



PREFEITURA DE JUIZ DE FORA

Margarida Salomão

Prefeita

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO URBANO – SEPUR

Raphael Barbosa Rodrigues de Souza

Secretário

SECRETARIA DE OBRAS – SO

Lincoln Santos Lima

Secretário

GESTÃO E FISCALIZAÇÃO

Wagner Classer de Brito

Gestor

Amanda Teixeira de Rezende

Fiscal

Marília Augusta Costa Silveira

Fiscal

GRUPO DE TRABALHO

Secretaria de Planejamento Urbano (SEPUR)

Marília Augusta Costa Silveira (coordenadora administrativa)

Matheus Magalhães Rodrigues

Secretaria de Obras (SO)

Amanda Teixeira de Rezende (coordenadora técnica)

Bruna Ferreira da Rocha

Caroline Lorensato Evangelista

Eduardo de Oliveira

Erix Sgarbi Moraes da Silva

Giselle Belcavello

Jadna Rocha de Amorim Marques

Leonardo Leon Leite Moreira

Lincoln Santos Lima

Marco Antônio Ribeiro Nasser

Roberto Claudio Passarella Falci

Secretaria do Governo / Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil (SG/SSPDC)

Ana Carolina Marini Magalhães de Toledo

Joviano Elias de Souza Assis

Secretaria de Sustentabilidade em Meio Ambiente e Atividades Urbanas (SESMAUR)

Mariana Matias Mattos

Igor Luna

Companhia de Saneamento Municipal (CESAMA)

Marcelo Mello do Amaral

Ricardo Stahlschmidt Pinto Silva



ELABORAÇÃO DO PLANO DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS DO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA PDMAPU – JUIZ DE FORA

ESTUDOS HIDROLÓGICOS E MEDIDAS MITIGADORAS ETAPA INICIAL

BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO PEDRO

CONTRATO Nº 01.2024.166

AGOSTO DE 2025

ELABORAÇÃO: GEASA ENGENHARIA

QUADRO DE REVISÕES		
Código do arquivo digital:		GE-24-049-DC-P05P07-REL02-ESTUDOS HIDROLÓGICOS E MEDIDAS MITIGADORAS ETAPA INICIAL
R0	26/08/2025	EMIÇÃO INICIAL
R1	28/08/2025	
Rev.	Data	Modificação



SUMÁRIO

28		
29	1. INTRODUÇÃO.....	8
30	2. ESTUDOS HIDROLÓGICOS.....	10
31	2.1 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	10
32	2.1.1 Barragem São Pedro	14
33	2.1.2 Segurança de Barragens	17
34	2.2 – ESTUDO DE PRECIPITAÇÕES	19
35	2.2.1 Curva IDF Atual	19
36	2.2.2 Objetivos.....	19
37	2.2.3 Atualização da Curva IDF	20
38	2.2.4 Curvas e equações IDF	34
39	2.3 - CHUVA DE PROJETO	38
40	2.3.1 Classificação Pedológica dos solos	38
41	2.3.2 Condições atuais de uso e cobertura do solo	40
42	2.3.3 Definição do Período de Retorno.....	43
43	2.3.4 Definição do Tempo de Duração da Chuva de Projeto	44
44	2.3.5 Distribuição Temporal das Chuvas de Projeto	45
45	2.4 – VAZÃO DE PROJETO.....	47
46	2.4.1 Hidrogramas de projeto	49
47	3. ESTUDOS HIDRÁULICOS	63
48	3.1 - CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE MACRODRENAGEM EXISTENTE.....	63
49	3.2 –HISTÓRICO DE INUNDAÇÕES NA REGIÃO DE ESTUDO	74
50	3.2.1 Eventos históricos.....	74
51	3.2.1.1 Ocorrências em 2013.....	74
52	3.2.1.2 Ocorrências em 2014.....	75
53	3.2.1.3 Ocorrências em 2019.....	76
54	3.3 - MODELAGEM HIDRÁULICA.....	77
55	3.3.1 Resultados da modelagem hidráulica para as chuvas de projeto.....	78
56	4 MEDIDAS MITIGADORAS	86
57	4.1 Premissas e Critérios de Projeto	87
58	4.2 Adequação do Sistema Extravisor da Barragem São Pedro.....	89
59	4.3 Resultados da Modelagem Hidrológica	92
60	4.4 Dimensionamento Hidráulico do Canal São Pedro.	101
61	4.5 Dimensionamento Hidráulico das Travessias	104
62	5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	106
63	5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
64		

LISTA DE FIGURAS

65		
66	Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do córrego São Pedro.....	11
67	Figura 2 - Divisão das sub-bacias integrantes da bacia hidrográfica do córrego São Pedro.	13
68	Figura 3 - Planta da barragem São Pedro.....	14
69	Figura 4 - Barragem São Pedro – Seção AA.....	15
70	Figura 5 - Área de influência das estações (Polígonos de Thiessen)	22
71	Figura 6 – Médias Mensais da Estação 2143056 (período 1961 – 2024).....	23
72	Figura 7 - Precipitação Máxima Anual.....	25
73	Figura 8 - Testes estatísticos aplicados as estações	27
74	Figura 9 – Estações Consideradas	30
75	Figura 10 - Distribuições de probabilidade ajustadas aos dados de precipitação extrema estação	
76	2143056.....	34
77	Figura 11 - Curva IDF para a estação 2143056	35
78	Figura 12 - Curva ADF para a estação 2143056.....	36
79	Figura 13 - Mapa pedológico da Bacia hidrográfica do córrego São Pedro.....	39
80	Figura 14 - Uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do córrego São Pedro.....	41
81	Figura 15 – Curvas dos quartis da distribuição de HUFF.	46
82	Figura 16 – Ilustração do hidrograma unitário triangular (cinza) e adimensional (preto) para dados	
83	hipotéticos.....	48
84	Figura 17 – Topologia para a modelagem no HEC-HMS.	49
85	Figura 18 – Curva Cota-Volume da Barragem São Pedro.....	50
86	Figura 19 - Hidrogramas das vazões para a duração crítica de 3 horas – TR 25 anos.	57
87	Figura 20 - Hidrogramas das vazões nas junções (J) para a duração crítica de 3 horas – TR 25 anos	
88		58
89	Figura 21 - Hidrogramas das vazões nas junções (J) para a duração crítica de 3 horas – TR 50 anos	
90		59
91	Figura 22 - Hidrogramas das vazões nas junções (J) para a duração crítica de 3 horas – TR 50 anos	
92		60
93	Figura 23 - Hidrogramas das vazões para a duração crítica de 2 horas – TR 1000 anos.....	61
94	Figura 24 – Localização das seções levantadas pelo CASAMA.....	64
95	Figura 25 - Localização das seções onde foram feitos levantamentos topográficos.....	65
96	Figura 26 – Esquema representativo do córrego São Pedro no software HEC-RAS.....	73
97	Figura 27 – Alagamento na Avenida presidente Costa e Silva, Bairro São Pedro.....	75
98	Figura 28 - Alagamento na Rua Mariano Procópio.....	76

99	Figura 29 – Resultado Chuvas de Projeto (Trecho 01 - a montante da cachoeira do córrego São Pedro)	
100		78
101	Figura 30 – Resultado Chuvas de Projeto (Trecho 02 - a montante da cachoeira do córrego São Pedro)	
102		79
103	Figura 31 – Resultado Chuvas de Projeto (Trecho a jusante da cachoeira do córrego São Pedro) ...	79
104	Figura 32 – Seção proposta para o sistema extravasor da Barragem São Pedro	90
105	Figura 33 – Perfil proposta para o sistema extravasor da Barragem São Pedro.	90
106	Figura 34 – Curva de Descarga do Sistema Extravasor da barragem.....	91
107	Figura 35 – Trânsito da cheia de 1.000 anos de período de retorno no reservatório da barragem.....	92
108		
109		
110		
111		
112		
113		
114		



LISTA DE TABELAS

115		
116		
117	Tabela 1 - Dados das sub-bacias do córrego São Pedro.	12
118	Tabela 2 - Ficha técnica da Barragem São Pedro.	16
119	Tabela 3 - Tempos de recorrência mínimos (anos) recomendados para as cheias de projeto.	18
120	Tabela 4 - Estações presentes no município de Juiz de Fora com dados no HidroWeb.	21
121	Tabela 5 - Número de dias com falhas por ano.	25
122	Tabela 6 - Estações pluviográficas consideradas.	29
123	Tabela 7 - Coeficientes de desagregação calculados para cada estação.	32
124	Tabela 8 – Coeficiente de desagregação das chuvas.	33
125	Tabela 9 – Tabela de Intensidade mm/h.	36
126	Tabela 10 – Tabela de Precipitação Total (mm).	37
127	Tabela 11 - Tipos de usos do solo e CN adotados.	42
128	Tabela 12 - CN calculado por sub-bacia.	42
129	Tabela 13 – Tempo de retorno para projetos de drenagem urbana.	43
130	Tabela 14 - Tempos de concentração para cada sub-bacia.	44
131	Tabela 15 – Curva de Descarga do sifão e descarregador de fundo da Barragem São Pedro.	50
132	Tabela 16 – Curva de Descarga do sifão e descarregador de fundo da Barragem São Pedro.	51
133	Tabela 17 - Síntese das vazões de pico para TR 25 anos.	52
134	Tabela 18 - Síntese das vazões de pico para TR 50 anos.	53
135	Tabela 19 - Síntese da vazão de pico entrada e saída da Barragem São Pedro - TR 1000 anos.	55
136	Tabela 20 – Resultado do trânsito de cheias no reservatório da Barragem São Pedro para a chuva com	
137	duração de 2 horas.	62
138	Tabela 21 – Interferências no canal.	66
139	Tabela 22 – Síntese dos resultados – TR 25 anos.	81
140	Tabela 23 – Síntese dos resultados – TR 50 anos.	83
141	Tabela 24 – Propagação de cheias – TR 1.000 anos.	91
142	Tabela 25 - Síntese das vazões de pico para TR 25 anos – Após adequação da Barragem São Pedro.	
143		93
144	Tabela 26 - Síntese das vazões de pico para TR 50 anos – Após adequação da Barragem São Pedro.	
145		95
146	Tabela 26 - Síntese das vazões de pico para TR 100 anos – Após adequação da Barragem São Pedro.	
147		98
148	Tabela 27 – Comparação das vazões de pico.	101
149	Tabela 28 – Pré-dimensionamento das seções do canal do córrego São Pedro - TR 25 anos.	103



150	Tabela 29 – Verificação do pré-dimensionamento das seções do canal do córrego São Pedro - TR 50	
151	anos.....	103
152	Tabela 30 – Verificação da travessia - Bueiro.....	105
153	Tabela 28 – Verificação da travessia da Ferrovia - TR 100 anos	106
154		



1. INTRODUÇÃO

O acelerado e desorganizado crescimento das cidades no Brasil tem causado diversos problemas graves, especialmente no que diz respeito à infraestrutura para a drenagem das águas pluviais. A intensificação da impermeabilização do solo, o acúmulo de sedimentos nos rios, a remoção da vegetação em Áreas de Preservação Permanente (APP), a erosão e o descarte inadequado de resíduos são fatores que agravam essa situação. Além disso, a ocupação irregular das margens dos rios intensifica os impactos, resultando nas inundações, que afetam o meio ambiente, a economia e a sociedade.

Ao longo do tempo, esses problemas apresentam tendência de se agravar pelo processo gradual de adensamento e de intensificação da ocupação urbana, juntamente com a falta de investimento em estudos e projetos destinados à minimização dos impactos e controle das enchentes

Para enfrentar essa problemática, é essencial a adoção de uma abordagem interdisciplinar, aliada à implementação de políticas públicas direcionadas à gestão da drenagem urbana. Nesse contexto, a Prefeitura de Juiz de Fora tem intensificado, nos últimos anos, a implementação de soluções integradas, englobando medidas estruturais e não estruturais, com o objetivo de prevenir, mitigar e minimizar os impactos ambientais e sociais causados por inundações e alagamentos em áreas suscetíveis.

Assim, o presente estudo apresenta os resultados obtidos da simulação do cenário atual de macrodrenagem na bacia do córrego São Pedro, ao longo do documento, serão apresentados estudos hidrológicos e hidráulicos. Os estudos hidrológicos fornecerão subsídios para o planejamento e elaboração das propostas de soluções. Os estudos hidráulicos por sua vez, permitirão a determinação dos níveis d'água máximos associados a eventos de diferentes tempos de recorrência utilizando a IDF de Juiz de Fora como marco de referência para aferição.

Ainda, são apresentadas as soluções propostas para mitigar problemas relacionados à eventos extremos de chuva na bacia do Córrego São Pedro, frente aos resultados encontrados no estudo hidrológico.

Importante destacar que as soluções propostas para a bacia do córrego São Pedro foram divididas em duas etapas, inicial e final, onde na etapa inicial foram previstas soluções para mitigação da parcela mais a jusante da bacia, incluindo os bairros Granville, Vale do Ipê e Mariana Procópio. Já a fase final englobará as obras do restante da bacia. Neste documento são apresentadas as soluções propostas somente para a etapa inicial.



Conforme apresentado no item 2 deste documento, o sistema extravasor da Barragem São Pedro não apresenta capacidade para veicular as vazões de projeto, ocasionando o seu galgamento para eventos com período de retorno acima de 25 anos. Assim, para garantir a segurança da estrutura é necessário a adequação do sistema extravasor, bem como do barramento, de forma a atender à normativas de segurança de barragens.

O pré-dimensionamento do sistema extravasor foi realizado considerando os critérios indicados pela ANA e Eletrobras, bem como as boas práticas de engenharia, os quais recomendam período de retorno mínimo de 1.000 anos a ser adotado para as cheias de projeto, além da borda livre mínima de 1,0 m, visto que o Dano Potencial Associado (DPA) a barragem São Pedro é Alto.

Com o objetivo aumentar a eficiência do barramento para amortecimentos dos picos de vazão para períodos de retorno ordinários, foi proposta uma geometria para o vertedor para otimização do sistema extravasor.



2. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

De acordo com o Instituto de Pesquisas em Transportes, um o estudo hidrológico possibilita a caracterização, quantificação e qualificação das circunstâncias climáticas, pluviométricas e hídricas da área onde se localiza o trecho em estudo, bem como define as bacias de contribuição interceptadas pelo traçado e calcula as vazões máximas dessas bacias, visando o correto dimensionamento das obras de drenagem.

Basicamente, a metodologia adotada nos estudos hidrológicos pode ser resumida na seguinte sequência:

- Delimitação da bacia de contribuição;
- Determinação das características e parâmetros físicos da área de contribuição, tais como uso e ocupação do solo, declividade e comprimento dos talwegues e respectivo tempo de concentração;
- Estudo das chuvas intensas na área de interesse, definindo-se as chuvas de projeto;
- Aplicação de modelo chuva-vazão para cálculo das vazões de projeto.

2.1 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do córrego São Pedro está situada na região oeste do município de Juiz de Fora, e conta com uma área total de 29,84 km² abrangendo integral ou parcialmente, os bairros: (Borboleta, Morro do Imperador, Nossa Senhora de Fátima, São Pedro, Cruzeiro de Santo Antônio, Nova Califórnia, Novo Horizonte, Aeroporto, Fábrica, Santa Catarina, Vale do Ipê, Mariano Procópio e Jardim Glória) (MACHADO, 2010).

