cenário 4

| Sub-bacia | CN cenário 3 | IMP(%) |
|-----------|--------------|--------|
| 1         | 83,15        | 66,47  |
| 2         | 68,19        | 18,18  |
| 3         | 78,77        | 58,14  |
| 4         | 70,09        | 32,79  |
| 5         | 82,93        | 71,44  |
| 6         | 65,46        | 10,36  |
| 7         | 66,13        | 17,74  |
| 8         | 64,14        | 5,85   |
| 9         | 67,03        | 22,79  |

Os resultados do Cenário 4 são notáveis e apontam para uma mudança de paradigma. Em contraste com os cenários de expansão (2 e 3), a implementação do novo Plano Diretor não apenas mitiga os impactos negativos, mas resulta em uma melhoria das condições hidrológicas em relação até mesmo à situação atual (Cenário 1) para a maioria das sub-bacias, com a redução do valor de CN que está diretamente relacionado ao aumento do escoamento superficial.

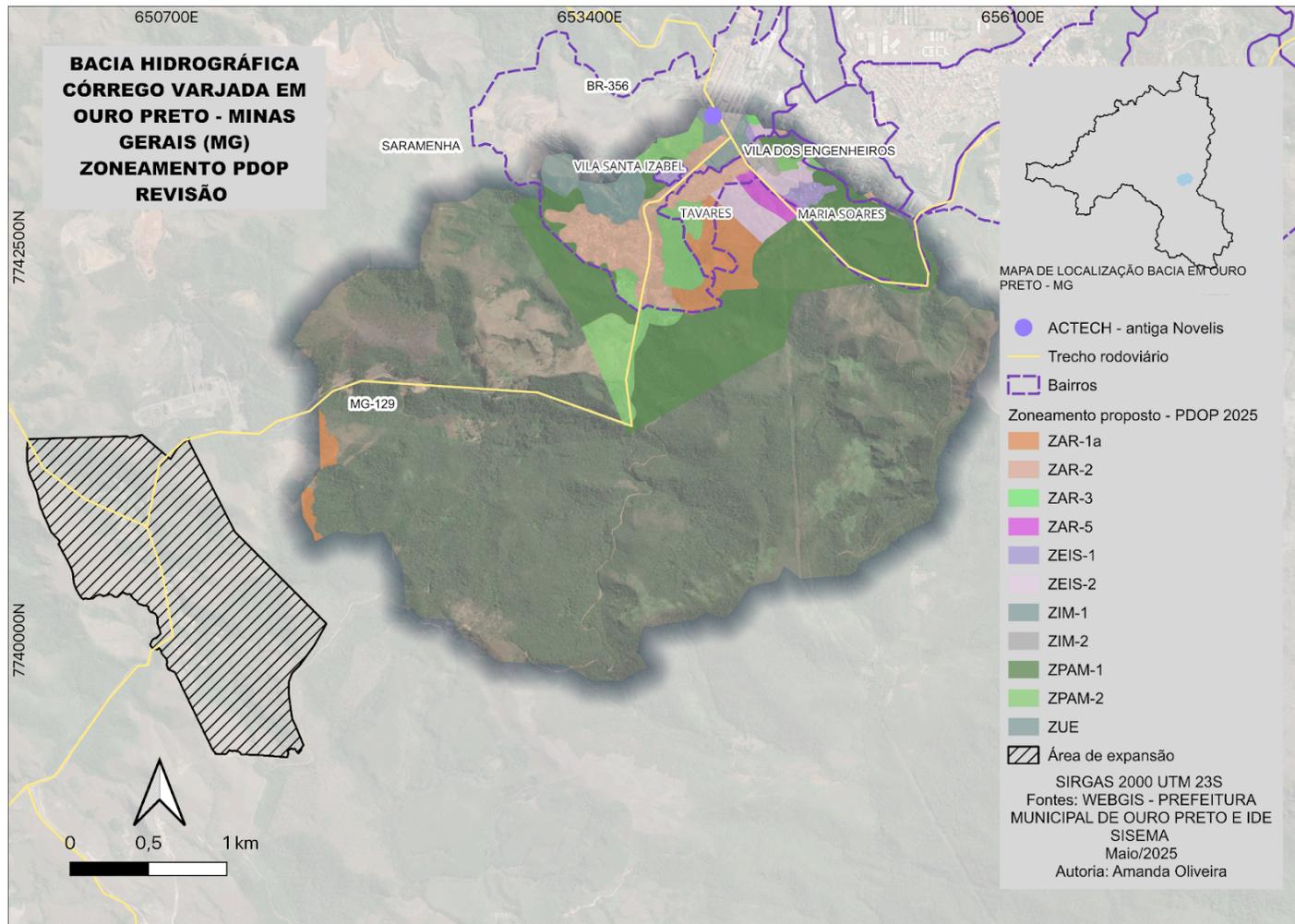
A comparação direta, visível no gráfico, mostra que o CN do Cenário 4 é consistentemente o mais baixo em quase todas as áreas. Na sub-bacia 9, a mais impactada nos cenários de expansão (CN  $\approx$  90), o novo plano reduz o CN para 67,03 — um valor ainda menor que o atual (71,87). Isso sugere que o novo PDOP propõe um modelo de uso do solo mais sustentável, com o estabelecimento de macrozonas de preservação ambiental e de manejo sustentável da terra, incentivando usos que promovam uma maior infiltração da água. A Figura 35, por fim, tem como intuito comparar a mudança dos valores de CN apresentados e dar uma dimensão visual de seu aumento e redução neste último caso.

Figura 33 - Macrozoneamento no novo Plano Diretor - cenário 4



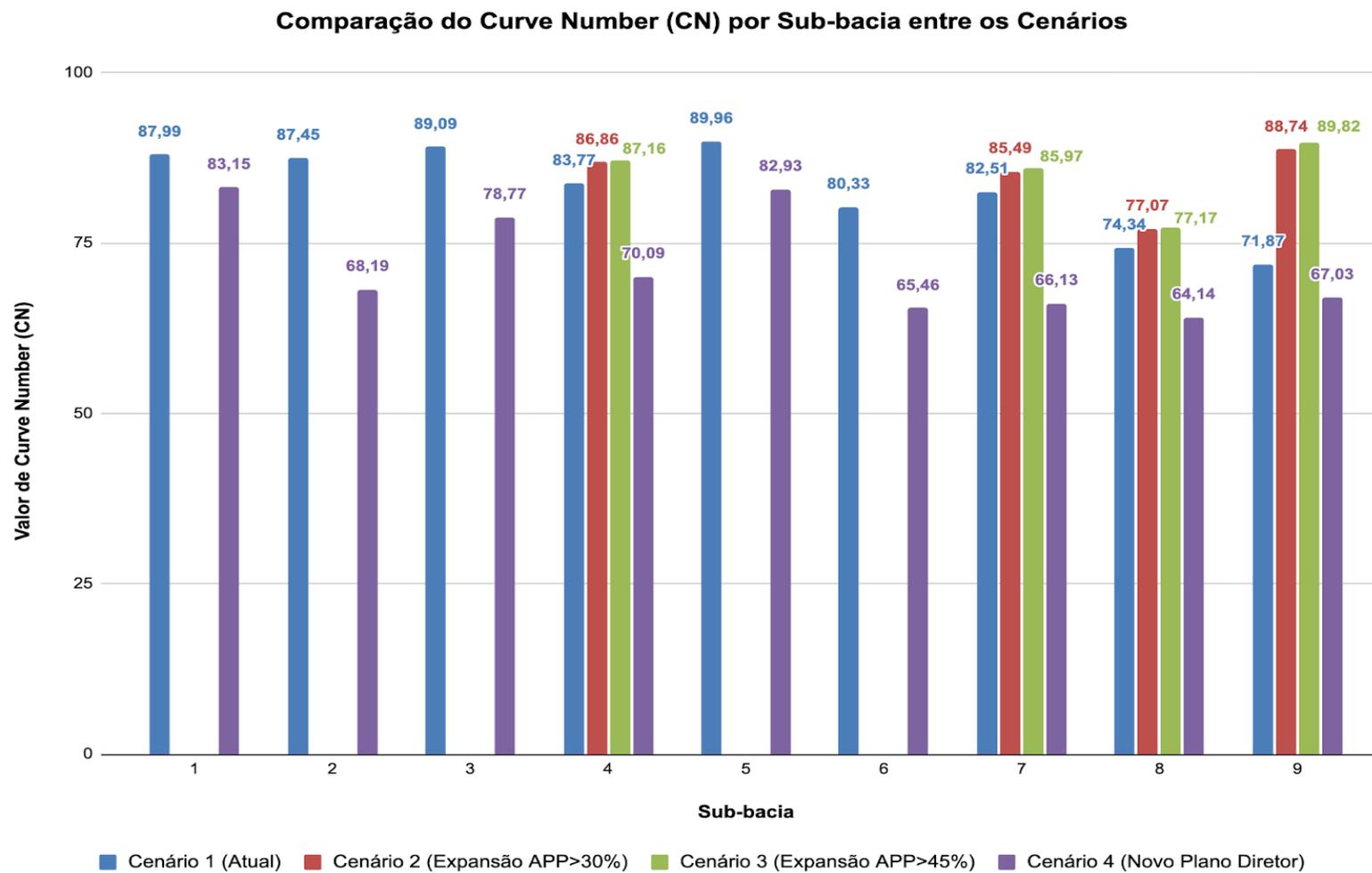
Fonte: Autora (2025)

Figura 34 - Zoneamento no novo Plano Diretor- cenário 4



Fonte: Autora (2025)

Figura 35 - Comparativo CN e cenários



Fonte: Autora (2025)

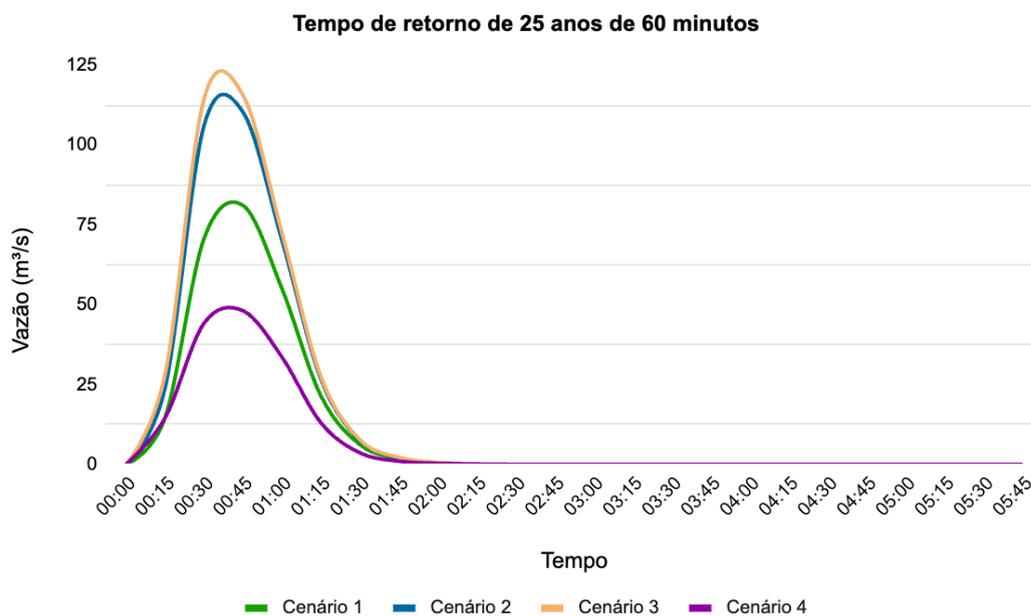
#### 4.5 Simulações de precipitações: resultados vazões de pico

A partir das simulações realizadas para os tempos de retorno de 25 e 50 anos e durações de 60 e 90 minutos, foram extraídos do HEC-HMS resultados que demonstram a variação das vazões de picos para os diferentes cenários considerados para este estudo. A Tabela 11, apresenta os resultados a partir de cada simulação realizada em que se mantiveram os parâmetros morfométricos da bacia e se alteraram os valores de CN e IMP (%). A variação também pode ser observada de modo visual nas Figuras 36, 37, 38 e 39 que apresentam os hidrogramas resultantes.

