



**UFOP**



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

---



**ESCOLA DE MINAS**

**Guilherme Dantas Braga**

**ESTUDO HIDROLÓGICO DA SUB-BACIA DO CÓRREGO  
CARIOCA, EM ITABIRITO - MG: OS IMPACTOS DO TIPO,  
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL**

Ouro Preto

2025

ESTUDO HIDROLÓGICO DA SUB-BACIA DO CÓRREGO CARIOCA, EM  
ITABIRITO - MG: OS IMPACTOS DO TIPO, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO  
ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Guilherme Dantas Braga

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

Áreas de concentração: Saneamento e Recursos Hídricos e Geotecnia

Orientador: Prof<sup>a</sup>. D.Sc. Aline de Araújo Nunes - UFOP

Coorientador: Prof<sup>a</sup>. M.Sc. Laís de Carvalho Faria Lima Lopes

Ouro Preto

2025

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

B813e Braga, Guilherme Dantas.

Estudo hidrológico da sub-bacia do Córrego Carioca, em Itabirito - MG  
[manuscrito]: os impactos do tipo, uso e ocupação do solo no  
escoamento superficial. / Guilherme Dantas Braga. - 2025.  
102 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Aline de Araújo Nunes.

Coorientadora: Profa. Ma. Laís de Carvalho Faria Lima Lopes.

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

1. Geografia- Processamento de dados. 2. Solos- Escoamento. 3.  
Controle de inundações. I. Nunes, Aline de Araújo. II. Lopes, Laís de  
Carvalho Faria Lima. 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

**Guilherme Dantas Braga**

**Estudo hidrológico da sub-bacia do córrego Carioca, em Itabirito - MG: os impactos do tipo, uso e ocupação do solo no escoamento superficial**

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

Aprovada em 28 de agosto de 2025

### Membros da banca

Doutora - Aline de Araújo Nunes - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Mestre - Laís de Carvalho Faria Lima Lopes - Coorientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Doutor - Deyvid Wavel Barreto Rosa (Universidade Federal de Minas Gerais)  
Engenheiro - Cláudio Daiwison Pereira de Sousa (Defesa Civil de Itabirito)

Aline de Araújo Nunes, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 01/10/2025



Documento assinado eletronicamente por **Aline de Araujo Nunes, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/10/2025, às 17:57, 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 **0988396** e o código CRC **63E077DB**.

*“Foi o tempo que dedicaste à tua rosa que a fez tão importante.”*

*— Antoine de Saint-Exupéry, O Pequeno Príncipe*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me abençoar e sustentar em cada etapa desta caminhada, mesmo nos momentos mais desafiadores.

Manifesto a minha gratidão à toda minha família, meu alicerce constante, pelo amor e apoio em todas as fases da minha vida. Em especial, agradeço aos meus pais e à minha irmã, por nunca me deixarem sozinho e por todo suporte, inclusive nas etapas práticas deste trabalho.

Às professoras Aline de Araújo Nunes e Laís de Carvalho Faria Lima Lopes, pela orientação, atenção e incentivo ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Estendo meus agradecimentos a todos os professores do Departamento de Engenharia Urbana – DEURB, pela formação sólida e pelos ensinamentos compartilhados ao longo do curso.

Sou também grato a todos os meus amigos, em especial aos que estiveram ao meu lado durante essa jornada, ao meu amigo Fernando, pela companhia e ajuda na visita de campo, ao João Victor, pelo apoio durante os períodos em que estive em Ouro Preto para realizar o projeto.

Agradeço ainda aos laboratoristas Diogo e Breno, do NUGEO, pelo suporte nos ensaios laboratoriais e pela disposição em compartilhar conhecimento, contribuindo para minha formação prática.

À Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), à Escola de Minas e ao Núcleo de Geotecnia (NUGEO), meu reconhecimento e gratidão pelas oportunidades de aprendizado e disponibilização de estrutura ao longo da graduação.

Por fim, agradeço a todos os colegas que fizeram parte dessa trajetória acadêmica, pelas trocas, pelos momentos compartilhados e pelas amizades construídas ao longo desses anos, laços que levarei para a vida.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigado.

## RESUMO

A sub-bacia do Córrego Carioca, localizada em Itabirito (MG), enfrenta problemas recorrentes de inundações, especialmente em trechos canalizados e áreas de cotas mais baixas, como a Rua da Carioca. O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência do tipo, uso e ocupação do solo na geração de escoamento superficial e no risco de inundações, considerando três cenários de caracterização de solos: dados do IDE-SISEMA, dados do IBGE e ensaios laboratoriais. Foram realizados trabalhos de campo para análise tátil-visual e coleta de amostras, seguidos de ensaios granulométricos, que permitiram a definição dos grupos hidrológicos e dos valores de Curve Number (CN) médios por sub-bacia, além da definição dos CN's por meio da caracterização das bases georreferenciadas. Os resultados indicaram predominância de solos com baixa capacidade de infiltração, refletindo valores elevados de CN, o que aumenta o potencial de escoamento superficial. A modelagem hidrológica, desenvolvida no HEC-HMS, considerou uma chuva de 150 minutos para tempos de retorno (TR) de 10, 25 e 50 anos. Comparando-se os cenários, verificou-se que, no cenário IDE-SISEMA/Laboratório, as vazões de pico coincidiram de 67,2 m<sup>3</sup>/s, 83,5 m<sup>3</sup>/s e 96,9 m<sup>3</sup>/s para TR de 10, 25 e 50 anos, respectivamente, representando aumentos de aproximadamente 24,3% entre 10 e 25 anos e de 16,0% entre 25 e 50 anos. Já no cenário IBGE, as vazões máximas foram de 5,2 m<sup>3</sup>/s, 5,9 m<sup>3</sup>/s e 6,5 m<sup>3</sup>/s, com incrementos mais discretos de cerca de 13,5% e 10,2% nos mesmos intervalos. Tais resultados evidenciam que a caracterização laboratorial, se igualando aos dados do IDE-SISEMA, apresentaram os maiores valores de CN e, conseqüentemente, maiores vazões de pico. Tais resultados reforçam a importância de incorporar análises de campo e ensaios diretos para obtenção de parâmetros hidrológicos mais realistas.

Palavras-chaves: Curve Number, solo, escoamento superficial, geoprocessamento.

## ABSTRACT

The Córrego Carioca sub-basin, located in Itabirito (MG), faces recurrent flooding problems, especially in channelized stretches and low-lying areas such as Rua da Carioca. This study aimed to evaluate the influence of soil type, land use, and land cover on surface runoff generation and flood risk, considering three soil characterization scenarios: IDE-SISEMA data, IBGE data, and laboratory tests. Fieldwork was conducted for tactile-visual analysis and sample collection, followed by particle size tests, which allowed the definition of hydrological soil groups and average Curve Number (CN) values for each sub-basin, in addition to CN values derived from georeferenced data sources. The results indicated a predominance of soils with low infiltration capacity, reflected in high CN values, which increase the potential for surface runoff. Hydrological modeling, developed in HEC-HMS, considered a 150-minute rainfall event for return periods (TR) of 10, 25, and 50 years. Comparing the scenarios, in the IDE-SISEMA/Laboratory case, peak discharges reached 67.2 m<sup>3</sup>/s, 83.5 m<sup>3</sup>/s, and 96.9 m<sup>3</sup>/s for TR of 10, 25, and 50 years, respectively, representing increases of approximately 24.3% between 10 and 25 years and 16.0% between 25 and 50 years. In the IBGE scenario, however, peak flows were 5.2 m<sup>3</sup>/s, 5.9 m<sup>3</sup>/s, and 6.5 m<sup>3</sup>/s, with smaller increments of about 13.5% and 10.2% over the same intervals. These findings show that laboratory characterization, consistent with IDE-SISEMA data, presented the highest CN values and, consequently, the highest peak discharges. The results reinforce the importance of incorporating field analyses and direct testing to obtain more realistic hydrological parameters.

Keywords: Curve Number, soil, surface runoff, geoprocessing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero .....	22
Figura 2: Representação do escoamento na bacia no HEC-HMS .....	30
Figura 3: Fluxograma metodológico.....	34
Figura 4: Localização da área de estudo em relação ao município de Itabirito ..	35
Figura 5: Delimitação da sub-bacia evidenciando a vegetação densa .....	36
Figura 6: Pontos mapeados na sub-bacia durante análise de solo .....	38
Figura 7: Amostras depositadas para secagem.....	39
Figura 8: Destorroamento das amostras de solo .....	40
Figura 9: Ensaio de densidade real (GS) utilizando a bomba a vácuo .....	41
Figura 10: Separação do material das amostras em fração grossa e fração fina por peneiramento .....	41
Figura 11: Ensaio de sedimentação da fração fina das amostras de solo .....	42
Figura 12: Peneiramento das amostras de solo.....	43
Figura 13: Valores de CN para áreas urbanas e suburbanas (Tucci, 1993). .....	45
Figura 14: Divisão e enumeração das sub-bacias hidrográficas do Córrego Carioca.....	46
Figura 15: Representação da sub-bacia do Córrego Carioca no software HEC-HMS .....	51
Figura 16: Mapa da hidrografia da área de interesse .....	53
Figura 17: Localização da Rua da Carioca, Bairro Santa Rita, Itabirito - Minas Gerais.....	54
Figura 18: Rua da Carioca, no dia 06 de janeiro de 2024, após evento de chuva intensa.....	55

Figura 19: Mapa de solos da sub-bacia do Córrego Carioca pelo IDE Sisema (2010).....	60
Figura 20: Mapa de solos da sub-bacia do Córrego Carioca pelo IBGE (2006) .	61
Figura 21: Determinação do uso e ocupação do solo na sub-bacia .....	62
Figura 22: Hidrograma de cheias referente ao TR de 10 anos .....	67
Figura 23: Hidrograma de cheias referente ao TR de 25 anos .....	67
Figura 24: Hidrograma de cheias referente ao TR de 50 anos .....	68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Grupo de solos e características do solo .....	44
Tabela 2: Parâmetros físicos das sub-bacias do Córrego Carioca .....	47
Tabela 3: Parâmetros da equação IDF para o município de Itabirito .....	50
Tabela 4: Chuvas efetivas de 60, 90, 120 150 e 180 minutos, para Tempos de Retorno de 10, 25 e 50 anos no município de Itabirito - MG .....	50
Tabela 5: Resumo dos resultados obtidos nas análises de campo .....	57
Tabela 6: Resumo do resultado dos ensaios granulométricos - Fração fina .....	59
Tabela 7: Determinação do uso e ocupação do solo na sub-bacia.....	63
Tabela 8: Definição do CN médio com dados do IDE-SISEMA (Cenário 1) .....	64
Tabela 9: Definição do CN médio com dados do IBGE (Cenário 2) .....	64
Tabela 10: Definição do CN médio com dados dos ensaios laboratoriais (Cenário 3).....	65
Tabela 11: Resumo das vazões de pico em cada cenário.....	66

## LISTA DE SIGLAS

ABC 6 – Análise de Bacias Complexas

CN - *Curve Number*

HEC-HMS - *Hydrologic Modeling System*

HEC-RAS - *River Analysis Systems*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Lag - *Lag Time*

LIDs - *Low Impact Development*

NRCS - *Natural Resource Conservation Services*

SWAT - *Soil and Water Assessment Tool*

SWMM - *Storm Water Management Model*

TR – Tempo de Retorno

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1	Justificativa .....	16
1.2	Objetivo.....	17
1.2.1	Objetivos Específicos .....	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
2.1	Os impactos das características do solo no escoamento superficial ...	19
2.2	Características gerais do tipo de solo da área de estudo .....	21
2.3	Influência da urbanização no sistema de drenagem.....	23
2.4	Modelagem hidrológica.....	26
2.4.1	Modelo HEC-HMS.....	29
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
3.1	Caracterização da área de estudo.....	34
3.2	Classificação do solo na área de estudos.....	35
3.3	Levantamento de dados em campo e coleta de amostras.....	36
3.4	Análise granulométrica das amostras em laboratório .....	39
3.5	Definição dos grupos hidrológicos e CN das sub-bacias.....	43
3.6	Elaboração do modelo hidrológico para a sub-bacia do Córrego Carioca 45	
3.6.1	Cálculo das áreas das sub-bacias.....	46
3.6.2	Cálculo do tempo de concentração .....	47
3.6.3	Cálculo do CN Médio .....	48
3.6.4	Cálculo da Chuva de Projeto.....	49

3.6.5	Construção do modelo hidrológico .....	51
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>56</b>
5.1	Levantamento de dados em campo e coleta de amostras.....	56
5.2	Análise granulométrica das amostras em laboratório .....	58
5.3	Classificação do solo da sub-bacia do Córrego Carioca por geoprocessamento de dados.....	59
5.4	Definição dos grupos hidrológicos e CN das sub-bacias .....	62
5.5	Modelagem Hidrológica .....	66
<b>6</b>	<b>DISCUSSÕES .....</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>72</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS .....</b>	<b>74</b>
	<b>APÊNDICE A – DISCRETIZAÇÃO DAS CHUVAS.....</b>	<b>79</b>
	<b>APÊNDICE B – ANÁLISE DE CAMPO.....</b>	<b>84</b>
	<b>APÊNDICE C – ENSAIOS DE LABORATÓRIO .....</b>	<b>89</b>
	C.1 Ensaio de Densidade Real dos Grãos .....	89
	C.2 Ensaio Granulométrico.....	94
	<b>APÊNDICE D – HIDROGRAMAS DE CHEIAS .....</b>	<b>99</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, observa-se uma intensificação e alteração no padrão dos eventos climáticos, afetando diretamente áreas urbanas e as populações que nelas residem. No contexto brasileiro, um dos principais desafios é a ocorrência de chuvas extremas, que geram grandes volumes de escoamento superficial nas bacias hidrográficas e, conseqüentemente, elevam os níveis dos rios, provocando inundações em áreas de cotas mais baixas (ANA, 2021).

A expansão urbana desordenada agrava essa problemática ao aumentar a impermeabilização do solo, elevando significativamente os volumes de escoamento pluvial e alterando o equilíbrio natural do regime hidrológico (Tucci, 2008). Sem um planejamento adequado e integrado, o resultado é a ampliação da vulnerabilidade das cidades frente a eventos extremos. Nesse cenário, compreender a relação entre urbanização e as características físicas das bacias hidrográficas torna-se essencial para a gestão de riscos de inundações e alagamentos.

Modelos hidrológicos, especialmente quando associados a técnicas de geoprocessamento, têm se consolidado como ferramentas importantes para simular o comportamento do escoamento superficial sob diferentes cenários de precipitação. Entretanto, a confiabilidade dessas simulações depende fortemente da correta definição de parâmetros de entrada, como o Curve Number (CN) (Tucci, 2008; Ferreira et al., 2020). Esse índice, amplamente utilizado no método desenvolvido pelo *Natural Resource Conservation Services* (NRCS), NRCS-CN, é sensível a incertezas na classificação do uso e ocupação do solo e, principalmente, na identificação e caracterização do tipo de solo. Erros ou generalizações excessivas nessas variáveis podem levar a estimativas imprecisas de vazão, comprometendo o dimensionamento e a eficiência das soluções de drenagem.

Um exemplo recente da gravidade dos impactos de chuvas extremas ocorreu no Rio Grande do Sul, entre abril e maio de 2024, no maior desastre climático da história do estado. Mais de 90 % dos municípios foram afetados, com acumulados de chuva acima de 500 mm em apenas cinco dias, elevando o nível do Lago Guaíba a 5,35 m

— ultrapassando recordes de 1941 — e causando centenas de mortes, além de prejuízos econômicos e sociais sem precedentes (Marengo et al., 2024).

Em escala menor, mas ainda significativa no contexto local, o município de Itabirito (MG) enfrenta desafios recorrentes associados a eventos de chuvas intensas. Na sub-bacia do Córrego Carioca, a ausência de um sistema de drenagem dimensionado para a demanda real de escoamento, aliada às características específicas do uso e ocupação do solo e do tipo de solo predominante, tem favorecido o aumento da frequência e intensidade de inundações. Segundo a Defesa Civil municipal, esses eventos têm gerado prejuízos financeiros e impactos diretos à população.

Diante disso, este estudo busca avaliar como o uso, a ocupação e, sobretudo, o tipo de solo influenciam a geração de escoamento superficial na bacia do Córrego Carioca, em Itabirito (MG), por meio da elaboração de um modelo hidrológico representativo. O objetivo é fornecer subsídios técnicos para o planejamento de intervenções que minimizem os riscos de enchentes e melhorem a resiliência da região frente a eventos extremos.

## **1.1 Justificativa**

A crescente incidência de eventos climáticos extremos tem intensificado os impactos sobre áreas urbanas, evidenciando a necessidade de compreender de forma mais precisa os fatores que influenciam a ocorrência de inundações. Entre esses fatores, destaca-se o aumento do escoamento superficial, frequentemente associado a condições geotécnicas desfavoráveis e à expansão urbana desordenada, que promove a impermeabilização progressiva do solo e altera o balanço hídrico natural.

O uso e, sobretudo, o tipo de solo exercem influência direta na quantidade e na velocidade do escoamento superficial, sendo variáveis fundamentais para a determinação do Curve Number (CN) em modelos hidrológicos baseados no método NRCS-CN. No entanto, incertezas na classificação do uso e ocupação do solo e na identificação das classes de solo podem resultar em valores de CN imprecisos,

comprometendo as estimativas de vazão e, conseqüentemente, o dimensionamento de sistemas de drenagem e obras de controle de cheias.

A incorporação de informações geotécnicas detalhadas à modelagem hidrológica contribui para uma representação mais fiel da bacia, permitindo que órgãos públicos — em especial a Defesa Civil municipal — aprimorem as estratégias de monitoramento, alerta e resposta a desastres.

Nesse contexto, torna-se essencial desenvolver modelos hidrológicos capazes de simular o comportamento da bacia sob diferentes cenários de uso e ocupação do solo, tipos de solo e intensidades de precipitação, a fim de subsidiar intervenções preventivas e tecnicamente adequadas. Esta pesquisa aplica essa abordagem à sub-bacia do Córrego Carioca, localizada em Itabirito (MG), que enfrenta de forma recorrente problemas de inundações, demandando soluções específicas de planejamento e gestão.

## **1.2 Objetivo**

Objetiva-se com este trabalho compreender o impacto do tipo, uso e ocupação do solo na formação do escoamento superficial na bacia do Córrego Carioca em Itabirito - MG, por meio da análise de dados hidrológicos e geotécnicos.

### **1.2.1 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos, tem-se:

- Caracterizar a área de estudo quanto aos aspectos físicos, geotécnicos e hidrológicos relevantes à modelagem.
- Realizar visitas de campo para levantamento fotográfico e aplicação de análise tátil-visual do solo, complementando a caracterização geotécnica.
- Determinar os valores de Curve Number (CN) a serem atribuídos às sub-bacias, integrando resultados de ensaios granulométricos do solo com a classificação do uso e ocupação do solo.

- Desenvolver um modelo hidrológico representativo para a bacia, incorporando cenários comparativos obtidos a partir de diferentes metodologias de classificação do solo.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A presente revisão de literatura foi estruturada de forma a contextualizar e fundamentar os elementos essenciais para o desenvolvimento deste estudo, seguindo uma sequência que parte dos fatores físicos naturais até os aspectos aplicados de modelagem hidrológica. Inicialmente, aborda-se a influência das características do solo e do relevo no escoamento superficial, considerando sua interação com as propriedades geotécnicas e hidrológicas, fundamentais para a infiltração e a geração de deflúvio. Em seguida, são apresentadas as características geológicas e pedológicas da área de estudo, com ênfase na classificação hidrológica dos solos e sua adequação ao método do Curve Number (CN). Na sequência, discute-se a influência da urbanização sobre o sistema de drenagem, destacando o papel da impermeabilização e da ocupação desordenada no aumento das vazões de pico e na intensificação de inundações. Por fim, introduzem-se os principais conceitos e ferramentas de modelagem hidrológica, com destaque para o modelo HEC-HMS, detalhando seus componentes, a aplicação do CN, a propagação de vazão e o processo de transformação chuva–vazão, estabelecendo, assim, a base teórica e conceitual que sustentou a metodologia deste trabalho.

### **2.1 Os impactos das características do solo no escoamento superficial**

A interação entre solo e relevo tem uma grande influência no escoamento da água. De acordo com Guerra e Cunha (2009), as relações entre a formação do terreno e as características dos solos são determinantes na dinâmica da água no planeta. O relevo local afeta diretamente as condições hídricas do solo, impactando principalmente nas características e propriedades do solo. A capacidade de infiltração de água do terreno pode ser analisada com base nos estudos geotécnicos de uma determinada região, que demonstram efetivamente a maneira como o solo irá se comportar à medida que a água proveniente da chuva ocupa os vazios existentes nas camadas (Pinto, 2006).

Solos originados a partir de rochas mais resistentes, ou que passaram por processos intensos de intemperismo, tendem a apresentar maior teor de argila ou estruturas compactadas, que dificultam a infiltração. Já solos mais jovens, formados a partir de arenitos ou com intensa atividade biológica, podem apresentar maior porosidade e, conseqüentemente, maior capacidade de absorção (Oliveira et. al., 2017).

De acordo com Cavalcanti Júnior (2016), o estudo detalhado da interação entre água e solo mostra que as características da estrutura, juntamente com o uso e ocupação sem planejamento prévio que conseqüentemente gera uma grande alteração na cobertura da terra, podem resultar na diminuição da infiltração da água no solo, um processo que já é naturalmente lento. Isso, por sua vez, influencia diretamente o potencial de escoamento superficial.

Sendo assim, ao visar estudar a água que esco superficialmente dentro de uma bacia hidrográfica, é importante entender as formações geológicas, contudo, as camadas mais superficiais, ou seja, o solo já formado, apresenta interações mais significativas com o estudo da interação água e solo, por se tratar das camadas mais superficiais da litosfera terrestre.

Na hidrologia, a classificação dos solos está diretamente associada à sua suscetibilidade à erosão e à geração de escoamento superficial. Segundo Musgrave (1955), os solos podem ser agrupados em quatro classes, de A a D. O grupo A corresponde a solos com baixo potencial de escoamento e alta capacidade de infiltração, geralmente de textura mais arenosa. O grupo B apresenta infiltração moderada, enquanto o grupo C possui baixa infiltração. Já o grupo D reúne solos com muito baixa capacidade de infiltração e elevado potencial de escoamento, predominando materiais de textura argilosa.