O Córrego São Pedro, se estende por 13,2 km, direcionando suas águas para o reservatório do Sistema São Pedro, popularmente chamado de Represa dos Ingleses. Esse sistema também recebe a contribuição hídrica do Córrego Grota do Pinto. A Figura 1 apresenta o mapa de localização da bacia em estudo.

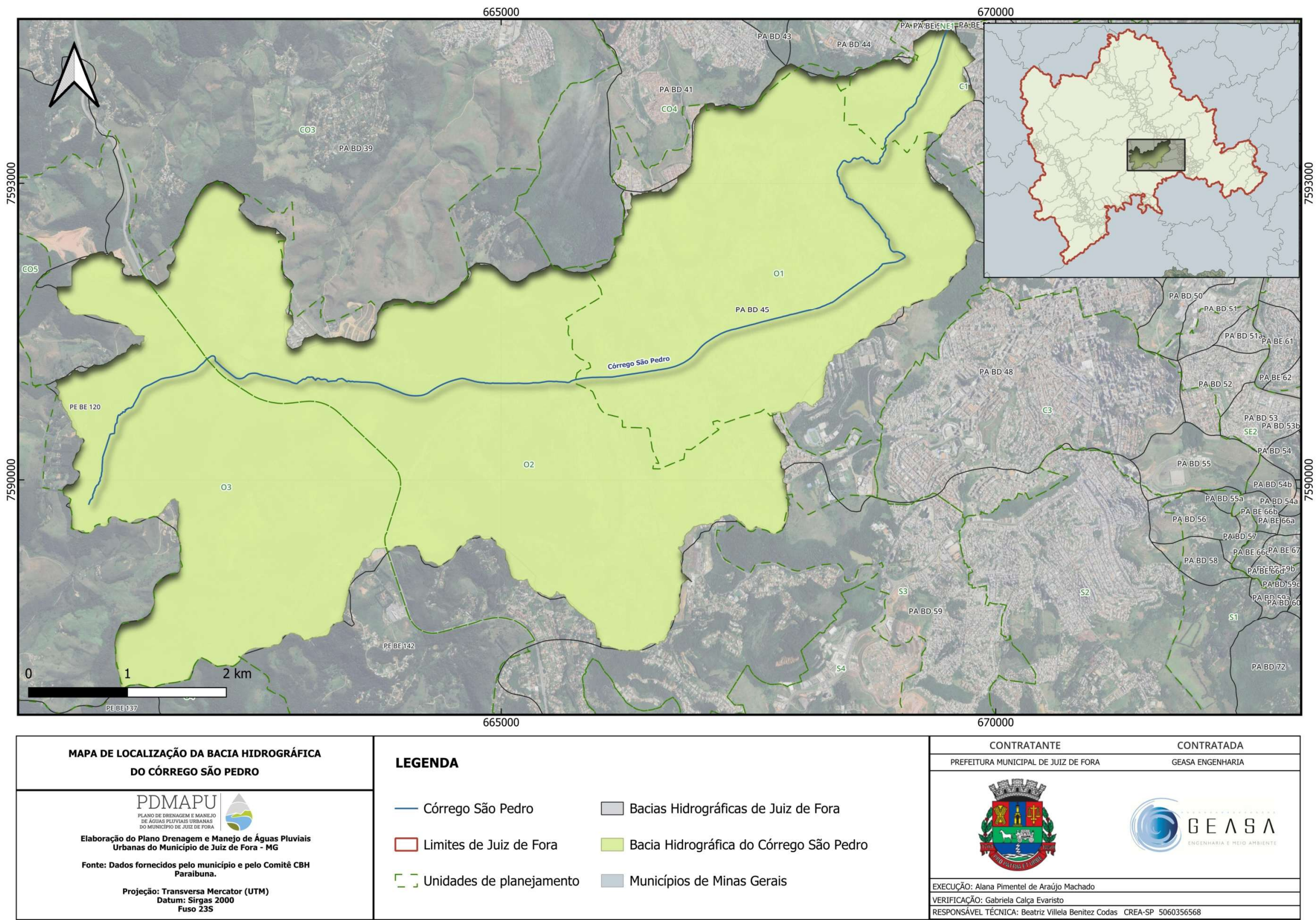


Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do córrego São Pedro.
Fonte: Elaborado pela Geasa Engenharia, 2025.

224
225
226

A divisão de sub-bacias da Bacia hidrográfica do córrego São Pedro foi obtida através de um arquivo vetorial na forma de um shapefile considerando os principais cursos d'água. Os limites dos polígonos foram revisados e atualizados com base no levantamento hidrográfico apresentado pelo município de Juiz de Fora. A bacia do córrego São Pedro foi dividida em 30 sub-bacias, conforme apresentado na Tabela 1 e na Figura 2.

Tabela 1 - Dados das sub-bacias do córrego São Pedro.

Sub-bacia	Área (km ²)	Extensão do talvegue principal (km)
Sub-01	0,625	1,150
Sub-02	0,997	1,570
Sub-03	2,97	2,180
Sub-04	0,842	1,040
Sub-05	2,203	2,655
Sub-06	0,917	0,875
Sub-07	4,261	4,465
Sub-08	1,269	1,100
Sub-09	1,001	1,415
Sub-10	1,163	1,595
Sub-11	1,341	1,885
Sub-12	0,363	0,605
Sub-13	0,603	1,095
Sub-14	2,042	1,210
Sub-15	1,885	1,750
Sub-16	0,817	1,585
Sub-17	0,424	1,075
Sub-18	1,858	0,910
Sub-19	0,361	1,550
Sub-20	0,362	0,705
Sub-21	0,357	0,965
Sub-22	0,144	0,965
Sub-23	0,23	0,755
Sub-24	0,278	1,195
Sub-25	0,333	0,565
Sub-26	0,447	0,690
Sub-27	0,349	1,125
Sub-28	0,412	1,195
Sub-29	0,474	1,325
Sub-30	2,042	1,325

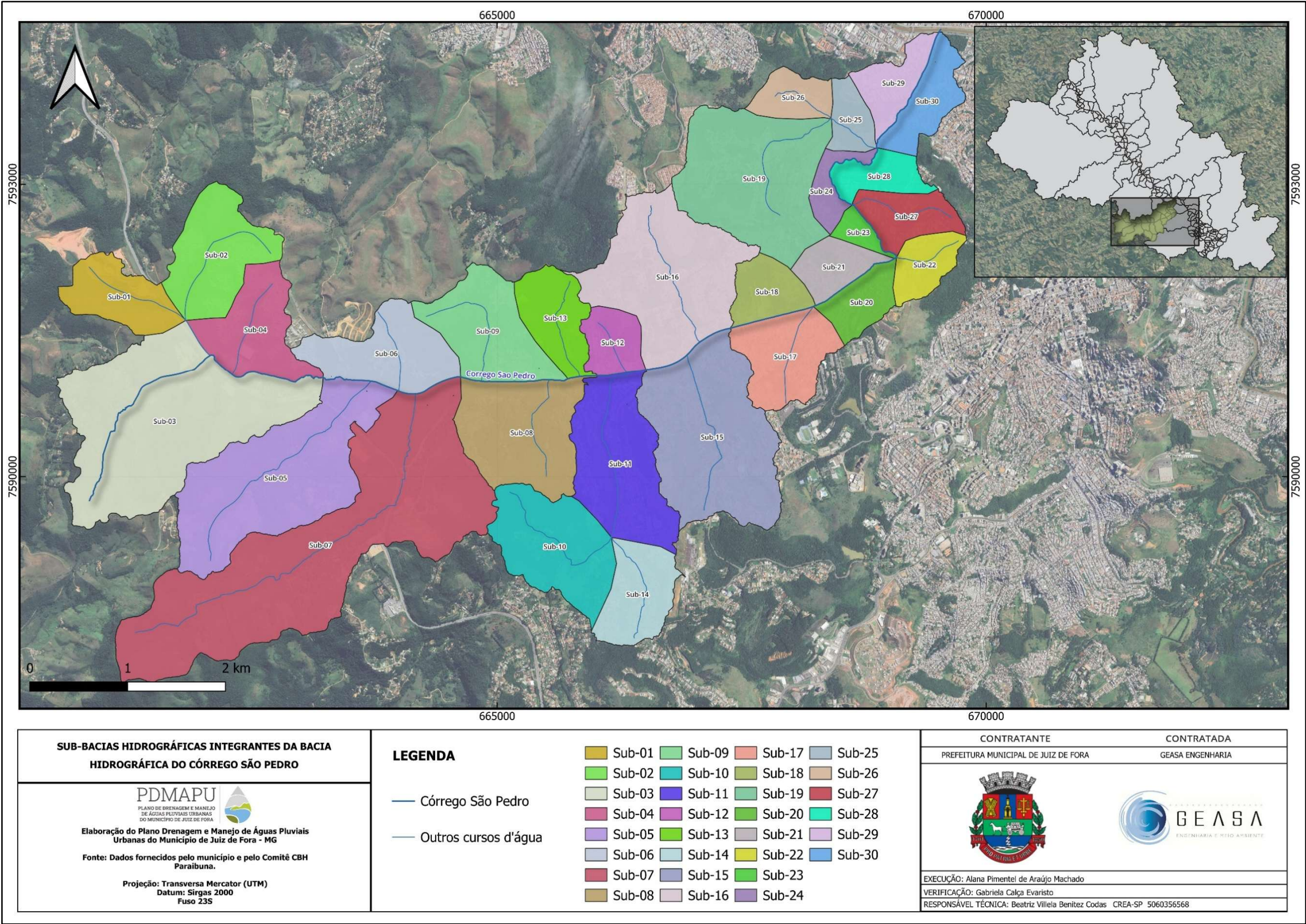


Figura 2 - Divisão das sub-bacias integrantes da bacia hidrográfica do córrego São Pedro.

Fonte: Elaborado pela Geasa Engenharia, 2025.

234
235
236

2.1.1 Barragem São Pedro

Conforme dados da CESAMA (2021), a Barragem São Pedro, localiza-se no município de Juiz de Fora, estado de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas aproximadas de 7.590.958 N e 664.355 E, referenciadas no sistema SIRGAS 2000.

A estrutura — também denominada Represa dos Ingleses ou Cruzeiro de Santo Antônio — foi implantada em 1963. Está situada na Zona Oeste do município, a aproximadamente 8 km do centro urbano, inserida em propriedade privada pertencente à Companhia Industrial Ferreira Guimarães. A utilização da área ocorre mediante contrato de cessão parcial para fins de abastecimento público.

A jusante da Barragem São Pedro encontra-se outras duas estruturas hidráulicas relevantes: a Barragem Cachoeira, localizada a uma distância de 4,4 km, e a Barragem Granville, situada a 5,12 km. Os principais afluentes a represa são os Córregos São Pedro e o Grota do Pinto, ambos inseridos na bacia do rio Paraíba do Sul. A bacia de contribuição da Barragem São Pedro abrange uma área total de 12,82 km², segmentada em sete sub-bacias hidrográficas. Dentre essas, três sub-bacias estão situadas à margem esquerda do córrego São Pedro, enquanto as quatro sub-bacias remanescentes encontram-se posicionadas à margem direita do referido curso d'água.

A Barragem São Pedro é composta por um conjunto de estruturas principais, entre as quais se destacam os taludes de montante e jusante, a crista da barragem, dois vertedouros (sendo um atualmente em operação), uma torre de tomada d'água, o sistema de descarga de fundo, as ombreiras direita e esquerda, além do canal de restituição. Complementam o arranjo estrutural o sistema de drenagem instalado no talude de jusante, a instrumentação geotécnica para monitoramento de estabilidade e recalques, e o descarregador de fundo. A Figura 3 e a Figura 4 apresentam a planta da barragem e um corte da estrutura respectivamente.

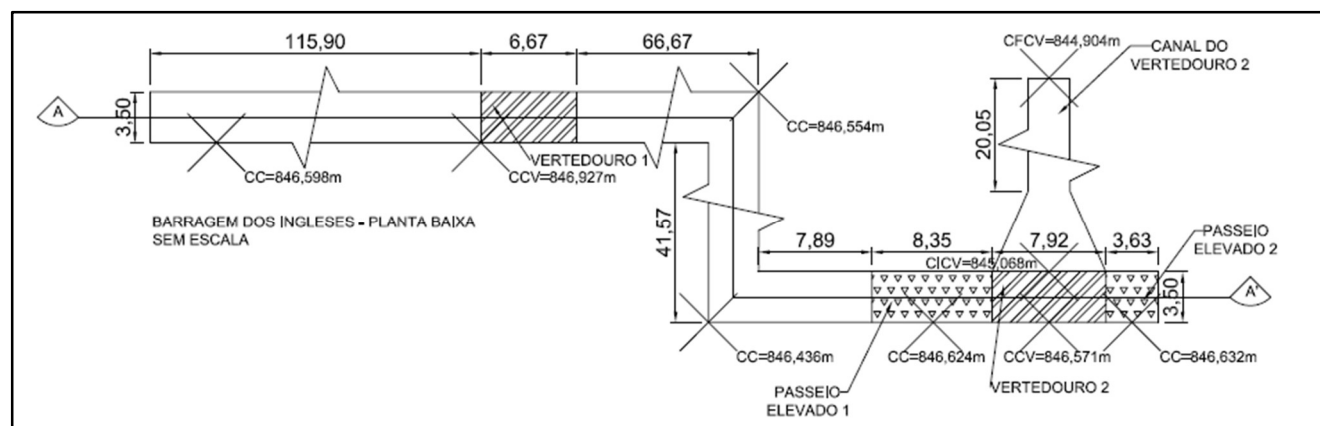
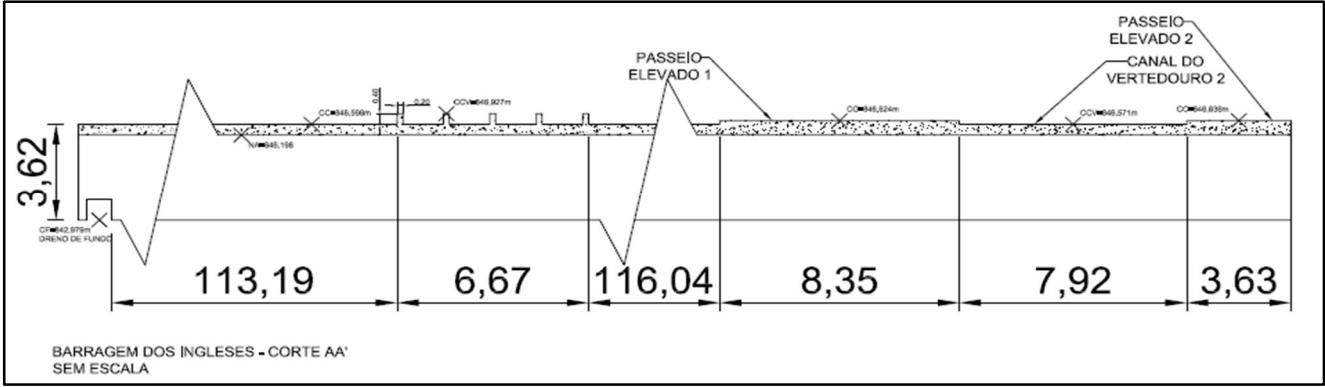


Figura 3 - Planta da barragem São Pedro.