Tabela 11 - Cenários e Vazões de pico

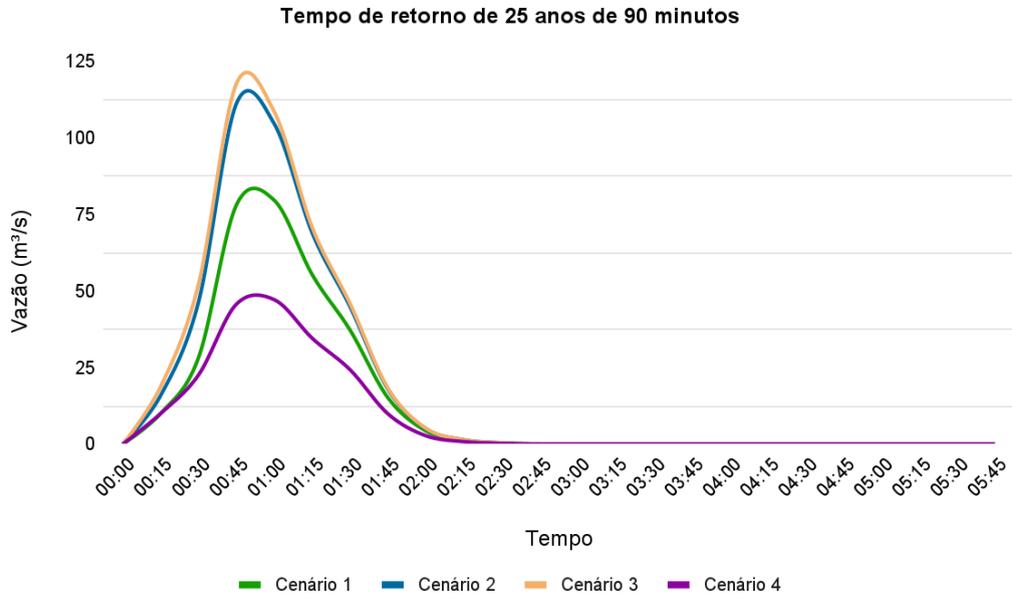
| Evento de Chuva     | Cenário 1 (Atual) | Cenário 2 (Expansão APP>30%) | Cenário 3 (Expansão APP>45%) | Cenário 4 (Novo Plano Diretor) |
|---------------------|-------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
|                     | Vazão (m³/s)      |                              |                              |                                |
| TR 25 anos - 60 min | 81,1              | 110,3                        | 115,6                        | 48,1                           |
| TR 25 anos - 90 min | 79,5              | 104,4                        | 108,3                        | 47,1                           |
| TR 50 anos - 60 min | 95                | 126,5                        | 131,9                        | 57,5                           |
| TR 50 anos - 90 min | 92,1              | 128,1                        | 134,8                        | 54,4                           |

Figura 36 - hidrograma TR 25 e 60 minutos



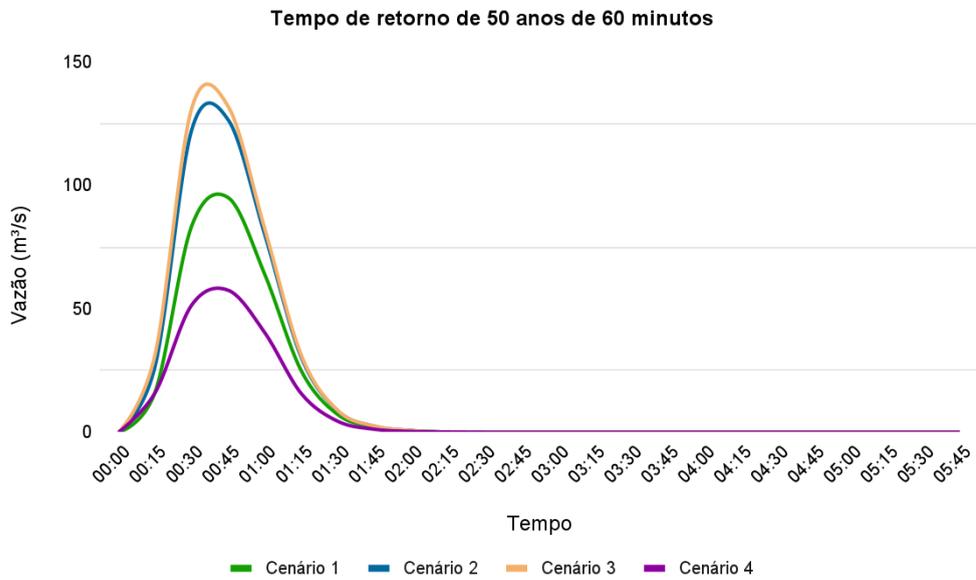
Fonte: Autora (2025)

Figura 37 - hidrograma TR 25 e 90 minutos



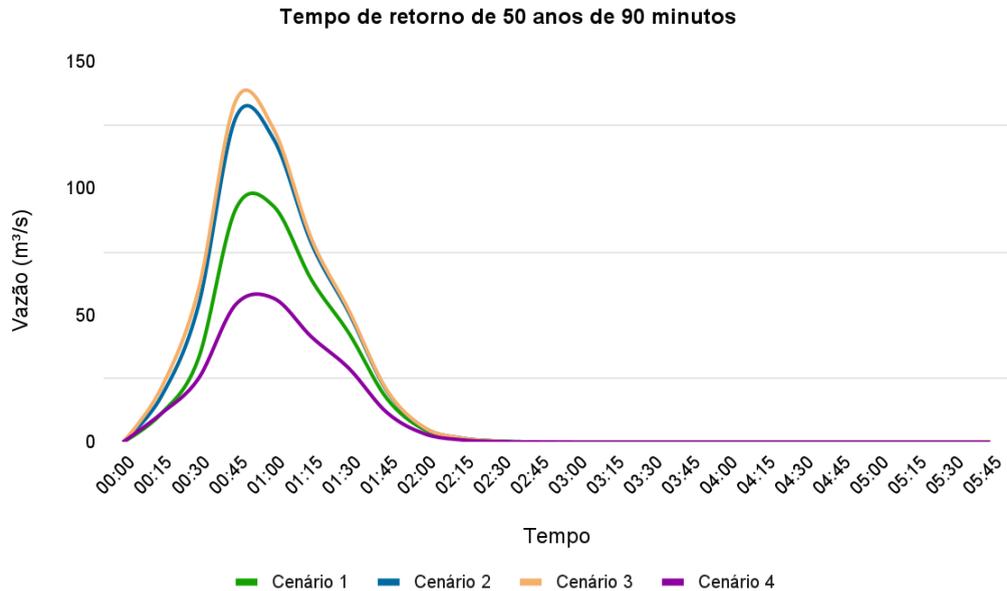
Fonte: Autora (2025)

Figura 38 - hidrograma TR 50 e 60 minutos



Fonte: Autora (2025)

Figura 39 - hidrograma TR 50 e 90 minutos



Fonte: Autora (2025)

A partir das vazões de pico observadas, verificou-se a duração crítica, associada à precipitação capaz de produzir a maior vazão nos pontos no ponto de exutório da bacia (NUNES, 2018). Como apresenta a Tabela 10, a duração crítica para todos os cenários com TR de 25 anos foi de 60 minutos. A duração crítica de 60 minutos é comumente identificada em estudos de bacias urbanas, uma vez que a impermeabilização do solo acelera o escoamento e encurta o tempo de resposta da bacia. Esse fenômeno é claramente ilustrado por estudos como o de Mansour (2024) na bacia do ribeirão Cambé, que identificou uma redução de 56% no tempo de concentração devido à urbanização.

Já para o TR de 50 anos, para os Cenário 1 e Cenário 4 as durações de 60 minutos foram durações críticas, com valores de CN e de impermeabilização (IMP) menores. E os maiores valores de vazões para o cenário 2 e 3, as durações foram as correspondentes às durações de 90 minutos, que tem o tempo próximo ao tempo de pico verificado para a bacia como de 84,95 minutos conforme Tabela 5. Vale ressaltar que a diferença apresentada nos valores de CN da condição atual para Cenário 1 e para o Cenário 4 se diferenciam devido a consideração de Macrozoneamento apresentada pela revisão do Plano Diretor e inexistente na Lei de Zoneamento atual do município. Deste modo, os valores correspondentes de vazão menores são correlacionados com uma política de preservação e restauração ambiental da área de estudo, que em seu levantamento de uso e ocupação atual apresentou áreas como

pastagem, formação campestre e mesmo formação florestal como representativas de áreas sem a devida definição de proteção ambiental.

Deste modo, correspondência verificada para explicação da diferença se dá para os Cenários 1 e 4, por possuírem menor geração de escoamento superficial em chuvas de longa duração devido ao seu potencial de infiltração. Já o mesmo não acontece para os Cenários 2 e 3 em comparação às durações de 60 e 90 minutos, verificou-se maiores valores de vazão com a contribuição total da bacia para duração de 90 minutos. Para eventos de grande magnitude, como o de 50 anos de tempo de retorno, a capacidade de infiltração do solo é rapidamente superada, tornando a sincronia temporal da resposta da bacia, ditada pelo tempo de concentração, o fator dominante na geração do pico de vazão (TUCCI, 2012).

O estudo do córrego Água Branca realizado por Nunes *et al.* (2023) comparou o cenário de uso de solo atual com um cenário futuro de urbanização completa, conforme o plano diretor local. Para um TR de 50 anos, a vazão de pico aumentou de 43,7 m<sup>3</sup>/s para 66,8 m<sup>3</sup>/s, o que representa um aumento de 52,8%. Tal comparação é assimilada aos maiores valores de vazões para os cenários de expansão urbana também com tempo de retorno de 50 anos.

Pereira e Nunes (2025), conforme supracitado, comparou os cenários de uso do solo de 2007 e 2024, identificando aumento das vazões para 72% e 62% para TR de 25 e 50 anos, respectivamente, excedendo a capacidade da infraestrutura de drenagem existente, após a expansão urbana identificada. O que corrobora em comparação com os cenários 2 e 3, com possíveis áreas de expansão, também sofreram aumento em suas vazões tanto para o TR de 25 quanto 50 anos.

Os cenários 2 e 3 correspondem respectivamente à área de expansão sobre a bacia, deste modo pode-se compreender uma vazão maior associada à maior ocupação do solo e impermeabilização que corroboram com aumento dos respectivos valores de vazão. Mesmo com as definições de APP 's, nota-se a variação e aumento da duração crítica, e o elevado pico de vazões compromete a capacidade do córrego de comportar o aumento das vazões, além da sobrecarga do sistema de drenagem. O cenário 4, ao definir um Macrozoneamento para a região que prevê a proteção ambiental, parece compreender a importância ambiental do Córrego Varjada, além de áreas de outras áreas de contribuição.

A expansão urbana na bacia do Córrego Varjada, especialmente para fins de habitação

social, requer, deste modo, a aplicação de um conceito de planejamento que transcende os limites dos lotes e das infraestruturas. A proposta de Ikeda e Delijaicov (2024), de considerar a bacia hidrográfica como a unidade fundamental para o projeto e gestão da infraestrutura urbana fluvial, oferece um arcabouço teórico para esta questão.

Sob esta ótica, o desenvolvimento de novas áreas habitacionais no âmbito do REURB Novellis poderia ser entendido como parte da gestão do próprio Córrego Varjada e estar atrelado a adoção de um sistema de infraestrutura verde e azul, incluindo uma malha viária e microdrenagem com soluções baseadas na natureza, como pavimentos permeáveis, jardins de chuva, além de legislação específica que atua na drenagem intra-lote, como o incentivo a implementação de telhados verdes, reuso das águas pluviais, dentre outros. Soma-se isso a importância da construção de projetos através do processo participativo em conjunto com a população local.