Um dos primeiros trabalhos nessa área feitos no Brasil, foi realizado por Setzer e Porto, em 1979, que buscaram adaptar a classificação hidrológica do *Natural Resource Conservation Services* (NRCS) dos Estados Unidos às condições do Estado de São Paulo. Com base nas informações disponíveis na época, como estudos geológicos e pedológicos, os autores propuseram cinco grupos hidrológicos para os

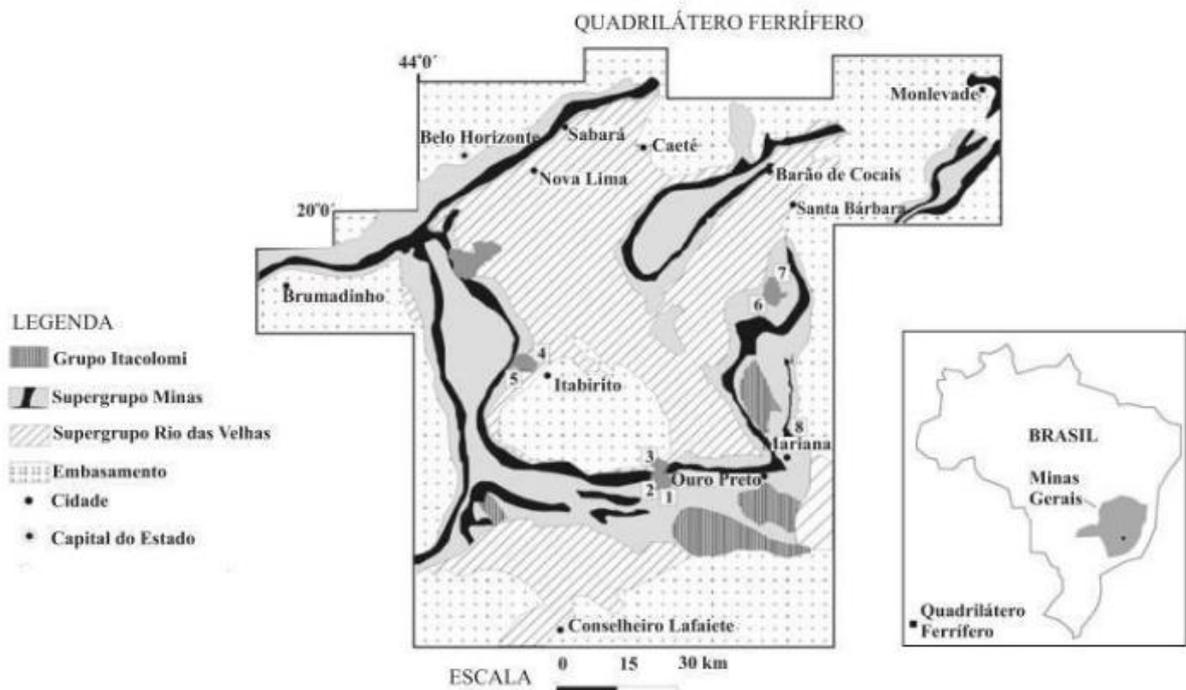
solos da região, o que permitiu maior compatibilidade entre os modelos hidrológicos importados e as características dos solos tropicais brasileiros.

Diante do exposto, é notório que o solo influencia diretamente na infiltração de água, impactando no ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica. Contudo, é importante associar essas informações com o uso e ocupação do solo, para uma melhor representação da situação real em cada região.

## **2.2 Características gerais do tipo de solo da área de estudo**

No estado de Minas Gerais, destaca-se o Quadrilátero Ferrífero como uma área de grande relevância para estudos, sobretudo em função de seu expressivo potencial de exploração mineral. Localizado na região central do estado, o Quadrilátero Ferrífero abrange diversos municípios, incluindo Itabirito. A Figura 1, adaptada de Varajão (2009), apresenta sua localização no contexto mineiro, indicando também algumas cidades da região e a distribuição dos principais tipos e grupos geológicos.

Figura 1: Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero



Fonte: Adaptação da modificação de Varajão 2009 (Alkmim & Marshak, 1998)

Segundo Varajão (2009), o levantamento pedológico realizado no Estado de Minas Gerais (CETEC, 1983) classificou três principais unidades de mapeamento no Quadrilátero Ferrífero. A primeira unidade inclui afloramentos de rocha, Cambissolos e solos Litólicos, associados aos itabiritos do Grupo Itabira e quartzitos dos grupos Caraça e Itacolomi. A segunda unidade abrange Cambissolos distróficos, encontrados em áreas de filitos do Grupo Piracicaba. Por fim, a terceira unidade é composta por Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos, relacionados aos gnaisses do Complexo Bação e aos xistos do Grupo Nova Lima.

De acordo com Sartori et al. (2005), os solos podem ser classificados hidrologicamente com base em suas características físicas e pedológicas, que influenciam diretamente na infiltração da água e, conseqüentemente, no escoamento superficial. Os Latossolos, por exemplo, são solos muito intemperizados, profundos,

porosos e bem estruturados, geralmente encontrados em áreas de relevo suave. Apresentam alta capacidade de infiltração e, por isso, baixo potencial de escoamento superficial. Os Cambissolos, por sua vez, são solos jovens, moderadamente profundos e com variação de textura. Podem ser mais argilosos ou arenosos, dependendo do material de origem, e apresentam comportamento hidrológico intermediário. Já os solos Litólicos, são solos pouco desenvolvidos, rasos ou extremamente arenosos. Possuem baixa profundidade, frequentemente com presença de rocha próxima à superfície e são muito suscetíveis à erosão.

Essa abordagem proposta por Sartori et al. (2005) auxilia na adequação da classificação hidrológica dos solos brasileiros ao método do Curve Number (CN), originalmente desenvolvido pelo *Natural Resource Conservation Services* (NRCS) dos Estados Unidos, promovendo estimativas mais realistas da chuva excedente em diferentes contextos pedológicos do país.

Em outro caso, o estudo de Sartori e Genovez (2011) evidencia que as propriedades hidrológicas dos solos tropicais não podem ser definidas apenas pela textura ou pelo intemperismo, mas também por atributos como presença de camadas restritivas, fração argila e teor de óxidos de ferro. Nesse sentido, os Latossolos, embora sejam solos muito argilosos, podem apresentar elevada condutividade hidráulica quando possuem alto teor de óxidos de ferro, mantendo boa infiltração mesmo em condições de grande intemperismo. Já os Cambissolos, por apresentarem horizontes pouco desenvolvidos e mudanças de textura, revelam maior variabilidade em seu comportamento, podendo ter a infiltração reduzida dependendo da profundidade e da composição do perfil. Por fim, os solos Litólicos são confirmados como rasos e próximo à superfície, característica que diminui a percolação da água e aumenta sua suscetibilidade ao escoamento superficial.

### **2.3 Influência da urbanização no sistema de drenagem**

O desenvolvimento urbano em um contexto mundial se deu de maneira desordenada, potencializado pela falta de planejamento prévio, onde os espaços

rurais foram se tornando cada vez mais urbanizados (Cunha, 2005). A demanda por habitação e urbanização se tornou expressiva, sobretudo devido ao crescimento populacional acelerado.

No entanto, é muito importante que as intervenções urbanas sejam conduzidas com planejamento adequado, considerando os problemas ambientais e sociais encontrados. Quando a ocupação acontece de maneira desordenada, vários efeitos negativos surgem, incluindo a ampla impermeabilização do solo, o que tem consequências diretas no gerenciamento das águas urbanas, especialmente nos sistemas de drenagem (Aragão, 2017).

Segundo D'ávila (2018), a ocupação sem um planejamento adequado das áreas ao redor das bacias hidrográficas, causa mudanças que afetam a maneira como a água se move dentro da bacia. A alteração dos cursos naturais dos rios pode resultar na perda de biodiversidade, o aumento do risco de inundações e o impacto na qualidade da água. Esse cenário é responsável por acarretar diversos problemas que a gestão urbana enfrenta nos dias atuais.

A impermeabilização das áreas urbanas provoca mudanças na dinâmica hidrológica local, o que se traduz em uma redução significativa na capacidade de absorção da água da chuva pelo solo. Isso resulta em um aumento nos picos de vazão durante enchentes, adiantando sua chegada às áreas mais baixas e aumentando o volume de água que se espalha pela superfície, contribuindo para um aumento na ocorrência de inundações (Aragão, 2017).

Embora os fatores climáticos desempenhem um papel crucial no escoamento ao longo do tempo, é a urbanização que causa as mudanças mais significativas no uso e cobertura do solo em um curto período, resultando em maior impermeabilização. Conseqüentemente, a urbanização exerce uma influência direta sobre as alterações na vazão (Laouacheria e Mansouri, 2015).

Ao se tratar de regiões ribeirinhas, o problema é ainda mais intensificado. Segundo Tucci (1999), em um estudo realizado na bacia hidrográfica do rio Guaíba, é nítida a diminuição da vegetação local nas últimas décadas devido ao aumento do uso da terra para a expansão urbana. Ele ressalta que a urbanização eleva o volume das

enchentes cada vez mais, necessitando urgentemente de novas medidas de intervenção.

Sendo assim, a impermeabilização dos solos em áreas urbanas deve ser acompanhada por projetos de galerias de águas pluviais para evitar enchentes nas áreas mais baixas e direcionar o escoamento adequadamente até os corpos receptores, como córregos, rios e mares (Botelho, 2011).

Ainda nessa linha de raciocínio, um estudo realizado por Welerson (2019), que buscou avaliar o impacto do crescimento urbano em uma microbacia urbana do município de Itajubá, Minas Gerais, na geração de vazões de cheia utilizando o software HEC-HMS, concluiu que o crescimento urbano impacta significativamente nos hidrogramas de cheia. As maiores vazões simuladas foram associadas ao aumento da ocupação urbana na bacia, resultando também em maiores custos para a construção de reservatórios, destacando a necessidade de planejamento prévio pela gestão municipal para evitar gastos futuros com medidas de mitigação de inundações.

É natural que o sistema de infraestrutura também evolua para acompanhar essa transformação. Sendo assim, torna-se necessário analisar os efeitos hidrológicos resultantes das alterações no uso do solo (Kang, 2018). É importante que as políticas de planejamento urbano e a gestão ambiental trabalhem em conjunto para abordar os desafios decorrentes da urbanização desordenada. A implementação de soluções sustentáveis, como a construção de sistemas de drenagem adequados ao tipo de ocupação do solo e a preservação das áreas verdes, é crucial para minimizar os impactos negativos sobre o meio ambiente e a população.

Além disso, a conscientização e a participação da comunidade são medidas com impacto positivo significativo para garantir que as práticas de desenvolvimento urbano promovam uma convivência entre o progresso urbano e a preservação ambiental. Destaca-se o manejo correto dos resíduos sólidos gerados na região, que quando não são destinados para os locais corretos, acabam ficando alojados nas margens e interiores de corpos hídricos receptores das águas provenientes do sistema de drenagem.

Como consequência ambiental desse aumento de sedimentos e material sólido, Tucci (2002) ressalta o assoreamento das seções canalizadas da rede, o que reduz a capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos. Aguiar e Baptista (2011) indicam que os resíduos sólidos nos sistemas de drenagem urbana causam diversos problemas, incluindo a degradação do revestimento das estruturas devido ao atrito dos materiais. Isso resulta no acúmulo de detritos, que, por sua vez, diminui a eficiência de escoamento do corpo receptor, ao reduzir a capacidade de vazão.

No que diz respeito às inundações, estes são eventos extremos que impactam diretamente na integridade dos atingidos. Segundo Licco (2015), os danos abrangem desde perdas de vidas, parciais até a perda completa de veículos, móveis e bens pessoais, além de mercadorias no comércio e na indústria, causando a interrupção das atividades cotidianas da comunidade, bem como atrasos e paralisações nos sistemas de transporte.

Atualmente no Brasil, é possível observar que as alterações no uso e ocupação do solo quando relacionadas com eventos extremos de chuva, causam problemas. A exemplo, pode ser citada a situação ocorrida no estado do Rio Grande do Sul, entre abril e maio de 2024. Somente na cidade de Porto Alegre, a cheia de proporções históricas impactou mais da metade do município, atingindo diretamente cerca de 157 mil moradores, segundo o portal de notícias G1 (2024). A inundação causou estragos significativos em diversas áreas da cidade, afetando residências, a infraestrutura e a rotina diária da população local.

Em Minas Gerais, a situação não é muito diferente, levando em consideração que a maior parte das cidades brasileiras cresceram da mesma maneira, sem planejamento prévio e estudo acerca do potencial de cada região para a infiltração da água no solo.

## **2.4 Modelagem hidrológica**

Desenvolver um modelo hidrológico para uma bacia auxilia no entendimento de como a água se comporta na região, levando em conta aspectos como o escoamento,

a infiltração no solo e a evaporação. Desse modo, é possível prever o que pode acontecer durante chuvas intensas ou períodos de seca. Além disso, é útil para planejar infraestruturas, como reservatórios e sistemas de drenagem, com base em dados mais precisos sobre a bacia.

Além disso, em contextos de cheias urbanas, onde os intervalos de tempo são muito curtos, a modelagem hidrológica pode contribuir significativamente para uma melhor compreensão dos fenômenos que ocorrem na bacia (Magalhães et al., 2019). A infiltração, por exemplo, é um dos processos mais importantes na determinação dos volumes de escoamento superficial.

Os modelos são geralmente classificados em três categorias: físicos, analógicos e matemáticos. Os modelos físicos representam o sistema utilizando um protótipo em escala reduzida. Já os modelos analógicos fazem uso de analogias entre processos físicos, como a semelhança entre as equações do escoamento hidráulico e as de um circuito elétrico, o que permite representar o sistema hidráulico por meio de um circuito elétrico, que possui um custo menor. Por fim, os modelos matemáticos, também conhecidos como digitais, descrevem o comportamento do sistema utilizando equações matemáticas (Fayal, 2008).

Para alcançar resultados consistentes nas modelagens, é fundamental dispor de parâmetros de entrada obtidos a partir de levantamentos confiáveis e bem fundamentados. Esses parâmetros servirão de base para a definição precisa das características das áreas analisadas.

O modelo hidrológico HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) foi desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE – U.S. Army Corps of Engineers). Esse modelo é ideal para simular processos de chuva-vazão tanto em grandes bacias hidrográficas, quanto em pequenas bacias urbanas ou naturais (USACE-HEC, 2008). Através da simulação do comportamento hidrológico da bacia, o HEC-HMS gera hidrogramas e fornece informações sobre volume de deflúvio, vazão de pico e tempo de escoamento. Essas informações são valiosas para diversas aplicações, como drenagem urbana,

avaliação da disponibilidade hídrica, análise do impacto da urbanização e dimensionamento de vertedores em barragens, entre outros (USACE-HEC, 2008).

O modelo SWMM (Storm Water Management Model), por sua vez, é uma ferramenta versátil que pode ser utilizada tanto nas fases de planejamento e análise de sistemas existentes quanto no dimensionamento de novas infraestruturas. Ele também é aplicável em projetos que incorporam medidas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (Low Impact Development - LIDs) (Zhang et al., 2020). O SWMM é um modelo dinâmico de chuva-vazão, projetado para simular o escoamento e as cargas poluidoras associadas a eventos chuvosos isolados ou a séries históricas de precipitação. O modelo opera com base nas equações de conservação de massa e de quantidade de movimento para fluxos não permanentes, conforme as equações de Saint-Venant (Rossman, 2009).

O modelo ABC6 foi desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo com um propósito acadêmico, funcionando como um Sistema de Suporte à Decisões para a Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas. Ele foi criado para auxiliar nas tomadas de decisões, dependendo do problema e dos objetivos que se deseja alcançar. Devido à sua interface clara e fácil de usar, o software também tem sido amplamente adotado no meio profissional, sendo utilizado para análises em pequenas bacias urbanas e rurais, além de ser aplicado em pré-dimensionamentos de sistemas de macrodrenagem (Freitas et al., 2018).

O SWAT, "Soil and Water Assessment Tool", trabalha com parâmetros distribuídos espacialmente em sub-bacias e opera em um caráter temporal contínuo com um passo de tempo diário. Além disso, foi projetado para prever o impacto de mudanças no uso e manejo do solo, especialmente em bacias hidrográficas agrícolas não instrumentadas, no que diz respeito à quantidade e qualidade da água, bem como à produção de sedimentos (Srinivasan, Arnold, 1994).

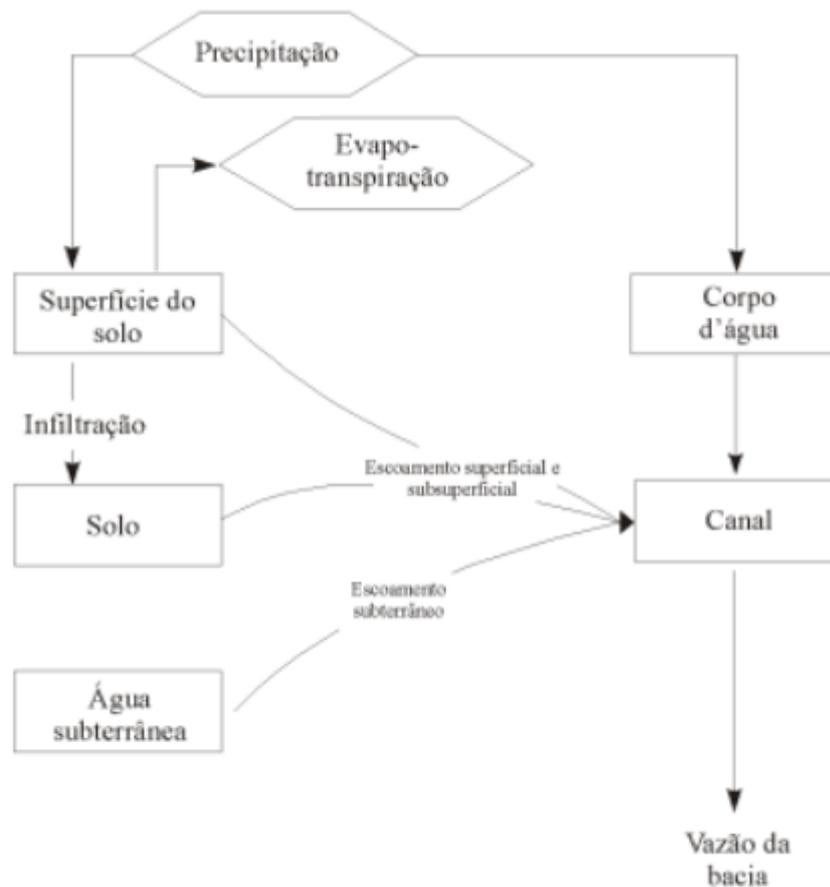
### **2.4.1 Modelo HEC-HMS**

O Hydrology Engineering Center (HEC), pertencente ao US Army Corps of Engineers (USACE), desenvolveu modelos computacionais para análises hidrológicas (HEC-1) e hidráulicas (HEC-2), amplamente reconhecidos e utilizados em todo o mundo. Atualmente, esses modelos foram aprimorados e deram origem aos sistemas HEC-HMS (Hydrologic Modeling Systems) e HEC-RAS (River Analysis Systems), ambos dotados de interfaces gráficas avançadas que proporcionam uma experiência de uso acessível e intuitiva (USACE, 2000).

Esses modelos permitem a simulação de processos hidrológicos, como evaporação, precipitação e escoamento em bacias hidrográficas. Os resultados obtidos podem ser integrados a outros modelos para análises abrangentes da disponibilidade de recursos hídricos, drenagem urbana, previsão de inundações e avaliação dos impactos de futuras urbanizações sobre os recursos hídricos (Santos, 2017).

Ao se aplicar os resultados do HEC-HMS com outros softwares, é possível realizar estudos de drenagem urbana e avaliação dos impactos da urbanização, podendo assim contribuir para o planejamento adequado de sistemas de drenagem e manejo da água dentro de uma bacia hidrográfica. O esquema de funcionamento do HEC-HMS na situação de um processo hidrológico é apresentado na Figura 2.

Figura 2: Representação do escoamento na bacia no HEC-HMS



Fonte: (HEC-HMS, 2000).

Resumidamente, o modelo HEC-HMS é composto por três componentes principais: o Modelo de Bacia, o Modelo Meteorológico e as Especificações de Controle (USACE-HEC, 2000).

a) Modelagem da bacia hidrográfica: envolve a entrada e manipulação dos dados referentes a forma da bacia, trechos de rios, reservatórios e divisões de canais além de incluir a definição dos métodos e parâmetros associados à perda por infiltração, evaporação, interceptação, transformação chuva-vazão, cálculo do escoamento de base.

b) Modelagem meteorológica: tem relação com a introdução dos dados de precipitação, bem como na seleção dos métodos para a distribuição temporal desses dados.

c) Especificações de controle: definição dos períodos de tempo para a realização dos cálculos, abrangendo a data e o horário de início e término do período determinado, além do intervalo ou "passo" de computação dos dados.

#### **2.4.1.1 Curve Number (CN)**

O Curve Number (CN) é um parâmetro central na modelagem hidrológica pelo método NRCS-CN, utilizado pelo HEC-HMS para estimar o escoamento superficial a partir da precipitação. Ele resulta da combinação de três fatores principais: tipo de solo, uso e cobertura do solo e práticas de conservação, formando o chamado complexo solo–cobertura vegetal (USACE, 2000).

O CN representa a divisão da precipitação entre infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial, variando de 0 a 100. Valores próximos de 100 indicam baixa infiltração e alto escoamento, típicos de solos argilosos ou áreas impermeabilizadas; valores próximos de 0 indicam alta infiltração e baixo escoamento, característicos de solos arenosos e vegetação densa (Tomás, 2011).

Segundo o Technical Reference Manual do HEC-HMS, o CN pode ser obtido com base em tabelas publicadas pelo *Natural Resource Conservation Services* (NRCS), que classificam os solos em quatro grupos hidrológicos (A, B, C e D), conforme sua capacidade de infiltração. Ao associar essa classificação ao uso e cobertura do solo, determina-se um valor único de CN para cada sub-bacia, que é então inserido no modelo. A qualidade desse parâmetro é determinante para a precisão das estimativas de vazão, sendo imprescindível a utilização de dados detalhados e confiáveis.

#### **2.4.1.2 Propagação de Vazão**

A propagação de vazão consiste em estimar como as variações de vazão se deslocam ao longo de um curso d'água ou sistema de drenagem, considerando fatores como declividade e forma da seção. Esse processo é fundamental para estudos de cheias e análise de riscos hidrológicos (Tucci, 2008).

Os principais parâmetros necessários incluem comprimento do canal, declividade, coeficiente de Manning e geometria da seção transversal, geralmente obtidos por geoprocessamento (Frasson et al., 2019).

Um exemplo clássico é o método de Muskingum-Cunge, que utiliza uma abordagem numérica para representar o deslocamento do escoamento ao longo do canal, considerando atenuações e armazenamento (Tucci, 2008). Esses modelos exigem poucos dados de entrada e, mesmo assim, fornecem resultados satisfatórios para a maioria das aplicações.

Outro método bastante utilizado é o Lag Time (Tempo de retardo), que apresenta uma formulação ainda mais simplificada. Ele assume que o escoamento sofre apenas um atraso constante no tempo ao se deslocar de um ponto a outro no sistema de drenagem. Por isso, o método Lag é indicado para trechos curtos ou canais com escoamento rápido, onde os efeitos de retenção e atenuação são pouco significativos (Tucci, 2008).

#### **2.4.1.3 Transformação chuva-vazão**

O método de transformação chuva-vazão consiste em converter os dados de precipitação em estimativas de escoamento, permitindo prever a resposta hidrológica de uma bacia diante de um evento de chuva. Esse processo inicia-se com a análise da quantidade e da distribuição espacial e temporal da precipitação, considerando parâmetros como intensidade, duração e área afetada (Macedo, 2010).