Fonte: CESAMA, 2021.

262



263

264

265

Figura 4 - Barragem São Pedro – Seção AA.
Fonte: CESAMA, 2021.

266

267

268

A Tabela 2 apresenta a ficha técnica da barragem São Pedro com suas principais características técnicas.

Tabela 2 - Ficha técnica da Barragem São Pedro.

Fonte: Dados adaptados da CESAMA, 2021.

BARRAGEM: Barragem São Pedro		
EMPRESA: Companhia de Saneamento Municipal – CESAMA (Juiz de Fora)		
1. LOCALIZAÇÃO		
RIO: Córrego São Pedro	SUB-BACIA: Paraíba do Sul	BACIA: Atlântico Leste
LAT.: 7.590.958 N	MUNICÍPIO: Juiz de Fora (MG)	
LONG.: 664.355 E		
2. BARRAGEM		
TIPO: Barragem de solo compactado		
ALTURA MÁXIMA ACIMA DA FUNDAÇÃO: 4,50 m		
COTA DO COROAMENTO: 850,00 m		
COMPRIMENTO DO COROAMENTO: 246,00 m		
LARGURA DO COROAMENTO: 3,70 m		
INCLINAÇÃO DO PARAMENTO DE MONTANTE: 1:1		
INCLINAÇÃO DO PARAMENTO DE JUSANTE: 1:1		
3. BACIA HIDROGRÁFICA		
ÁREA: 12,82 km²		
3. RESERVATÓRIO		
NÍVEL MÁXIMO MAXIMORUM: 850,00 m		
NÍVEL MÁXIMO NORMAL: 849,80 m		
NÍVEL MÍNIMO OPERACIONAL: 846,30 m		
VOLUME TOTAL: 1.170.939 m³		
VOLUME DIPONÍVEL PARA O TRÂNSITO DE CHEIAS: 62.942 m³		
TEMPO DE ESWAZIAMENTO: 175 horas		
4. DESCARGA DE FUNDO		
LOCALIZAÇÃO: localizada na ombreira esquerda		
VAZÃO: 2,46 m³/s		
COTA DA SOLEIRA À ENTRADA: 849,80 m		
POSSIBILIDADE DE MANOBRA MANUAL: sim		
COMANDO A DISTÂNCIA: não		
5. VERTEDOURO		
LOCALIZAÇÃO: lateral direita		
TIPO: Emboque seguido de canal trapezoidal		
VAZÃO DE PROJETO: 1,10 m³/s		
COMPRIMENTO: 7,92 m		
LARGURA INICIAL EMBOQUE: 7,70 m		
LARGURA FINAL EMBOQUE: 4,0 m		
ALTURA CANAL: 0,95 m		
COTA SOLEIRA EMBOQUE: 849,80 m		
6. TOMADA D'ÁGUA		
LOCALIZAÇÃO: localizada na ombreira esquerda		
CONTROLE À ENTRADA: volantes		
CONTROLE À SAÍDA: volantes		



2.1.2 Segurança de Barragens

Entende-se como segurança de barragem a condição que visa manter sua integridade estrutural e operacional, para que cumpra sua finalidade e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente.

Para garantir as necessárias condições de segurança das barragens ao longo da sua vida útil, devem ser adotadas medidas de prevenção e controle dessas condições. Essas medidas, se devidamente implementadas, propiciam uma probabilidade de ocorrência de acidente bem mais reduzida, mas devem, apesar disso, ser complementadas com medidas de defesa civil para minorar as consequências de uma possível ocorrência de acidente, especialmente em casos em que se associam a esse acidente danos potenciais irreversíveis, como perda de vidas humanas.

Neste contexto, atualmente há diversas normativas que dizem sobre a segurança das barragens, como a Lei nº 12.334 de 2010 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinada a acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais. Nessa normativa, ainda estão definidos os fundamentos da política de segurança e sobre a fiscalização das estruturas.

Ainda, a Lei nº 12.334/2010 estabelece em seu art. 7º, que as barragens são classificadas por Categoria de Risco (CRI) alto, médio ou baixo, em função de características técnicas, estado de conservação do empreendimento e atendimento ao plano de segurança da barragem. São também classificadas em Dano Potencial Associado (DPA) alto, médio ou baixo, em função de potencial de perdas de vidas humanas e impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura barragem, e classificadas em Volume do reservatório (a graduação do volume do reservatório está ligada ao dano potencial associado).

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) possui uma coletânea de manuais com orientações úteis para os empreendedores de barragens. No Produto 8 – Manual de Orientação aos Empreendedores, Tomo I – Guia para elaboração de projetos de barragens, recomenda os tempos de retorno mínimos a serem adotados para as cheias de projeto em função da altura e do tipo de material do barramento e dano potencial associado. Na Tabela 3 pode ser observados os critérios indicados por ANA (2014).

Tabela 3 - Tempos de recorrência mínimos (anos) recomendados para as cheias de projeto.

Altura, h (m)		Dano Potencial Associado	
Aterro	Concreto	Alto a Médio	Baixo
$h \geq 60$	$h \geq 100$	5.000 a CMP	2.000
$15 \leq h < 60$	$60 \leq h < 100$	2.000	1.000
$h < 15$	$15 \leq h < 60$	1.000	500
	$h < 15$	500	100

Fonte: ANA, 2014.

Ainda, neste documento, com relação a borda livre, indica a adoção dos critérios definidos pela Eletrobras, em 2003, a saber:

- A borda livre normal deve ser limitada ao mínimo de 3,0 m para as barragens de aterro (terra ou enrocamento), e de 1,5 m para as barragens de concreto;
- As bordas livres normais das ensecadeiras e das casas de força devem ser limitadas ao mínimo de 1,0 m;
- A borda livre mínima deve ser de 1,0 m acima do nível de máxima cheia do reservatório em barragens de aterro, e de 0,5 m acima do nível de máxima cheia do reservatório em barragens de concreto.

Além da ANA, conforme já adiantando, a Eletrobras possui uma documentação com critérios de projeto civil de usinas hidrelétricas. Neste documento, Eletrobras (2003) indica utilizar as seguintes vazões para o dimensionamento dos sistemas extravasores:

- Barragens com altura maior que 30 m, ou cujo colapso envolva risco de perdas de vidas humanas (existência de habitações permanentes a jusante): adotar a cheia máxima de projeto;
- Barragens de altura inferior a 30 m ou com reservatório com volume menor que 50.000.000 m³ e, não havendo risco de perdas de vidas humanas (inexistência de habitações permanentes a jusante), a cheia de projeto será definida através de uma análise de risco, respeitada a recorrência mínima de 1.000 anos.

Diante do exposto, no caso da Barragem São Pedro, estrutura que possui um maciço de terro, com altura menor que 15 m e volume de reservação pequeno, quanto a cheia de projeto, segundo as diretrizes da ANA e da Eletrobras, é indicado utilizar o período de retorno de 1.000 anos, tendo em vista que, segundo o Plano de Segurança elaborado por BSG Consultoria, em 2021, a classificação dessa estrutura quanto a Categoria de Risco (CRI) é médio e quanto ao Dano Potencial Associado (DPA) é alto.



2.2– ESTUDO DE PRECIPITAÇÕES

Para definir as probabilidades de ocorrências de eventos de precipitação, é recorrente a utilização de curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF). As relações IDF são importantes na definição das intensidades de precipitação associadas a uma frequência de ocorrência, as quais serão utilizadas no dimensionamento das estruturas de drenagem pluvial. Também podem ser utilizadas de forma inversa, ou seja, estimar a frequência de um evento de precipitação ocorrido.

2.2.1 Curva IDF Atual

A equação IDF utilizada oficialmente para o município de Juiz de Fora foi estabelecida por Freitas et al. (2001), onde foram utilizados os registros de precipitações diárias máximas da estação pluviográfica de Juiz de Fora, códigos 02143056 (ANA) e 83692 (INMET), operada pelo INMET. Esta estação está localizada a aproximadamente 3 km da sede do município de Juiz de Fora. A estação de Juiz de Fora, de acordo com o Inventário da ANA (Agência Nacional de Águas), está localizada na Latitude 21°46'02" S e Longitude 43°18'49" W. A estação pluviográfica encontra-se em operação desde 1977. O período de dados utilizado no estudo foi de 1986-1995 e 1997-1999, perfazendo 13 anos de observações (Equação 01). Com base no período de monitoramento dos dados de chuva utilizados no estudo, sugere-se que a equação seja utilizada para o tempo de retorno de até 50 anos. [ATLAS, 2014].

$$i = \frac{3000 * TR^{0.1730}}{(23.965 + t)^{0.960}} \quad \text{Equação 01}$$

A Organização Mundial de Meteorologia (OMM), seguindo a diretriz da CETESB (1979), recomenda um período de dados igual ou superior a 20 anos para estudos de chuvas intensas.

Considerando a limitada quantidade de dados utilizados na caracterização da chuva em Juiz de Fora e sua desatualização (13 anos de dados, referentes ao período até 1999), a atualização da curva Intensidade-Duração-Frequência com informações atuais é necessária para fornecer melhores vazões de referência para o município.

2.2.2 Objetivos

O objetivo deste estudo de precipitações é revisar e atualizar as análises de chuvas intensas presentes no PDJF. Este processo envolve a definição de novas relações entre Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para as bacias em estudo. As atividades realizadas para essa atualização incluem:

1. Avaliação dos postos pluviométricos com dados disponíveis nas bacias analisadas;



2. Análise da consistência e tendências das séries históricas;

3. Desagregação da chuva diária;

4. Definição das novas curvas IDF;

2.2.3 Atualização da Curva IDF

2.2.3.1 Avaliação dos postos pluviométricos

A etapa inicial desta análise consiste na localização e seleção das estações pluviométricas candidatas.

A escolha das estações considerou três critérios principais:

- 1) o número de anos de observação disponíveis;
- 2) a proximidade da estação à região de interesse; e
- 3) a quantidade de falhas nos dados de medição.

Para identificar as estações em Juiz de Fora, realizou-se consulta ao portal HidroWeb, mantida pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a qual integra o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Esse sistema disponibiliza uma base consolidada de dados provenientes da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), incluindo informações sobre precipitação, nível d'água, vazão, qualidade da água e sedimentos.

Como ferramenta auxiliar, foi empregado o plugin ANA Data Acquisition, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Este plugin, compatível com o software Quantum GIS (QGIS), permite a seleção e o download automático de séries históricas de dados pluviométricos e fluviométricos diretamente na interface georreferenciada do QGIS. Essa funcionalidade possibilita uma visualização espacial da localização dos postos de medição em relação aos limites da bacia hidrográfica, otimizando o processo de triagem e seleção das estações relevantes para o estudo.

Foram identificadas 51 estações convencionais na base de dados da ANA. Contudo, uma análise inicial revelou que 39 das 51 estações não possuíam dados cadastrados no sistema (apresentando planilhas vazias). As 12 estações restantes com dados são apresentadas na Tabela 4.

Cabe pontuar a existência de estações pluviográficas telemétricas instaladas pelo CEMADEM em 2013. Essas estações, com apenas 12 anos de operação, não foram incluídas nesta tabela estudo devido ao período de registro limitado. Porém, serão utilizadas no estudo de desagregação da curva IDF (Figura 9).

Tabela 4 - Estações presentes no município de Juiz de Fora com dados no HidroWeb

CÓD	LAT	LONG	NOME	OPERADOR	INÍCIO	FINAL	PERÍODO
2143012	-21.75	-43.333	JUIZ DE FORA	ANA	1941	1974	33
2143016	-21.8692	-43.556	TORREÕES	CPRM	1943	2024	81
2143020	-21.5933	-43.503	CHAPÉU D'UVAS	CPRM	1950	2024	74
2143023	-21.8728	-43.324	MATIAS BARBOSA	CPRM	2009	2018	9
2143050	-21.7333	-43.4	JUIZ DE FORA (DISTR.INDUST)	ANA	1975	1983	8
2143056	-21.7672	-43.314	JUIZ DE FORA	INMET	1961	2024	63
2143068	-21.7964	-43.297	PCH JOASAL BARRAMENTO	CEMIG SUL	2016	2019	3
2143069	-21.9106	-43.536	UHE PICADA JUSANTE	L.D.Q.S.P.E.	2009	2017	8
2143070	-21.7783	-43.325	JUIZ DE FORA - JUSANTE	CPRM	2002	2024	22
2143078	-21.7767	-43.604	UHE PICADA MONTANTE 1	L.D.Q.S.P.E.	2009	2017	8
2143086	-21.8769	-43.327	UHE SOBRAGI MONTANTE 2	CBA	2013	2018	5
2143088	-21.7497	-43.68	UHE PICADA MONTANTE 2	L.D.Q.S.P.E.	2013	2017	4

Fonte: GEASA, 2025.

2.2.3.2 Seleção das estações

Com base nos critérios adotados, as estações 2143016 (81 anos), 2143020 (74 anos) e 2143056 (63 anos) foram consideradas as mais adequadas para a análise.

A definição da representatividade espacial dessas estações foi realizada com base no método de Thiessen, o qual leva em consideração a distribuição não uniforme dos postos pluviométricos, permitindo estimar áreas de influência relativas a cada estação e, assim, garantir maior fidelidade na caracterização do regime pluviométrico da bacia. Para a delimitação dessas áreas de influência, os polígonos de Thiessen foram gerados no ambiente QGIS, por meio da ferramenta "Voronoi Polygons", a partir das coordenadas geográficas dos postos selecionados.

Com base na definição das áreas de influência do polígono de Thiessen e nas bacias analisadas neste estudo, verificou-se que todas as bacias estão inseridas na área de influência da estação 2143056 e, portanto, será apresentado apenas o estudo e a definição das curvas IDF para essa estação. Na Figura 5 apresentada a delimitação por polígonos de Thiessen, para a delimitação da área de influência das estações.