Por fim, todos os estes cenários alertam para a necessidade de identificação de uma possível ocupação/expansão não definida em legislação. De modo que, pela falta de habitações sociais e outras políticas de inclusão social, a área seja adensada, de modo que por mais propositivo o cenário seja na legislação, a realidade corresponda futuramente algo que não corrobora e que pode aumentar a vulnerabilidade de pessoas já vulnerabilizadas. Não basta apenas a legislação, mas mecanismos mais fortes de gestão e monitoramento da expansão e ocupação gradativa da área para evitar padrões que excedam os parâmetros urbanísticos estabelecidos.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho demonstrou, de forma quantitativa, o impacto direto que diferentes padrões de expansão e ocupação urbana podem exercer sobre o comportamento hidrológico da bacia do Córrego Varjada, na região de Saramenha, vetor sul de expansão urbana da cidade de Ouro Preto. A comparação entre os cenários revelou que uma expansão e a ocupação da área de estudo, mesmo que amparada pela legislação vigente, levaria a um aumento expressivo das vazões de pico, intensificando os riscos de inundações, afetando principalmente o exutório da bacia, em cotas mais baixas, onde a ocupação já está consolidada, trazendo risco potencial para centenas de imóveis. Em contrapartida, o cenário baseado na proposta do novo Plano Diretor, cuja análise técnica ainda está em curso, não apenas se mostra capaz de mitigar esses riscos, mas também de melhorar a resposta hídrica da bacia em relação à sua condição atual.

Para além da análise puramente hidrológica, é fundamental destacar a dimensão socioambiental contemplada em cada um dos cenários. Os cenários 1, 2 e 3 reforçam a percepção inicial de que a atual legislação local sobre parcelamento do solo, com restrições de declividades a partir de 30%, pode contribuir de alguma maneira para reduzir a área potencial urbanizada e para o controle das ocupações formais nas encostas, hoje regiões ambientalmente mais conservadas e fundamentais para a permeabilidade da bacia e para outros serviços ecossistêmicos para a comunidade ouropretana.

Ainda que as ações de planejamento e gestão urbana tenham que caminhar juntas, controlando as ocupações informais, este trabalho se fundamentou no fato de que a cidade, com suas limitações topográficas, enfrenta uma crescente pressão por habitação de interesse social, que de muitas maneiras não é assistida. Essa demanda, se finalmente contemplada dentro das ações previstas pelo REURB Novellis e materializando-se no atual vetor sul de expansão urbana, deve vir acompanhada de projetos quali e tecnicamente orientados à realidade ambiental e, principalmente, hidrológica da região. Mesmo que a modelagem dos cenários 1 a 3 não consiga simular uma expansão e ocupação em desconformidade com os parâmetros urbanísticos do atual zoneamento, principalmente taxas de ocupação e impermeabilização dos lotes acima das permitidas, os impactos sobre a vazão futura são significativamente representativos, o que acende um alerta sobre a viabilidade ambiental desta expansão urbana especificamente.

A demarcação de Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS) neste vetor de expansão surge como uma resposta direta à significativa demanda por moradia em Ouro Preto e a oportunidade ofertada pelo REURB Novelis, que está sendo inclusive considerada na versão do Plano Diretor em revisão. Ao tentar designar locais tecnicamente adequados e urbanisticamente planejados para este fim, o novo Plano Diretor cumpre um duplo papel: por um lado, atende a uma necessidade social urgente; por outro, previne que essa demanda seja suprida por meio de ocupações informais em áreas de risco ambiental e geológico como historicamente tem acontecido, em encostas íngremes e planícies de inundação, o que teria consequências hidrológicas desastrosas.

Dessa forma, este estudo surge como uma ferramenta para que o planejamento integrado do novo Plano Diretor permita conciliar a necessidade de expansão urbana e de provisão de moradia digna com a conservação dos recursos hídricos e a segurança ambiental das bacias hidrográficas. Como a real dimensão do déficit habitacional na cidade não é plenamente quantificada e compreendida ainda, não se pode afirmar o quanto esta região é capaz de reduzi-lo. Para isso, a mesma modelagem hidrológica aqui testada poderia servir para avaliar outras áreas designadas como ZEIS, em outras regiões e bacias hidrográficas da cidade.

No entanto, existe a necessidade, vide os resultados favoráveis ao cenário 4, de estratégias para conseguir equalizar a demanda por habitação e equilíbrio hidrológico, sem a utilização da área de expansão do perímetro urbano dos cenários 2 e 3. Essas estratégias poderiam contemplar mudanças específicas dos parâmetros urbanísticos no local para fins de habitação de interesse social, como, por exemplo, o aumento do potencial construtivo sem alteração das taxas de ocupação por lote, uma vez que uma maior verticalização da área não estaria em conflito com a paisagem patrimonial.

De maneira mais ampla, considerando a complexidade do tema e os resultados aqui apresentados, no âmbito da bacia, vislumbram-se diversas oportunidades para aprofundamento desta pesquisa. Sugere-se dois possíveis direcionamentos para estudos futuros:

- Modelagem Hidráulica e Mapeamento de Manchas de Inundação: enquanto o presente estudo realizou uma modelagem hidrológica (quantificando o volume e o pico do escoamento), um próximo passo seria a modelagem hidráulica bidimensional. Este

estudo permitiria simular o comportamento do escoamento nos canais e nas planícies, gerando mapas detalhados de manchas de inundação para os cenários mais críticos (2 e 3), indicando profundidade e velocidade da água. Tais mapas seriam uma ferramenta valiosa tanto para a Defesa Civil, para identificação dos imóveis potencialmente atingidos, e para o planejamento de ações de prevenção, quanto para consolidação no novo zoneamento em curso. Tal desenvolvimento poderia ser realizado com informações mais precisas sobre o Córrego Varjada, como trechos canalizados, tipo de material, dimensões do curso, para uma análise mais precisa e detalhada, que não foi possível devido a falta de dados públicos sobre o córrego.

- Estudo de Soluções de Drenagem em Áreas de ZEIS: seria de grande valia um estudo em microescala, focado em uma das áreas de ZEIS propostas no Cenário 4. A pesquisa poderia avaliar a eficácia da implementação de técnicas compensatórias, como pavimentos permeáveis, jardins de chuva e bacias de retenção, na redução do escoamento local, demonstrando como aliar a construção de moradias sociais a uma gestão de águas pluviais moderna e sustentável.

Em suma, este trabalho reforça que a gestão territorial em cidades complexas como Ouro Preto exige uma abordagem integrada, na qual o planejamento hidrológico, a justiça social e o desenvolvimento urbano não são tratados como objetivos conflitantes, mas como pilares interdependentes de um futuro mais seguro e resiliente.

## REFERÊNCIAS

ACSELRAD, Henri. Justiça ambiental e construção social do risco. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 6, n. 1, p. 23-39, 2004.

ÁLVARES, Patrícia Maria Fialho; SOUZA, Henor A. A legislação urbana e sua relação com a proteção do patrimônio cultural: o caso de Ouro Preto, MG. **arq. Urb**, n. 16, p. 60-76, 2016.

AMORIM, Philippe Macedo Garcia; BASSAN, Dilani Silveira. Reflexões sobre o déficit habitacional no Brasil: as políticas públicas de habitação e o acesso ao direito à moradia. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 15, n. 7, e3862, 2024. DOI: <https://doi.org/10.7769/gesec.v15i7.3862>.

ARANTES, Otilia; VAINER, Carlos; MARICATO, Ermínia. **A cidade do Pensamento único: Desmanchando Consensos**. 2013.

ARAÚJO, E. P.; ALBUQUERQUE, A. O que significam as ocupações de imóveis em áreas centrais? **Caderno CRH**, Salvador, v. 30, n. 79, p. 157-173, jan./abr. 2017.

ARAÚJO, João Pedro Marinho; ALBUQUERQUE, Emanuel Lindemberg Silva. EXPANSÃO URBANA E SEUS IMPACTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA NOS RESIDENCIAIS TORQUATO NETO II, III E IV EM TERESINA, PIAUÍ. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 20, n. 1, p. 22-35, 3 jun. 2022. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/article/view/16312>. Acesso em: 10 fev. 2025.

BARROS, Fabrizio da Costa; DEUS, Leandro Andrei Beser De; COSTA, Alexander Josef Sá Tobias Da. ANÁLISE SOBRE TENDÊNCIAS DE EXPANSÃO URBANA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CABUÇU-PIRAQUÊ, ZONA OESTE DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Revista de Geografia - PPGEO - UFJF**, v. 10, n. 1, p. 132-156, 6 ago. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/31062>. Acesso em: 10 fev. 2025.

BELO HORIZONTE (Município). Prefeitura Municipal. **Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem Urbana do Município de Belo Horizonte: Capítulo 5: Sistema de Drenagem Pluvial – Controles Regionais**. Belo Horizonte: PBH, 2023. Disponível em: [https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/obras-e-infraestrutura/2023/capitulo5\\_sistemadedrenagemfluvial.pdf](https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/obras-e-infraestrutura/2023/capitulo5_sistemadedrenagemfluvial.pdf). Acesso em: 15 jul. 2025.

BOHN, Noemia; CERNESSON, Flavie; PINHEIRO, Adilson. **ASPECTOS LEGAIS DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DE BACIA HIDROGRÁFICA COM ÊNFASE NA DELIMITAÇÃO DO PERÍMETRO DA UNIDADE DE PLANEJAMENTO**. [S.d.].

BRASIL. **Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 2016. Disponível em: [https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88\\_Livro\\_EC91\\_2016.pdf](https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf). Acesso em: 21 mar. 2025.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 jul. 2001. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110257.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm). Acesso em: 21 mar. 2025.

BRASIL. Lei nº 11.977, de 7 de julho de 2009. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas [...]. **Diário**

**Oficial da União**, Brasília, DF, 8 jul. 2009. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/111977.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/111977.htm). Acesso em: 01 set. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil CONPDEC, autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 abr. 2012. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm). Acesso em: 22 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. **[Relação de Municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos]**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: [https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protacao-e-defesa-civil-sedec/municipios\\_prioritarios\\_2024.pdf](https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protacao-e-defesa-civil-sedec/municipios_prioritarios_2024.pdf). Acesso em: 14 jul. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Manual para apresentação de propostas para sistemas de drenagem urbana sustentável e de manejo de águas pluviais**. Brasília, DF: MDR, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/saneamento-sns/manual-drenagem-sustentavel-2020.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2025.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. [S.L.]: Oficina de Textos, 2021.

CARRANÇA, Thais. 'Quarto de Despejo': os 60 anos do livro que consagrou Carolina Maria de Jesus. **BBC News Brasil**, 19 ago. 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-57033047>. Acesso em: 01 set. 2025.

CARDOSO, Adauto Lucio. **Habitação Social nas Metrôpoles Brasileiras. Uma Avaliação das Políticas Habitacionais em Belém, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro e São Paulo no final do século XX**. Porto Alegre: ANTAC, 2007.

CARDOSO, Adauto Lucio; ARAGÃO, Thêmis Amorim. Eficácia social do Programa Minha Casa Minha Vida. **Cadernos Metrôpole**, v. 18, n. 35, p. 283-307, 2016.

CARVALHO, Regina Célia de. Cobertura vegetal e mudanças no uso da terra nas bacias hidrográficas dos rios Grande e Anil, Rio de Janeiro. 2017. 331 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: [https://www.bdt.uerj.br:8443/bitstream/1/13245/3/3%20Tese%20ReginaCarvalho\\_p132%20a%20165.pdf](https://www.bdt.uerj.br:8443/bitstream/1/13245/3/3%20Tese%20ReginaCarvalho_p132%20a%20165.pdf). Acesso em: 22 mar. 2025.

CARVALHO, Regina Paula Benedetto de. Qualidade urbana/ambiental no território carioca: o caso do planejamento da Baixada de Jacarepaguá, Rio de Janeiro. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 23, n. 40, p. 67-79, 2013. ISSN 0103-8427. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=333228746005>. Acesso em: 22 mar. 2025.

CAVALCANTI, Anselmo Ronsard. **Política pública de habitação e o desenvolvimento regional: análise do Complexo Multimodal Aluizio Campos em Campina Grande PB**. 2019. 129 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2019. Disponível em:

<https://pos-graduacao.uepb.edu.br/ppgdr/files/2020/09/POLITICA-PUBLICA-DE-HABITACAO-E-O-DESENVOLVIMENTO-REGIONAL-ANALISE-DO-COMPLEXO-MULTIMODAL-ALUIZIO-CA-MPOS-EM-CAMPINA-GRANDE-PB.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2025.