Para garantir a consistência dos resultados, as séries de precipitação e escoamento devem se referir ao mesmo evento, de modo que o hidrograma gerado

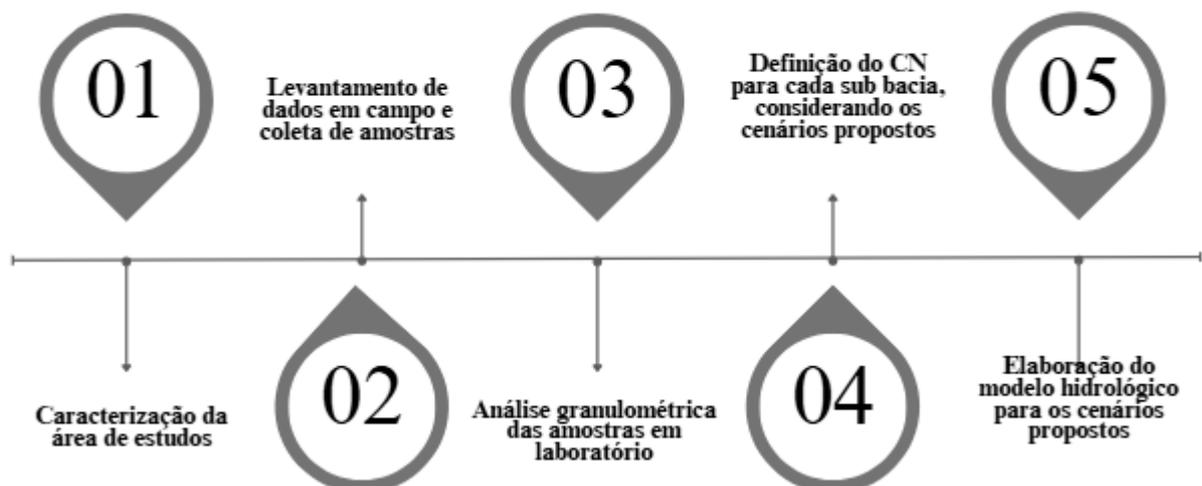
represente integralmente a resposta da bacia à chuva observada (USACE-HEC, 2000). Além disso, a duração da precipitação deve exceder o tempo de concentração da bacia, assegurando que toda a área a montante do ponto de controle esteja contribuindo para o escoamento registrado (USACE-HEC, 2000).

Com o entendimento desses conceitos, estabelece-se a base necessária para a próxima etapa do estudo, na qual serão detalhados os procedimentos metodológicos adotados.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma apresentado na Figura 3 representa as etapas metodológicas realizadas, conforme os objetivos estabelecidos.

Figura 3: Fluxograma metodológico



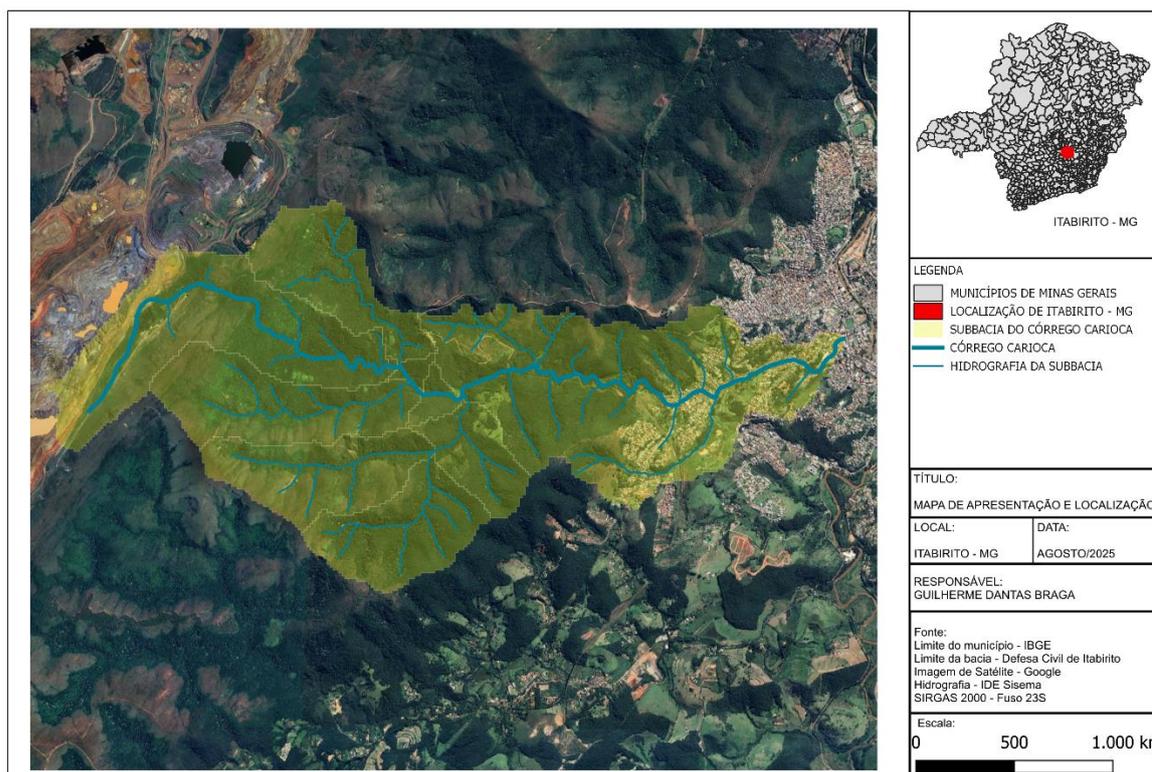
#### 3.1 Caracterização da área de estudo

A caracterização da área de estudo foi realizada por meio do levantamento de informações e análises baseadas em dados geoespaciais. Inicialmente, foram realizadas pesquisas em fontes oficiais, como o site da Prefeitura Municipal, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e canais de notícias locais e nacionais. Esse levantamento permitiu a obtenção de dados relevantes sobre aspectos geográficos, climáticos e históricos do município, bem como o registro de eventos extremos, como as ocorrências de chuvas intensas nos últimos anos.

Além disso, foram utilizados procedimentos de geoprocessamento para gerar mapas temáticos que subsidiaram a compreensão espacial da área. Através da plataforma QGIS, foram elaborados mapas com base em dados vetoriais e raster, obtidos de plataformas públicas, como o IDE-SISEMA, IBGE Malhas Municipais, a

base cartográfica do Serviço Geológico do Brasil (SGB) e bases locais do município de Itabirito, fornecidas pela Prefeitura Municipal. A localização do município, assim como da área de estudo são visualizados na Figura 4.

Figura 4: Localização da área de estudo em relação ao município de Itabirito



### 3.2 Classificação do solo na área de estudos

Para a classificação dos solos na área de estudo, foram consideradas três fontes de dados para análise comparativa. A primeira base corresponde a dados georreferenciados disponibilizados pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Minas Gerais (IDE-SISEMA, 2010), na escala de 1:500.000, desenvolvido pela UFV – Universidade Federal de Viçosa. A segunda refere-se às informações fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE,2006), na escala de 1:5.000.000. Em ambos os casos, os dados foram processados e organizados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG),

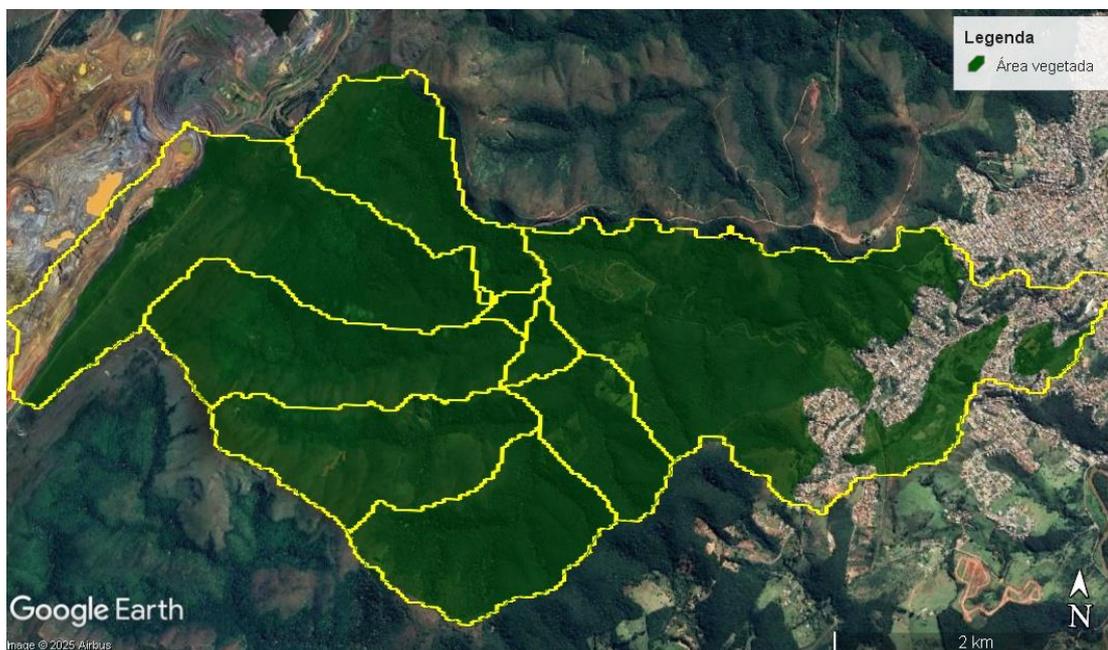
permitindo a elaboração de mapas temáticos que representam a distribuição espacial dos diferentes tipos de solo na bacia do Córrego Carioca.

A terceira fonte consistiu nos resultados de ensaios granulométricos realizados a partir de amostras coletadas diretamente na área de estudo, visando fornecer uma caracterização mais precisa e representativa das condições reais do solo local.

### 3.3 Levantamento de dados em campo e coleta de amostras

A coleta de dados em campo teve como objetivo complementar a caracterização da área de estudo por meio de informações diretas obtidas no próprio ambiente. A escolha dos pontos visitados levou em consideração as vias de acesso disponíveis, já que grande parte da região é recoberta por vegetação densa, conforme evidenciado nas imagens de satélite (Figura 5), o que impôs limitações logísticas ao deslocamento.

Figura 5: Delimitação da sub-bacia evidenciando a vegetação densa



Fonte: Google Earth (2024)

As visitas tiveram como foco a realização de análises tátil-visuais do solo exposto nos pontos de observação, avaliando atributos como cor, consistência e textura da

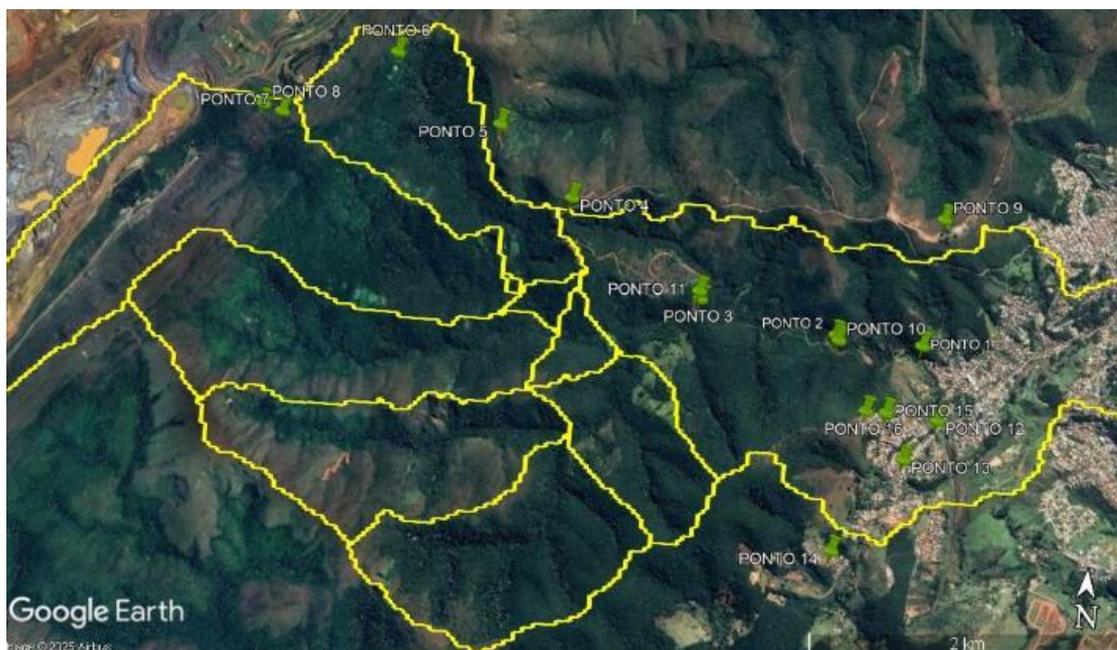
dos perfis. Essa abordagem possibilitou uma primeira aproximação da classificação genética dos solos (Latosolos, Cambissolos, Neossolos, entre outros) e uma avaliação preliminar de suas características hidrológicas. Paralelamente, foi registrada a situação de uso e ocupação do solo ao longo do trajeto, diferenciando áreas de vegetação nativa, zonas urbanizadas e superfícies expostas. Essas informações são relevantes para a classificação hidrológica segundo o *Natural Resource Conservation Services* (NRCS), que considera tanto propriedades físicas quanto o uso da superfície para estimar o potencial de infiltração e escoamento.

A primeira visita de campo, realizada em 23 de maio de 2025, teve caráter exploratório, voltado ao reconhecimento visual da área, à verificação das condições de acesso e à identificação inicial de pontos de observação, numerados de 1 a 9. Nessa etapa, foi possível registrar diferentes usos e ocupações do solo, bem como avaliar a proximidade com corpos d'água e a ocorrência de alterações antrópicas.

A segunda visita, realizada em 03 de junho de 2025, concentrou-se na análise tátil-visual detalhada do solo em pontos previamente definidos, abrangendo as posições 1 a 4 e 10 a 16 (Figura 5). Foram observados, de forma empírica, parâmetros como textura, plasticidade, umidade e presença de matéria orgânica, utilizando-se critérios sensoriais e visuais para inferir características superficiais relevantes.

Os pontos de amostragem foram determinados ao longo do percurso, a partir da identificação de áreas com solos expostos e condições representativas para a análise. A localização geográfica foi registrada no aplicativo *Map Maker* e posteriormente exportada para o *Google Earth Pro*, viabilizando o georreferenciamento e a elaboração do mapa temático apresentado na Figura 6. Além disso, foram obtidas fotografias georreferenciadas em cada localidade, constituindo um acervo visual de apoio à documentação e à análise qualitativa dos solos.

Figura 6: Pontos mapeados na sub-bacia durante análise de solo



Fonte: Adaptado de Google Earth (2024)

Ressalta-se a dificuldade de acesso aos pontos 5, 6, 7 e 8, em razão de se localizarem em trilhas com vegetação nativa densa, o que limitou a locomoção e o tempo de permanência no local. O ponto 9, por sua vez, foi mapeado fora dos limites da bacia por oferecer uma posição privilegiada para visualização panorâmica de grande parte da área de estudo.

As coletas de amostras de solo foram realizadas em 06 de julho de 2025. Para essa etapa, foram utilizados sacos plásticos limpos e resistentes, devidamente identificados com o número de cada ponto, além de pá para escavação. Foram coletadas amostras deformadas, com aproximadamente 8 kg cada, representativas do solo superficial, em cinco pontos distintos da bacia (2, 3, 4, 13 e 16). Posteriormente, o material foi transportado ao laboratório do Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas – NUGEO/UFOP para realização dos ensaios granulométricos e demais análises.

### 3.4 Análise granulométrica das amostras em laboratório

Com o objetivo de caracterizar a distribuição granulométrica dos solos da sub-bacia do Córrego Carioca, foram realizados ensaios granulométricos em amostras coletadas em campo. As amostras deformadas e coletadas superficialmente foram retiradas nos pontos 2, 3, 4, 13 e 16, destacados na Figura 5. A escolha desses locais se baseou na representatividade dos diferentes pontos acessíveis observados ao longo da bacia.

O ensaio foi conduzido conforme a NBR 7181/2016 – Solo – Análise Granulométrica, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que estabelece os procedimentos para a separação das frações do solo por peneiramento (para partículas maiores que 0,075 mm) e sedimentação (para frações finas, como silte e argila), quando aplicável.

Após a coleta das amostras, procedeu-se à etapa de preparação para o ensaio. Inicialmente, cada amostra foi disposta em bandejas de alumínio e mantida em ambiente ventilado para secagem ao ar livre, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7: Amostras depositadas para secagem



Em seguida, as amostras de solo foram submetidas ao processo de destorroamento manual, com o objetivo de desagregar os agregados maiores e uniformizar o material para os ensaios laboratoriais subsequentes. O procedimento foi realizado utilizando almofariz e pilão, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8: Destorroamento das amostras de solo



O teor de umidade natural das amostras foi determinado por meio da pesagem de cápsulas metálicas, também visualizadas na Figura 7, antes e depois do aquecimento em estufa, conforme procedimento padrão. As cápsulas foram levadas à estufa a  $105 \pm 5$  °C até massa constante, permitindo o cálculo da umidade gravimétrica.

A densidade dos grãos sólidos foi obtida por meio do ensaio de densidade real (GS), utilizando picnômetro com água destilada, conforme a norma NBR 6458/2016. Esse procedimento permitiu a determinação da massa específica dos grãos de solo, que foi utilizada posteriormente no cálculo da granulometria. A Figura 9 apresenta o momento em que os picnômetros foram submetidos a bomba à vácuo, para a remoção de todo o ar contido na amostra, de modo a determinar a densidade correta dos grãos por meio da pesagem em balança.

Figura 9: Ensaio de densidade real (GS) utilizando a bomba a vácuo



Para o início do ensaio granulométrico, realizou-se a separação entre o material grosso e o material fino, utilizando uma peneira com malha de 2,0 mm. A separação do material com a peneira é apresentada na Figura 10. O solo retido nessa peneira, correspondente à fração grossa, foi então submetido a um processo de lavagem com água, com o objetivo de remover quaisquer partículas finas aderidas. Após a lavagem, esse material foi colocado em estufa a  $105 \pm 5$  °C, garantindo a completa secagem antes da continuidade do ensaio.

Figura 10: Separação do material das amostras em fração grossa e fração fina por peneiramento



Em seguida, foi realizado o ensaio de sedimentação do material fino em proveta, efetuando-se as leituras no densímetro nos intervalos de tempo estabelecidos pela norma, conforme ilustrado na Figura 11. Concluída essa etapa, o material decantado foi transferido para bandejas e levado à estufa para secagem, a fim de possibilitar o peneiramento fino subsequente.

Figura 11: Ensaio de sedimentação da fração fina das amostras de solo



Por fim, realizou-se o peneiramento da fração grossa previamente separada e da fração fina seca após o ensaio de sedimentação. O material foi passado por uma série de peneiras de diferentes malhas, conforme especificado na norma, e as porções retidas em cada peneira foram posteriormente pesadas. O processo de peneiramento das amostras está ilustrado na Figura 12.

Por fim, os resultados obtidos foram tabelados e manipulados de forma a determinar a granulometria de cada uma das amostras.

Figura 12: Peneiramento das amostras de solo



### 3.5 Definição dos grupos hidrológicos e CN das sub-bacias

Com base nos dados obtidos tanto nas bases secundárias quanto nos ensaios laboratoriais, foi possível classificar os solos da sub-bacia do Córrego Carioca em grupos hidrológicos, seguindo os critérios estabelecidos pelo *Natural Resource Conservation Services (NRCS)*.

A partir dessa classificação, determinaram-se os valores de Curve Number (CN) para três cenários distintos: (1) utilizando a classificação de solos do IDE-SISEMA (2010), (2) utilizando a classificação de solos do IBGE (2006) e (3) considerando os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais. Conforme mencionado anteriormente, a metodologia NRCS agrupa os solos em quatro classes (A, B, C e D), de acordo com sua capacidade de infiltração — sendo o grupo A caracterizado por maior capacidade de infiltração e o grupo D por menor —, conforme as descrições apresentadas por Sartori et al. (2005) e sintetizadas na Tabela 1.

Tabela 1: Grupo de solos e características do solo

<b>Grupo de Solo</b>	<b>Características de solo</b>
A	Solos arenosos, profundos, bem drenados e com baixa proporção de argila. Permitem rápida infiltração da água, mesmo quando úmidos.
B	Solos com infiltração moderada e potencial moderado de escoamento. Apresentam textura média e profundidade suficiente, com drenagem moderada. Possuem teor intermediário de argila e areia.
C	Solos com baixa taxa de infiltração quando úmidos e alto potencial de escoamento superficial. Costumam apresentar textura mais fina, maior teor de argila, e drenagem lenta.
D	Solos com baixíssima taxa de infiltração e muito alto potencial de escoamento superficial. Geralmente são rasos, pouco permeáveis, ou apresentam camada quase impermeável próxima à superfície, como solos argilosos compactos ou com presença de lençol freático raso.

Fonte: Sartori et al. (2005)

O autor também apresenta tabelas que associam os principais tipos de solos brasileiros aos respectivos grupos hidrológicos, destacando, por exemplo, alguns Cambissolos e Neossolos classificados no grupo D e determinados Latossolos no grupo A. Essa classificação influencia diretamente a escolha dos valores de *Curve Number* (CN), que expressam o potencial de geração de escoamento de cada combinação de solo e cobertura da terra.

Para o cenário 3, os valores de CN foram definidos a partir dos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais, complementados por informações da literatura e ajustados conforme as características de uso do solo observadas em campo. A determinação do uso e ocupação em cada sub-bacia foi realizada por meio da

interpretação de imagens de satélite, método considerado satisfatório para os objetivos da pesquisa.

Com o uso e ocupação definidos, bem como a classificação do grupo hidrológico correspondente, adotou-se como referência a tabela de classificação proposta por Tucci (1993), apresentada na Figura 13.

Figura 13: Valores de CN para áreas urbanas e suburbanas (Tucci, 1993).

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 estacionamentos, 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

### 3.6 Elaboração do modelo hidrológico para a sub-bacia do Córrego Carioca

A modelagem hidrológica para os cenários propostos foi desenvolvida utilizando o software HEC-HMS, versão 4.12. O programa possui ampla aplicação em simulações da transformação chuva-vazão e na propagação de cheias em cursos

d'água e canais. A conversão da precipitação efetiva em escoamento superficial foi realizada utilizando o método do hidrograma unitário do NRCS, baseado nas curvas de Huff (1967), enquanto o valor do CN (Curve Number) para cada sub-bacia foi calculado por média ponderada, com base no tipo de solo e seu uso e ocupação.

### 3.6.1 Cálculo das áreas das sub-bacias

As áreas das nove sub-bacias, bem como sua respectiva numeração, apresentadas na Figura 14, foram delimitadas no software QGIS a partir dos arquivos fornecidos pela Defesa Civil de Itabirito. No mesmo ambiente, foram calculados o comprimento do rio principal em cada sub-bacia e sua declividade média. Esses resultados estão consolidados na Tabela 2.