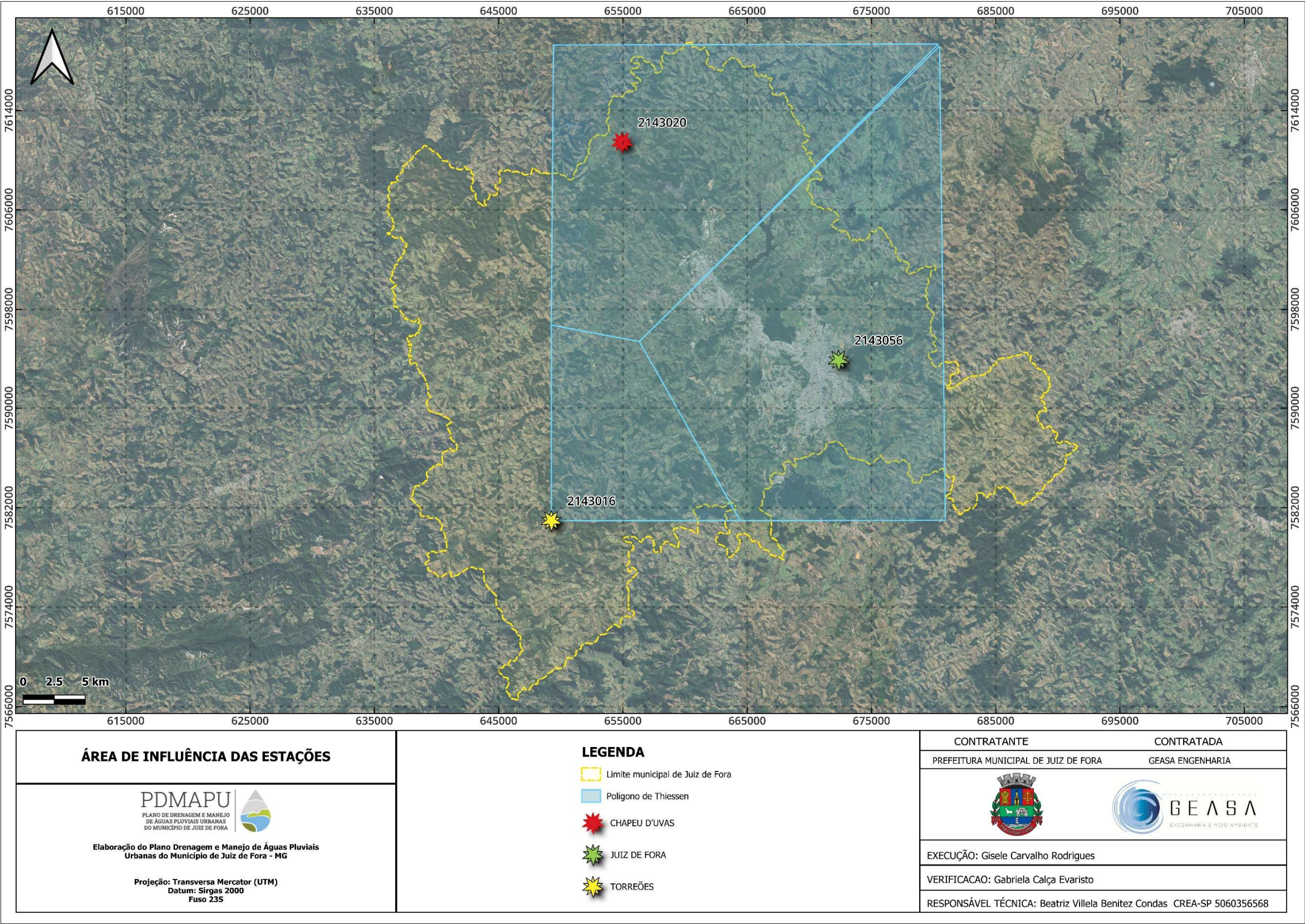


Figura 5 - Área de influência das estações (Polígonos de Thiessen)
Fonte: GEASA, 20

405
406
407

A variabilidade sazonal das precipitações na estação 2143056 é apresentada na Figura 6. Nota-se que os maiores volumes de precipitação se concentram entre os meses de outubro a março e os menores nos meses de julho e agosto.

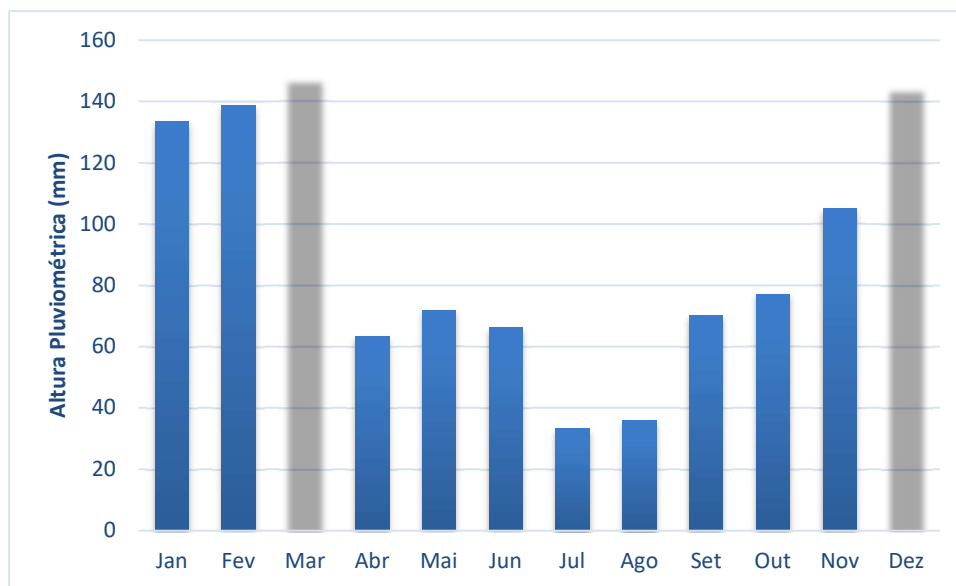


Figura 6 – Médias Mensais da Estação 2143056 (período 1961 – 2024)

2.2.3.3 Definição das equações IDF a partir da desagregação das curvas diárias

Para essa etapa, foi seguida a metodologia proposta por Pinto (2023). As Etapas metodológicas para definição das relações IDF a partir de dados de altura diária máxima por ano hidrológico são as seguintes:

- Organização da série de precipitação diária máxima por ano hidrológico.
- Análise de frequência da série de precipitação diária máxima por ano hidrológico.
- Desagregação das precipitações diárias associadas a diferentes tempos de retorno.
- Definição dos parâmetros da equação que representa as relações IDF estabelecidas com a desagregação de chuvas.

2.2.3.4 Organização das séries de precipitação máxima por ano hidrológico

Esta etapa foca na análise da consistência dos dados de precipitação diária e na identificação da precipitação diária máxima por ano hidrológico para a estação 2143056. O objetivo principal é garantir a confiabilidade da série histórica, verificando a ocorrência de falhas de registro e seu possível impacto na detecção dos eventos de precipitação mais significativos do ano.



2.2.3.5 Identificação e análise de falhas por ano

A análise inicial consiste em identificar o número de falhas por ano na série de alturas pluviométricas diárias registradas na estação. O objetivo desta análise é verificar se os períodos com falhas de registro podem ter ocultado a ocorrência do evento de precipitação mais significativo de um determinado ano. Para isso, serão avaliados os períodos em que a precipitação máxima diária anual se deslocou significativamente do desvio padrão em relação à média dos dados de precipitação máxima diária anual.

Nessa avaliação, foi correlacionado o limite inferior do desvio padrão calculado para a análise da série com os anos que contêm falhas de registro diário de precipitação (Tabela 5). O propósito é verificar se anos com um número elevado de falhas apresentam ocorrências de precipitação máxima anual significativamente abaixo da média. Se esse padrão for observado, pode indicar que as falhas de registro impactaram negativamente a detecção da verdadeira máxima ocorrência anual.

Os dados foram organizados por ano hidrológico, permitindo a identificação de anos com registros incompletos ou ausentes. A análise dos dias sem dados se refere ao período chuvoso do respectivo ano hidrológico, considerado o período dos meses de outubro a março do respectivo ano.

A Tabela 5 apresenta a distribuição das falhas anuais por estação, sendo utilizada uma escala de cores para facilitar a visualização e interpretação dos resultados:

- Verde: ano com série completa (sem falhas);
- Amarelo: ano com falhas pontuais;
- Vermelho: ano com falhas em uma porção significativa dos registros.

Na Figura 7 é apresentada a série completa da Estação 2143056 (1962 – 2024), a média, o desvio padrão e o limite inferior considerado na análise.

451

Tabela 5 - Número de dias com falhas por ano

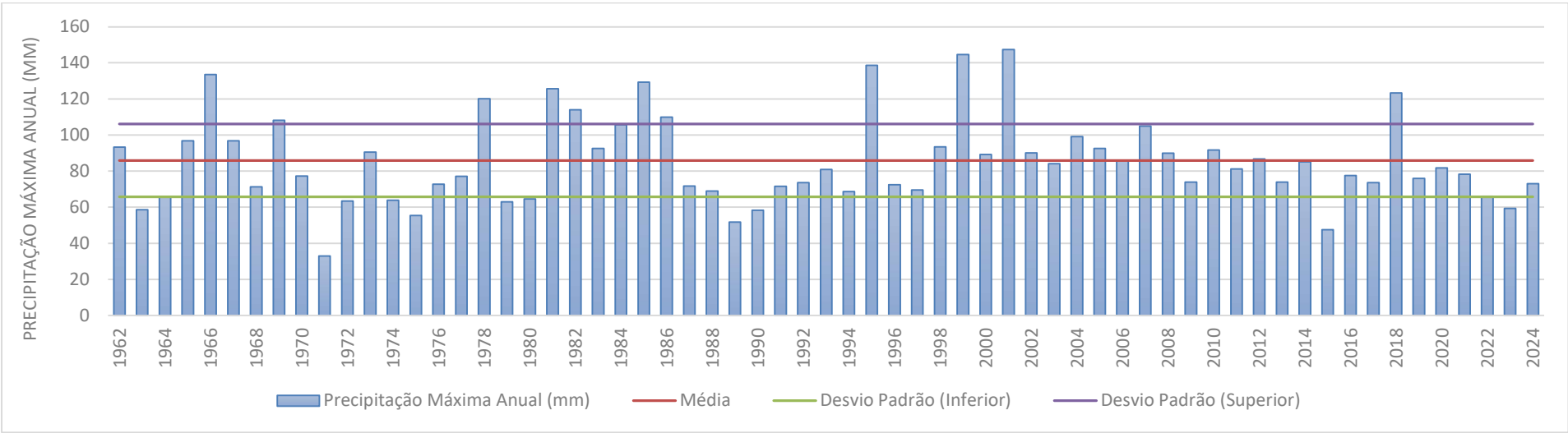
2143056	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
	-	52	1	31	0	31	0	0	0	36	35	43	2	0	0	1	1	0	18	0	0	0	1	1	0
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	43	0	0	1	5	153	31	0	0	0	0	2	0	31	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024											
	0	0	0	0	0	2	4	1	0	0	4	2	0	1											

Fonte: GEASA, 2025.

452

453

454



455

456

457

Figura 7 - Precipitação Máxima Anual

Fonte: GEASA, 2025.



Com base na Tabela 5, os anos com número significativo de falhas são: 1962, 1964, 1966, 1970, 1971, 1972, 1979, 1986, 1991, 1992, 1999. Destes, apenas o ano de 1971 apresenta um valor significativamente menor que o limite inferior. Desta forma, o ano de 1971 foi desconsiderado da série de dados amostrais.

2.2.3.6 Análise de frequência da série de precipitação diária máxima por ano hidrológico

Em seguida, testes de hipóteses não paramétricos de aleatoriedade, independência, homogeneidade e estacionariedade (Naguettini e Pinto, 2007) foram aplicados a série de precipitações máximas diárias anuais das 3 estações sob a hipótese nula de que a amostra é aleatória, independente, homogênea e/ou estacionária e hipótese alternativa de que a amostra não é aleatória, independente, homogênea e/ou estacionária ao nível de significância de 5%. Para essa análise, Naguettini e Pinto (2007) sugerem as seguintes análises:

1 - Avaliar a independência das séries aplicando o teste não paramétrico proposto por Wald e Wolfowitz (1943) para o nível de significância de 5% (Ver Naguettini e Pinto (2007), página 264).

2 - Avaliar a homogeneidade das séries aplicando o teste não-paramétrico proposto por Mann e Whitney (1947) para o nível de significância de 5% (Ver Naguettini e Pinto (2007), página 265).

3 - Avaliar a estacionariedade das séries aplicando pelo teste não-paramétrico de Spearman para o nível de significância de 5% (Ver Naguettini e Pinto (2007), página 267).

Para essa análise foi utilizado o software de análises estatísticas Alea. Na Figura 8 é apresentado o teste para a estação 2143056 operada pelo INMET.

Data file



C:\Projetos\GEASA\PMD_Juiz_de_Fora\02-MODELOS\02-Hidro\Pluvi\INMET\max_inmet_alea1.txt



Figura 8 - Testes estatísticos aplicados as estações

2.2.3.7 Desagregação das precipitações diárias associadas a diferentes tempos de retorno

A desagregação da chuva diária é um processo utilizado para detalhar eventos de precipitação acumulados com intervalos de tempos maiores em intervalos de tempos menores. Esse é um processo fundamental para o planejamento e projeto de sistemas de drenagem urbana e controle de enchentes, pois permite uma compreensão mais precisa da intensidade e do volume das chuvas em escalas temporais finas, importantes para dimensionar infraestruturas da microdrenagem e da macrodrenagem.

O método mais adequado para obtenção de chuvas de menor intensidade é por meio do monitoramento em pluviógrafos, cujo o monitoramento é realizado de forma automática, ou seja, é possível monitorar escala temporal menor do que um dia.

O município de Juiz de Fora conta com uma extensa rede de pluviógrafos operadas pelo CEMADEM. A instalação destes equipamentos se iniciou em 2013. Ao todo, foram instaladas 36 Estações pluviográficas na região.

Porém, algumas estações não possuem uma série de dados adequadas ao estudo, ou por serem instaladas posteriormente a 2013, ou por não estarem mais em operação. Assim, 13 estações foram excluídas da análise, restando 23 estações com uma base de dados entre 8 e 12 anos.

Das 23 estações pluviográficas que compõem a base de dados selecionada para o estudo, 17 estão localizadas na área de influência da estação 2143056 do INMET.

504 A Tabela 6 detalha o número total de estações instaladas e aquelas efetivamente utilizadas na análise,
505 especificamente as situadas na área de influência da estação 2143056. Para uma melhor
506 compreensão espacial, a Figura 9 apresenta um mapa com a localização das estações pluviográficas
507 consideradas neste estudo.

Tabela 6 - Estações pluviográficas consideradas

Nome	Início	Fim	Período (Anos)	Base de dados significativa	Utilizada no estudo
Aeroporto	2013	Em operação	12	sim	sim
Caiçaras	2013	Em operação	12	sim	sim
Centenário	2015	2016	1	não	-
Centro	2013	Em operação	12	sim	sim
Chácara Passos Del ReY	2023	Em operação	2	não	-
Chapeu D Uvas	2013	Em operação	12	sim	não
Cidade Universitária	2014	Em operação	11	sim	sim
Dias Tavares	2013	2021	8	sim	não
Distrito Industrial	2014	Em operação	11	sim	não
Dom Bosco	2013	2014	1	não	-
Figueiras	2013	2021	8	sim	sim
Filgueiras	2013	Em operação	12	sim	sim
Floresta	2013	Em operação	12	sim	sim
Francisco Bernardino	2013	2014	1	não	-
Grama	2013	Em operação	12	sim	sim
Graminha	2013	Em operação	12	sim	sim
Granjas Betânia	2014	2017	3	não	-
Humaitá	2013	2017	3	não	-
Igrejinha	2015	Em operação	10	sim	não
Ipiranga	2022	2024	2	não	-
Juiz de Fora	2015	2018	3	não	-
Linhares	2021	Em operação	4	não	-
Lourdes	2014	2023	9	sim	sim
Milho Branco	2014	Em operação	11	sim	sim
Monte Castelo	2013	Em operação	12	sim	sim
Nossa Senhora de Lourdes	2023	Em operação	2	não	-
Nova Era	2014	2018	4	não	-
Passos del Rei	2013	2023	10	sim	sim
Paula Lima	2014	Em operação	11	sim	não
Ponte Preta	2013	Em operação	12	sim	não
Represa	2013	Em operação	12	sim	sim
Santa Efigênia	2013	Em operação	12	sim	sim
Santa Rita de Cássia	2015	2017	2	não	-
São Judas Tadeu	2013	Em operação	12	sim	sim
São Mateus	2014	2018	4	não	-
São Pedro	2013	Em operação	12	sim	sim

Fonte: GEASA, 2025.