COSTA, Ana Márcia Moura Da; SOUZA, Werônica Meira De; SILVA, Edson Vicente Da. Análise do uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 16, n. 5, p. 2890-2900, 30 maio 2023. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/746>. Acesso em: 10 fev. 2025.

COSTA JÚNIOR, Reginaldo Augusto Rodrigues et al. Sistema de drenagem superficial em um conjunto habitacional no município de Rio Preta da Eva/AM estudo de caso. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 9, n. 12, p. 30853-30869, dez. 2023.

**CRONOLOGIA DO URBANISMO**. Universidade Federal da Bahia, [s.d.]. Disponível em: <https://cronologiadourbanismo.ufba.br/>. Acesso em: 21 mar. 2025.

CRUVINEL, Aline Cristina Fortunato. Cidade de Deus, entre a ficção e a realidade: um projeto da Aliança para o Progresso para o Estado da Guanabara. In: XX ENANPUR, 2023, Belém: ANPUR, 2023. Disponível em: <http://anpur.org.br/wp-content/uploads/2023/05/st06-17.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2025.

**DICIONÁRIO DE FAVELAS MARIELLE FRANCO**. Wikifavelas: Projeto. [Rio de Janeiro]: Fiocruz, 2019. Disponível em: <https://wikifavelas.com.br/index.php/Wikifavelas>: Projeto. Acesso em: 22 mar. 2025.

ESCARIÃO, M. M. Modelagem hidrológica aplicada à gestão de recursos hídricos. In: COMITÉ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS (CBH Velhas). **Cadernos de Capacitação 3: Instrumentos de gestão de recursos hídricos**. Belo Horizonte: CBH Velhas, 2001. p. 45-62. Disponível em: <https://cdn.agenciapexevivo.org.br/arquivos/images/CBHVELHAS/arquivosgerais/CadernosDeCapacitacao3>. Acesso em: 22 mar. 2025.

FERRÃO, André; POZZER, Carlos. O ordenamento territorial no entorno do Lago de Furnas em Minas Gerais: a bacia hidrográfica como unidade de planejamento regional. **GOT - Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 13, p. 141-164, 2018. Disponível em: Acesso em: 22 mar. 2025.

GIORDANI, Lucas Castro. **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE CHUVAS INTENSAS E MÉTODOS DE DESAGREGAÇÃO DE CHUVA DIÁRIA PARA O ESTADO DO CEARÁ**. 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/38790/3/2018\\_dis\\_lcgiordani.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/38790/3/2018_dis_lcgiordani.pdf). Acesso em: 14 jul. 2025.

GLOBO. Moradores do conjunto Torquato Neto, em Teresina, sofrem há 12 anos com a falta de drenagem na região. **G1 Piauí**, 20 maio 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2021/05/20/moradores-do-conjunto-torquato-neto-em-teresina-sofrem-ha-12-anos-com-a-falta-de-drenagem-na-regiao.ghtml>. Acesso em: 22 mar. 2025.

GORTÁZAR, Naiara Galarraga. Carolina Maria de Jesus, a escritora da favela que virou fenômeno editorial. **El País Brasil**, 08 out. 2021. Cultura. Disponível em: <https://brasil.elpais.com/cultura/2021-10-08/carolina-maria-de-jesus-a-escritora-da-favela-que-virou-fenomeno-editorial.html>. Acesso em: 01 set. 2025.

IKEDA, Eloísa Balieiro; DELIJAICOV, Alexandre. Infraestrutura urbana fluvial, das ruas aos rios: bacia hidrográfica como unidade de planejamento, projeto e gestão. **Cadernos de Pós-Graduação em**

**Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 11-27, 2024. DOI: 10.5935/cadernospos.v24n1p11-27. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/cpgau/article/view/16898>. Acesso em: 15 ago. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

JESUS, Carolina Maria de. **Casa de Alvenaria: Volume 1- Osasco**. São Paulo: Companhia das Letras, 2021.

LEAL, Marcos Vinícius Sousa; RAMOS, Ana Caroline David. A bacia hidrográfica urbana do Tucunduba: impactos no uso e ocupação do solo em Belém, Pará. **Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares**, v. 3, p. 1-11, 18 mar. 2022. Disponível em: <https://periodicos.puc-campinas.edu.br/sustentabilidade/article/view/5538>. Acesso em: 10 fev. 2025.

MANSOUR, A. L. N. **Estimativa do escoamento superficial para bacias urbanas a partir da análise do histórico de uso e ocupação do solo**. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024. Disponível em: <https://repositorio.uel.br/items/a70e6c9b-625f-442c-8f12-a1041c33b8db>. Acesso em: 10 fev. 2025.

MARICATO, Ermínia. A ideias fora do lugar e o lugar fora das ideias. In: ARANTES, Otilia; VAINER, Carlos; MARICATO, Erminia. **A cidade do Pensamento único: Desmanchando Consensos**. 2013.

MARICATO, Ermínia. **Brasil, cidades: alternativas para a crise urbana**. 6. ed. Petrópolis: Vozes, 2013.

MARINHO FILHO, J. D.; SILVA, R. A.; SOUZA, L. C. Aplicações de modelos hidrológicos na previsão de cenários e avaliação de impactos ambientais. **Revista FAE**, Curitiba, v. 20, n. 1, p. 129-137, ago. 2017. Disponível em: <https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/113>. Acesso em: 22 mar. 2025.

NASCIMENTO, Paulo Walter Freire do. **Habitar em risco: vulnerabilidade socioambiental e risco de desastres no contexto de favelas da cidade do Rio de Janeiro**. 2020. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.btd.uerj.br:8443/bitstream/1/18615/2/Disserta%20a70e6c9b-625f-442c-8f12-a1041c33b8db%20-%20Paulo%20Walter%20Freire%20do%20Nascimento%20-%202020%20-%20Completa.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2025.

NETO, João Cancio da Rocha; SILVA JUNIOR, João de Athaydes. **Orientações hidrológicas para projetos de drenagem**. Belém: [s.n.], 2022. Disponível em: <https://ppggrd.prosp.ufpa.br/ARQUIVOS/PRODUTOS/2021-2022/JO%20C3%83O%20CANCIO%20DA%20ROCHA%20NETO.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2025.

NIMER, Edmond. Um modelo metodológico da classificação de climas. **Revista Brasileira de Geografia - IBGE**, Rio de Janeiro, nr 4, ano 41, p. 59-89, out/dez. 1979.

NUNES, Aline de Araújo. **ANÁLISE DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DE MINAS GERAIS**. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

OLIVEIRA, Leandro Duque de; SOBREIRA, Frederico Garcia. Crescimento urbano de Ouro Preto-MG entre 1950 e 2004 e atuais tendências. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 5, p. 867-876, 2015.

OURO PRETO. Prefeitura Municipal. **Revisão do Plano Diretor de Ouro Preto**. 2023. Disponível em: <https://www.ouropreto.mg.gov.br/planodiretor>. Acesso em: 07 ago. 2025.

OURO PRETO. Lei Complementar nº 93, de 20 de janeiro de 2011. Estabelece normas e condições para o parcelamento, a ocupação e o uso do solo urbano no Município de Ouro Preto. Ouro Preto: Câmara Municipal, 2011.

PAULINO, J.; SANTOS, P. **Mitigação do Impacto das Alterações Climáticas na Drenagem Urbana**. Universidade de Coimbra, 2013.

PEREIRA, C. E.; NUNES, L. H. Impactos da urbanização no sistema de macrodrenagem: Estudo hidráulico-hidrológico da bacia do Barro Preto - Mariana/MG. **Alemur**, Ouro Preto, v. 10, n. 1, p. 1-17, 2025. Disponível em: <https://periodicos.ufop.br/alemur/article/view/7754>. Acesso em: 22 de março de 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO (PMOP). Decreto no 6.526 de 22 de junho de 2022. Declara de utilidade pública para fins de desapropriação o imóvel descrito no mapa anexo, o qual será destinado para a construção do reassentamento das famílias desabrigadas conforme Política Municipal de Habitação Social. Ouro Preto, 2022.

QUEIROGA, Amanda Alves; FILGUEIRA, Hamilcar José Almeida; CUNICO, Camila. CORRELAÇÃO ENTRE CRESCIMENTO URBANO E ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA-PB. **Caminhos de Geografia**, v. 25, n. 98, p. 284-302, 30 abr. 2024. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/69966>. Acesso em: 18 fev. 2025.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. **Modelos hidrológicos para gestão ambiental**. Relatório Técnico Parcial, INPE, São José dos Campos, 2003. Disponível em: <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marciana/2003/03.10.12.35/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2025.

RUBIN, Graziela Rossatto; BOLFE, Sandra Ana. O Desenvolvimento da Habitação Social no Brasil. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 2, p. 201-213, 14 maio 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/11637>. Acesso em: 16 jan. 2025.

SANTOS, Milton. **A Urbanização Brasileira**. 5. ed. 2. reimpr. São Paulo: Edusp, 2009.

SÃO PAULO. Após alagamento no Jardim Pantanal, Ricardo Nunes diz que prefeitura vai focar na remoção dos moradores: 'Aqueles pessoas vão ter que sair dali'. **G1 São Paulo**, 1 fev. 2025. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2025/02/01/apos-alagamento-no-jardim-pantanal-ricardo-nunes-diz-que-prefeitura-vai-focar-na-remocao-dos-moradores-aqueles-pessoas-voao-ter-que-sair-dali.ghtml>. Acesso em: 22 mar. 2025.

SILVA, Kauê Nascimento da; SILVA, Quésia Duarte da. Deficiência da drenagem pluvial urbana nos bairros Santo Antônio e Santa Lúcia na cidade de Codó-MA. **Revista Formação (Online)**, v. 28, n. 53, p. 349-372, 2021.

SILVA, Matheus Henrique Souza; SILVA, Leandro Félix da. Meio Ambiente e Saneamento Ambiental: Efeitos do Programa Minha Casa Minha Vida. **Revista Cidades Verdes**, v. 11, n. 29, 2023.

SILVEIRA, C. S.; MAGALHÃES, J. H. F.; ROCHA, M. J. D. Aplicação do curve number como forma de avaliar os impactos nas mudanças no uso e ocupação do solo e na resposta hidrológica de uma pequena bacia semiárida. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, México, v. 15, n. 1, p. 67-85, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.1.76733>. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/69364>. Acesso em: 22 mar. 2025.

SILVEIRA, A. L. L. DA. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos**. Porto Alegre, RS: ABRH. Vol. 10, n. 1 (jan./mar. 2005), p. 5-23, 2005.

#### **SNIRH - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS.**

Disponível em:

<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b228d007-6d68-46e5-b30d-ale191b2b21f>.

Acesso em: 21 mar. 2025.

SOUZA, R. M. P.; CRISPIM, D. C.; FORMIGA, K. T. M. Estudo comparativo entre os modelos SWMM e HEC-HMS para simulação de escoamento superficial caso de estudo bacia do córrego Samambaia (Goiânia, Goiás). **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 4, n. 2, p. 1-11, 2012.

TAVARES, Érica; SIQUEIRA, Antenora Maria da Mata. Desastres ambientais e a importância dos registros mediante as mudanças climáticas no século XXI. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL, 2023. **Anais [...]**. ANPUR, 2023.

TREMBA, Gabriela Bastos Cordeiro. **O espaço urbano em Carolina Maria de Jesus: o eterno retorno ao Quarto de despejo e a casa de alvenaria**. 2020. masterThesis Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/24833>. Acesso em: 25 fev. 2025.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 1993. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4).

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112, jun. 2008. Disponível em: <https://revistas.usp.br/eav/article/view/10295/11943>. Acesso em: 14 jul. 2025.