Figura 14: Divisão e enumeração das sub-bacias hidrográficas do Córrego Carioca

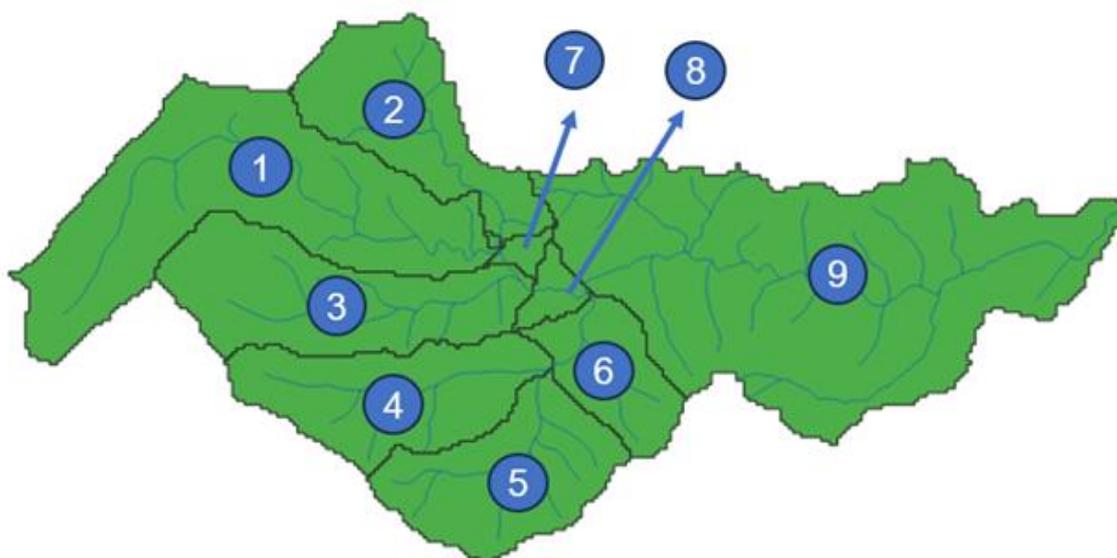


Tabela 2: Parâmetros físicos das sub-bacias do Córrego Carioca

Sub-bacias	Áreas (Km <sup>2</sup> )	Comprimento do rio principal (m)	Declividade do rio principal (m/m)	Tempo de concentração (min)	Lag Time (min)
1	3,018	5128,391	0,0152	70,217	42,130
2	1,318	1966,076	0,0903	16,908	10,145
3	1,723	2416,582	0,0751	21,280	12,768
4	1,426	2103,58	0,0566	21,322	12,793
5	1,368	1672,37	0,0522	18,434	11,060
6	0,727	1181,828	0,0878	11,553	6,932
7	0,096	140,96	0,0709	2,439	1,463
8	0,172	276,08	0,0707	4,099	2,459
9	5,187	4712,551	0,0161	64,361	38,617
<b>Total</b>	15,035				

### 3.6.2 Cálculo do tempo de concentração

O tempo de concentração de cada sub-bacia foi calculado pela equação empírica de Kirpich, Z. P. (1940), apresentada na equação 1.

$$t_c = 0,0195 * L^{0,77} * S^{-0,385} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$t_c$  = tempo de concentração, em minutos;

$L$  = comprimento axial, em m;

$S$  = declividade média, em m/m.

Com o tempo de concentração definido para cada sub-bacia, foi possível determinar o *Lag time* de cada uma delas, por meio da equação 2 (Chow; Maidment; Mays, 1988).

$$Lag = 0,6 * t_c \quad \text{Equação 2}$$

Dessa forma, a Tabela 2, anteriormente apresentada, sintetiza algumas das informações principais para a elaboração do modelo hidrológico.

### 3.6.3 Cálculo do CN Médio

Com o objetivo de aumentar a precisão do modelo hidrológico, uma etapa essencial consistiu na determinação do Curve Number (CN), diretamente vinculada ao procedimento descrito na etapa 3.5. É importante destacar que, devido às variações nos tipos de solo e nas formas de uso e ocupação em cada sub-bacia, foi necessário, em algumas situações, calcular a média ponderada dos valores de CN, conforme indicado na Equação 3.

$$CN = \frac{CN_{Z1} * A_{Z1} + \dots + CN_{Zn} * A_{Zn}}{A_{tot}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$A_{Z1}$  = Área correspondente ao primeiro tipo de uso e ocupação do solo identificado;

$CN_{Z1}$  = CN referente ao primeiro tipo de uso e ocupação do solo identificado;

$A_{Zn}$  = Área correspondente ao tipo n de uso e ocupação do solo identificado;

$CN_{zn}$  = CN referente ao tipo n de uso e ocupação do solo identificado;

$A_{tot}$  = Área total da bacia.

### 3.6.4 Cálculo da Chuva de Projeto

As precipitações de projeto foram determinadas utilizando a Equação IDF (Intensidade-Duração-Frequência). Os tempos de retorno simulados correspondem ao intervalo de 10, 25 e 50 anos, conforme a recomendação para o dimensionamento de estruturas de micro e macrodrenagem. As durações testadas foram de 60, 90, 120, 150 e 180 minutos, de modo a definir a duração crítica da chuva para a bacia. O formato geral da equação IDF está representado pela Equação 4.

$$i = \frac{KT^a}{(t+b)^c} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

i = intensidade das precipitações, em mm/h;

T = tempo de retorno, em anos;

t = duração das precipitações, em minutos;

K, a, b e c = parâmetros determinados para a localidade em questão.

No estudo "Regionalização de Chuvas Intensas para o Estado de Minas Gerais", realizado por Bello (2018), foram definidos os parâmetros para o município de Itabirito. Esses parâmetros foram obtidos a partir dos dados da estação pluviométrica Itabirito-Linígrafo, adotando-se os valores conforme a Tabela 3. Com base nesses parâmetros, foram calculadas as chuvas de projeto para o município, cujos valores estão dispostos na Tabela 4.

As precipitações foram discretizadas com base nos quartis propostos por Huff (1967). Para esta análise, adotou-se como premissa o segundo quartil. As chuvas foram distribuídas em intervalos de 15 minutos e a discretização de cada uma delas é apresentado no Apêndice A.

Com essa abordagem, foram realizadas simulações considerando diferentes durações de precipitação, visando identificar aquela que resultava na maior vazão de pico. A análise permitiu determinar a duração crítica da chuva para a bacia. Adotou-se o tempo de retorno de 10 anos para avaliar qual duração de precipitação apresentaria o maior pico de vazão no escoamento. Como resultado, definiu-se a duração de 150 minutos para a comparação final dos cenários simulados.

Tabela 3: Parâmetros da equação IDF para o município de Itabirito

<b>K</b>	699,971
<b>a</b>	0,126
<b>b</b>	9,794
<b>c</b>	0,724

Tabela 4: Chuvas de 60, 90, 120 150 e 180 minutos, para Tempos de Retorno de 10, 25 e 50 anos no município de Itabirito - MG

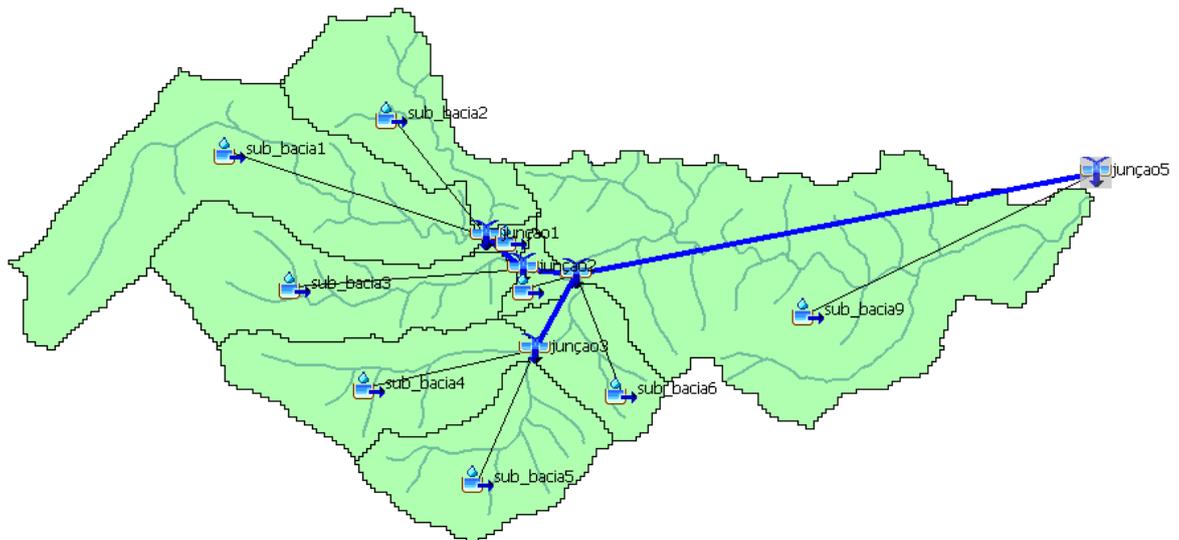
<b>Duração (min)</b>	<b>Tempos de Retorno (anos)</b>		
	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>
<b>60</b>	43,267	48,562	52,994
<b>90</b>	50,098	56,229	61,361
<b>120</b>	55,222	61,980	67,637

<b>150</b>	59,380	66,647	72,730
<b>180</b>	62,911	70,610	77,054

### 3.6.5 Construção do modelo hidrológico

Com os parâmetros de entrada definidos, a próxima etapa da modelagem hidrológica no HEC-HMS consistiu na elaboração do modelo topológico, com a delimitação das sub-bacias e a inserção dos elementos hidrológicos, como nós, trechos de escoamento, junções e o exutório da bacia. A representação visual do modelo é apresentada na Figura 15, onde é possível notar as 9 sub-bacias, a implementação de 4 trechos de rios, e 5 junções, sendo a junção 5 considerada como o exutório da bacia, para a geração dos hidrogramas de escoamento superficial.

Figura 15: Representação da sub-bacia do Córrego Carioca no software HEC-HMS



## 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

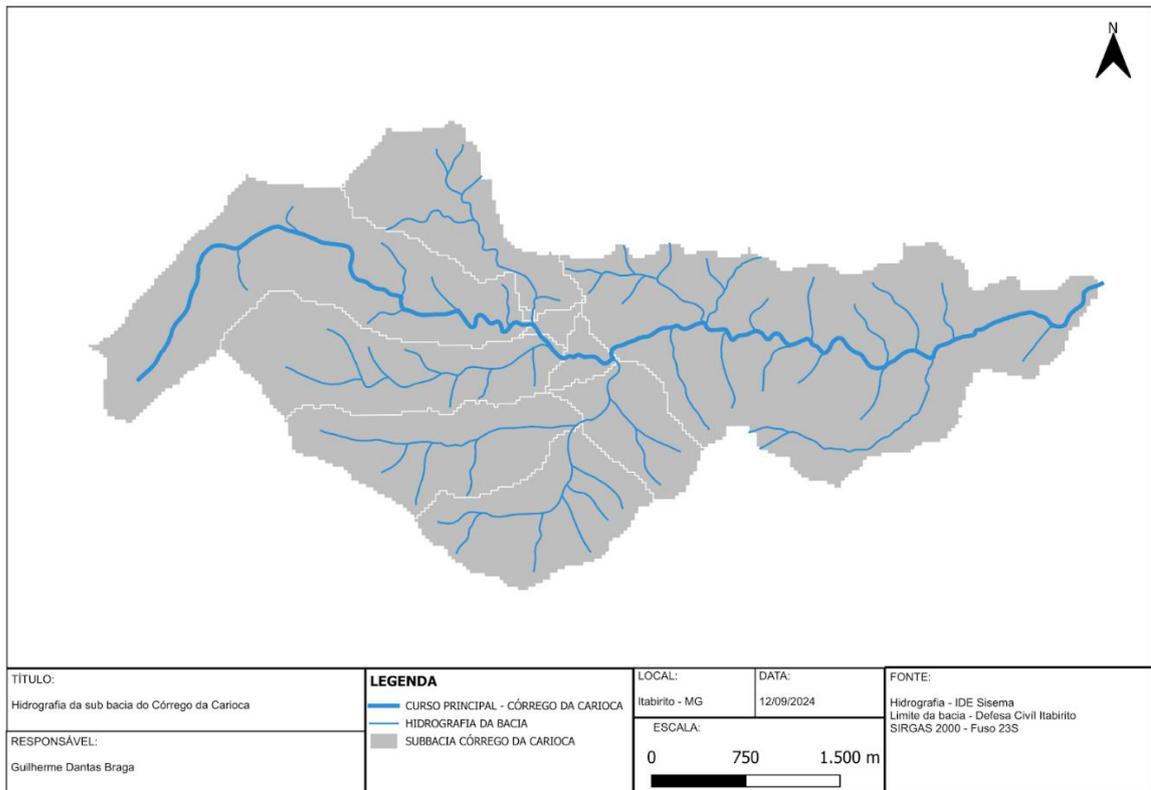
O município de Itabirito está localizado na região central de Minas Gerais, a aproximadamente 58,5 km da capital do estado, Belo Horizonte. Faz parte do Quadrilátero Ferrífero e do Circuito do Ouro, o que gera visibilidade e potencialidade de crescimento social e econômico para a região, seja pelas características propícias para a mineração, assim como a proximidade de cidades importantes para a história do estado.

Com uma população estimada em 52.996 habitantes e uma área de 561,32 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021), Itabirito teve seu desenvolvimento inicial em torno da ferrovia que atravessa a cidade, o que facilitou a instalação da Usina Siderúrgica Esperança em 1888, onde foi construído o primeiro alto-forno de Minas Gerais (Prefeitura de Itabirito, 2019).

A temperatura média do município de Itabirito varia entre 16,1°C e 22,9°C, e a precipitação anual é de aproximadamente 1.420 mm, com as chuvas sendo mais concentradas durante o período do verão. O clima predominante na região da bacia do rio das Velhas, que inclui o rio Itabirito, é o Tropical de Altitude, com verões chuvosos e invernos secos (Climate-Data, 2023).

O Córrego Carioca, um tributário do rio Itabirito, que por sua vez é um dos afluentes da margem esquerda do rio das Velhas, pertence à grande bacia hidrográfica do rio São Francisco, mais propriamente seu alto curso. O córrego tem a extensão de 10,382 km e conta com uma série de afluentes, como é apresentado na Figura 16.

Figura 16: Mapa da hidrografia da área de interesse



Por conta do volume de água escoado em eventos extremos, constantemente são registradas situações críticas na região, principalmente na Rua da Carioca, a principal via do bairro Santa Rita. A Figura 17 mostra a localização da via na área urbanizada da sub-bacia.

Figura 17: Localização da Rua da Carioca, Bairro Santa Rita, Itabirito - Minas Gerais



Fonte: Google Earth 2024

Segundo reportagem do portal Sou Notícia (2024), fortes chuvas em Itabirito (MG) causaram o transbordamento do Córrego Carioca e alagamentos em diversas ruas em janeiro de 2024, principalmente na Rua da Carioca, que acompanha a lateral do córrego em sua porção caalizada. O evento, que registrou 45 mm de chuva em 15 minutos, provocou enxurradas e danos a comerciantes e moradores da área. A Figura 18 evidencia a situação da rua no momento do evento descrito.

Figura 18: Rua da Carioca, no dia 06 de janeiro de 2024, após evento de chuva intensa



Fonte: Sou Notícia (2024).

## **5 RESULTADOS**

Os resultados do estudo são divididos no levantamento dos dados em campo e coleta de amostras, seguido da análise granulométrica das amostras de solo coletadas. São apresentadas as classificações de solo da área de estudo por meio de geoprocessamento e com o que foi analisado em laboratório, para a definição dos grupos hidrológicos e por fim, a modelagem hidrológica.

### **5.1 Levantamento de dados em campo e coleta de amostras**

As visitas de campo permitiram uma análise tátil-visual detalhada de diferentes pontos da sub-bacia do Córrego Carioca, contribuindo para a classificação genética dos solos da região. Destacam-se os principais resultados observados nos pontos analisados, resumidos na Tabela 5.

Tabela 5: Resumo dos resultados obtidos nas análises de campo

Ponto	Tipo de Solo / Material	Cor	Textura	Consistência	Observações Complementares
1	Aluvião / Sedimento transportado	Avermelhada	Argilo-arenosa	Média a rígida	Presença de pedregulhos e matéria orgânica.
2	Aluvião	Marrom escura	Argilo-arenosa (areia fina)	Muito mole	Poucos pedregulhos; planície de inundação (~10 m).
3	Solo laterítico de Itabirito	Marrom avermelhada	Argilosa	Mole	Presença de ferro; encosta íngreme com sinais de maquinário.
4	Itabirito alterado / dique intrusivo	Acinzentada / arrochada	Argilosa / Argilo-arenosa	Média / branda	Intrusão de dique em afloramento alterado.
5	Solo laterítico de Itabirito	Marrom avermelhada	Argilosa	Mole	Solo batido, estrada de veículos.
6	-	-	-	-	Ponto com limitação de acesso.
7	-	-	-	-	Ponto com limitação de acesso.
8	-	-	-	-	Ponto com limitação de acesso.
9	-	-	-	-	Ponto fora dos limites da sub-bacia.
10	Afloramento de Itabirito	-	-	Muito dura	Rocha exposta.
11	Afloramento de Itabirito	-	-	Pouco alterada	Rochas expostas ao longo da estrada.
12	Aterro / Lançamento	Avermelhada	-	-	Aterro característico de áreas urbanas.
13	Solo com nódulos de ferro	Amarelo-ocre	Argilo-arenosa (areia média)	Média	Presença de nódulos enraizados de ferro
14	Solo latossólico de Itabirito	Avermelhada	Argilo-arenosa (com pouca areia)	Média	Ponto fora dos limites da sub-bacia.
15	Aterro urbano	Avermelhada	-	Dura	Muitos blocos.
16	Solo residual de xisto	Rosada	Muito argilosa	Mole	Alta plasticidade.

Nesse sentido, nota-se que a região apresenta como cobertura superficial afloramentos de itabiritos alterados de cor avermelhada, resistência média a alta e médio grau de alteração. Também há presença de solos residuais de itabirito, com características predominantemente argilosas, coloração avermelhada e consistência variando entre mole e mediana, indicando baixa capacidade de infiltração. Além disso, também foi possível analisar a presença de aluviões restritos ao longo das drenagens, associados a sedimentos transportados, com textura argilo-arenosa, presença de pedregulhos e material orgânico, indicando ambientes de deposição recentes e sujeitos a inundações. Em uma porção localizada da bacia, identificou-se ainda o solo residual de xisto, com coloração rosada, textura muito argilosa e consistência mole, com infiltração reduzida.

O registro fotográfico e caracterização individual dos pontos de maior relevância foram incorporados no Apêndice B.

## **5.2 Análise granulométrica das amostras em laboratório**

Os resultados detalhados dos ensaios laboratoriais encontram-se no Apêndice C, sendo a densidade relativa dos grãos (Gs) apresentada na Seção C.1 e a análise granulométrica na Seção C.2. O resumo da porção fina obtida nos ensaios está sintetizado na Tabela 6.

A partir desses resultados, verificou-se que a maioria dos pontos analisados apresenta solos compostos predominantemente por elevados teores de silte, argila e areia fina, características que influenciam diretamente sua capacidade de infiltração e o potencial de escoamento superficial.

Tabela 6: Resumo do resultado dos ensaios granulométricos - Fração fina

<b>Ponto de Coleta</b>	<b>% Areia</b>	<b>% Silte</b>	<b>% Argila</b>	<b>Textura Classificada</b>
<b>2</b>	30	57	13	Silte arenoso argiloso
<b>3</b>	10	68	12,5	Silte argiloso arenoso
<b>4</b>	15,5	67,5	12	Silte arenoso argiloso
<b>13</b>	12,5	63,5	24,5	Silte argiloso arenoso
<b>16</b>	22	45	27	Silte argiloso arenoso

A análise granulométrica das amostras coletadas indicou que todos os solos apresentam predominância de frações finas, principalmente silte, variando entre 45% e 68%. A fração de areia é relativamente baixa, oscilando de 10% a 30%, enquanto o teor de argila apresenta valores moderados, entre 12,5% e 27%. Essas proporções resultaram em classificações texturais como silte arenoso argiloso e silte argiloso arenoso, caracterizando solos finos, com baixa capacidade de infiltração e maior suscetibilidade ao escoamento superficial.

Os resultados laboratoriais constituíram a base técnica para a classificação dos grupos hidrológicos e a definição dos valores de Curve Number (CN), para o cenário 3, utilizados na modelagem hidrológica.

### **5.3 FClassificação do solo da sub-bacia do Córrego Carioca por geoprocessamento de dados**

Os resultados das classificações de solo para as diferentes bases de dados analisadas são apresentados a seguir, conforme as referências utilizadas.

A partir do levantamento preliminar realizado na plataforma IDE-SISEMA (2010), verificou-se que a sub-bacia é composta predominantemente por Cambissolo Háplico Distrófico, que cobre cerca de 53% da área, seguido por Neossolo Litólico Distrófico, com aproximadamente 47%. A Figura 19 apresenta o mapa de solos da sub-bacia elaborado a partir dessa base de dados.

Já os dados disponibilizados pelo IBGE (2006) indicam que a sub-bacia é formada majoritariamente por Latossolo Vermelho Distrófico típico, abrangendo cerca de 96% da área, seguido por Argissolo Vermelho Distrófico, com aproximadamente 4%. O mapeamento correspondente é apresentado na Figura 20.

Figura 19: Mapa de solos da sub-bacia do Córrego Carioca pelo IDE Sisema (2010)

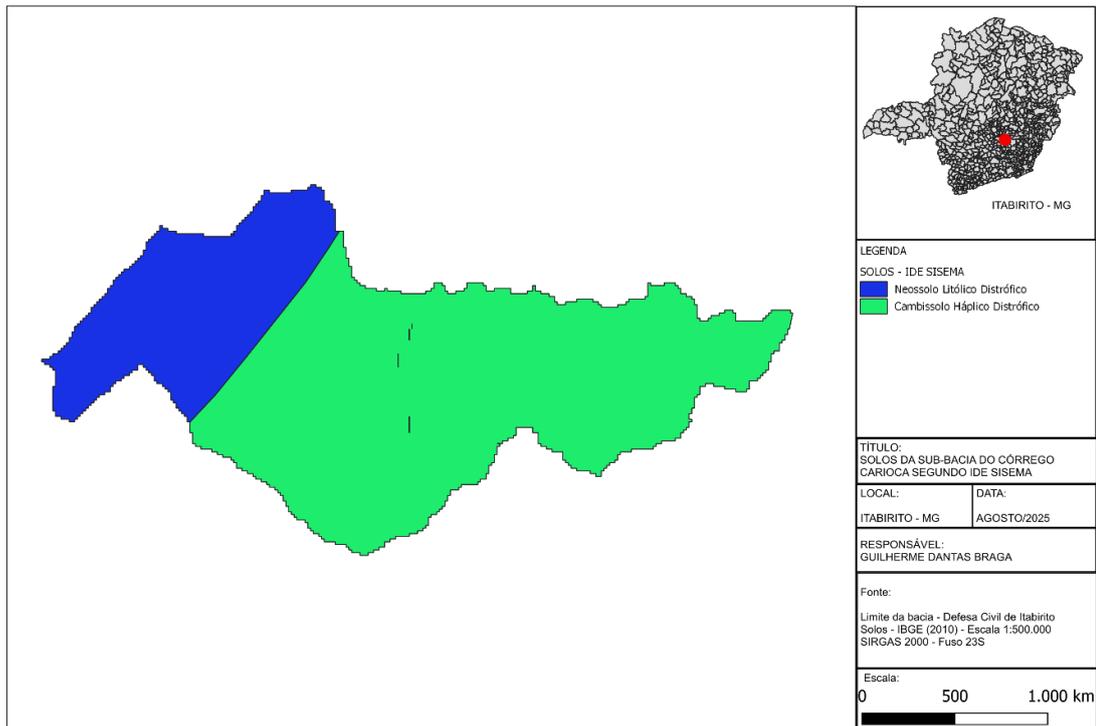
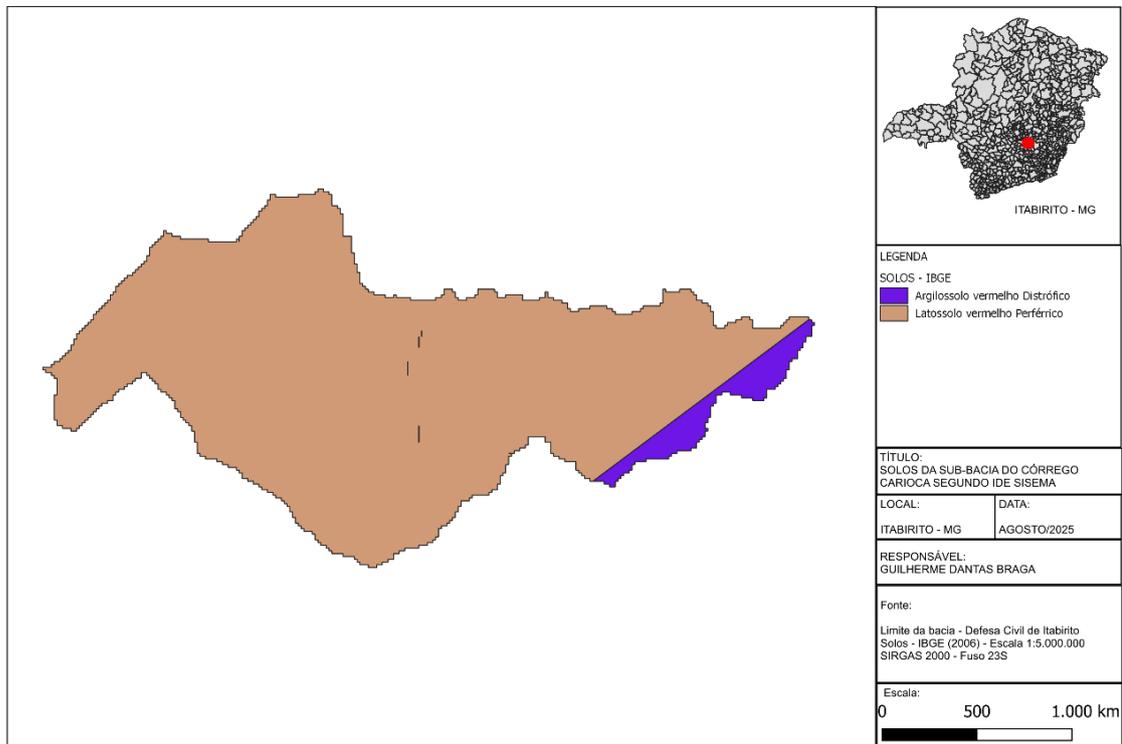


Figura 20: Mapa de solos da sub-bacia do Córrego Carioca pelo IBGE (2006)



Nota-se que, embora ambas as fontes representem a mesma área de estudo, existem diferenças nas classes de solo mapeadas e em sua distribuição espacial. Essas diferenças impactam diretamente na definição dos grupos hidrológicos e, conseqüentemente, nos valores de Curve Number (CN) a serem considerados na modelagem hidrológica. Nesse sentido, optou-se por utilizar cada uma dessas bases de forma independente, de modo a permitir uma análise comparativa dos resultados e avaliar a influência da fonte de dados nas vazões simuladas.