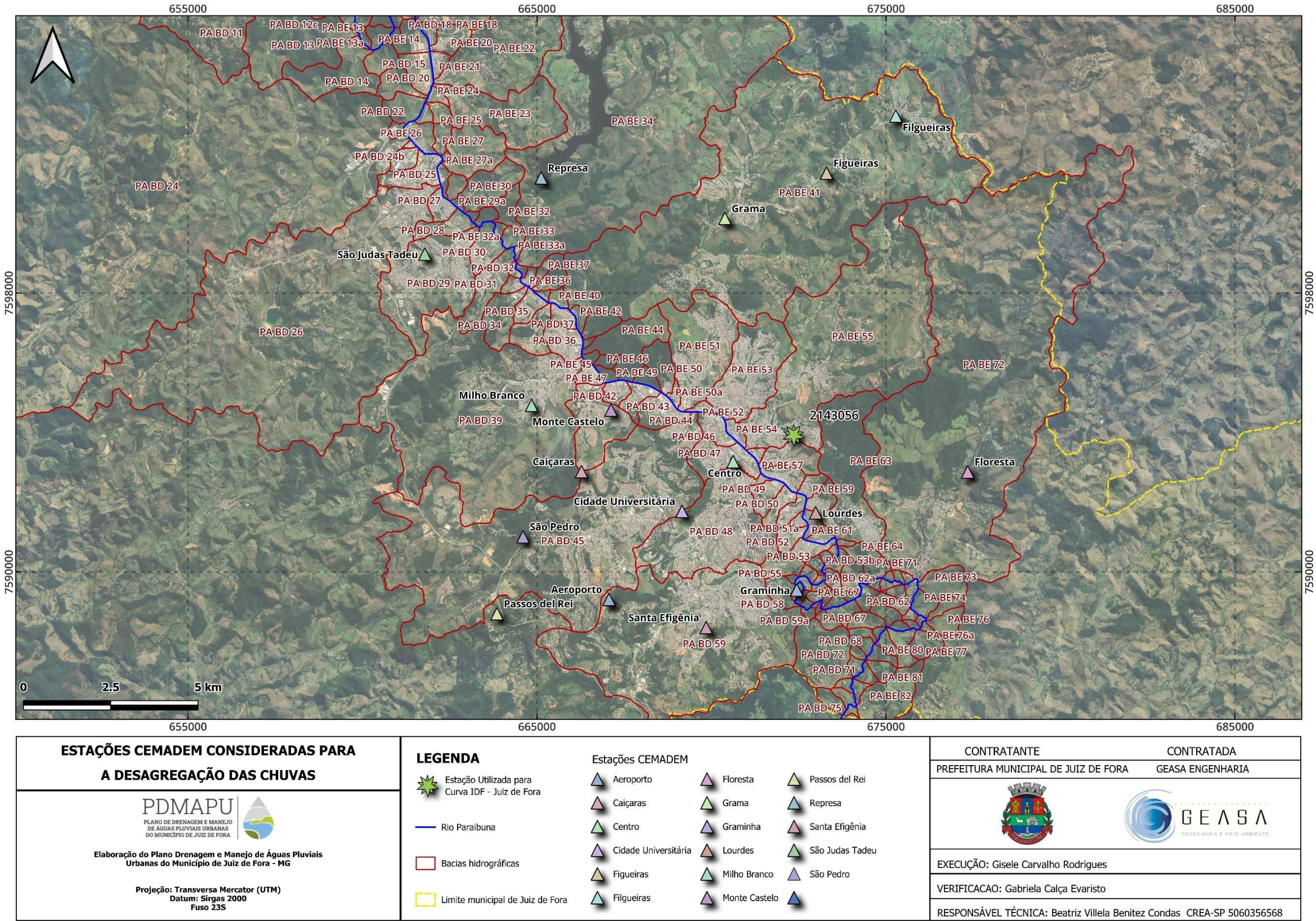


Figura 9 – Estações Consideradas
Fonte: GEASA, 2025



515 Com base nas 17 estações pluviográficas selecionadas – aquelas com bases de dados significativas
516 e localizadas na área de influência da estação INMET 2143056 –, os dados foram desagregados para
517 intervalos de 1 hora.

518 Esse intervalo se deu mesmo com os dados originais das estações sendo coletados em intervalos de
519 10 minutos. O motivo para a desagregação para 1 hora foi a falta de padronização dos intervalos de
520 10 minutos entre as estações, o que dificultaria a análise comparativa e a integração dos dados. Assim,
521 a desagregação horária de 1h trouxe a uniformidade necessária para o estudo.

522 Com base nesses dados, foi realizada a desagregação das chuvas para cada estação. De modo geral,
523 para realizar essa desagregação, transformam-se as precipitações diárias em chuvas de 24 horas, e
524 em seguida, as Precipitações de 24 horas são desagregadas em alturas de chuva de menor duração.

525 A desagregação dos dados de precipitação para intervalos horários a seguinte metodologia:

526 1. Agregação Horária: Os dados originais de precipitação de cada estação foram organizados
527 em uma planilha, somando-se as ocorrências de chuva em intervalos de 1 a 24 horas.

528 2. Identificação de Máximas: Para cada intervalo de tempo, a maior ocorrência de precipitação
529 registrada na série histórica foi identificada.

530 3. Cálculo de Média e Desvio Padrão: A média e o desvio padrão da amostra foram calculados
531 para cada estação e para cada intervalo de tempo.

532 4. Consistência dos Dados (2 Sigma): Foi adotado o critério de 2 vezes o desvio padrão (2
533 sigma) como base para avaliar os valores de precipitação. Qualquer valor que estivesse
534 significativamente fora desse intervalo foi desconsiderado da análise.

535 5. Cálculo da Altura Pluviométrica (Método de Gumbel): A altura pluviométrica para cada tempo
536 de retorno e tempo de duração das chuvas foi calculada utilizando o método de Gumbel.

537 6. Cálculo da Desagregação dos Intervalos de Precipitação (R_x/R_{24}): A desagregação dos
538 intervalos de precipitação foi definida como a relação entre o intervalo de análise (R_x) e o valor
539 obtido para a chuva de 24 horas (R_{24}), ou seja, R_x/R_{24} .

540 7. Cálculo da Média por Intervalo de Tempo de Retorno: A média foi calculada para cada
541 intervalo de tempo de retorno previamente determinados.

8. Definição da Desagregação das Chuvas: Por fim, a média de todas as estações para cada intervalo foi calculada para definir a desagregação das chuvas.

A Tabela 7 apresenta o resumo dos coeficientes de desagregação calculados para cada estação e seu respectivo intervalo de tempo, e a média desses valores. A média dos coeficientes das estações foi utilizado para a definição deste coeficiente na IDF deste estudo.

Tabela 7 - Coeficientes de desagregação calculados para cada estação

Estação	Intervalo						
	h_{12}/h_{24}	h_{10}/h_{24}	h_8/h_{24}	h_6/h_{24}	h_4/h_{24}	h_2/h_{24}	h_1/h_{24}
Aeroporto	0.85	0.85	0.84	0.84	0.83	0.75	0.67
Caçara	0.69	0.68	0.67	0.65	0.58	0.54	0.48
Centro	0.82	0.79	0.77	0.75	0.68	0.56	0.49
Cid. Universitária	0.66	0.62	0.61	0.62	0.63	0.61	0.51
Figueiras	0.93	0.91	0.85	0.80	0.76	0.58	0.41
Filgueiras	0.79	0.78	0.77	0.77	0.75	0.67	0.56
Floresta	0.88	0.88	0.86	0.86	0.83	0.75	0.63
Gramma	0.82	0.81	0.80	0.78	0.76	0.73	0.65
Graminha	0.87	0.85	0.85	0.85	0.80	0.72	0.52
Lourdes	0.75	0.74	0.74	0.74	0.74	0.67	0.54
Milho Branco	0.83	0.81	0.81	0.76	0.73	0.63	0.49
Monte Castelo	0.92	0.92	0.92	0.85	0.73	0.65	0.51
Passos Del Rey	0.92	0.90	0.91	0.89	0.89	0.78	0.69
Represa	0.94	0.93	0.90	0.89	0.84	0.74	0.65
Santa Efigênia	0.70	0.66	0.62	0.61	0.59	0.57	0.51
São Judas Tadeu	0.77	0.76	0.74	0.73	0.74	0.67	0.55
São Pedro	0.80	0.79	0.79	0.80	0.78	0.74	0.64
Média	0.82	0.80	0.79	0.78	0.74	0.67	0.56
Desvio Padrão	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08

Fonte: GEASA, 2025.

Para a definição dados em intervalo sub horário (menor que 1h), foi utilizado o trabalho de Basso et. al. (2016)¹. Nesta pesquisa, os autores atualizaram os valores obtidos por Torrico (1974)² para a desagregação das chuvas, além de subdividirem espacialmente a delimitação proposta pelo autor, obtendo melhor precisão espacial.

De posse dos resultados obtidos pelas estações do CEMADEM para dados entre 1h e 24h e os dados de Basso et. al. (2016), é apresentado na

Tabela 8 a desagregação utilizada para a curva IDF a ser proposta com base na estação 2143056. A título de comparação, são apresentados nesta Tabela, além do coeficiente de desagregação utilizada

¹ Basso et. al. (2016). Revisão das isozonas de chuvas intensas do Brasil. Nota Técnica. Eng. Sanit. Ambient. 21 (04). Oct-Dec 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/gvTwTJsRtbmy95cgLYcjC5y/?format=pdf&lang=pt>>

² TORRICO, J.J.T. (1974). Práticas hidrológicas. Rio de Janeiro: Transcon, 120 p.

neste estudo, os valores encontrados por Freitas (2001) e da CETESB (1989), recorrentemente utilizado em estudos desta natureza.

Tabela 8 – Coeficiente de desagregação das chuvas
Coeficientes

Desagregação	CETESB (1989)	Freitas (2001)	Juiz de Fora (2025)
24h/1dia	1.14	1.13	1.13
h6/h24	0.72	0.90	0.75
h1/h24	0.42	0.65	0.45
h0,5/h1	0.74	0.76	0.74
h20/h30	0.81	0.81	0.81
h15/h30	0.70	0.68	0.68
h10/h30	0.54	0.52	0.53
h5/h30	0.34	0.30	0.32

Fonte: GEASA, 2025.

2.2.3.8 Definição dos parâmetros da equação que representa as relações IDF estabelecidas com a desagregação de chuvas

A análise de extremos de precipitação é essencial para o desenvolvimento de curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência). A determinação da curva IDF relaciona a intensidade da chuva (mm/h) com sua duração (minutos ou horas) e a frequência de ocorrência (período de retorno, em anos). Utilizando métodos estatísticos, os dados de precipitação são ajustados às curvas IDF.

Após a seleção dos dados de precipitação extrema, o passo seguinte foi ajustar uma distribuição de probabilidade capaz de descrever a variabilidade e o comportamento desses eventos. O ajuste de distribuições possibilita a modelagem do comportamento futuro de eventos extremos com base em dados históricos. Para isso, foram aplicados os seguintes Funções: Log Normal, Gumbel Generalizada de Valores Extremos (GEV). A FDP que melhor se ajustou aos dados para as estações 2143056 foi a GEV, com coeficiente de Nash e Sutcliffe de 0.9977, como pode ser observado na Figura 10.

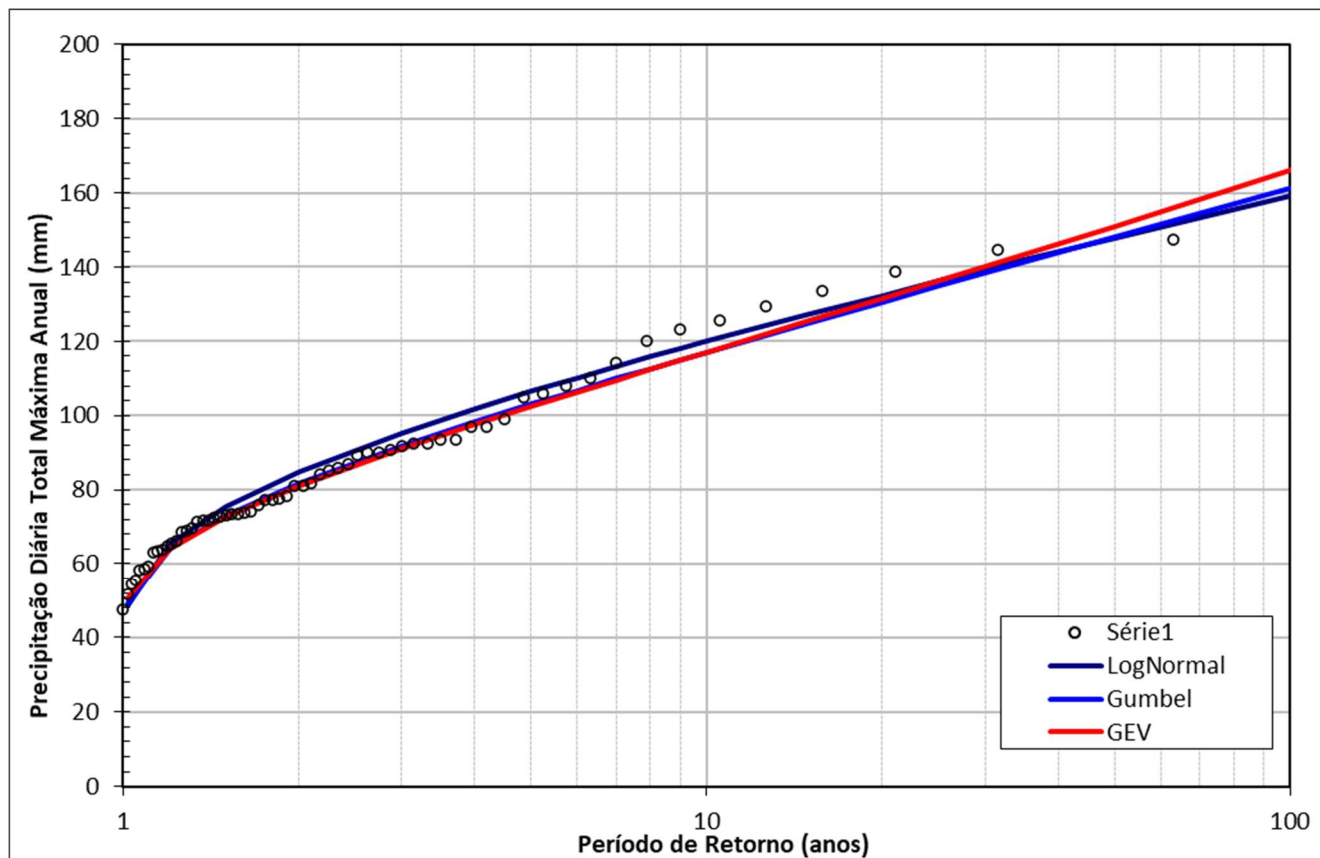


Figura 10 - Distribuições de probabilidade ajustadas aos dados de precipitação extrema estação 2143056

Fonte: GEASA, 2025.