**APÊNDICE A - Tabela CN cenário 1**

| Sub-bacia | Tipo de solo       | Grupo hidrológico | Uso e ocupação     | Referência para definição CN                   | Grupo hidrológico adotado | CN | Área (km <sup>2</sup> ) | Área total subbacia (km <sup>2</sup> ) | Área*CN | CN subbacia | IMP(%) | IMP*<br>Área | IMP subbacia (%) |
|-----------|--------------------|-------------------|--------------------|--|---------------------------|----|-------------------------|--|---------|-------------|--------|--------------|------------------|
| 1         | Cambissolo háplico | C                 | ZIE                | CN – zoneamento BH                             | D                         | 90 | 0,01                    | 0,117                                  | 0,774   | 87,99       | 80     | 0,69         | 42,28            |
|           | Cambissolo háplico | C                 | ZAR2               | CN – zoneamento BH                             | D                         | 90 | 0,02                    |  | 1,850   |             | 80     | 1,64         |                  |
|           | Cambissolo háplico | C                 | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C                         | 86 | 0,06                    |  | 5,048   |             | 5      | 0,29         |                  |
|           | Cambissolo háplico | C                 | ZA2                | CN – zoneamento BH                             | D                         | 90 | 0,03                    |  | 2,611   |             | 80     | 2,32         |                  |
| 2         | Neossolo litólico  | D                 | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim)    | D                         | 83 | 0,01                    | 1,344                                  | 0,674   | 87,45       | 5      | 0,04         | 19,96            |
|           | Neossolo litólico  | D                 | Pastagem           | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | D                         | 89 | 0,35                    |  | 31,097  |             | 5      | 1,75         |                  |
|           | Neossolo litólico  | D                 | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | D                         | 77 | 0,16                    |  | 12,683  |             | 5      | 0,82         |                  |
|           | Cambissolo háplico | C                 | ZAR2               | CN – zoneamento BH                             | D                         | 90 | 0,05                    |  | 4,090   |             | 80     | 3,64         |                  |
|           | Neossolo litólico  | D                 | ZAR2               | CN – zoneamento BH                             | D                         | 90 | 0,14                    |  | 12,150  |             | 80     | 10,80        |                  |
|           | Cambissolo háplico | C                 | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C                         | 86 | 0,11                    |  | 9,267   |             | 5      | 0,54         |                  |
|           | Neossolo litólico  | D                 | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | D                         | 89 | 0,45                    |  | 39,652  |             | 5      | 2,23         |                  |
|           | Cambissolo háplico | C                 | ZA2                | CN – zoneamento BH                             | D                         | 90 | 0,08                    |  | 7,378   |             | 80     | 6,56         |                  |

|   |                    |   |                    |  |   |    |      |       |        |       |    |       |       |
|---|--------------------|---|--------------------|--|---|----|------|-------|--------|-------|----|-------|-------|
|   | Neossolo litólico  | D | ZA2                | CN – zoneamento BH                             | D | 90 | 0,01 |       | 0,515  |       | 80 | 0,46  |       |
| 3 | Cambissolo háplico | C | ZA2                | CN – zoneamento BH                             | D | 90 | 0,02 | 0,497 | 1,861  | 89,09 | 80 | 1,65  | 59,89 |
|   | Cambissolo háplico | C | ZIE                | CN – zoneamento BH                             | D | 90 | 0,01 |       | 0,624  |       | 80 | 0,55  |       |
|   | Cambissolo háplico | C | ZAR2               | CN – zoneamento BH                             | D | 90 | 0,33 |       | 29,252 |       | 80 | 26,00 |       |
|   | Neossolo litólico  | D | ZAR2               | CN – zoneamento BH                             | D | 90 | 0,01 |       | 1,002  |       | 80 | 0,89  |       |
|   | Cambissolo háplico | C | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C | 86 | 0,11 |       | 9,125  |       | 5  | 0,53  |       |
|   | Neossolo litólico  | D | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | D | 89 | 0,03 |       | 2,425  |       | 5  | 0,14  |       |
| 4 | Cambissolo háplico | C | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim)    | C | 77 | 0,22 | 0,771 | 17,127 | 83,77 | 5  | 1,11  | 19,40 |
|   | Cambissolo háplico | C | Pastagem           | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C | 86 | 0,19 |       | 16,022 |       | 5  | 0,93  |       |
|   | Cambissolo háplico | C | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | C | 70 | 0,02 |       | 1,352  |       | 5  | 0,10  |       |
|   | Cambissolo háplico | C | ZIE                | CN – zoneamento BH                             | D | 90 | 0,02 |       | 1,757  |       | 80 | 1,56  |       |
|   | Cambissolo háplico | C | ZAR2               | CN – zoneamento BH                             | D | 90 | 0,13 |       | 11,534 |       | 80 | 10,25 |       |
|   | Cambissolo háplico | C | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C | 86 | 0,20 |       | 16,773 |       | 5  | 0,98  |       |
|   | Cambissolo háplico | C | Área urbana        | CN – zoneamento BH                             | C | 90 | 0,00 |       | 0,030  |       | 80 | 0,03  |       |
| 5 | Cambissolo háplico | C | ZAR2               | CN – zoneamento BH                             | D | 90 | 0,05 | 0,054 | 4,811  | 89,96 | 80 | 4,28  | 79,26 |
|   | Cambissolo háplico | C | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C | 86 | 0,00 |       | 0,052  |       | 5  | 0,00  |       |

|   |                    |   |                    |  |   |    |      |       |         |       |    |      |      |
|---|--------------------|---|--------------------|--|---|----|------|-------|---------|-------|----|------|------|
| 6 | Neossolo litólico  | D | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim)    | D | 83 | 0,18 | 2,284 | 15,277  | 80,33 | 5  | 0,92 | 9,10 |
|   | Neossolo litólico  | D | Pastagem           | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | D | 89 | 0,01 |       | 0,645   |       | 5  | 0,04 |      |
|   | Neossolo litólico  | D | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | D | 77 | 1,57 |       | 120,669 |       | 5  | 7,84 |      |
|   | Cambissolo háplico | C | ZAR2               | CN – zoneamento BH                             | D | 90 | 0,06 |       | 5,494   |       | 80 | 4,88 |      |
|   | Neossolo litólico  | D | ZAR2               | CN – zoneamento BH                             | D | 90 | 0,06 |       | 5,747   |       | 80 | 5,11 |      |
|   | Cambissolo háplico | C | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C | 86 | 0,01 |       | 0,680   |       | 5  | 0,04 |      |
|   | Neossolo litólico  | D | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | D | 89 | 0,39 |       | 34,932  |       | 5  | 1,96 |      |
| 7 | Cambissolo háplico | C | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim)    | C | 77 | 0,07 | 1,266 | 5,763   | 82,51 | 5  | 0,37 | 6,28 |
|   | Cambissolo háplico | C | Pastagem           | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C | 86 | 0,33 |       | 28,117  |       | 5  | 1,63 |      |
|   | Cambissolo háplico | C | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | C | 70 | 0,06 |       | 4,361   |       | 5  | 0,31 |      |
|   | Neossolo litólico  | D | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | D | 77 | 0,37 |       | 28,418  |       | 5  | 1,85 |      |
|   | Cambissolo háplico | C | ZAR2               | CN – zoneamento BH                             | D | 90 | 0,02 |       | 1,944   |       | 80 | 1,73 |      |
|   | Cambissolo háplico | C | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C | 86 | 0,25 |       | 21,406  |       | 5  | 1,24 |      |
|   | Neossolo litólico  | D | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | D | 89 | 0,16 |       | 14,409  |       | 5  | 0,81 |      |
| 8 | Cambissolo háplico | C | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim)    | C | 77 | 0,09 | 1,783 | 7,240   | 74,34 | 5  | 0,47 | 5,00 |
|   | Neossolo litólico  | D | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim)    | D | 83 | 0,01 |       | 0,902   |       | 5  | 0,05 |      |

|   |                    |   |                    |  |   |    |      |       |         |       |      |       |      |
|---|--------------------|---|--------------------|--|---|----|------|-------|---------|-------|------|-------|------|
|   | Cambissolo háplico | C | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)                                 | C | 70 | 0,69 |       | 48,068  |       | 5    | 3,43  |      |
|   | Neossolo litólico  | D | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)                                 | D | 77 | 0,99 |       | 76,374  |       | 5    | 4,96  |      |
| 9 | Cambissolo háplico | C | Mosaico de usos    | TUCCI (zonas residenciais e pastagens ou terrenos em má condições) | C | 88 | 0,03 | 2,609 | 2,732   | 71,87 | 42,5 | 1,32  | 7,88 |
|   | Cambissolo háplico | C | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim)                        | C | 77 | 0,28 |       | 21,589  |       | 5    | 1,40  |      |
|   | Cambissolo háplico | C | Pastagem           | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições)                     | C | 86 | 0,02 |       | 1,897   |       | 5    | 0,11  |      |
|   | Cambissolo háplico | C | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)                                 | C | 70 | 2,15 |       | 150,255 |       | 5    | 10,73 |      |
|   | Neossolo litólico  | D | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)                                 | D | 77 | 0,04 |       | 3,457   |       | 5    | 0,22  |      |
|   | Cambissolo háplico | C | Área urbana        | CN – zoneamento BH   | D | 90 | 0,08 |       | 7,610   |       | 80   | 6,76  |      |

### APÊNDICE B - Tabela CN cenário 2

| Subbacia | Tipo de solo       | Grupo hidrológico | Uso e ocupação     | Referência para definição CN                | Grupo hidrológico adotado | CN | Área (km <sup>2</sup> ) | Área de expansão – intersecação | Área final | Área total subbacia (km <sup>2</sup> ) | Área *CN | CN subbacia | IMP(%) | IMP* Área | IMP subbacia (%) |
|----------|--------------------|-------------------|--------------------|---|---------------------------|----|-------------------------|---------------------------------|------------|--|----------|-------------|--------|-----------|------------------|
| 4        | Cambissolo háplico | C                 | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim) | C                         | 77 | 0,22243                 | 0,175                           | 0,047      | 0,771                                  | 3,637    | 86,86       | 5      | 0,236     | 28,734           |

13167

|   |                    |   |                    |  |   |    |         |       |       |       |        |       |    |        |
|---|--------------------|---|--------------------|--|---|----|---------|-------|-------|-------|--------|-------|----|--------|
|   | Cambissolo háplico | C | Pastagem           | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C | 86 | 0,1863  | 0,127 | 0,059 |       | 5,100  |       | 5  | 0,297  |
|   | Cambissolo háplico | C | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | C | 70 | 0,01931 | 0,019 | 0,000 |       | 0,001  |       | 5  | 0,000  |
|   | Cambissolo háplico | C | ZIE                | CN – zoneamento BH                             | D | 90 | 0,01952 |       | 0,020 |       | 1,757  |       | 80 | 1,562  |
|   | Cambissolo háplico | C | ZAR2               | CN – zoneamento BH                             | D | 90 | 0,12816 | 0,082 | 0,210 |       | 18,878 |       | 80 | 16,781 |
|   | Cambissolo háplico | C | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C | 86 | 0,19503 | 0,226 | 0,421 |       | 36,174 |       | 5  | 2,103  |
|   | Cambissolo háplico | C | Área urbana        | CN – zoneamento BH                             | C | 90 | 0,00033 | 0,000 | 0,000 |       | 0,030  |       | 80 | 0,026  |
|   | Cambissolo háplico | C | Vias               | TUCCI (vias asfaltadas)                        | D | 98 |         | 0,014 | 0,014 |       | 1,416  |       | 80 | 1,156  |
| 7 | Cambissolo háplico | C | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim)    | C | 77 | 0,07    | 0,075 | 0,000 |       | 0,004  |       | 5  | 0,000  |
|   | Cambissolo háplico | C | Pastagem           | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C | 86 | 0,33    | 0,327 | 0,000 |       | 0,012  |       | 5  | 0,001  |
|   | Cambissolo háplico | C | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | C | 70 | 0,06    | 0,062 | 0,000 | 1,266 | 0,000  | 85,49 | 5  | 0,000  |
|   | Neossolo litólico  | D | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | D | 77 | 0,37    | 0,072 | 0,297 |       | 22,867 |       | 5  | 1,485  |