#### 5.4 Definição dos grupos hidrológicos e CN das sub-bacias

Foram calculados valores médios de Curve Number (CN) para os três cenários previamente definidos:

1. Cenário IDE-SISEMA – utilizando a classificação de solos fornecida pela base do IDE-SISEMA, integrada ao mapeamento de uso e ocupação do solo.
2. Cenário IBGE – adotando a classificação apresentada na base do IBGE, associada ao mesmo mapeamento de uso e ocupação.
3. Cenário Laboratorial – considerando a classificação de solos obtida a partir dos ensaios granulométricos realizados em amostras coletadas em campo, considerada a mais representativa da realidade local.

No que se refere ao uso e ocupação do solo na sub-bacia, representado na Figura 21, há predominância de áreas vegetadas (88%), seguidas por áreas urbanizadas (8%) e solo exposto (4%), conforme as áreas e percentuais descritos na Tabela 7.

Figura 21: Determinação do uso e ocupação do solo na sub-bacia

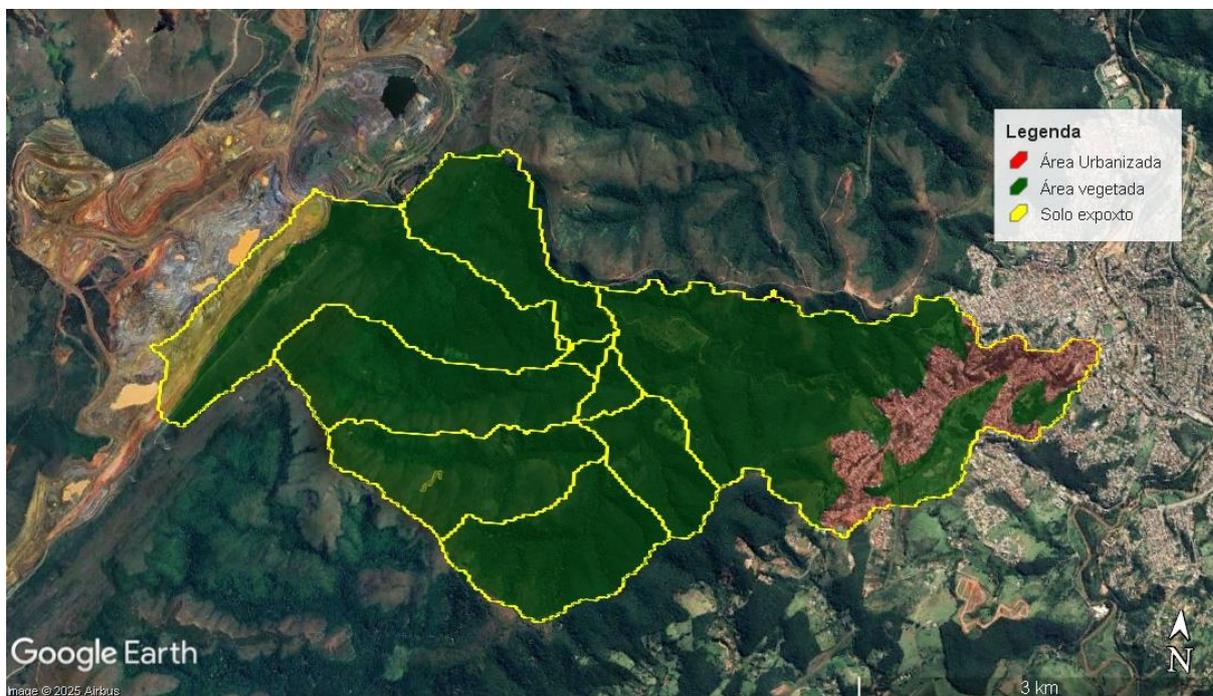


Tabela 7: Determinação do uso e ocupação do solo na sub-bacia

<b>Sub-bacias</b>	<b>Área Vegetada (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Solo Exposto (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Urbanizada (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Áreas Totais (km<sup>2</sup>)</b>
1	2,438	0,58	0	3,018
2	1,318	0	0	1,318
3	1,723	0	0	1,723
4	1,426	0	0	1,426
5	1,287	0,082	0	1,368
6	0,727	0	0	0,727
7	0,096	0	0	0,096
8	0,172	0	0	0,172
9	4,037	0	1,15	5,187
Total	13,223	0,66173	1,15	15,035
% da área	88%	4%	8%	100%

Nas áreas verdes, representadas principalmente por florestas, foi utilizado o parâmetro correspondente a bosques ou zonas com cobertura ruim, sendo 45 para grupo hidrológico A e 83 para grupo hidrológico D. Para as áreas urbanizadas, associadas à ocupação humana, foi adotado o valor correspondente a zonas residenciais, sendo 77 para grupo hidrológico A e 92 para grupo hidrológico D. Nas porções de solo exposto, foi considerado o parâmetro de terra exposta sendo 72 para grupo hidrológico A e 89 para grupo hidrológico D.

Os valores médios de CN para cada cenário, calculados a partir do cruzamento entre características do solo e uso e ocupação de cada sub-bacia, são apresentados nas Tabelas 8, 9 e 10.

Tabela 8: Definição do CN médio com dados do IDE-SISEMA (Cenário 1)

<b>IDE Sisema</b>				
<b>Sub-bacia</b>	<b>Tipo de Uso e Ocupação</b>	<b>Tipo de Solo</b>	<b>Grupo Hidrológico</b>	<b>CN Médio</b>
1	Área Vegetada / Solo Exposto	Cambissolo Háplico / Neossolo Litólico	D	83,24
2	Área Vegetada	Cambissolo Háplico / Neossolo Litólico	D	83
3	Área Vegetada	Cambissolo Háplico / Neossolo Litólico	D	83
4	Área Vegetada	Cambissolo Háplico / Neossolo Litólico	D	83
5	Área Vegetada	Cambissolo Háplico	D	83
6	Área Vegetada	Cambissolo Háplico	D	83
7	Área Vegetada	Cambissolo Háplico	D	83
8	Área Vegetada	Cambissolo Háplico	D	83
9	Área Vegetada / Área Urbanizada	Cambissolo Háplico	D	83,72

Tabela 9: Definição do CN médio com dados do IBGE (Cenário 2)

<b>IBGE</b>				
<b>Sub-bacia</b>	<b>Tipo de Uso e Ocupação</b>	<b>Tipo de Solo</b>	<b>Grupo Hidrológico</b>	<b>CN Médio</b>
1	Área Vegetada / Solo Exposto	Latossolo Vermelho	A	46,08
2	Área Vegetada	Latossolo Vermelho	A	45
3	Área Vegetada	Latossolo Vermelho	A	45
4	Área Vegetada	Latossolo Vermelho	A	45
5	Área Vegetada	Latossolo Vermelho	A	45
6	Área Vegetada	Latossolo Vermelho	A	45
7	Área Vegetada	Latossolo Vermelho	A	45
8	Área Vegetada	Latossolo Vermelho	A	45
9	Área Vegetada / Área Urbanizada	Latossolo/Argilossolo Vermelhos	A	47,56

Tabela 10: Definição do CN médio com dados dos ensaios laboratoriais (Cenário 3)

<b>Ensaio de Laboratório</b>				
<b>Sub-bacia</b>	<b>Tipo de Uso e Ocupação</b>	<b>Tipo de Solo</b>	<b>Grupo Hidrológico</b>	<b>CN Médio</b>
1	Área Vegetada / Solo Exposto	Silte argiloso arenoso	D	83,24
2	Área Vegetada	Silte argiloso arenoso	D	83
3	Área Vegetada	Silte argiloso arenoso	D	83
4	Área Vegetada	Silte argiloso arenoso	D	83
5	Área Vegetada	Silte argiloso arenoso	D	83
6	Área Vegetada	Silte argiloso arenoso	D	83
7	Área Vegetada	Silte argiloso arenoso	D	83
8	Área Vegetada	Silte argiloso arenoso	D	83
9	Área Vegetada / Área Urbanizada	Silte argiloso arenoso	D	83,72

O cenário IDE-SISEMA apresentou valores de CN entre 83,00 e 83,72, decorrentes da classificação predominante no grupo hidrológico D, que indica alto potencial de escoamento superficial. O cenário IBGE, por sua vez, apresentou valores significativamente menores, entre 45,00 e 47,56, reflexo da classificação no grupo hidrológico A, representativo de solos com elevada capacidade de infiltração. Já o cenário Laboratorial apresentou valores idênticos aos do cenário IDE-SISEMA (83,00 a 83,72), confirmando o enquadramento dos solos no grupo hidrológico D. A determinação do grupo hidrológico laboratorial foi feita de acordo com a textura obtida através dos ensaios de granulometria. Utilizou-se como referencia para os grupos hidrológicos, o trabalho de Sartori et al. (2005), juntamente aos solos pré estabelecidos e a determinação do uso e ocupação da bacia.

A diferença observada, especialmente entre o cenário IBGE e os demais, evidencia como distintas fontes de dados podem influenciar significativamente a definição do CN médio e, conseqüentemente, as estimativas de escoamento superficial utilizadas na modelagem hidrológica.

## 5.5 Modelagem Hidrológica

Com a inserção de todos os dados de entrada no software HEC-HMS, realizou-se a simulação da chuva com duração crítica de 150 minutos, para tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos, considerando os cenários previamente estabelecidos.

As vazões de pico obtidas em cada cenário são apresentadas na Tabela 11, enquanto os hidrogramas correspondentes aos tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos são ilustrados, respectivamente, nas Figuras 22, 23 e 24 (os resultados gerados no software HEC-HMS são apresentados no Apêndice D).

Tabela 11: Resumo das vazões de pico em cada cenário

Cenário	Duração Crítica	Vazão de pico (m <sup>3</sup> /s)		
		TR 10	TR 25	TR 50
IDE-SISEMA	02:00	67,02	83,5	96,9
IBGE	01:45	5,2	5,9	6,5
Laboratório	02:00	67,02	83,5	96,9

Figura 22: Hidrograma de cheias referente ao TR de 10 anos

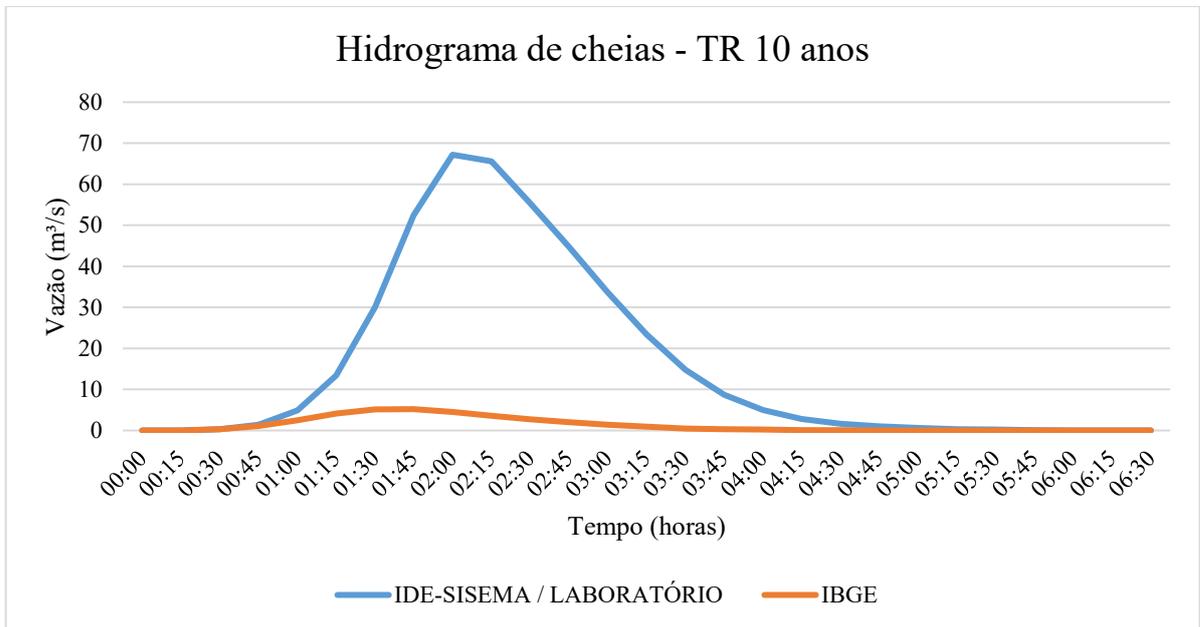


Figura 23: Hidrograma de cheias referente ao TR de 25 anos

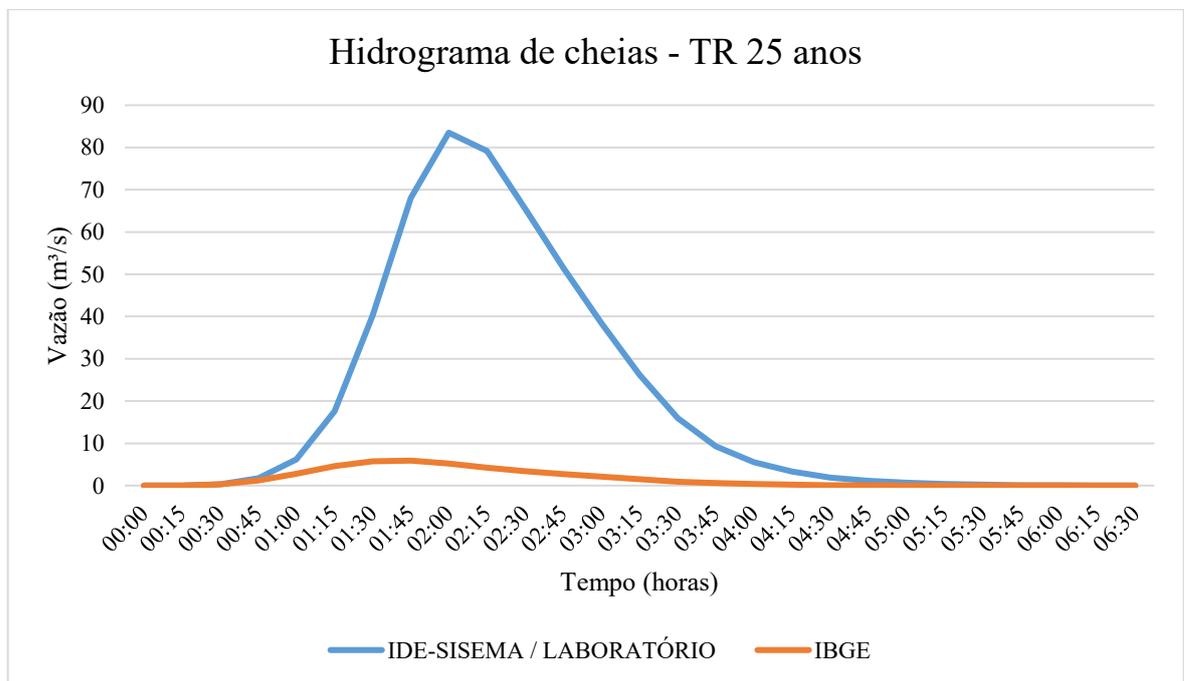
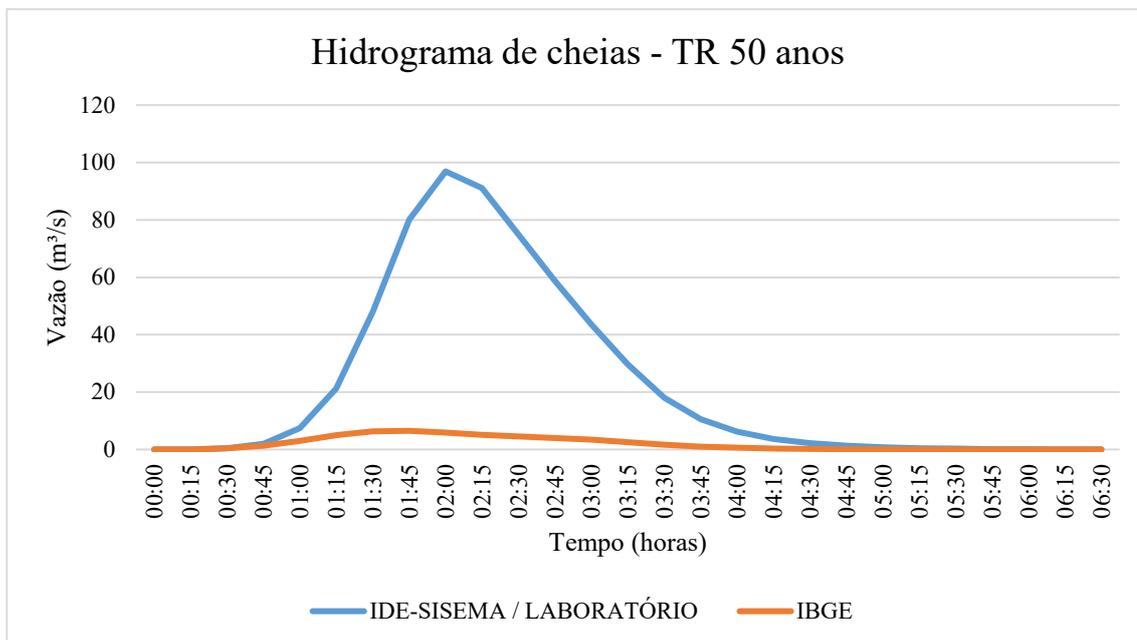


Figura 24: Hidrograma de cheias referente ao TR de 50 anos



Considerando uma chuva de 150 minutos de duração e tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos, foi possível visualizar que, no cenário IDE-SISEMA/Laboratório, as vazões de pico foram de 67,2 m<sup>3</sup>/s, 83,5 m<sup>3</sup>/s e 96,9 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, representando aumentos de cerca de 24,3% entre 10 e 25 anos e de 16,0% entre 25 e 50 anos. No cenário IBGE, as vazões máximas foram de 5,2 m<sup>3</sup>/s, 5,9 m<sup>3</sup>/s e 6,5 m<sup>3</sup>/s, com variações mais discretas, de aproximadamente 13% e 10% para os mesmos intervalos.

## 6 DISCUSSÕES

A comparação entre os três cenários propostos (IDE-SISEMA, IBGE e análises laboratoriais) mostra diferenças na caracterização dos solos da sub-bacia do Córrego Carioca.

O mapeamento do IDE-SISEMA atribuiu predominantemente classes de Cambissolos e Neossolos a áreas onde, nas observações de campo e análises laboratoriais, foram identificados solos com elevada presença de argila, cores avermelhadas e, em alguns pontos, presença de ferro. Essas características são típicas de Latossolos e solos lateríticos, descritos na literatura para a região do Quadrilátero Ferrífero (Varajão, 2009), o que sugere inconsistências na classificação do IDE-SISEMA.

No caso do IBGE, a classificação mostrou-se mais coerente com as condições verificadas em campo. O mapa dessa base atribuiu classes de Latossolos e Cambissolos em locais onde a análise tátil-visual confirmou solos argilosos, de coloração avermelhada, características que se alinham à descrição feita por Sartori & Genovez (2011), para Latossolos distróficos da região.

O terceiro cenário, fundamentado nas análises laboratoriais, apresenta a caracterização mais precisa dos solos da sub-bacia. Os ensaios granulométricos evidenciaram predominância de frações finas nas amostras, confirmando a baixa capacidade de infiltração, característica esperada para a região. Esses resultados reforçam a representatividade da adoção dos grupos hidrológicos de menor infiltração (classe D) no contexto local e destacam a importância da realização de levantamentos de campo mais detalhados para subsidiar o planejamento hidrológico. Cabe ressaltar que a convergência na classificação do grupo hidrológico entre os cenários 1 e 3 ocorreu de forma inesperada, considerando que se basearam em metodologias distintas.

Embora os ensaios granulométricos já tenham fornecido informações relevantes para a caracterização dos solos, a inclusão de testes complementares — como os de permeabilidade e condutividade hidráulica — permitiria uma avaliação mais robusta.

Isso porque tais ensaios quantificam diretamente a capacidade do solo em transmitir água, fornecendo parâmetros fundamentais para a compreensão do escoamento superficial e do processo de infiltração sob diferentes condições. A incorporação desses dados possibilitaria uma representação mais fidedigna da dinâmica hídrica do solo, contribuindo para o aprimoramento dos modelos hidrológicos aplicados à sub-bacia.

De forma geral, a comparação entre os três cenários levando em conta a classificação dos solos nos grupos hidrólogos propostos por Sartori et al. (2005) demonstra que os resultados laboratoriais deveriam se assemelhar aos dados indicadas pelo IBGE, mas divergem significativamente, se aproximando ao proposto pelo IDE-SISEMA. Nesse sentido, os valores de CN atribuídos a partir do cenário IBGE tendem a subestimar o potencial de escoamento superficial da bacia, enquanto o cenário IDE-SISEMA/Laboratório, aproxima-se mais da realidade de inundações observadas em Itabirito. Isso demonstra que a integração de dados de campo e ensaios laboratoriais é fundamental para corrigir inconsistências cartográficas e para produzir parâmetros hidrológicos mais realistas.