2.2.4 Curvas e equações IDF

A intensidade de chuva está associada à duração e à frequência da chuva, sendo expressa, de forma empírica, por um modelo matemático geral, conforme a Equação 2.

$$I_{m,m} = \frac{C \cdot TR^m}{(t_0 + t_d)^n} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

- $I_{m,m}$ é a intensidade média máxima de precipitação (mm.h-1);
- t_d é o tempo de duração (min);
- TR é o tempo de retorno (anos);
- C , m , t_0 e n são os parâmetros a serem estimados.

Com base na metodologia apresentada, é apresentada abaixo a Equação 03, que apresenta a IDF para as estações 2143056.

$$i = \frac{1646.3 * TR^{0.171}}{(15.496 + t)^{0.822}}$$

Equação 03

As Figura 11 apresenta as curvas IDF em relação ao tempo de retorno para a estação 2143056. Na Tabela 9 e Tabela 10 são apresentadas as intensidades e as alturas de precipitação da estação com base nas equações propostas.

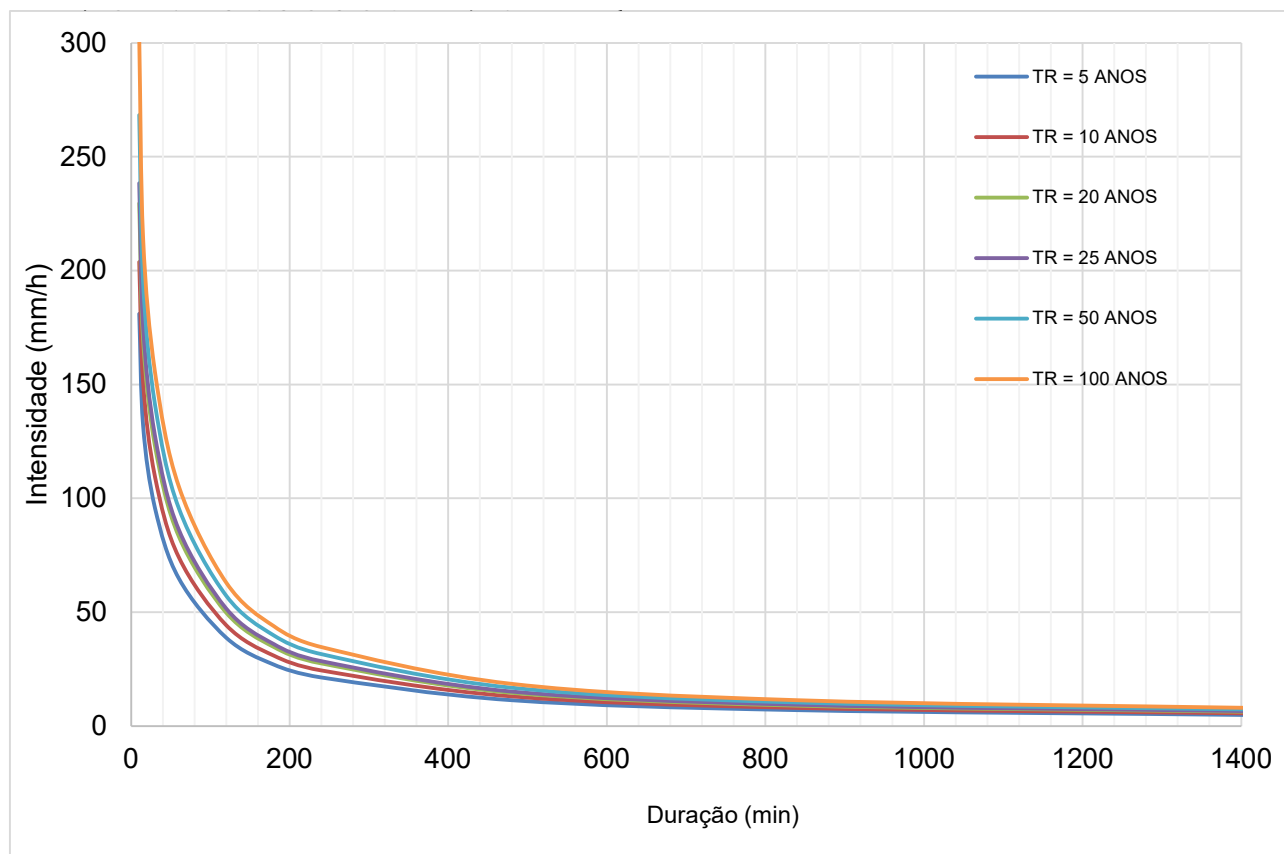


Figura 11 - Curva IDF para a estação 2143056

Fonte: GEASA, 2025

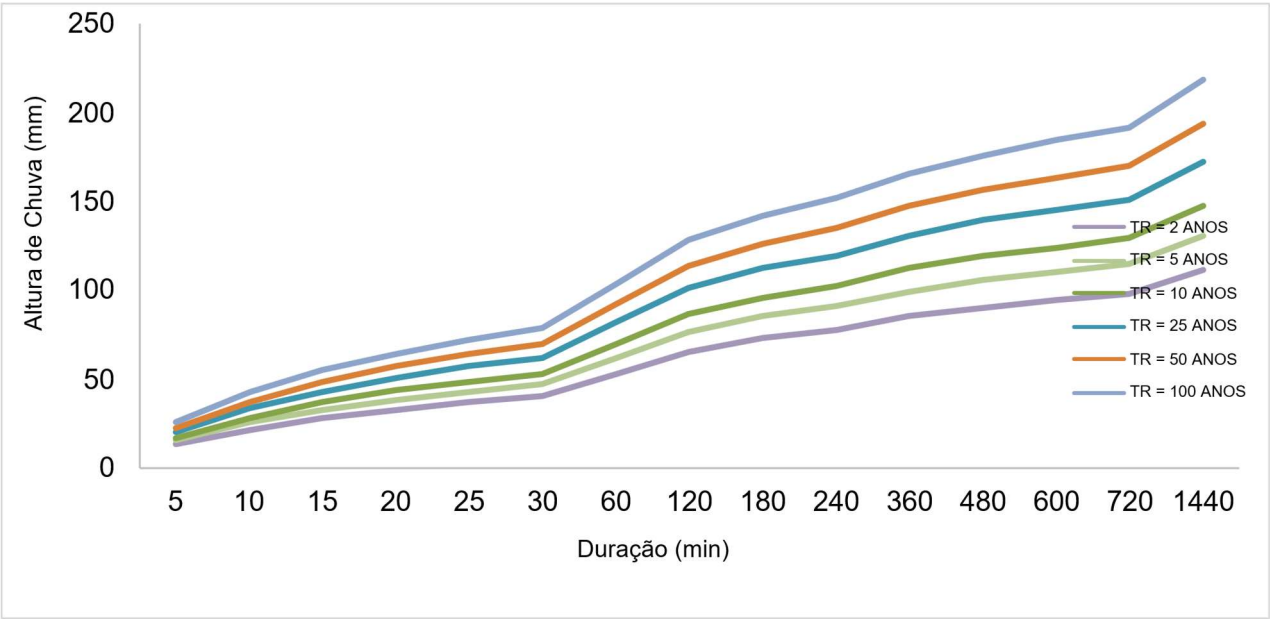


Figura 12 - Curva ADF para a estação 2143056

Fonte: GEASA, 2025

Tabela 9 – Tabela de Intensidade mm/h

Duração (min)	Tempo de retorno						
	2	5	10	20	25	50	100
5	154.8	181.1	203.9	229.5	238.4	268.4	302.2
10	129.4	151.3	170.4	191.8	199.3	224.3	252.6
15	111.7	130.6	147.0	165.6	172.0	193.6	218.0
20	98.6	115.3	129.8	146.1	151.8	170.9	192.4
25	88.4	103.5	116.5	131.1	136.2	153.4	172.7
30	80.4	94.0	105.8	119.2	123.8	139.4	156.9
60	53.0	62.0	69.8	78.6	81.6	91.9	103.5
120	32.8	38.3	43.2	48.6	50.5	56.8	64.0
180	24.2	28.4	31.9	35.9	37.3	42.0	47.3
240	19.5	22.8	25.6	28.8	30.0	33.7	38.0
360	14.2	16.6	18.7	21.0	21.8	24.6	27.7
480	11.3	13.2	14.9	16.7	17.4	19.6	22.0
600	9.4	11.0	12.4	14.0	14.5	16.4	18.4
720	8.2	9.5	10.7	12.1	12.6	14.1	15.9
1440	4.7	5.4	6.1	6.9	7.2	8.1	9.1

Fonte: GEASA, 2025.

Tabela 10 – Tabela de Precipitação Total (mm)

Duração (min)	Tempo de retorno						
	2	5	10	20	25	50	100
5	12.9	15.1	17.0	19.1	19.9	22.4	25.2
10	21.6	25.2	28.4	32.0	33.2	37.4	42.1
15	27.9	32.7	36.8	41.4	43.0	48.4	54.5
20	32.9	38.4	43.3	48.7	50.6	57.0	64.1
25	36.9	43.1	48.5	54.6	56.8	63.9	71.9
30	40.2	47.0	52.9	59.6	61.9	69.7	78.5
60	53.0	62.0	69.8	78.6	81.6	91.9	103.5
120	65.5	76.7	86.3	97.2	101.0	113.7	128.0
180	72.7	85.1	95.8	107.8	112.0	126.1	142.0
240	77.8	91.0	102.5	115.4	119.9	135.0	151.9
360	85.1	99.5	112.0	126.1	131.0	147.5	166.1
480	90.3	105.6	118.9	133.9	139.1	156.6	176.3
600	94.5	110.5	124.4	140.0	145.5	163.8	184.4
720	97.9	114.5	128.9	145.2	150.8	169.8	191.1
1440	111.7	130.7	147.1	165.7	172.1	193.8	218.1

Fonte: GEASA, 2025.

A partir dos dados apresentados, pode-se perceber que a intensidade da chuva aumenta conforme o tempo de duração diminui, bem como, a intensidade também cresce com o aumento do período de retorno. Ou seja, as chuvas mais intensas ou ocorrem quando há grandes volumes de precipitação em curtos períodos e em intervalos de recorrência mais longos.

Este estudo buscou propor alternativas à equação de Freitas (2001), dada a desatualização e o período limitado da série histórica em que se fundamentou. Para isso, foi utilizada a estação 2143056, a fim de construir uma série de precipitações atualizada e passível de extrapolação para maiores Tempos de Retorno.

Como resultado, apresenta-se uma atualização da equação de Freitas, Equação 03, que pode ser aplicada em estudos de sub-bacias próximas à área de abrangência dessa estação.



2.3 - CHUVA DE PROJETO

Para a construção do hietograma de projeto, foi utilizado método de Huff (1967) por ser fisicamente mais representativo, tendo em vista a recomendação apresentada por Tucci (2004), que diz que quando não se tem dados de chuvas diretamente observadas em um local de estudo, pode-se recorrer a distribuições temporais padronizadas fundamentadas em um grande número de eventos de chuvas observadas, como é o caso do método de Huff.

Com o hietograma definido, a próxima etapa envolve a determinação da precipitação efetiva, ou escoamento superficial direto, que é a fração da precipitação total que não sofre infiltração e escoa diretamente pela superfície do solo, sendo responsável pelas vazões de cheia.

Para a obtenção da precipitação efetiva foi utilizado o método do Soil Conservation Service (SCS, 1972), o qual considera a relação entre o armazenamento máximo de água no solo, S (mm); a precipitação máxima acumulada, P (mm); a precipitação efetiva acumulada, P_e (mm); a quantidade armazenada no instante $(P - P_e)$; as abstrações iniciais, I_a ($0,2 \times S$) e o parâmetro curva número (CN). A precipitação efetiva foi obtida pela Equação 04 e Equação 05.

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{Equação 04}$$

É importante relevar que esse método indica que somente existirá escoamento quando P for superior a I_a . Deste modo, o potencial de armazenamento de água no solo S , é obtido com base no CN, de acordo com a equação abaixo:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Equação 05}$$

2.3.1 Classificação Pedológica dos solos

A classificação pedológica dos solos da bacia foi realizada com base nos dados fornecidos pelo Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos hídricos (IDE-Sistema). A partir deste levantamento, identificaram-se o total de duas classes de solo para a bacia do córrego São Pedro, tais quais: Latossolo Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, como ilustrado na Figura 13. Posteriormente, realizou-se a reclassificação dos solos quanto ao grupo hidrológico, conforme previsto pelo método SCS, foi realizada com base nos estudos de Sartori *et al.* (2005), resultando predominantemente no grupo hidrológico B.

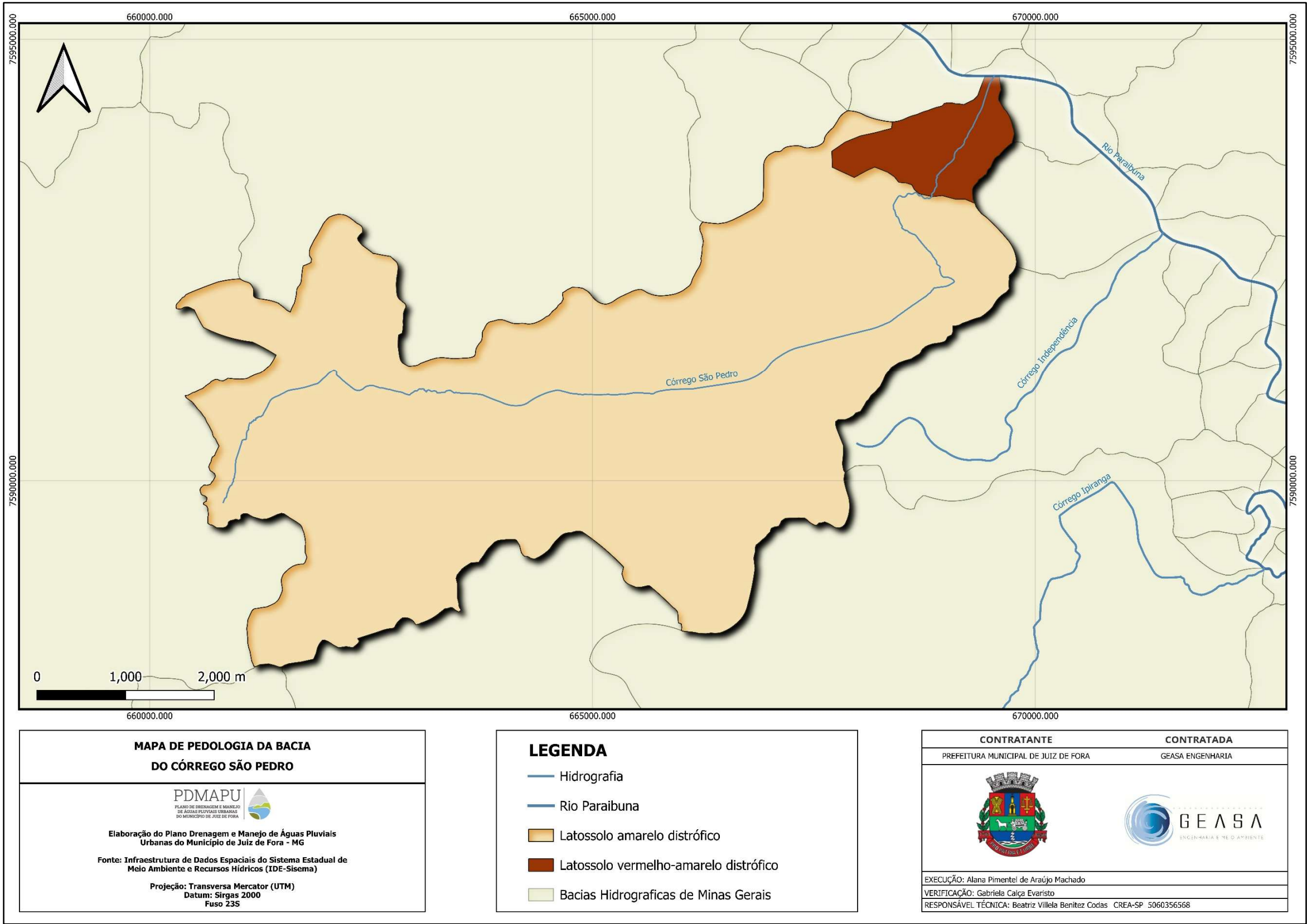


Figura 13 - Mapa pedológico da Bacia hidrográfica do córrego São Pedro.
Fonte: Elaborado pela Geasa Engenharia, 2025.