|   |                                       |       |                    |  |   |    |       |       |       |       |        |       |    |        |  |
|---|---------------------------------------|-------|--------------------|--|---|----|-------|-------|-------|-------|--------|-------|----|--------|--|
|   | Cambissolo háplico/ Neossolo litólico | C e D | ZAR2               | CN – zoneamento BH                             | D | 90 | 0,02  | 0,212 | 0,234 |       | 21,021 |       | 80 | 18,685 |  |
|   | Cambissolo háplico/ Neossolo litólico | C e D | Vias               | TUCCI (vias asfaltadas)                        | D | 98 |       | 0,037 | 0,037 |       | 3,666  |       | 80 | 2,992  |  |
|   | Cambissolo háplico                    | C     | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C | 86 | 0,25  | 0,233 | 0,482 |       | 41,427 |       | 5  | 2,409  |  |
|   | Neossolo litólico                     | D     | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | D | 89 | 0,16  | 0,054 | 0,216 |       | 19,204 |       | 5  | 1,079  |  |
| 8 | Cambissolo háplico                    | C     | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim)    | C | 77 | 0,094 | 0,073 | 0,021 | 1,783 | 1,617  | 77,07 | 5  | 0,105  |  |
|   | Neossolo litólico                     | D     | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim)    | D | 83 | 0,011 |       | 0,011 |       | 0,902  |       | 5  | 0,054  |  |
|   | Cambissolo háplico                    | C     | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | C | 70 | 0,687 | 0,169 | 0,518 |       | 36,238 |       | 5  | 2,588  |  |
|   | Neossolo litólico                     | D     | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | D | 77 | 0,992 | 0,070 | 0,922 |       | 70,984 |       | 5  | 4,609  |  |
|   | Cambissolo háplico/ Neossolo litólico | C e D | ZAR2               | CN – zoneamento BH                             | D | 90 |       | 0,114 | 0,114 |       | 10,251 |       | 80 | 9,112  |  |
|   | Cambissolo háplico/                   | C e D | Vias               | TUCCI (vias asfaltadas)                        | D | 98 |       | 0,020 | 0,020 |       | 1,970  |       | 80 | 1,608  |  |

|   |  |       |                    |  |   |    |      |       |       |       |         |       |      |        |        |       |  |  |  |  |  |
|---|--|-------|--------------------|--|---|----|------|-------|-------|-------|---------|-------|------|--------|--------|-------|--|--|--|--|--|
|   | Neossolo litólico                        |       |                    |  |   |    |      |       |       |       |         |       |      |        |        |       |  |  |  |  |  |
|   | Cambissolo háplico                       | C     | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições)                     | D | 86 |      | 0,118 | 0,118 |       | 10,154  |       | 5    | 0,590  |        |       |  |  |  |  |  |
|   | Neossolo litólico                        | D     | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições)                     | D | 89 |      | 0,060 | 0,060 |       | 5,312   |       | 5    | 0,298  |        |       |  |  |  |  |  |
| 9 | Cambissolo háplico                       | C     | Mosaico de usos    | TUCCI (zonas residenciais e pastagens ou terrenos em má condições) | C | 88 | 0,03 | 0,031 | 0,000 | 2,609 | 0,000   | 88,74 | 42,5 | 0,000  |        |       |  |  |  |  |  |
|   | Cambissolo háplico                       | C     | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim)                        | C | 77 | 0,28 | 0,276 | 0,004 |       | 0,337   |       | 5    | 0,022  |        |       |  |  |  |  |  |
|   | Cambissolo háplico                       | C     | Pastagem           | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições)                     | C | 86 | 0,02 | 0,022 | 0,000 |       | 0,001   |       | 5    | 0,000  |        |       |  |  |  |  |  |
|   | Cambissolo háplico                       | C     | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)                                 | C | 70 | 2,15 | 2,143 | 0,004 |       | 0,245   |       | 5    | 0,018  |        |       |  |  |  |  |  |
|   | Neossolo litólico                        | D     | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)                                 | D | 77 | 0,04 | 0,045 | 0,000 |       | 0,001   |       | 5    | 0,000  |        |       |  |  |  |  |  |
|   | Cambissolo háplico                       | C     | Área urbana        | CN – zoneamento BH   | D | 90 | 0,08 |       | 0,085 |       | 7,650   |       | 80   | 6,800  |        |       |  |  |  |  |  |
|   | Cambissolo háplico/<br>Neossolo litólico | C e D | ZAR2               | CN – zoneamento BH   | D | 90 |      | 1,111 | 1,111 |       | 100,027 |       | 80   | 88,913 |        |       |  |  |  |  |  |
|   | Cambissolo háplico/                      | C e D | Vias               | TUCCI (vias asfaltadas)  | D | 98 |      | 0,196 | 0,196 |       | 19,221  |       | 80   | 15,690 | 45,032 | 57161 |  |  |  |  |  |

|                    |   |      |  |   |    |  |       |       |  |  |         |  |   |       |  |
|--------------------|---|------|--|---|----|--|-------|-------|--|--|---------|--|---|-------|--|
| Neossolo lítólico  |   |      |  |   |    |  |       |       |  |  |         |  |   |       |  |
| Cambissolo háplico | C | ZPAM | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C | 86 |  | 1,171 | 1,171 |  |  | 100,679 |  | 5 | 5,853 |  |
| Neossolo lítólico  | D | ZPAM | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | D | 89 |  | 0,038 | 0,038 |  |  | 3,361   |  | 5 | 0,189 |  |

**APÊNDICE C - Tabela CN cenário 3**

| Sub-bacia | Tipo de solo       | Grupo hidrológico | Uso e ocupação     | Referência para definição CN                   | Grupo hidrológico adotado | CN | Área (km2) | Área de expansão – interseção | Área final | Área total subbacia (km2) | Área* CN | CN subbacia | IMP(%) | IMP* Área | IMP subbacia (%) |
|-----------|--------------------|-------------------|--------------------|--|---------------------------|----|------------|-------------------------------|------------|---------------------------|----------|-------------|--------|-----------|------------------|
| 4         | Cambissolo háplico | C                 | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim)    | C                         | 77 | 0,222      | 0,175                         | 0,047      | 0,771                     | 3,629    | 87,16       | 5      | 0,236     | 33,05            |
|           | Cambissolo háplico | C                 | Pastagem           | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C                         | 86 | 0,186      | 0,127                         | 0,059      |                           | 5,095    |             | 5      | 0,296     |                  |
|           | Cambissolo háplico | C                 | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | C                         | 70 | 0,019      | 0,019                         | 0,000      |                           | 0,000    |             | 5      | 0,000     |                  |
|           | Cambissolo háplico | C                 | ZIE                | CN – zoneamento BH                             | D                         | 90 | 0,020      |                               | 0,020      |                           | 1,757    |             | 80     | 1,562     |                  |
|           | Cambissolo         | C                 | ZAR2               | CN – zoneamento BH                             | D                         | 90 | 0,128      | 0,119                         | 0,247      |                           | 22,256   |             | 80     | 19,783    |                  |

|   |                    |       |                    |  |   |    |       |       |       |       |        |       |  |    |        |       |  |
|---|--------------------|-------|--------------------|--|---|----|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--|----|--------|-------|--|
|   | háplico            |       |                    |  |   |    |       |       |       |       |        |       |  |    |        |       |  |
|   | Cambissolo háplico | C     | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C | 86 | 0,195 | 0,182 | 0,377 |       | 32,382 |       |  | 5  | 1,883  |       |  |
|   | Cambissolo háplico | C     | Área urbana        | CN – zoneamento BH                             | C | 90 | 0,000 | 0,000 | 0,001 |       | 0,055  |       |  | 80 | 0,049  |       |  |
|   | Cambissolo háplico | C     | Vias               | TUCCI (Vias asfaltadas)                        | D | 98 |       | 0,021 | 0,021 |       | 2,065  |       |  | 80 | 1,686  |       |  |
|   | Cambissolo háplico | C     | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim)    | C | 77 | 0,075 | 0,075 | 0,000 |       | 0,002  |       |  | 5  | 0,000  |       |  |
|   | Cambissolo háplico | C     | Pastagem           | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C | 86 | 0,327 | 0,327 | 0,000 |       | 0,009  |       |  | 5  | 0,000  |       |  |
| 7 | Cambissolo háplico | C     | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | C | 70 | 0,062 | 0,062 | 0,000 | 1,266 | 0,000  | 85,97 |  | 5  | 0,000  |       |  |
|   | Neossolo lítico    | D     | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | D | 77 | 0,369 | 0,072 | 0,297 |       | 22,868 |       |  | 5  | 1,485  |       |  |
|   | Cambissolo háplico | C e D | ZAR2               | CN – zoneamento BH                             | D | 90 | 0,022 | 0,316 | 0,338 |       | 30,402 |       |  | 80 | 27,024 | 28,33 |  |

|   |                             |       |                    |  |   |    |       |       |       |        |  |       |    |       |  |  |       |
|---|-----------------------------|-------|--------------------|--|---|----|-------|-------|-------|--------|--|-------|----|-------|--|--|-------|
|   | o/Neossolítico              |       |                    |  |   |    |       |       |       |        |  |       |    |       |  |  |       |
|   | Cambissolúvico/Neossolítico | C e D | Vias               | TUCCI (vias asfaltadas)                        | D | 98 | 0,056 | 0,056 |       | 5,468  |  |       | 80 | 4,464 |  |  |       |
|   | Cambissolúvico              | C     | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C | 86 | 0,249 | 0,120 | 0,369 | 31,746 |  |       | 5  | 1,846 |  |  |       |
|   | Neossolítico                | D     | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | D | 89 | 0,162 | 0,044 | 0,206 | 18,308 |  |       | 5  | 1,029 |  |  |       |
| 8 | Cambissolúvico              | C     | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim)    | C | 77 | 0,094 | 0,073 | 0,021 | 1,634  |  |       | 5  | 0,106 |  |  |       |
|   | Neossolítico                | D     | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim)    | D | 83 | 0,011 |       | 0,011 | 0,902  |  |       | 5  | 0,054 |  |  |       |
|   | Cambissolúvico              | C     | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | C | 70 | 0,687 | 0,170 | 0,517 | 36,179 |  |       | 5  | 2,584 |  |  |       |
|   | Neossolo                    | D     | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | D | 77 | 0,992 | 0,070 | 0,922 | 71,013 |  |       | 5  | 4,611 |  |  | 12,37 |
|   |                             |       |                    |  |   |    |       |       |       | 1,783  |  | 77,17 |    |       |  |  |       |

|   |                                      |       |                    |  |   |    |      |       |       |       |        |       |  |  |  |      |        |
|---|--------------------------------------|-------|--------------------|--|---|----|------|-------|-------|-------|--------|-------|--|--|--|------|--------|
|   | litólico                             |       |                    |  |   |    |      |       |       |       |        |       |  |  |  |      |        |
|   | Cambissolo háplico/Neossolo litólico | C e D | ZAR2               | CN – zoneamento BH   | C | 90 |      | 0,149 | 0,149 |       | 13,398 |       |  |  |  | 80   | 11,909 |
|   | Cambissolo háplico/Neossolo litólico | C e D | Vias               | TUCCI (vias asfaltadas)  | D | 98 |      | 0,026 | 0,026 |       | 2,575  |       |  |  |  | 80   | 2,102  |
|   | Cambissolo háplico                   | C     | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições)                     | D | 86 |      | 0,091 | 0,091 |       | 7,847  |       |  |  |  | 5    | 0,456  |
|   | Neossolo litólico                    | D     | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições)                     |   | 89 |      | 0,046 | 0,046 |       | 4,081  |       |  |  |  | 5    | 0,229  |
| 9 | Cambissolo háplico                   | C     | Mosaico de usos    | TUCCI (zonas residenciais e pastagens ou terrenos em má condições) | C | 88 | 0,03 | 0,031 | 0,000 |       | 0,000  |       |  |  |  | 42,5 | 0,000  |
|   | Cambissolo háplico                   | C     | Formação campestre | TUCCI (bosques ou zonas com cobertura ruim)                        | C | 77 | 0,28 | 0,276 | 0,004 | 2,609 | 0,337  | 89,82 |  |  |  | 5    | 0,022  |