A análise comparativa dos hidrogramas obtidos para os tempos de retorno (TR) de 10, 25 e 50 anos evidencia o aumento das vazões de pico à medida que o TR cresce, comportamento condizente com a resposta hidrológica esperada. No cenário IDE-SISEMA/Laboratório, as vazões máximas atingiram aproximadamente 67,2 m<sup>3</sup>/s para TR de 10 anos, 83,5 m<sup>3</sup>/s para TR de 25 anos e 96,9 m<sup>3</sup>/s para TR de 50 anos, representando um incremento relativo de cerca de 24,3% entre 10 e 25 anos e de 16,0% entre 25 e 50 anos. No cenário IBGE, por outro lado, as variações foram menos expressivas, com picos de 5,2 m<sup>3</sup>/s, 5,9 m<sup>3</sup>/s e 6,5 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, indicando menor sensibilidade aos aumentos no TR.

Essa discrepância confirma que a definição do CN é um ponto crítico em estudos hidrológicos, conforme já discutido por Tucci (2008), levando em conta que diferentes classificações de solo podem levar a estimativas de vazões com ordens de grandeza distintas. Observa-se que as vazões simuladas a partir dos dados do cenário IDE-SISEMA/Laboratório são significativamente superiores às do cenário IBGE, o que

reforça novamente a importância da validação das bases de dados utilizadas em estudos hidrológicos.

Sob a perspectiva da gestão de risco, o histórico de eventos extremos na sub-bacia, como a inundação registrada em janeiro de 2024 na Rua da Carioca, indica que as vazões se aproximam mais do cenário IDE-SISEMA/Laboratório, que aponta maior sobrecarga nos sistemas de drenagem e maior probabilidade de ocorrência de inundações severas.

Dessa forma, este trabalho contribui ao demonstrar que a utilização de bases secundárias pode não condizer com a realidade em estudos de drenagem urbana. A comparação entre os três cenários evidencia que, na sub-bacia do Córrego Carioca, o levantamento laboratorial é o que mais se aproxima do comportamento real de inundações, reforçando a importância de investigações na definição do CN e na modelagem hidrológica

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sub-bacia do Córrego Carioca vem enfrentando problemas recorrentes de inundações, especialmente em trechos canalizados e em áreas de cotas mais baixas, como a Rua da Carioca. Neste estudo, a análise integrada de dados de campo, ensaios laboratoriais e modelagem hidrológica permitiu compreender de forma consistente como o uso e a ocupação do solo, e principalmente o tipo de solo, influenciam diretamente na ocorrência desses eventos.

As visitas de campo demonstraram que a área é composta predominantemente por solos argilosos e afloramentos rochosos, com baixa capacidade de infiltração, o que se refletiu nos valores elevados de Curve Number (CN) obtidos. Ao se fazer a análise laboratorial, confirmou-se que o solo é predominantemente composto por partículas finas, sendo essas silte e argila.

A análise comparativa entre os três cenários de caracterização do solo evidenciou que o cenário laboratorial apresentou resultados semelhantes aos obtidos pelo IDE-SISEMA, ambos associados aos maiores valores de CN. Em contrapartida, o cenário baseado nos dados do IBGE apresentou valores significativamente menores. Essa diferença confirma que informações obtidas em campo e por meio de ensaios diretos tendem a refletir com maior precisão as condições reais da bacia. A análise dos hidrogramas reforça esse contraste: nos cenários IDE-SISEMA/Laboratório verificou-se maior intensidade nos picos de vazão, enquanto no cenário IBGE as respostas hidrológicas mostraram-se mais suaves e com picos menos acentuados.

Embora este estudo tenha trazido contribuições relevantes, é necessário reconhecer que a análise realizada apresenta limitações, principalmente em função das dificuldades de acesso à área de estudo e do fato de os ensaios laboratoriais terem se restringido à análise granulométrica. Recomenda-se, portanto, que a metodologia aqui aplicada seja estendida à bacia hidrográfica completa, de modo a verificar se as limitações observadas em relação às bases secundárias de solos também se confirmam em outros contextos. Esse aprofundamento possibilitaria avaliar a robustez dos resultados obtidos e aumentar a confiabilidade das

recomendações voltadas ao planejamento da drenagem urbana e à mitigação dos riscos de inundação.

As simulações confirmam que os solos de baixa capacidade de infiltração geram respostas hidrológicas mais intensas, o que explica a ocorrência de eventos de alagamento históricos na região, como o registrado em janeiro de 2024. Por fim, os resultados reforçam a importância da modelagem hidrológica como ferramenta de apoio à gestão de riscos urbanos, destacando-se, entretanto, a necessidade de atenção à qualidade e à validação das bases de dados utilizadas, de modo a garantir maior confiabilidade nas análises e nas decisões decorrentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458:2016 – Solo – Amostragem para ensaios de compactação em laboratório**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:2016 – Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

AGUIAR, G. F.; BAPTISTA, D. M. **Resíduos sólidos em um sistema de drenagem urbana no município de Santa Maria (RS)**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 16, n. 4, p. 149-155, 2011. Disponível em: SciELO. ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas de desastres naturais: chuvas intensas e inundações**. Brasília: ANA, 2021.

ARAGÃO, M. R. **Resiliência urbana associada aos sistemas de drenagem sustentáveis: técnicas compensatórias em manejo de águas pluviais**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), São Paulo, 2017.

BARRETO, Geraldo André Rosseto et al. **Avaliação da performance do modelo hidrológico MGB em épocas de estiagem: estudo de caso para a bacia hidrográfica do Rio Doce**. In: Congreso Latinoamericano de Hidraulica (30.: 2022:[Foz do Iguaçu]). Anales del XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica 2022: volúmen 3: hidráulica de ríos [recurso eletrônico]. Madrid: IAHR, 2023.

BELLO, Italoema Pinheiro. **Regionalização de chuva intensa para o estado de Minas Gerais**. 2018.

BOTELHO, M. H. C. **Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

CAVALCANTI JÚNIOR, Francisco Afonso. **Zoneamento do escoamento superficial da bacia hidrográfica do Rio Paciência, Ilha do Maranhão-MA**. 2016.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Levantamento pedológico do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CETEC, 1983.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988.

CLIMATE-DATA. **Clima Itabirito**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/americado-sul/brasil/minas-gerais/itabirito-25004/>. Acesso em: 24 set. 2024.

CPRM – **Serviço Geológico do Brasil**. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br>.

CUNHA, J. M. **Desenvolvimento urbano desordenado e planejamento no Brasil**. São Paulo: Editora Urbanização, 2005.

D'ÁVILA, R. S. **Impactos da ocupação desordenada nas bacias hidrográficas: riscos e gestão urbana**. Revista de Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas, v. 12, n. 2, p. 45-60, 2018.

FAYAL, M. **Modelos Hidrológicos: conceitos e aplicabilidades**. Revista da FAE, 2008.

FERREIRA, W. D.; VASCONCELOS, J. H.; VASCONCELOS, A. C. C. **Avaliação de métodos de modelagem hidrológica para simulação de vazões em bacias urbanas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 25, n. 1, p. e6, 2020.

FRASSON, André; ZANETTI, Dário; GODOY, Roberta; OLIVEIRA, Fábio. **Parâmetros geométricos de rios: estudo e aplicação em bacias hidrográficas**. 2019.

FREITAS, C. S.; et al. **Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas: Sistema de Suporte à Decisão ABC6**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2018.

G1. **Cheia histórica atinge mais da metade dos bairros de Porto Alegre e afeta 157 mil moradores. 2024**. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2024/05/15/levantamento-enchente-porto-alegre-bairros-e-moradores.ghtml>. Acesso em: 7 set. 2024.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <https://www.google.com/earth/>. Acesso em: 12 set. 2024.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e meio ambiente**. Org. 7ª Ed. Bertrand Brasil; Rio de Janeiro, 2009.

HUFF, F. A. **Time distribution of rainfall in heavy storms**. **Water Resources Research**, v. 3, n. 4, p. 100731019, dez. 1967.

IDE-SISEMA. **Instituto de Desenvolvimento Ambiental de Minas Gerais**. Camada Vetorial de Solo. 2010. Disponível em: <http://www.sisema.mg.gov.br>. Acesso em: 11 ago. 2025.

IDE-SISEMA. **Instituto de Desenvolvimento Ambiental de Minas Gerais**. Camada Vetorial de Hidrografia. 2010. Disponível em: <http://www.sisema.mg.gov.br>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa da população dos municípios brasileiros**. 2021.

IBGE. **Malhas Municipais**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 set. 2024.

IBGE. **Camada Vetorial de Solos**. 2006. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 11 ago. 2025.

KANG, J. **Impact of Land Use and Land Cover Change on Hydrological Processes in Urban Watersheds: Analysis and Forecasting for Flood Risk Management**. **Geosciences**, v. 14, n. 2, p. 40, 2018.

KIRPICH, Z. P. **Time of concentration of small agricultural watersheds**. **Civil Engineering**, v. 10, n. 6, p. 362, 1940.

LAOUACHERIA, F.; MANSOURI, R. **Comparison of WBNM and HEC-HMS for Runoff Hydrograph Prediction in a Small Urban Catchment**. **Water Resources Management**, v. 29, n. 8, p. 2485–2501, 2015.

LICCO, Eduardo Antonio; MAC DOWELL, Silvia Ferreira. **Alagamentos, Enchentes Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos**

**e governança.** Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística, v. 5, n. 3, p. 159-174, 2015.

MAGALHÃES, Paula Morais Canedo et al. **Propostas de mitigação de cheias urbanas com uso de modelagem em bacia litorânea.** In: XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019, Foz do Iguaçu. Anais, 2019.

MACEDO, Dário. **Transformação chuva-vazão: aplicação em bacias urbanas.** In: Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2010, Brasília. 2010. p. 1-10.

MARENCO, J. A.; DOLIF, G.; CUARTAS, A.; CAMARINHA, P.; GONÇALVES, D.; et al. **O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024.** Estudos Avançados, v. 38, p. 112, 2024.

MUSGRAVE, G.W. **“How much of the rain enters the soil?”** In: USDA. Water: The yearbook of agriculture. 1955. p. 151-159.

OLIVEIRA, C. A. B.; SOUZA, C. R. G. de. **Geologia Geral.** São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

PINTO, C. S. (2006). **Curso Básico de Mecânica dos Solos.** 4. ed. Rio de Janeiro: Oficina de Textos.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRITO. **Dados Demográficos.** Disponível em: <http://www.itabirito.mg.gov.br>. Acesso em: 12 set. 2024.

ROSSMAN, L. A. **Storm Water Management Model, User's Manual (Version 5.0).** U.S. Environmental Protection Agency, 2009.

SANTOS, A. R. **Modelagem hidrológica e geotecnologias aplicadas à gestão de recursos hídricos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

SARTORI, Aderson; LOMBARDI NETO, Francisco; MAIA GENOVEZ, Abel. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos.** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n. 4, p. 05-18, out./dez. 2005.

SETZER, J; PORTO, R. L. L. **Tentativa de avaliação do escoamento superficial de acordo com o solo e seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1979. Boletim Técnico DAEE. v.2, n.2, p. 81-104.

SOU NOTÍCIA. **Chuva forte transborda Córrego da Carioca e alaga ruas em Itabirito**. Sou Notícia, 6 jan. 2024. Disponível em: sou noticia. Acesso em: 1 out. 2024.

SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. G. **Soil and Water Assessment Tool**. 1994. Disponível em: <https://swat.tamu.edu/documentation/>.

TOMAZ, Plínio. Capítulo 12 – **Infiltração usando o método do número da curva CN do SCS**. 22 ago. 2011.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem urbana e controle de erosão**. São Paulo, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: ABRH, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da urbanização na bacia do Guaíba**. In: ÁGUAS URBANAS. Porto Alegre: UFRGS, 1999.

USACE. **HEC-HMS: Hydrologic Modeling System**. U.S. Army Corps of Engineers, 2008. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/default.aspx>.

USACE. **Hydrologic Engineering Center. HEC-HMS and HEC-1 Differences**. 2000.

VARAJÃO, César Augusto Chicarino et al. **Estudo da evolução da paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (10Be) e da pedogênese**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, p. 1409-1425, 2009.

WELERSON, C. C. **Análise do impacto do crescimento urbano na geração de vazões de cheia em uma microbacia urbana**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.

ZHANG, H. et al. **Evaluating the Stormwater Management Model for hydrological simulation of infiltration swales in cold climates**. Water, v. 12, n. 8, p. 2273, 2020.

## APÊNDICE A – DISCRETIZAÇÃO DAS CHUVAS

Para 10 anos de TR:

10 anos	60 min	43,267		
tempo	% tempo	% chuva acumulada	% chuva	Chuva
15	0,25	0,2	0,2	8,653
30	0,5	0,72	0,52	22,499
45	0,75	0,93	0,21	9,086
60	1	1	0,07	3,029

10 anos	90 min	50,098		
tempo	% tempo	% chuva acumulada	% chuva	Chuva
15	0,17	0,26	0,26	13,025
30	0,33	0,4	0,14	7,014
45	0,50	0,72	0,32	16,031
60	0,67	0,88	0,16	8,016
75	0,84	0,97	0,09	4,509
90	1,00	1	0,03	1,503

10 anos	120 min	55,2221995		
tempo	% tempo	% chuva acumulada	% chuva	Chuva
15	0,13	0,03	0,03	1,657
30	0,25	0,2	0,17	9,388
45	0,38	0,5	0,3	16,567
60	0,50	0,72	0,22	12,149
75	0,63	0,86	0,14	7,731
90	0,75	0,93	0,07	3,866
105	0,88	0,97	0,04	2,209
120	1,00	1	0,03	1,657

10 anos	150 min	59,380		
tempo	% tempo	% chuva acumulada	% chuva	Chuva
15	0,10	0,02	0,02	1,188
30	0,20	0,11	0,09	5,344
45	0,30	0,3	0,19	11,282
60	0,40	0,52	0,22	13,064
75	0,50	0,72	0,2	11,876
90	0,60	0,84	0,12	7,126
105	0,70	0,9	0,06	3,563
120	0,80	0,95	0,05	2,969
135	0,90	0,98	0,03	1,781
150	1,00	1	0,02	1,188

10 anos	180 min	62,911		
tempo	% tempo	% chuva acumulada	% chuva	Chuva
15	0,08	0,02	0,02	1,258
30	0,17	0,06	0,04	2,516
45	0,25	0,2	0,14	8,808
60	0,33	0,35	0,15	9,437
75	0,42	0,58	0,23	14,469
90	0,50	0,72	0,14	8,808
105	0,58	0,79	0,07	4,404
120	0,67	0,88	0,09	5,662
135	0,75	0,93	0,05	3,146
150	0,83	0,96	0,03	1,887
165	0,92	0,99	0,03	1,887
180	1,00	1	0,01	0,629

Para 25 anos de TR:

25 anos	60 min	48,562		
tempo	% tempo	% chuva acumulada	% chuva	Chuva
15	0,25	0,2	0,2	9,712391667
30	0,5	0,72	0,52	25,25221833
45	0,75	0,93	0,21	10,19801125
60	1	1	0,07	3,399337084

25 anos	90 min	56,229		
tempo	% tempo	% chuva acumulada	% chuva	Chuva
15	0,17	0,26	0,26	14,620
30	0,33	0,4	0,14	7,872
45	0,50	0,72	0,32	17,993
60	0,67	0,88	0,16	8,997
75	0,84	0,97	0,09	5,061
90	1,00	1	0,03	1,687

25 anos	120 min	61,980		
tempo	% tempo	% chuva acumulada	% chuva	Chuva
15	0,13	0,03	0,03	1,859411002
30	0,25	0,2	0,17	10,53666235
45	0,38	0,5	0,3	18,59411002
60	0,50	0,72	0,22	13,63568068
75	0,63	0,86	0,14	8,677251344
90	0,75	0,93	0,07	4,338625672
105	0,88	0,97	0,04	2,47921467
120	1,00	1	0,03	1,859411002

25 anos	150 min	66,64732427		
tempo	% tempo	% chuva acumulada	% chuva	Chuva
15	0,10	0,02	0,02	1,332946485
30	0,20	0,11	0,09	5,998259184
45	0,30	0,3	0,19	12,66299161
60	0,40	0,52	0,22	14,66241134
75	0,50	0,72	0,2	13,32946485
90	0,60	0,84	0,12	7,997678912
105	0,70	0,9	0,06	3,998839456
120	0,80	0,95	0,05	3,332366213
135	0,90	0,98	0,03	1,999419728
150	1,00	1	0,02	1,332946485

25 anos	180 min	70,60984019		
tempo	% tempo	% chuva acumulada	% chuva	Chuva
15	0,08	0,02	0,02	1,412
30	0,17	0,06	0,04	2,824
45	0,25	0,2	0,14	9,885
60	0,33	0,35	0,15	10,591
75	0,42	0,58	0,23	16,240
90	0,50	0,72	0,14	9,885
105	0,58	0,79	0,07	4,943
120	0,67	0,88	0,09	6,355
135	0,75	0,93	0,05	3,530
150	0,83	0,96	0,03	2,118
165	0,92	0,99	0,03	2,118
180	1,00	1	0,01	0,706

Para 50 anos de TR:

50 anos	60 min	52,99391093		
tempo	% tempo	% chuva acumulada	% chuva	Chuva
15	0,25	0,2	0,2	10,59878219
30	0,5	0,72	0,52	27,55683368
45	0,75	0,93	0,21	11,1287213
60	1	1	0,07	3,709573765

50 anos	90 min	61,361		
tempo	% tempo	% chuva acumulada	% chuva	Chuva
15	0,17	0,26	0,26	15,95376782
30	0,33	0,4	0,14	8,590490363
45	0,50	0,72	0,32	19,63540654
60	0,67	0,88	0,16	9,817703272
75	0,84	0,97	0,09	5,52245809
90	1,00	1	0,03	1,840819363

50 anos	120 min	67,637		
tempo	% tempo	% chuva acumulada	% chuva	Chuva
15	0,13	0,03	0,03	2,029108059
30	0,25	0,2	0,17	11,498279
45	0,38	0,5	0,3	20,29108059
60	0,50	0,72	0,22	14,88012577
75	0,63	0,86	0,14	9,469170944
90	0,75	0,93	0,07	4,734585472
105	0,88	0,97	0,04	2,705477413
120	1,00	1	0,03	2,029108059

50 anos	150 min	72,730		
tempo	% tempo	% chuva acumulada	% chuva	Chuva
15	0,10	0,02	0,02	1,454596349
30	0,20	0,11	0,09	6,545683573
45	0,30	0,3	0,19	13,81866532
60	0,40	0,52	0,22	16,00055984
75	0,50	0,72	0,2	14,54596349
90	0,60	0,84	0,12	8,727578097
105	0,70	0,9	0,06	4,363789048
120	0,80	0,95	0,05	3,636490874
135	0,90	0,98	0,03	2,181894524
150	1,00	1	0,02	1,454596349

50 anos	180 min	77,054		
tempo	% tempo	% chuva acumulada	% chuva	Chuva
15	0,08	0,02	0,02	1,541
30	0,17	0,06	0,04	3,082
45	0,25	0,2	0,14	10,788
60	0,33	0,35	0,15	11,558
75	0,42	0,58	0,23	17,722
90	0,50	0,72	0,14	10,788
105	0,58	0,79	0,07	5,394
120	0,67	0,88	0,09	6,935
135	0,75	0,93	0,05	3,853
150	0,83	0,96	0,03	2,312
165	0,92	0,99	0,03	2,312
180	1,00	1	0,01	0,771

## APÊNDICE B – ANÁLISE DE CAMPO

Ponto 1: Solo avermelhado, textura argilo-arenosa, com pedregulhos variados e matéria orgânica. Consistência média a rígida. Aluvião ou sedimento transportado.

Fotos registradas das visitas de campo no ponto 1



(A primeira foto apresenta o ponto em questão. A segunda foto a análise tátil-visual do ponto, durante visita.)

Ponto 2: Aluvião marrom escuro, textura argilo-arenosa com areia fina, consistência muito mole, poucos pedregulhos. Localizado em planície de inundação (~10 m).

Fotos registradas das visitas de campo no ponto 2



(A primeira foto apresenta o ponto em questão. A segunda foto a análise tátil-visual do ponto, durante visita.)

Ponto 3: Solo laterítico de itabirito, cor marrom-avermelhada, textura argilosa, presença de ferro. Consistência mole. Encosta íngreme com vestígios de maquinário.

Fotos registradas das visitas de campo no ponto 3



(A primeira foto apresenta o ponto em questão. A segunda foto a análise tátil-visual do ponto, durante visita.)

Ponto 4: Afloramento de itabirito alterado, cor acinzentada, com dique de textura argilo-arenosa, cor arroxeadada, resistência branda.

Fotos registradas das visitas de campo no ponto 4



(A primeira foto apresenta o ponto em questão. A segunda foto a análise tátil-visual do ponto, durante visita.)

Ponto 10: Afloramento exposto de itabirito, rocha muito dura.

Fotos registradas das visitas de campo no ponto 10



(A foto apresenta a rocha exposta visualizada no ponto em questão.)

Ponto 11: Afloramento rochoso pouco alterado ao longo da estrada. Baixa infiltração.

Fotos registradas das visitas de campo no ponto 11



(A primeira foto apresenta o ponto em questão. A segunda foto faz um comparativo dimensional do afloramento.)

Ponto 13: Solo amarelo-ocre, textura argilo-arenosa com areia grossa, consistência mediana. Presença de nódulos de ferro.

Fotos registradas das visitas de campo no ponto 13



(A primeira foto apresenta o ponto em questão. A segunda foto a análise tátil-visual do ponto, durante visita.)

Ponto 15: Aterro urbano, solo compacto, avermelhado com muitos blocos. Região asfaltada com alto declive e alto escoamento superficial.

Fotos registradas das visitas de campo no ponto 15



(A foto apresenta a análise tátil-visual do ponto, durante visita.)

Ponto 16: Solo residual de xisto, rosado, muito argiloso, consistência mole.

Fotos registradas das visitas de campo no ponto 16



(As fotos apresentam a análise tátil-visual do ponto, durante visita.