2.3.2 Condições atuais de uso e cobertura do solo

A determinação do uso e ocupação do solo da bacia em questão é fundamental para caracterização hidrológica e consequente simulação hidrodinâmica. O uso e ocupação do solo é o principal fator para determinação da parcela da chuva que se torna escoamento superficial. Este escoamento superficial oriundo de chuvas intensas é necessário para determinação das vazões de cheia que poderão ocasionar extravasamentos e inundações.

A bacia hidrográfica do Córrego São Pedro, apresenta alguns remanescentes florestais, porém esses fragmentos de vegetação estão sofrendo uma progressiva supressão, uma vez que, a região encontra-se densamente urbanizada e é alvo de especulações imobiliárias. Cabe ressaltar a forte presença da Agropecuária, representando 43% do território, e as ocupações urbanas, representando 38% da área que compreende a bacia. No mapa da Figura 14 é possível identificar essas feições.

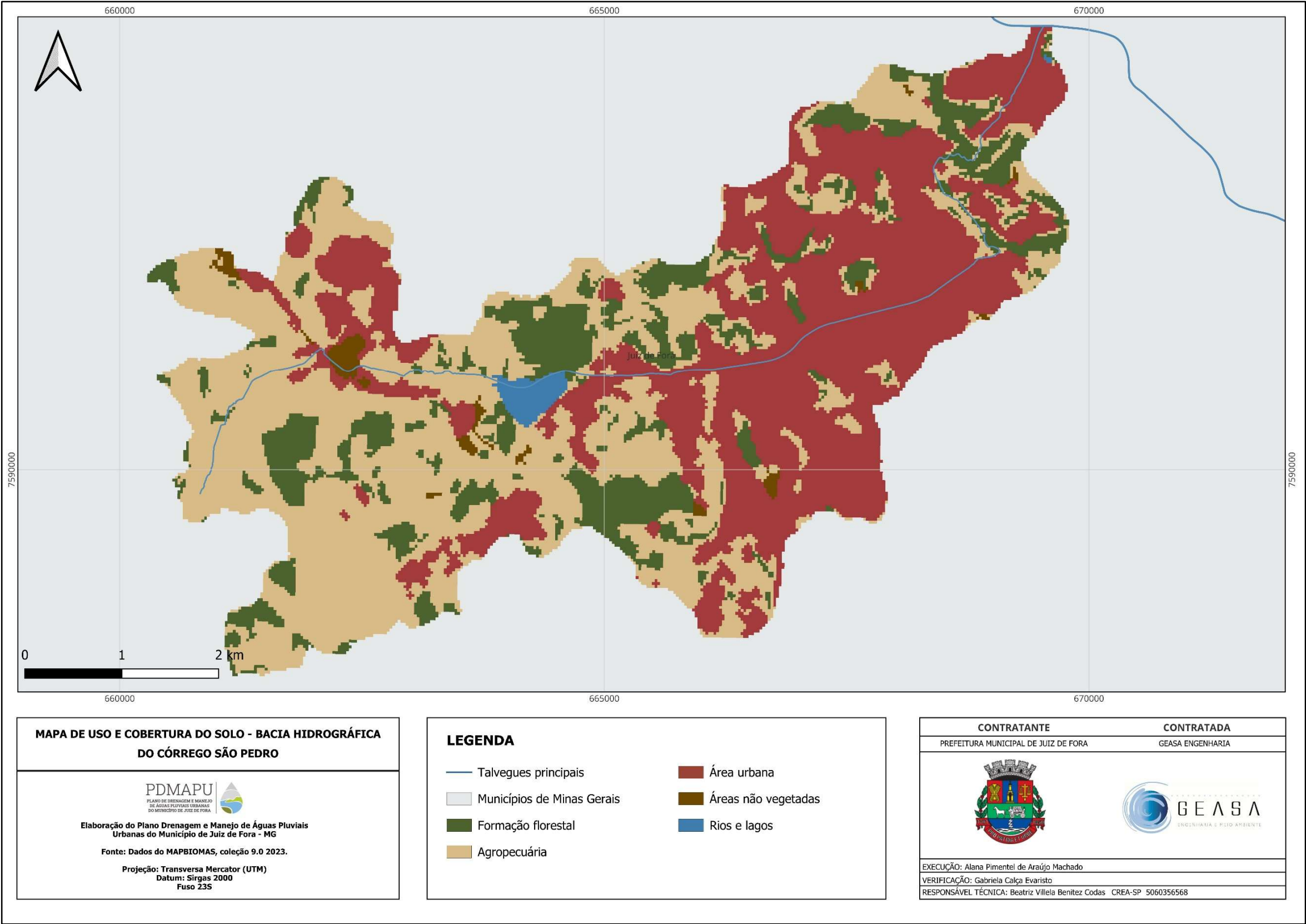


Figura 14 - Uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do córrego São Pedro.
Fonte: Elaborado pela Geasa Engenharia, 2025

Para analisar o grau de impermeabilização do solo para os estudos hidrológicos, levou-se em consideração a ocupação atual. O cenário atual é utilizado para calcular o CN nas sub-bacias, visando os estudos de diagnóstico de macrodrenagem. Este cenário reflete as condições presentes de ocupação e cobertura do solo na área de estudo. A Tabela 11 apresenta os tipos de uso de solo e os valores de CN adotados.

Tabela 11 - Tipos de usos do solo e CN adotados.

Uso e cobertura	A	B	C	D
Floresta	36	60	70	76
Agropecuária	36	60	73	79
Área urbana	67	77	83	87
Áreas não vegetadas	98	98	98	98
Corpos D'água e Mangue	100	100	100	100

Com base na metodologia de cálculo do Curve Number (CN), foi determinado o valor médio de CN para as sub-bacias da bacia hidrográfica do córrego São Pedro. Os coeficientes CN, aplicados de acordo com a cobertura do solo e o tipo de solo, foram ponderados com base na área de cada sub-bacia (Tabela 12).

Tabela 12 - CN calculado por sub-bacia.

Sub-bacia	Área (km²)	CN ponderado
SUB-01	0,625	64,778
SUB-02	0,997	66,024
SUB-03	2,97	61,814
SUB-04	0,842	73,367
SUB-05	2,20	61,297
SUB-06	0,917	62,473
SUB-07	4,26	64,409
SUB-08	1,269	65,932
SUB-09	1,001	63,382
SUB-10	1,163	62,197
SUB-11	1,341	72,449
SUB-12	0,363	68,151
SUB-13	0,603	60,452
SUB-14	0,66	68,257
SUB-15	2,042	75,749
SUB-16	1,885	72,283
SUB-17	0,817	75,964
SUB-18	0,424	73,491

SUB-19	1,858	71,119
SUB-20	0,361	76,660
SUB-21	0,362	76,365
SUB-22	0,357	65,334
SUB-23	0,144	68,546
SUB-24	0,23	71,101
SUB-25	0,278	64,753
SUB-26	0,333	61,006
SUB-27	0,447	69,136
SUB-28	0,349	63,475
SUB-29	0,412	74,328
SUB-30	0,474	73,564

2.3.3 Definição do Período de Retorno

O tempo de recorrência, ou período de retorno, é o intervalo médio de anos em que uma chuva ocorre ou é superada. Ele está associado ao risco adotado no projeto, definindo a dimensão dos investimentos envolvidos e a segurança quanto às cheias.

Segundo o Manual de Drenagem de Juiz de Fora (2011), a análise adequada envolve um estudo de avaliação econômica e social dos impactos das enchentes para a definição dos riscos. No entanto, esta prática é inviável devido ao alto custo do próprio estudo, principalmente para pequenas áreas. Portanto, conforme indicado no Manual de Drenagem, os períodos de retorno usualmente adotados são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Tempo de retorno para projetos de drenagem urbana.

Sistema	Característica	Intervalo TR (anos)	Valor Frequente (anos)
Microdrenagem	Residencial	2-5	2
	Comercial	2-5	5
	Áreas de prédios públicos	2-5	5
	Aeroportos	5-10	5
	Áreas comerciais e avenidas	5-10	10
Macro drenagem	-	10-25	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas	-	5-100	-

Fonte: Manual de Drenagem de Juiz de Fora (2011)

Tendo como referência os valores apresentados na Tabela 13, no presente estudo foram adotados os períodos de retorno indicados para o sistema de macrodrenagem, ou seja, dimensionamento para TR = 25 anos e verificação para o TR = 50 anos.

2.3.4 Definição do Tempo de Duração da Chuva de Projeto

O tempo de concentração (t_c) é definido como o intervalo necessário para que toda a área da bacia hidrográfica contribua com escoamento até a seção de interesse. Diversos fatores influenciam seu cálculo, como a forma da bacia, a declividade média, o comprimento e o desnível topográfico ao longo do curso d'água principal, a intensidade da precipitação considerada, bem como a rugosidade da superfície e dos canais, entre outros.

Estudos realizados em bacias de médio e grande porte, com base em dados de eventos de cheias observados, indicam que a aplicação do hidrograma unitário triangular proposto pelo U.S. Soil Conservation Service produz resultados consistentes com os registros empíricos. Nesses casos, o tempo de concentração pode ser estimado pela fórmula proposta por Kirpich, conforme apresentado na Equação 06 do Manual de Hidrologia Básica do DNIT (2005).

$$T_c = 1,42 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad \text{Equação 06}$$

Onde:

T_c - é o tempo de concentração, em h;

L - é o comprimento do curso d'água, em km;

H - é a diferença de elevação, em m;

A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos para cada sub-bacia.

Tabela 14 - Tempos de concentração para cada sub-bacia.

Sub-bacia	L (km)	H (m)	T_c (min)
Sub-01	1,150	30,381	26,899
Sub-02	1,570	50,696	31,644
Sub-03	2,180	20,347	65,703
Sub-04	1,040	22,008	27,116
Sub-05	2,655	35,429	66,639
Sub-06	0,875	83,761	13,277
Sub-07	4,465	68,952	94,003
Sub-08	1,100	32,329	24,949

<i>Sub-bacia</i>	<i>L (km)</i>	<i>H (m)</i>	<i>Tc (min)</i>
Sub-09	1,415	73,021	24,386
Sub-10	1,595	92,875	25,526
Sub-11	1,885	8,788	76,742
Sub-12	0,605	57,672	10,009
Sub-13	1,095	79,785	17,528
Sub-14	1,210	19,250	34,006
Sub-15	1,750	20,900	50,454
Sub-16	1,585	43,248	34,011
Sub-17	1,075	78,226	17,289
Sub-18	0,910	8,783	33,101
Sub-19	1,550	126,378	21,935
Sub-20	0,705	97,956	9,740
Sub-21	0,965	9,105	34,934
Sub-22	0,965	9,105	34,934
Sub-23	0,755	32,800	16,064
Sub-24	1,195	155,021	15,014
Sub-25	0,565	85,571	7,945
Sub-26	0,690	31,182	14,762
Sub-27	1,125	77,548	18,283
Sub-28	1,195	155,021	15,014
Sub-29	1,325	10,220	48,191
Sub-30	1,325	10,220	48,191

2.3.5 Distribuição Temporal das Chuvas de Projeto

A distribuição temporal das chuvas afeta significativamente a forma e a vazão de pico de um hidrograma de vazões resultante. Assim, a escolha deve ser feita com base na análise dos dados referentes às distribuições temporais das chuvas na área ou adotando-se distribuições que caracterizam uma situação crítica de projeto.

Para caracterizar a distribuição temporal das chuvas, foi utilizado o método de Huff (1967) por ser fisicamente mais representativo, tendo em vista a recomendação apresentada por Tucci (2004), que diz que quando não se tem dados de chuvas diretamente observadas em um local de estudo, pode-se recorrer a distribuições temporais padronizadas fundamentadas em um grande número de eventos de chuvas observadas, como é o caso do método de Huff.

Huff (1990) classificou as distribuições das chuvas em 4 quartis, onde as precipitações com menos de 12 horas de duração, normalmente de maior interesse em projetos de drenagem urbana, foram classificadas com maior frequência entre o 1º e 2º quartil. O 3º quartil por sua vez contempla durações entre 12 e 24 h, enquanto o 4º representa os eventos chuvosos com duração superiores a 24 h. No presente estudo foi aplicado o 2º quartil para a obtenção do percentual de chuva acumulada total por intervalo de tempo, para cada percentual de duração da chuva.

Na Figura 15 podem ser observadas as distribuições adimensionais de precipitação de Huff (1967) para 50% de probabilidade.