|                                      |       |                    |  |   |    |      |       |       |  |         |  |  |    |         |
|--------------------------------------|-------|--------------------|--|---|----|------|-------|-------|--|---------|--|--|----|---------|
| Cambissolo háplico                   | C     | Pastagem           | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | C | 86 | 0,02 | 0,022 | 0,000 |  | 0,000   |  |  | 5  | 0,000   |
| Cambissolo háplico                   | C     | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | C | 70 | 2,15 | 2,143 | 0,003 |  | 0,229   |  |  | 5  | 0,016   |
| Neossolo litólico                    | D     | Formação florestal | TUCCI (floresta com cobertura boa)             | D | 77 | 0,04 | 0,045 | 0,000 |  | 0,000   |  |  | 5  | 0,000   |
| Cambissolo háplico                   | C     | Área urbana        | CN – zoneamento BH                             | D | 90 | 0,08 | 1,855 | 0,085 |  | 7,650   |  |  | 80 | 6,800   |
| Cambissolo háplico/Neossolo litólico | C e D | ZAR2               | CN – zoneamento BH                             | D | 90 |      | 1,577 | 1,577 |  | 141,911 |  |  | 80 | 126,143 |
| Cambissolo háplico/Neossolo litólico | C e D | Vias               | TUCCI (vias asfaltadas)                        | D | 98 |      | 0,278 | 0,278 |  | 27,269  |  |  | 80 | 22,261  |
| Cambissolo                           | C     | ZPAM               | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | D | 86 |      | 0,641 | 0,641 |  | 55,132  |  |  | 5  | 3,205   |

|  |                   |   |      |  |   |    |       |       |  |       |  |   |       |  |
|--|-------------------|---|------|--|---|----|-------|-------|--|-------|--|---|-------|--|
|  | háplico           |   |      |  |   |    |       |       |  |       |  |   |       |  |
|  | Neossolo litólico | D | ZPAM | TUCCI (pastagens ou terrenos em más condições) | D | 89 | 0,020 | 0,020 |  | 1,769 |  | 5 | 0,099 |  |
|  |                   |   |      |  |   |    |       |       |  |       |  |   |       |  |

**APÊNDICE D -Tabela CN cenário 4**

| Sub-bacia | Tipo de solo       | Grupo hidrológico | Uso e ocupação | Referência para definição CN | CN | Área (km2) | Área total subbacia (km2) | Área*CN | CN subbacia | IMP(%) | IMP*Área | IMP subbacia (%) |
|-----------|--------------------|-------------------|----------------|------------------------------|----|------------|---------------------------|---------|-------------|--------|----------|------------------|
| 1         | Cambissolo háplico | C                 | ZUE            | CN – zoneamento BH           | 88 | 0,042      | 0,117                     | 3,74    | 83,15       | 80     | 3,40     | 66,47            |
|           | Cambissolo háplico | C                 | ZIM-2          | CN – zoneamento BH           | 92 | 0,019      |                           | 1,74    |             | 80     | 1,51     |                  |
|           | Cambissolo háplico | C                 | ZEIS-2         | CN – zoneamento BH           | 85 | 0,004      |                           | 0,32    |             | 70     | 0,26     |                  |
|           | Cambissolo háplico | C                 | ZAR-2          | CN – zoneamento BH           | 86 | 0,015      |                           | 1,26    |             | 80     | 1,18     |                  |
|           | Cambissolo háplico | C                 | ZEIS-1         | CN – zoneamento BH           | 85 | 0,004      |                           | 0,33    |             | 70     | 0,27     |                  |
|           | Cambissolo háplico | C                 | ZAR-3          | CN – zoneamento BH           | 87 | 0,004      |                           | 0,33    |             | 70     | 0,27     |                  |
|           | Cambissolo háplico | C                 | ZPAM-2         | CN – zoneamento BH           | 68 | 0,029      |                           | 1,99    |             | 30     | 0,88     |                  |

|                        |                        |        |                       |                       |       |       |       |       |   |       |      |    |      |
|------------------------|------------------------|--------|-----------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|---|-------|------|----|------|
| 2                      | Neossolo<br>lítolico   | D      | MZPA                  | CN –<br>zoneamento BH | 64    | 0,490 | 1,344 | 68,19 | 5 | 2,45  |      |    |      |
|                        | Cambisso<br>lo háplico | C      | ZAR-1a                | CN –<br>zoneamento BH | 86    | 0,004 |       |       |   |       | 0,37 | 80 | 0,34 |
|                        | Neossolo<br>lítolico   | D      | ZAR-1a                | CN –<br>zoneamento BH | 86    | 0,015 |       |       |   |       | 1,25 | 80 | 1,16 |
|                        | Cambisso<br>lo háplico | C      | ZUE                   | CN –<br>zoneamento BH | 88    | 0,003 |       |       |   |       | 0,26 | 80 | 0,24 |
|                        | Neossolo<br>lítolico   | D      | ZUE                   | CN –<br>zoneamento BH | 88    | 0,001 |       |       |   |       | 0,10 | 80 | 0,09 |
|                        | Cambisso<br>lo háplico | C      | ZIM-2                 | CN –<br>zoneamento BH | 92    | 0,033 |       |       |   |       | 3,02 | 80 | 2,62 |
|                        | Cambisso<br>lo háplico | C      | ZEIS-2                | CN –<br>zoneamento BH | 85    | 0,073 |       |       |   |       | 6,18 | 70 | 5,09 |
|                        | Neossolo<br>lítolico   | D      | ZEIS-2                | CN –<br>zoneamento BH | 85    | 0,019 |       |       |   |       | 1,62 | 70 | 1,33 |
|                        | Cambisso<br>lo háplico | C      | ZAR-2                 | CN –<br>zoneamento BH | 86    | 0,012 |       |       |   |       | 0,99 | 80 | 0,92 |
|                        | Neossolo<br>lítolico   | D      | ZAR-2                 | CN –<br>zoneamento BH | 86    | 0,001 |       |       |   |       | 0,06 | 80 | 0,05 |
|                        | Cambisso<br>lo háplico | C      | ZEIS-1                | CN –<br>zoneamento BH | 85    | 0,005 |       |       |   |       | 0,41 | 70 | 0,34 |
|                        | Neossolo<br>lítolico   | D      | ZEIS-1                | CN –<br>zoneamento BH | 85    | 0,029 |       |       |   |       | 2,46 | 70 | 2,03 |
|                        | Cambisso<br>lo háplico | C      | ZAR-5                 | CN –<br>zoneamento BH | 87    | 0,015 |       |       |   |       | 1,34 | 80 | 1,23 |
|                        | Neossolo<br>lítolico   | D      | ZAR-5                 | CN –<br>zoneamento BH | 87    | 0,038 |       |       |   |       | 3,28 | 80 | 3,01 |
|                        | Cambisso<br>lo háplico | C      | ZPAM-2                | CN –<br>zoneamento BH | 68    | 0,019 |       |       |   |       | 1,28 | 30 | 0,57 |
| Cambisso<br>lo háplico | C                      | ZPAM-1 | CN –<br>zoneamento BH | 64                    | 0,072 | 4,59  | 5     | 0,36  |   |       |      |    |      |
|                        |                        |        |                       |                       |       |       |       |       |   | 18,18 |      |    |      |

|   |                     |   |        |                       |    |       |       |       |       |    |       |       |
|---|---------------------|---|--------|-----------------------|----|-------|-------|-------|-------|----|-------|-------|
|   | Neossolo litólico   | D | ZPAM-1 | CN –<br>zoneamento BH | 64 | 0,516 |       | 33,03 |       | 5  | 2,58  |       |
| 3 | Cambisso lo háplico | C | ZAR-1a | CN –<br>zoneamento BH | 86 | 0,055 | 0,497 | 4,73  | 78,77 | 80 | 4,40  | 58,14 |
|   | Neossolo litólico   | D | ZAR-1a | CN –<br>zoneamento BH | 86 | 0,038 |       | 3,28  |       | 80 | 3,05  |       |
|   | Cambisso lo háplico | C | ZUE    | CN –<br>zoneamento BH | 88 | 0,016 |       | 1,41  |       | 80 | 1,28  |       |
|   | Cambisso lo háplico | C | ZIM-1  | CN –<br>zoneamento BH | 68 | 0,064 |       | 4,36  |       | 30 | 1,93  |       |
|   | Cambisso lo háplico | C | ZEIS-2 | CN –<br>zoneamento BH | 85 | 0,033 |       | 2,81  |       | 70 | 2,31  |       |
|   | Cambisso lo háplico | C | ZAR-2  | CN –<br>zoneamento BH | 86 | 0,139 |       | 11,94 |       | 80 | 11,11 |       |
|   | Cambisso lo háplico | C | ZEIS-1 | CN –<br>zoneamento BH | 85 | 0,022 |       | 1,86  |       | 70 | 1,53  |       |
|   | Cambisso lo háplico | C | ZAR-5  | CN –<br>zoneamento BH | 87 | 0,002 |       | 0,15  |       | 80 | 0,14  |       |
|   | Cambisso lo háplico | C | ZPAM-2 | CN –<br>zoneamento BH | 68 | 0,100 |       | 6,80  |       | 30 | 3,00  |       |
|   | Neossolo litólico   | D | ZPAM-2 | CN –<br>zoneamento BH | 68 | 0,000 |       | 0,02  |       | 30 | 0,01  |       |
|   | Cambisso lo háplico | C | ZPAM-1 | CN –<br>zoneamento BH | 64 | 0,028 |       | 1,79  |       | 5  | 0,14  |       |
| 4 | Cambisso lo háplico | C | MZDS   | CN –<br>zoneamento BH | 68 | 0,390 | 0,771 | 26,50 | 70,09 | 30 | 11,69 | 32,79 |
|   | Cambisso lo háplico | C | ZIM-1  | CN –<br>zoneamento BH | 68 | 0,088 |       | 5,97  |       | 30 | 2,63  |       |
|   | Cambisso lo háplico | C | ZAR-2  | CN –<br>zoneamento BH | 86 | 0,127 |       | 10,89 |       | 80 | 10,13 |       |
|   | Cambisso lo háplico | C | ZPAM-1 | CN –<br>zoneamento BH | 64 | 0,167 |       | 10,69 |       | 5  | 0,83  |       |

|   |                        |   |        |                       |    |       |       |        |       |    |       |       |
|---|------------------------|---|--------|-----------------------|----|-------|-------|--------|-------|----|-------|-------|
| 5 | Cambisso<br>lo háptico | C | ZAR-2  | CN –<br>zoneamento BH | 86 | 0,045 | 0,054 | 3,86   | 82,93 | 80 | 3,59  | 71,44 |
|   | Cambisso<br>lo háptico | C | ZPAM-2 | CN –<br>zoneamento BH | 68 | 0,009 |       | 0,62   |       | 30 | 0,27  |       |
|   | Cambisso<br>lo háptico | C | ZPAM-1 | CN –<br>zoneamento BH | 64 | 0,000 |       | 0,01   |       | 5  | 0,00  |       |
| 6 | Neossolo<br>lítolico   | D | MZPA   | CN –<br>zoneamento BH | 64 | 1,762 | 2,284 | 112,77 | 65,46 | 5  | 8,81  | 10,36 |
|   | Cambisso<br>lo háptico | C | ZAR-1a | CN –<br>zoneamento BH | 86 | 0,001 |       | 0,06   |       | 80 | 0,05  |       |
|   | Neossolo<br>lítolico   | D | ZAR-1a | CN –<br>zoneamento BH | 86 | 0,105 |       | 9,02   |       | 80 | 8,39  |       |
|   | Cambisso<br>lo háptico | C | ZAR-2  | CN –<br>zoneamento BH | 86 | 0,030 |       | 2,60   |       | 80 | 2,42  |       |
|   | Neossolo<br>lítolico   | D | ZAR-2  | CN –<br>zoneamento BH | 86 | 0,002 |       | 0,15   |       | 80 | 0,14  |       |
|   | Cambisso<br>lo háptico | C | ZPAM-2 | CN –<br>zoneamento BH | 68 | 0,033 |       | 2,27   |       | 30 | 1,00  |       |
|   | Neossolo<br>lítolico   | D | ZPAM-2 | CN –<br>zoneamento BH | 68 | 0,044 |       | 2,96   |       | 30 | 1,31  |       |
|   | Cambisso<br>lo háptico | C | ZPAM-1 | CN –<br>zoneamento BH | 64 | 0,005 |       | 0,30   |       | 5  | 0,02  |       |
|   | Neossolo<br>lítolico   | D | ZPAM-1 | CN –<br>zoneamento BH | 64 | 0,303 |       | 19,38  |       | 5  | 1,51  |       |
| 7 | Cambisso<br>lo háptico | C | MZDS   | CN –<br>zoneamento BH | 68 | 0,415 | 1,266 | 28,20  | 66,13 | 30 | 12,44 | 17,74 |
|   | Neossolo<br>lítolico   | D | MZDS   | CN –<br>zoneamento BH | 68 | 0,014 |       | 0,92   |       | 30 | 0,41  |       |
|   | Neossolo<br>lítolico   | D | MZPA   | CN –<br>zoneamento BH | 64 | 0,334 |       | 21,40  |       | 5  | 1,67  |       |
|   | Cambisso<br>lo háptico | C | ZAR-2  | CN –<br>zoneamento BH | 86 | 0,011 |       | 0,97   |       | 80 | 0,90  |       |