## APÊNDICE C – ENSAIOS DE LABORATÓRIO

### C.1 Ensaio de Densidade Real dos Grãos

#### Ponto 2

	MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS			CENTRO TECNOLÓGICO DE GEOTECNIA APLICADA
	NORMA DE REFERÊNCIA: NBR 6457:2016; NBR 6508:1984			
IDENT. ENSAIO:	PFC - GUILHERME DANTAS - PONTO 2			
INTERESSADO:		DATA EXEC.:	31/07/2025	
OBRA:		RESP. EXEC.:		
MATERIAL:				
DISPOSITIVOS DE PRECISÃO	BALANÇA:		ESTUFA:	
	TERMÔMETRO:		CRONÔMETRO:	
TEOR DE UMIDADE				
CÁPSULA Nº	19	52	60	OBSERVAÇÕES:
SOLO ÚMIDO + TARA (g)	18,76	19,59	18,91	
SOLO SECO + TARA (g)	18,38	19,20	18,51	
TARA (g)	4,27	4,3	4,21	
SOLO SECO (g)	14,11	14,9	14,3	
ÁGUA (g)	0,38	0,39	0,4	
UMIDADE (%)	2,69	2,62	2,80	
UMIDADE MÉDIA (%)	2,70			
DETERMINAÇÃO Nº:	1	2	3	
BÉQUER:	2	9	3	
PICNÔMETRO Nº:	3	5	7	
MASSA DO PIC. + AMOSTRA + ÁGUA (g):	732,62	689,74	732,74	
TEMPERATURA (°C):	19,2	19,7	19	
MASSA DO PIC + ÁGUA (g):	695,00	652,31	694,86	
DENSIDADE DA ÁGUA A TEMPERATURA (g/cm³):	0,9984	0,9983	0,9984	
MASSA DO SOLO ÚMIDO (g):	60,34	60,24	60,56	
MASSA DO SOLO SECO (g):	58,75	58,65	58,97	
DENSIDADE REAL DOS GRÃOS (g/cm³):	2,776	2,759	2,793	
DIFERENÇA (g/cm³):	1 e 2	1 e 3	2 e 3	
	0,017	0,017	0,034	
MÉDIA - DENSIDADE REAL DOS GRÃOS (g/cm³):	2,767			
STATUS DO ENSAIO:	APROVADO	REPROVADO	Assinatura Responsável:	
Observações:				

Ponto 3

	MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS			CENTRO TECNOLÓGICO DE GEOTECNIA APLICADA
	NORMA DE REFERÊNCIA: NBR 6457:2016; NBR 6508:1984			
IDENT. ENSAIO:	PFC - GUILHERME DANTAS - PONTO 16			
INTERESSADO:			DATA EXEC.:	31/07/2025
OBRA:			RESP. EXEC.:	
MATERIAL:				
DISPOSITIVOS DE PRECISÃO	BALANÇA:		ESTUFA:	
	TERMÔMETRO:		CRONÔMETRO:	
TEOR DE UMIDADE				
CÁPSULA Nº	60	52	19	OBSERVAÇÕES:
SOLO ÚMIDO + TARA (g)	18,19	16,68	18,97	
SOLO SECO + TARA (g)	17,93	16,44	18,67	
TARA (g)	4,21	4,3	4,27	
SOLO SECO (g)	13,72	12,14	14,4	
ÁGUA (g)	0,26	0,24	0,3	
UMIDADE (%)	1,90	1,98	2,08	
UMIDADE MÉDIA (%)	1,99			
DETERMINAÇÃO Nº:	1	2	3	
BÉQUER:	8	2	3	
PICNÔMETRO Nº:	7	5	3	
MASSA DO PIC. + AMOSTRA + ÁGUA (g):	733,42	691,09	730,3	
TEMPERATURA (°C):	18,4	18,4	18,4	
MASSA DO PIC + ÁGUA (g):	694,90	652,35	695,03	
DENSIDADE DA ÁGUA À TEMPERATURA (g/cm³):	0,9985	0,9985	0,9985	
MASSA DO SOLO ÚMIDO (g):	60,16	60,29	60,39	
MASSA DO SOLO SECO (g):	58,99	59,12	59,21	
DENSIDADE REAL DOS GRÃOS (g/cm³):	2,877	2,897	2,469	
DIFERENÇA (g/cm³):	1 e 2	1 e 3	2 e 3	
	0,019	0,408	0,427	
MÉDIA - DENSIDADE REAL DOS GRÃOS (g/cm³):	2,887			
STATUS DO ENSAIO:	APROVADO	REPROVADO	Assinatura Responsável:	
Observações:				

## Ponto 4

	<b>MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS</b>			<b>CENTRO TECNOLÓGICO DE GEOTECNIA APLICADA</b>
	NORMA DE REFERÊNCIA: NBR 6457:2016; NBR 6508:1984			
IDENT. ENSAIO:	PFC - GUILHERME DANTAS - PONTO 4			
INTERESSADO:		DATA EXEC.:	31/07/2025	
OBRA:		RESP. EXEC.:		
MATERIAL:				
DISPOSITIVOS DE PRECISÃO	BALANÇA:		ESTUFA:	
	TERMÔMETRO:		CRONÔMETRO:	
<b>TEOR DE UMIDADE</b>				
<b>CÁPSULA Nº</b>	59	76	57	OBSERVAÇÕES:
<b>SOLO ÚMIDO + TARA (g)</b>	17,84	17,67	19,66	
<b>SOLO SECO + TARA (g)</b>	17,52	17,35	19,27	
<b>TARA (g)</b>	4,15	4,15	4,17	
<b>SOLO SECO (g)</b>	13,37	13,2	15,1	
<b>ÁGUA (g)</b>	0,32	0,32	0,39	
<b>UMIDADE (%)</b>	2,39	2,42	2,58	
<b>UMIDADE MÉDIA (%)</b>	2,47			
<b>DETERMINAÇÃO Nº:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	OBSERVAÇÕES:
<b>BÉQUER:</b>	8	12	13	
<b>PICNÔMETRO Nº:</b>	3	5	7	
<b>MASSA DO PIC. + AMOSTRA + ÁGUA (g):</b>	733,43	691,07	733,41	
<b>TEMPERATURA (°C):</b>	19,4	19,5	19,7	
<b>MASSA DO PIC + ÁGUA (g):</b>	694,99	652,32	694,80	
<b>DENSIDADE DA ÁGUA À TEMPERATURA (g/cm³):</b>	0,9984	0,9983	0,9983	
<b>MASSA DO SOLO ÚMIDO (g):</b>	60,59	60,41	60,39	
<b>MASSA DO SOLO SECO (g):</b>	59,13	58,96	58,94	
<b>DENSIDADE REAL DOS GRÃOS (g/cm³):</b>	2,853	2,913	2,895	
	1 e 2	1 e 3	2 e 3	
<b>DIFERENÇA (g/cm³):</b>	0,060	0,042	0,018	
<b>MÉDIA - DENSIDADE REAL DOS GRÃOS (g/cm³):</b>	2,904			
<b>STATUS DO ENSAIO:</b>	APROVADO	REPROVADO	Assinatura Responsável:	
Observações:				

Ponto 13

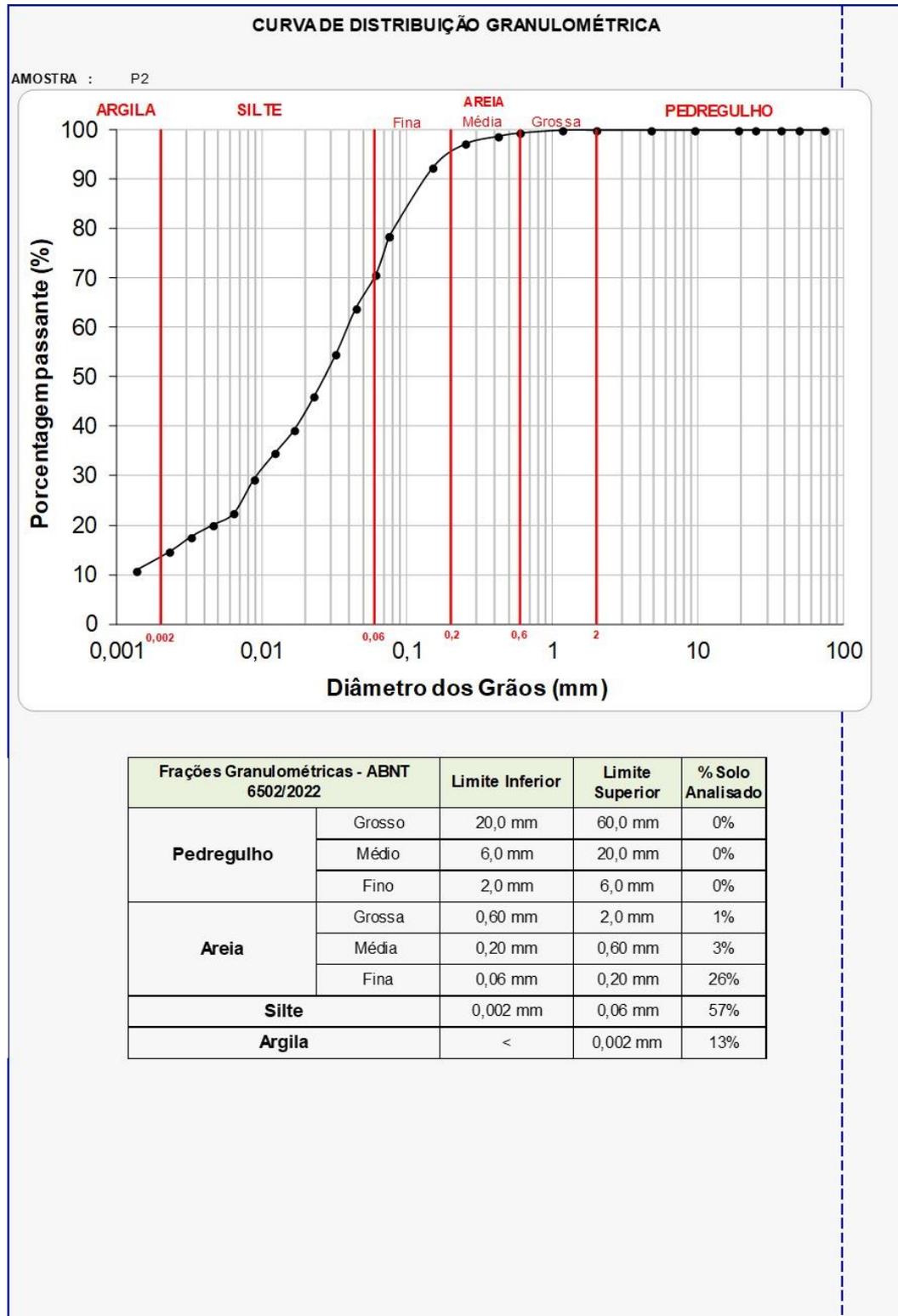
	MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS			CENTRO TECNOLÓGICO DE GEOTECNIA APLICADA
	NORMA DE REFERÊNCIA: NBR 6457:2016; NBR 6508:1984			
IDENT. ENSAIO:	PFC - GUILHERME DANTAS - PONTO 13			
INTERESSADO:		DATA EXEC.:	31/07/2025	
OBRA:		RESP. EXEC.:		
MATERIAL:				
DISPOSITIVOS DE PRECISÃO	BALANÇA:		ESTUFA:	
	TERMÔMETRO:		CRONÔMETRO:	
TEOR DE UMIDADE				
CÁPSULA Nº	19	52	60	OBSERVAÇÕES:
SOLO ÚMIDO + TARA (g)	13,27	14,06	12,94	
SOLO SECO + TARA (g)	12,79	13,49	12,47	
TARA (g)	4,26	4,28	4,25	
SOLO SECO (g)	8,53	9,21	8,22	
ÁGUA (g)	0,48	0,57	0,47	
UMIDADE (%)	5,63	6,19	5,72	
UMIDADE MÉDIA (%)	5,84			
DETERMINAÇÃO Nº:	1	2	3	OBSERVAÇÕES:
BÉQUER:	7	12	13	
PICNÔMETRO Nº:	7	5	3	
MASSA DO PIC. + AMOSTRA + ÁGUA (g):	731,9	689,48	728,12	
TEMPERATURA (°C):	21,2	20,9	21	
MASSA DO PIC + ÁGUA (g):	694,66	652,25	694,91	
DENSIDADE DA ÁGUA À TEMPERATURA (g/cm³):	0,9980	0,9980	0,9980	
MASSA DO SOLO ÚMIDO (g):	60,18	60,24	60,04	
MASSA DO SOLO SECO (g):	56,86	56,91	56,72	
DENSIDADE REAL DOS GRÃOS (g/cm³):	2,893	2,885	2,408	
DIFERENÇA (g/cm³):	1 e 2 0,007	1 e 3 0,485	2 e 3 0,477	
MÉDIA - DENSIDADE REAL DOS GRÃOS (g/cm³):	2,889			
STATUS DO ENSAIO:	<b>APROVADO</b>	REPROVADO	Assinatura Responsável:	
Observações:				

Ponto 16

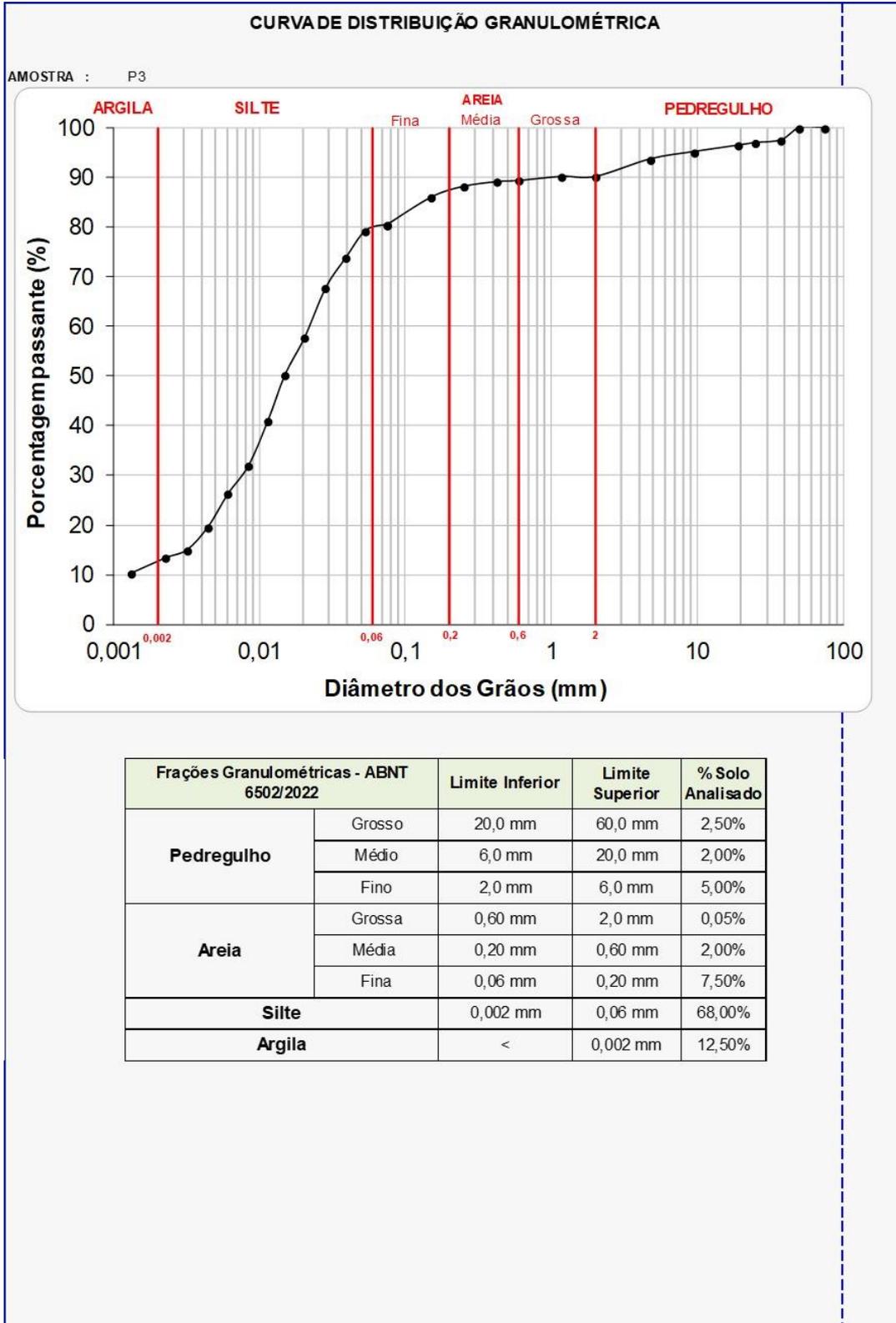
	<b>MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS</b>			<b>CENTRO TECNOLÓGICO DE GEOTECNIA APLICADA</b>
	<b>NORMA DE REFERÊNCIA: NBR 6457:2016; NBR 6508:1984</b>			
IDENT. ENSAIO:	PFC - GUILHERME DANTAS - PONTO 16			
INTERESSADO:			DATA EXEC.:	31/07/2025
OBRA:			RESP. EXEC.:	
MATERIAL:				
DISPOSITIVOS DE PRECISÃO	BALANÇA:		ESTUFA:	
	TERMÔMETRO:		CRONÔMETRO:	
<b>TEOR DE UMIDADE</b>				
<b>CÁPSULA Nº</b>	46	33	69	OBSERVAÇÕES:
<b>SOLO ÚMIDO + TARA (g)</b>	19,22	16,17	17,75	
<b>SOLO SECO + TARA (g)</b>	18,77	15,77	17,3	
<b>TARA (g)</b>	4,46	4,31	4,29	
<b>SOLO SECO (g)</b>	14,31	11,46	13,01	
<b>ÁGUA (g)</b>	0,45	0,40	0,45	
<b>UMIDADE (%)</b>	3,14	3,49	3,46	
<b>UMIDADE MÉDIA (%)</b>	3,36			
<b>DETERMINAÇÃO Nº:</b>	1	2	3	OBSERVAÇÕES:
<b>BÉQUER:</b>	1	9	3	
<b>PICNÔMETRO Nº:</b>	7	3	5	
<b>MASSA DO PIC. + AMOSTRA + ÁGUA (g):</b>	733,67	734,24	691,11	
<b>TEMPERATURA (°C):</b>	20,5	20,4	20,4	
<b>MASSA DO PIC + ÁGUA (g):</b>	694,73	694,94	652,28	
<b>DENSIDADE DA ÁGUA À TEMPERATURA (g/cm³):</b>	0,9981	0,9981	0,9981	
<b>MASSA DO SOLO ÚMIDO (g):</b>	60,18	60,7	60,13	
<b>MASSA DO SOLO SECO (g):</b>	58,22	58,72	58,17	
<b>DENSIDADE REAL DOS GRÃOS (g/cm³):</b>	3,015	3,017	3,002	
<b>DIFERENÇA (g/cm³):</b>	1 e 2	1 e 3	2 e 3	
	0,002	0,013	0,015	
<b>MÉDIA - DENSIDADE REAL DOS GRÃOS (g/cm³):</b>	3,016			
<b>STATUS DO ENSAIO:</b>	<b>APROVADO</b>	REPROVADO	Assinatura Responsável:	
Observações:				