|   |                        |   |        |                       |    |       |       |        |       |    |       |       |
|---|------------------------|---|--------|-----------------------|----|-------|-------|--------|-------|----|-------|-------|
|   | Cambisso<br>lo háptico | C | ZPAM-2 | CN –<br>zoneamento BH | 68 | 0,165 |       | 11,19  |       | 30 | 4,94  |       |
|   | Neossolo<br>litólico   | D | ZPAM-2 | CN –<br>zoneamento BH | 68 | 0,018 |       | 1,25   |       | 30 | 0,55  |       |
|   | Cambisso<br>lo háptico | C | ZPAM-1 | CN –<br>zoneamento BH | 64 | 0,144 |       | 9,23   |       | 5  | 0,72  |       |
|   | Neossolo<br>litólico   | D | ZPAM-1 | CN –<br>zoneamento BH | 64 | 0,165 |       | 10,54  |       | 5  | 0,82  |       |
| 8 | Cambisso<br>lo háptico | C | MZDS   | CN –<br>zoneamento BH | 68 | 0,061 | 1,783 | 4,13   | 64,14 | 30 | 1,82  | 5,85  |
|   | Cambisso<br>lo háptico | C | MZPA   | CN –<br>zoneamento BH | 64 | 0,720 |       | 46,08  |       | 5  | 3,60  |       |
|   | Neossolo<br>litólico   | D | MZPA   | CN –<br>zoneamento BH | 64 | 1,003 |       | 64,18  |       | 5  | 5,01  |       |
| 9 | Cambisso<br>lo háptico | C | MZDS   | CN –<br>zoneamento BH | 68 | 1,707 | 2,609 | 116,05 | 67,03 | 30 | 51,20 | 22,79 |
|   | Neossolo<br>litólico   | D | MZDS   | CN –<br>zoneamento BH | 68 | 0,008 |       | 0,52   |       | 30 | 0,23  |       |
|   | Cambisso<br>lo háptico | C | MZPA   | CN –<br>zoneamento BH | 64 | 0,810 |       | 51,87  |       | 5  | 4,05  |       |
|   | Neossolo<br>litólico   | D | MZPA   | CN –<br>zoneamento BH | 64 | 0,037 |       | 2,38   |       | 5  | 0,19  |       |
|   | Cambisso<br>lo háptico | C | ZAR-1a | CN –<br>zoneamento BH | 86 | 0,048 |       | 4,09   |       | 80 | 3,80  |       |

#### APÊNDICE E - Chuvas de projeto discretização

| TR25 - 60 minutos |              |       |        |                    |          |
|-------------------|--------------|-------|--------|--------------------|----------|
| % da Duração      | (2º Quartil) | t (h) | t(min) | PPT acumulada (mm) | PPT (mm) |
| 0,00              | 0,00         | 0,00  | 0      | 0,00               | 0,00     |
| 5,00              | 0,03         | 0,05  | 3      | 1,50               | 1,50     |

|        |      |      |    |       |       |
|--------|------|------|----|-------|-------|
| 10,00  | 0,08 | 0,10 | 6  | 4,00  | 2,50  |
| 15,00  | 0,12 | 0,15 | 9  | 6,00  | 2,00  |
| 20,00  | 0,16 | 0,20 | 12 | 8,00  | 2,00  |
| 25,00  | 0,22 | 0,25 | 15 | 10,99 | 3,00  |
| 30,00  | 0,29 | 0,30 | 18 | 14,49 | 3,50  |
| 35,00  | 0,39 | 0,35 | 21 | 19,49 | 5,00  |
| 40,00  | 0,51 | 0,40 | 24 | 25,49 | 6,00  |
| 45,00  | 0,62 | 0,45 | 27 | 30,99 | 5,50  |
| 50,00  | 0,70 | 0,50 | 30 | 34,98 | 4,00  |
| 55,00  | 0,76 | 0,55 | 33 | 37,98 | 3,00  |
| 60,00  | 0,81 | 0,60 | 36 | 40,48 | 2,50  |
| 65,00  | 0,85 | 0,65 | 39 | 42,48 | 2,00  |
| 70,00  | 0,88 | 0,70 | 42 | 43,98 | 1,50  |
| 75,00  | 0,91 | 0,75 | 45 | 45,48 | 1,50  |
| 80,00  | 0,93 | 0,80 | 48 | 46,48 | 1,00  |
| 85,00  | 0,95 | 0,85 | 51 | 47,48 | 1,00  |
| 90,00  | 0,97 | 0,90 | 54 | 48,48 | 1,00  |
| 95,00  | 0,99 | 0,95 | 57 | 49,48 | 1,00  |
| 100,00 | 1,00 | 1,00 | 60 | 49,98 | 0,50  |
|        |      |      |    | Total | 49,98 |

| TR25 - 90 minutos |              |       |         |                    |      |
|-------------------|--------------|-------|---------|--------------------|------|
| % da Duração      | (2° Quartil) | t (h) | t (min) | PPT acumulada (mm) | PPT  |
| 0,00              | 0,00         | 0,00  | 0,00    | 0,00               | 0,00 |
| 5,00              | 0,03         | 0,08  | 4,50    | 1,71               | 1,71 |
| 10,00             | 0,08         | 0,15  | 9,00    | 4,55               | 2,85 |
| 15,00             | 0,12         | 0,23  | 13,50   | 6,83               | 2,28 |
| 20,00             | 0,16         | 0,30  | 18,00   | 9,11               | 2,28 |

|        |      |      |       |       |       |
|--------|------|------|-------|-------|-------|
| 25,00  | 0,22 | 0,38 | 22,50 | 12,52 | 3,42  |
| 30,00  | 0,29 | 0,45 | 27,00 | 16,51 | 3,98  |
| 35,00  | 0,39 | 0,53 | 31,50 | 22,20 | 5,69  |
| 40,00  | 0,51 | 0,60 | 36,00 | 29,03 | 6,83  |
| 45,00  | 0,62 | 0,68 | 40,50 | 35,29 | 6,26  |
| 50,00  | 0,70 | 0,75 | 45,00 | 39,85 | 4,55  |
| 55,00  | 0,76 | 0,83 | 49,50 | 43,26 | 3,42  |
| 60,00  | 0,81 | 0,90 | 54,00 | 46,11 | 2,85  |
| 65,00  | 0,85 | 0,98 | 58,50 | 48,39 | 2,28  |
| 70,00  | 0,88 | 1,05 | 63,00 | 50,09 | 1,71  |
| 75,00  | 0,91 | 1,13 | 67,50 | 51,80 | 1,71  |
| 80,00  | 0,93 | 1,20 | 72,00 | 52,94 | 1,14  |
| 85,00  | 0,95 | 1,28 | 76,50 | 54,08 | 1,14  |
| 90,00  | 0,97 | 1,35 | 81,00 | 55,22 | 1,14  |
| 95,00  | 0,99 | 1,43 | 85,50 | 56,35 | 1,14  |
| 100,00 | 1,00 | 1,50 | 90,00 | 56,92 | 0,57  |
|        |      |      |       | Total | 56,92 |

| TR50 - 60minutos |              |       |                    |          |
|------------------|--------------|-------|--------------------|----------|
| % da Duração     | (2° Quartil) | t (h) | PPT acumulada (mm) | PPT (mm) |
| 0,00             | 0,00         | 0,00  | 0,00               | 0,00     |
| 5,00             | 0,03         | 0,05  | 1,65               | 1,65     |
| 10,00            | 0,08         | 0,10  | 4,41               | 2,76     |
| 15,00            | 0,12         | 0,15  | 6,61               | 2,20     |
| 20,00            | 0,16         | 0,20  | 8,82               | 2,20     |
| 25,00            | 0,22         | 0,25  | 12,12              | 3,31     |
| 30,00            | 0,29         | 0,30  | 15,98              | 3,86     |

|        |      |      |       |       |
|--------|------|------|-------|-------|
| 35,00  | 0,39 | 0,35 | 21,49 | 5,51  |
| 40,00  | 0,51 | 0,40 | 28,10 | 6,61  |
| 45,00  | 0,62 | 0,45 | 34,16 | 6,06  |
| 50,00  | 0,70 | 0,50 | 38,57 | 4,41  |
| 55,00  | 0,76 | 0,55 | 41,88 | 3,31  |
| 60,00  | 0,81 | 0,60 | 44,63 | 2,76  |
| 65,00  | 0,85 | 0,65 | 46,84 | 2,20  |
| 70,00  | 0,88 | 0,70 | 48,49 | 1,65  |
| 75,00  | 0,91 | 0,75 | 50,14 | 1,65  |
| 80,00  | 0,93 | 0,80 | 51,25 | 1,10  |
| 85,00  | 0,95 | 0,85 | 52,35 | 1,10  |
| 90,00  | 0,97 | 0,90 | 53,45 | 1,10  |
| 95,00  | 0,99 | 0,95 | 54,55 | 1,10  |
| 100,00 | 1,00 | 1,00 | 55,10 | 0,55  |
|        |      |      | Total | 55,10 |

| TR50 - 90 minutos |              |       |               |      |
|-------------------|--------------|-------|---------------|------|
| % da Duração      | (2° Quartil) | t (h) | PPT acumulada | PPT  |
| 0,00              | 0,00         | 0,00  | 0,00          | 0,00 |
| 5,00              | 0,03         | 0,08  | 1,88          | 1,88 |
| 10,00             | 0,08         | 0,15  | 5,02          | 3,14 |
| 15,00             | 0,12         | 0,23  | 7,53          | 2,51 |
| 20,00             | 0,16         | 0,30  | 10,04         | 2,51 |
| 25,00             | 0,22         | 0,38  | 13,81         | 3,77 |
| 30,00             | 0,29         | 0,45  | 18,20         | 4,39 |
| 35,00             | 0,39         | 0,53  | 24,48         | 6,28 |
| 40,00             | 0,51         | 0,60  | 32,01         | 7,53 |
| 45,00             | 0,62         | 0,68  | 38,91         | 6,90 |

|        |      |      |       |       |
|--------|------|------|-------|-------|
| 50,00  | 0,70 | 0,75 | 43,93 | 5,02  |
| 55,00  | 0,76 | 0,83 | 47,70 | 3,77  |
| 60,00  | 0,81 | 0,90 | 50,83 | 3,14  |
| 65,00  | 0,85 | 0,98 | 53,34 | 2,51  |
| 70,00  | 0,88 | 1,05 | 55,23 | 1,88  |
| 75,00  | 0,91 | 1,13 | 57,11 | 1,88  |
| 80,00  | 0,93 | 1,20 | 58,36 | 1,26  |
| 85,00  | 0,95 | 1,28 | 59,62 | 1,26  |
| 90,00  | 0,97 | 1,35 | 60,87 | 1,26  |
| 95,00  | 0,99 | 1,43 | 62,13 | 1,26  |
| 100,00 | 1,00 | 1,50 | 62,76 | 0,63  |
|        |      |      | Total | 62,76 |