## C.2 Ensaio Granulométrico

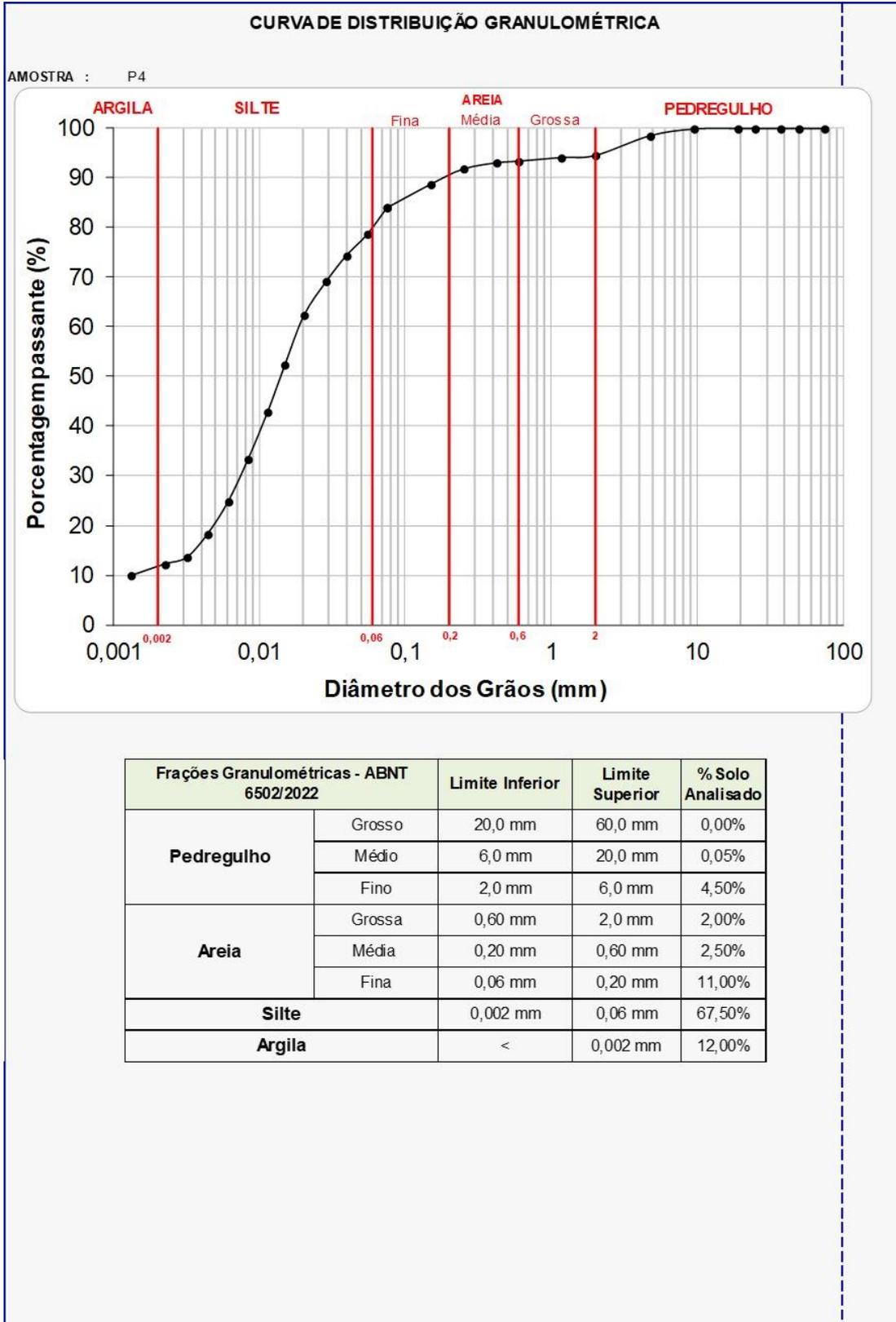
### Ponto 2



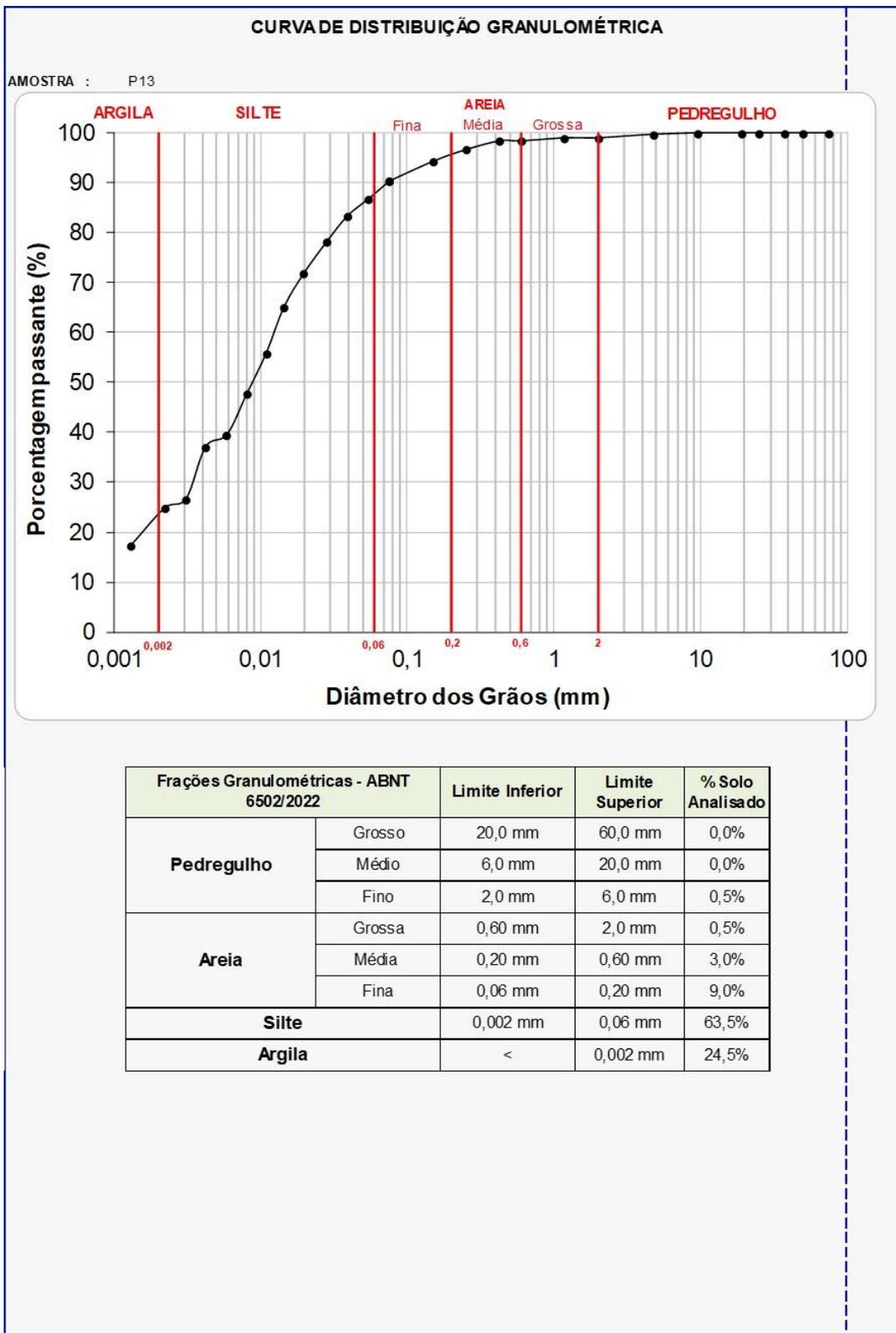
### Ponto 3



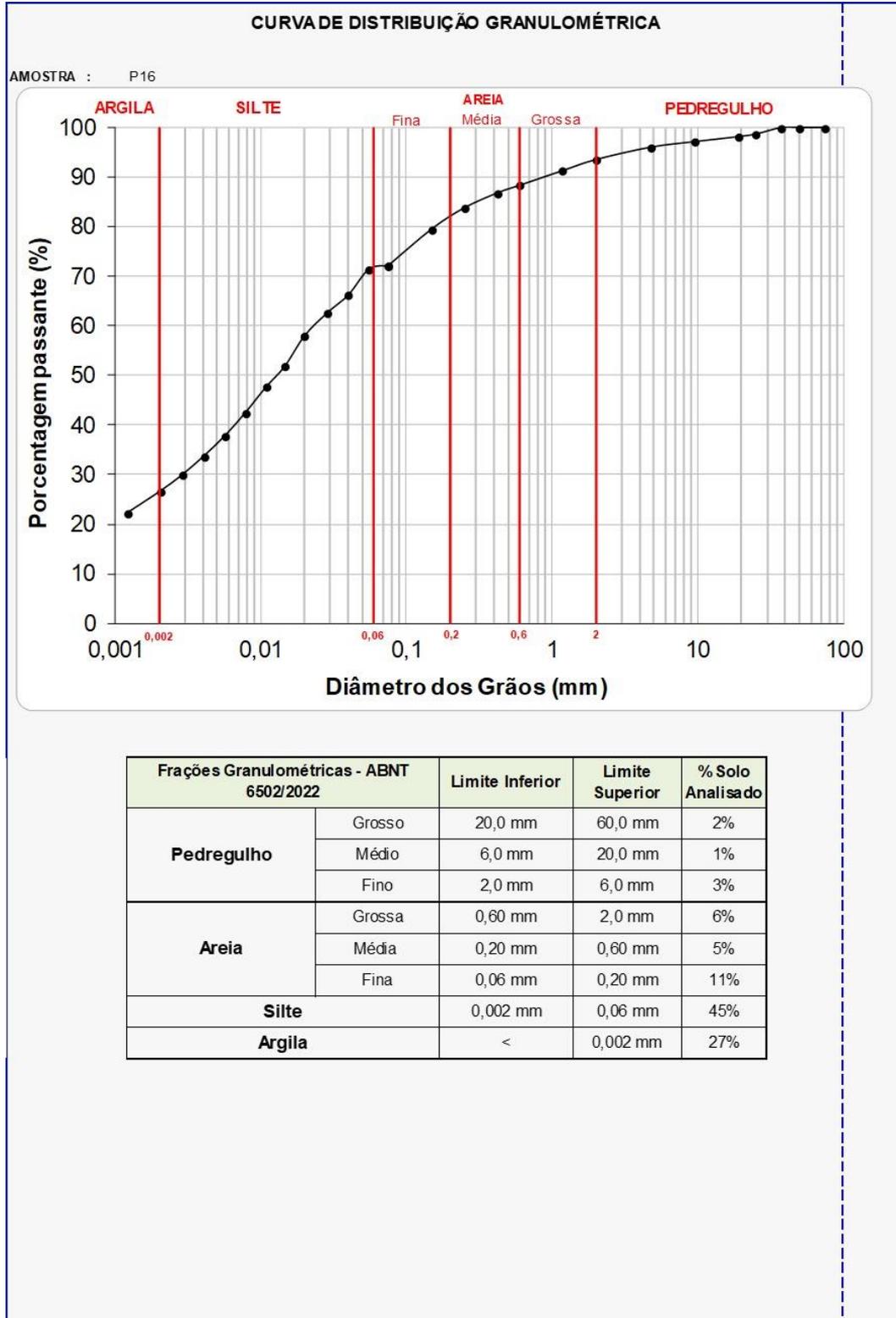
## Ponto 4



Ponto 13



Ponto 16



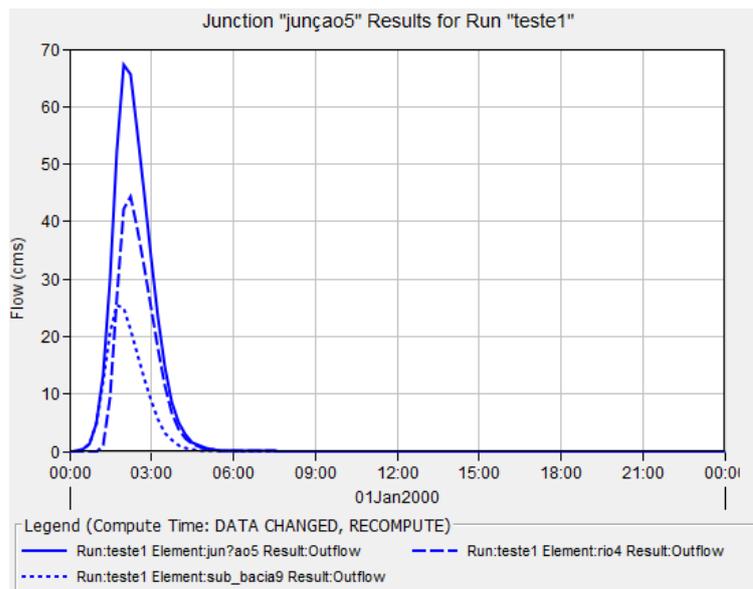
# APÊNDICE D – HIDROGRAMAS DE CHEIAS

## Cenário IDE Sisema e Laboratório – TR10

Project: projeto\_final\_carioca Simulation Run: teste1  
Junction: junção5

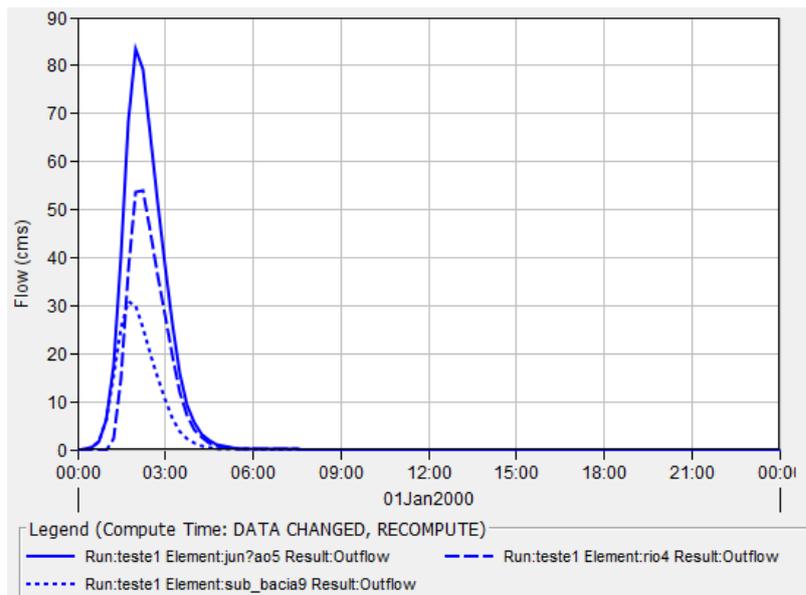
Start of Run: 01jan.2000, 00:00 Basin Model: Basin 1  
End of Run: 02jan.2000, 00:00 Meteorologic Model: 150minutos10anos  
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: controle1

Date	Time	Inflow from rio4 (M3/S)	Inflow from sub_bacia9 (M3/S)	Outflow (M3/S)
01jan.2000	00:00	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	00:15	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	00:30	0,0	0,3	0,3
01jan.2000	00:45	0,0	1,4	1,4
01jan.2000	01:00	0,0	4,9	4,9
01jan.2000	01:15	1,2	12,2	13,4
01jan.2000	01:30	9,3	20,7	30,0
01jan.2000	01:45	26,9	25,5	52,4
01jan.2000	02:00	42,3	24,9	67,2
01jan.2000	02:15	44,4	21,2	65,6
01jan.2000	02:30	38,6	16,8	55,4
01jan.2000	02:45	32,0	12,7	44,7
01jan.2000	03:00	24,9	8,8	33,7
01jan.2000	03:15	17,8	5,5	23,4
01jan.2000	03:30	11,5	3,3	14,8
01jan.2000	03:45	6,8	1,9	8,7
01jan.2000	04:00	3,8	1,1	5,0
01jan.2000	04:15	2,2	0,7	2,8
01jan.2000	04:30	1,3	0,4	1,6
01jan.2000	04:45	0,8	0,2	1,0
01jan.2000	05:00	0,5	0,1	0,6
01jan.2000	05:15	0,3	0,1	0,3
01jan.2000	05:30	0,2	0,0	0,2
01jan.2000	05:45	0,1	0,0	0,1
01jan.2000	06:00	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	06:15	0,0	0,0	0,0



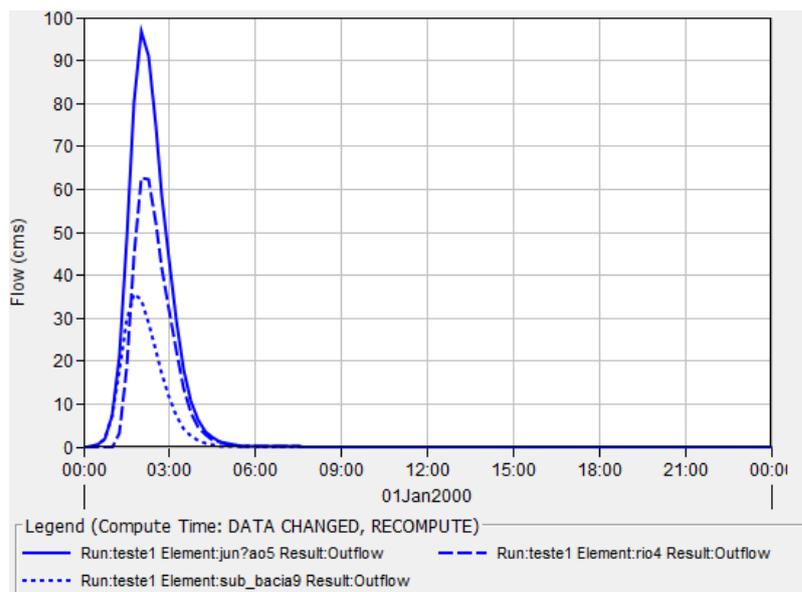
## Cenário IDE Sisema e Laboratório – TR25

Project: projeto_final_carioca    Simulation Run: teste1 Junction: junçao5				
Start of Run: 01jan.2000, 00:00		Basin Model: Basin 1		
End of Run: 02jan.2000, 00:00		Meteorologic Model: 150minunos25anos		
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE		Control Specifications: controle1		
Date	Time	Inflow from rio4 (M3/S)	Inflow from sub_bacia9 (M3/S)	Outflow (M3/S)
01jan.2000	00:00	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	00:15	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	00:30	0,0	0,3	0,3
01jan.2000	00:45	0,0	1,7	1,7
01jan.2000	01:00	0,0	6,2	6,2
01jan.2000	01:15	2,4	15,2	17,6
01jan.2000	01:30	14,8	25,4	40,2
01jan.2000	01:45	37,2	30,9	68,1
01jan.2000	02:00	53,7	29,9	83,5
01jan.2000	02:15	54,0	25,3	79,2
01jan.2000	02:30	45,5	20,0	65,4
01jan.2000	02:45	36,5	15,0	51,5
01jan.2000	03:00	28,0	10,4	38,4
01jan.2000	03:15	19,6	6,5	26,2
01jan.2000	03:30	12,0	3,9	15,9
01jan.2000	03:45	7,0	2,3	9,3
01jan.2000	04:00	4,2	1,3	5,5
01jan.2000	04:15	2,5	0,8	3,3
01jan.2000	04:30	1,5	0,4	1,9
01jan.2000	04:45	0,9	0,2	1,1
01jan.2000	05:00	0,5	0,1	0,7
01jan.2000	05:15	0,3	0,1	0,4
01jan.2000	05:30	0,2	0,0	0,2
01jan.2000	05:45	0,1	0,0	0,1
01jan.2000	06:00	0,1	0,0	0,1
01jan.2000	06:15	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	06:30	0,0	0,0	0,0



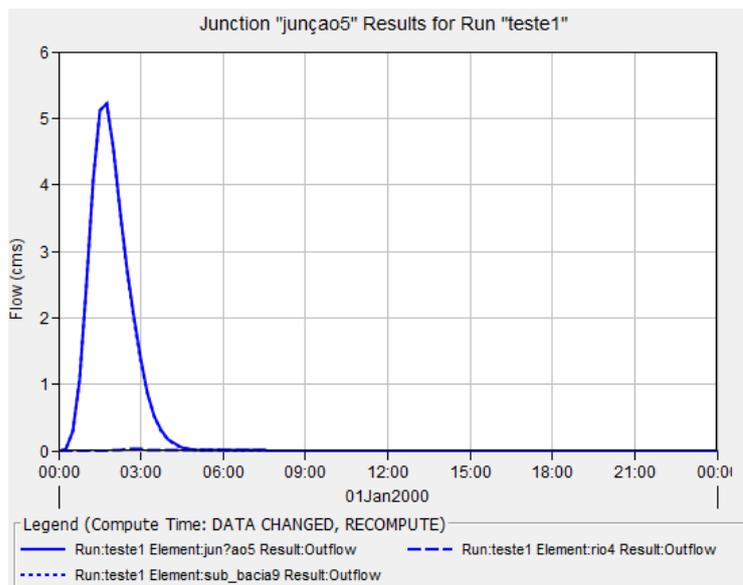
## Cenário IDE Sisema e Laboratório – TR50

Project:projeto_final_carioca Simulation Run: teste1 Junction: junçao5				
Start of Run: 01jan.2000, 00:00		Basin Model: Basin 1		
End of Run: 02jan.2000, 00:00		Meteorologic Model: 150minutos50anos		
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE		Control Specifications: controle1		
Date	Time	Inflow from rio4 (M3/S)	Inflow from sub_bacia9 (M3/S)	Outflow (M3/S)
01jan.2000	00:00	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	00:15	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	00:30	0,0	0,4	0,4
01jan.2000	00:45	0,0	2,0	2,0
01jan.2000	01:00	0,0	7,4	7,4
01jan.2000	01:15	3,3	17,9	21,2
01jan.2000	01:30	18,5	29,5	48,0
01jan.2000	01:45	44,6	35,5	80,1
01jan.2000	02:00	62,8	34,2	96,9
01jan.2000	02:15	62,4	28,7	91,1
01jan.2000	02:30	52,2	22,6	74,9
01jan.2000	02:45	41,7	17,0	58,7
01jan.2000	03:00	31,9	11,7	43,6
01jan.2000	03:15	22,3	7,4	29,7
01jan.2000	03:30	13,7	4,4	18,0
01jan.2000	03:45	8,0	2,6	10,5
01jan.2000	04:00	4,7	1,5	6,2
01jan.2000	04:15	2,8	0,9	3,7
01jan.2000	04:30	1,7	0,5	2,2
01jan.2000	04:45	1,0	0,3	1,3
01jan.2000	05:00	0,6	0,1	0,8
01jan.2000	05:15	0,4	0,1	0,4
01jan.2000	05:30	0,2	0,0	0,3
01jan.2000	05:45	0,1	0,0	0,1
01jan.2000	06:00	0,1	0,0	0,1
01jan.2000	06:15	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	06:30	0,0	0,0	0,0



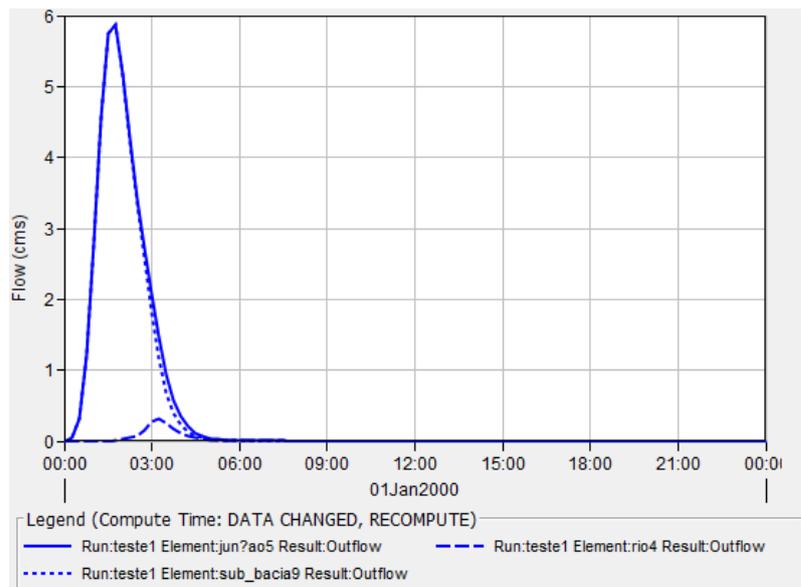
## Cenário IBGE – TR10

		Project:projeto_final_carioca Simulation Run: teste1 Junction: junçao5		
Start of Run: 01jan.2000, 00:00		Basin Model: Basin 1		
End of Run: 02jan.2000, 00:00		Meteorologic Model: 150minutos10anos		
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE		Control Specifications: controle1		
Date	Time	Inflow from rio4 (M3/S)	Inflow from sub_bacia9 (M3/S)	Outflow (M3/S)
01jan.2000	00:00	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	00:15	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	00:30	0,0	0,3	0,3
01jan.2000	00:45	0,0	1,1	1,1
01jan.2000	01:00	0,0	2,5	2,5
01jan.2000	01:15	0,0	4,1	4,1
01jan.2000	01:30	0,0	5,1	5,1
01jan.2000	01:45	0,0	5,2	5,2
01jan.2000	02:00	0,0	4,5	4,5
01jan.2000	02:15	0,0	3,6	3,6
01jan.2000	02:30	0,0	2,7	2,7
01jan.2000	02:45	0,0	2,0	2,0
01jan.2000	03:00	0,0	1,4	1,4
01jan.2000	03:15	0,0	0,9	0,9
01jan.2000	03:30	0,0	0,5	0,5
01jan.2000	03:45	0,0	0,3	0,3
01jan.2000	04:00	0,0	0,2	0,2
01jan.2000	04:15	0,0	0,1	0,1
01jan.2000	04:30	0,0	0,1	0,1
01jan.2000	04:45	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	05:00	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	05:15	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	05:30	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	05:45	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	06:00	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	06:15	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	06:30	0,0	0,0	0,0



## Cenário IBGE – TR25

		Project: projeto_final_carioca    Simulation Run: teste1 Junction: junçao5		
		Start of Run: 01jan.2000, 00:00	Basin Model: Basin 1	
		End of Run: 02jan.2000, 00:00	Meteorologic Model: 150minutos25anos	
		Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE	Control Specifications: controle1	
Date	Time	Inflow from rio4 (M3/S)	Inflow from sub_bacia9 (M3/S)	Outflow (M3/S)
01jan.2000	00:00	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	00:15	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	00:30	0,0	0,3	0,3
01jan.2000	00:45	0,0	1,2	1,2
01jan.2000	01:00	0,0	2,8	2,8
01jan.2000	01:15	0,0	4,6	4,6
01jan.2000	01:30	0,0	5,7	5,7
01jan.2000	01:45	0,0	5,9	5,9
01jan.2000	02:00	0,0	5,2	5,2
01jan.2000	02:15	0,0	4,2	4,3
01jan.2000	02:30	0,1	3,4	3,4
01jan.2000	02:45	0,1	2,6	2,7
01jan.2000	03:00	0,3	1,8	2,1
01jan.2000	03:15	0,3	1,2	1,5
01jan.2000	03:30	0,3	0,7	0,9
01jan.2000	03:45	0,2	0,4	0,6
01jan.2000	04:00	0,1	0,2	0,4
01jan.2000	04:15	0,1	0,1	0,2
01jan.2000	04:30	0,0	0,1	0,1
01jan.2000	04:45	0,0	0,0	0,1
01jan.2000	05:00	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	05:15	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	05:30	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	05:45	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	06:00	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	06:15	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	06:30	0,0	0,0	0,0



## Cenário IBGE – TR50

		Project: projeto_final_carioca    Simulation Run: teste1 Junction: junçao5		
		Start of Run: 01jan.2000, 00:00	Basin Model: Basin 1	
		End of Run: 02jan.2000, 00:00	Meteorologic Model: 150minutos50anos	
		Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE	Control Specifications: controle1	
Date	Time	Inflow from rio4 (M3/S)	Inflow from sub_bacia9 (M3/S)	Outflow (M3/S)
01jan.2000	00:00	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	00:15	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	00:30	0,0	0,4	0,4
01jan.2000	00:45	0,0	1,3	1,3
01jan.2000	01:00	0,0	3,0	3,0
01jan.2000	01:15	0,0	5,0	5,0
01jan.2000	01:30	0,0	6,3	6,3
01jan.2000	01:45	0,0	6,5	6,5
01jan.2000	02:00	0,1	5,9	6,0
01jan.2000	02:15	0,2	5,0	5,2
01jan.2000	02:30	0,4	4,2	4,6
01jan.2000	02:45	0,8	3,3	4,1
01jan.2000	03:00	1,1	2,3	3,4
01jan.2000	03:15	1,0	1,5	2,5
01jan.2000	03:30	0,7	0,9	1,6
01jan.2000	03:45	0,5	0,5	1,0
01jan.2000	04:00	0,3	0,3	0,6
01jan.2000	04:15	0,2	0,2	0,3
01jan.2000	04:30	0,1	0,1	0,2
01jan.2000	04:45	0,1	0,1	0,1
01jan.2000	05:00	0,0	0,0	0,1
01jan.2000	05:15	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	05:30	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	05:45	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	06:00	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	06:15	0,0	0,0	0,0
01jan.2000	06:30	0,0	0,0	0,0