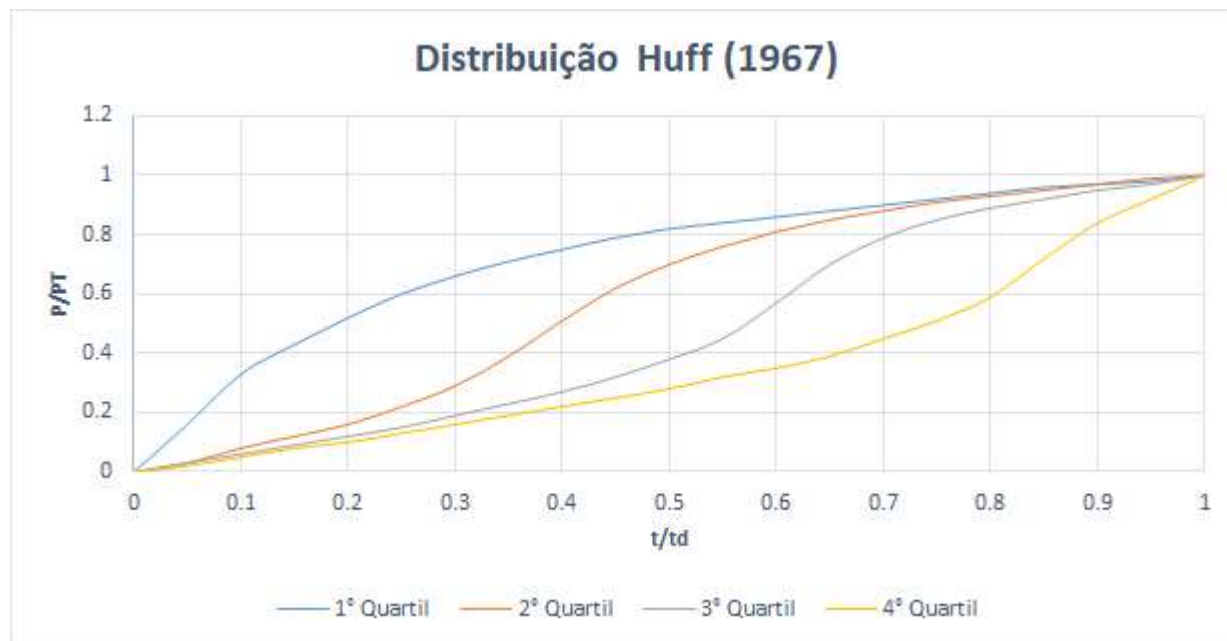


Figura 15 – Curvas dos quartis da distribuição de HUFF.



2.4– VAZÃO DE PROJETO

Em virtude da ausência de dados históricos de vazões, adotou-se a metodologia de determinação da cheia de projeto a partir de um modelo indireto de transformação de chuva em vazão. Nesses casos, para viabilizar a modelagem chuva-vazão, é comum admitir a existência de uma relação linear entre a parcela da precipitação que gera escoamento superficial (precipitação efetiva) e a vazão.

É o caso do Hidrograma Unitário, que assume essa relação linear entre a precipitação efetiva e a vazão resultante, representando o hidrograma gerado pelo escoamento superficial decorrente de 1 mm de chuva efetiva, distribuída uniformemente durante um intervalo de tempo específico.

Para o cálculo da vazão de projeto, foi utilizado o método do SCS, o qual propõe que os hidrogramas unitários podem ser aproximados por relações entre tempo e vazão, estimadas com base no tempo de concentração e na área da bacia de contribuição. Nessa abordagem, o hidrograma unitário pode ser representado por um triângulo, definido pela vazão de pico, pelo tempo até o pico e pelo tempo de base, sendo que a área sob essa curva corresponde ao volume de escoamento superficial direto gerado por uma chuva excedente sobre toda a área de drenagem.

A ideia central do hidrograma unitário triangular é a aproximação do hidrograma por meio de duas retas, representando os trechos de ascensão e recessão do escoamento. Já o hidrograma unitário adimensional (curvilíneo) sintetiza a forma do hidrograma unitário para uma determinada duração da precipitação, assumindo uma única forma de representação do escoamento superficial direto, independentemente das características específicas da bacia hidrográfica.

Dessa forma, os principais parâmetros de ajuste do hidrograma unitário adimensional são obtidos a partir do hidrograma unitário triangular, conforme ilustrado na Figura 16.

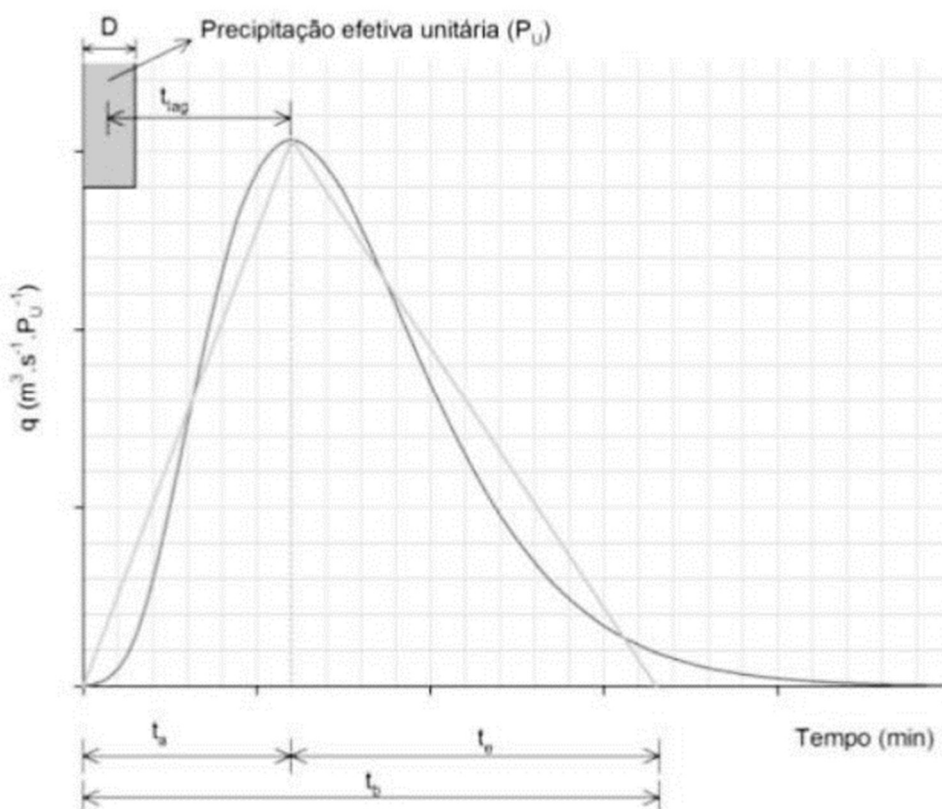


Figura 16 – Ilustração do hidrograma unitário triangular (cinza) e adimensional (preto) para dados hipotéticos.

O tempo de ascensão (t_a) é obtido pelo somatório da metade do tempo de duração (D) da precipitação efetiva unitária (P_u) com o tempo de retardo da bacia hidrográfica (t_{lag}). Destaca-se que o t_{lag} apresentado na Figura 16 é tradicionalmente empregado na área de hidrologia, necessitando de uma análise conjunta do hietograma e hidrograma de um dado evento de chuva.

Para o presente estudo, o processamento computacional dos hidrogramas unitários foi desenvolvido pelo software HEC-HMS. O HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) é uma ferramenta essencial para a análise e simulação de processos hidrológicos em bacias hidrográficas.

Desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, o software é capaz de prever o comportamento da água em diferentes cenários, além de permitir a modelagem eventos de precipitação e prever as respostas hidrológicas das bacias, ajudando a antecipar enchentes e a planejar medidas de mitigação. Na Figura 17 é apresentada a topologia proposta para o modelo hidrológico.

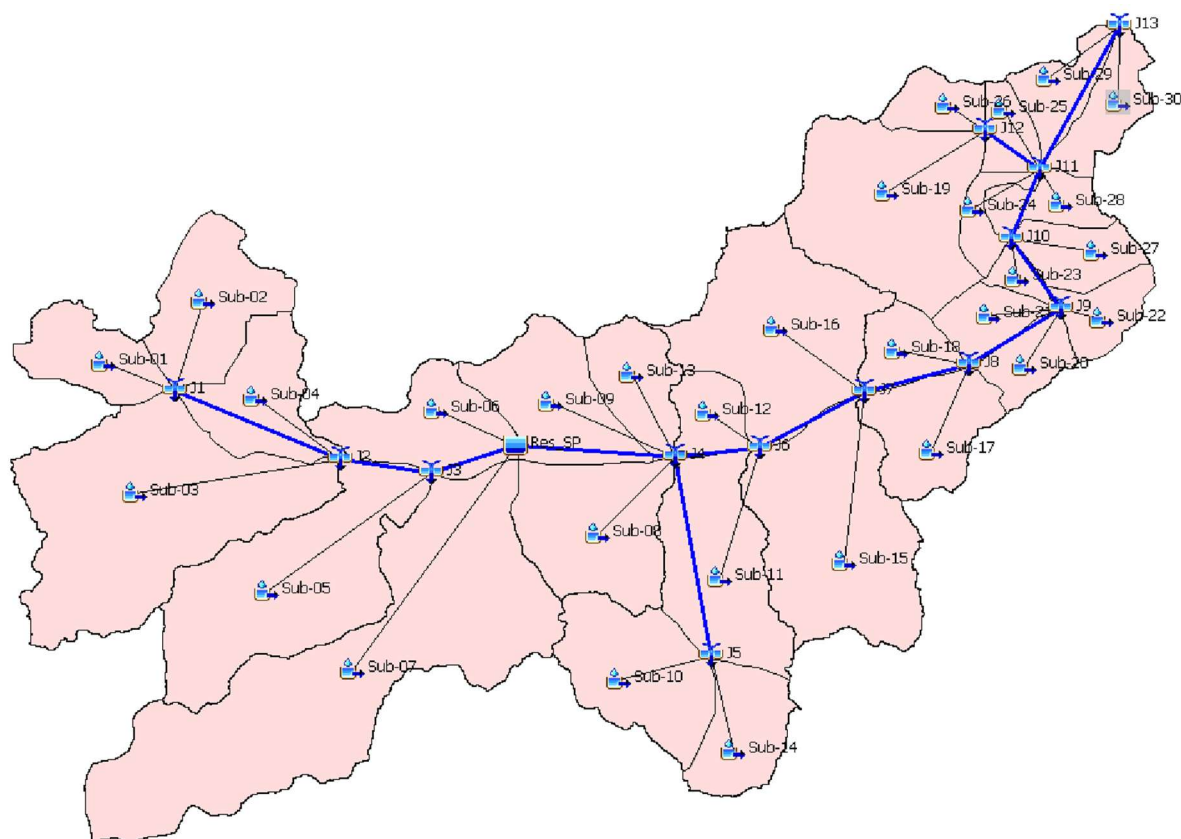


Figura 17 – Topologia para a modelagem no HEC-HMS.

2.4.1 Hidrogramas de projeto

2.4.1.1 Dados da Barragem São Pedro

Para realização das simulações do cenário atual foram consideradas as curvas de descarga e cota-volume da Barragem São Pedro apresentadas no Plano de Segurança elaborado por BSG Consultoria, em 2021. Na Figura 18 pode ser visualizada a curva cota volume da barragem e na Tabela 15 e na Tabela 16 encontram-se as curvas de descarga.

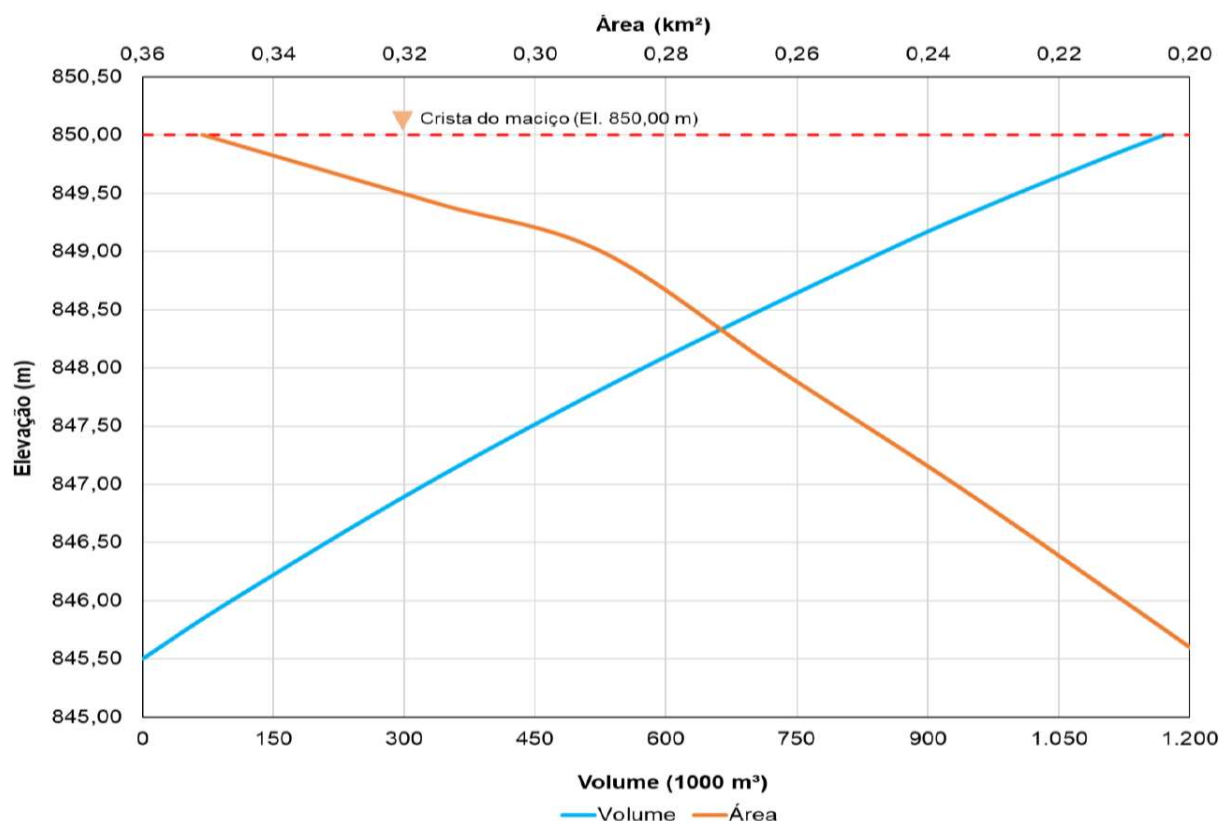


Figura 18 – Curva Cota-Volume da Barragem São Pedro.

Fonte: BSG Consultoria (2021)

Tabela 15 – Curva de Descarga do sifão e descarregador de fundo da Barragem São Pedro.

Nível do Reservatório (m)	Curva de Operação do Sifão (m³/s)	Curva de Operação da Descarga (m³/s)	Curva de Operação Total (m³/s)
846,30	0,04	0,00	0,04
846,40	0,09	0,40	0,49
846,50	0,12	0,57	0,69
846,60	0,15	0,70	0,85
846,70	0,17	0,81	0,98
846,80	0,19	0,91	1,10
846,90	0,21	0,99	1,20
847,00	0,23	1,08	1,30
847,10	0,24	1,15	1,39
847,20	0,25	1,22	1,48
847,30	0,27	1,29	1,56
847,40	0,28	1,36	1,64
847,50	0,29	1,42	1,71
847,60	0,30	1,48	1,78
847,70	0,32	1,54	1,85
847,80	0,33	1,59	1,92
847,90	0,34	1,65	1,98
848,00	0,35	1,70	2,05
848,10	0,36	1,75	2,11
848,20	0,37	1,80	2,16
848,30	0,38	1,85	2,22
848,40	0,39	1,89	2,28
848,50	0,40	1,94	2,33

Nível do Reservatório (m)	Curva de Operação do Sifão (m³/s)	Curva de Operação da Descarga (m³/s)	Curva de Operação Total (m³/s)
848,60	0,40	1,98	2,39
848,70	0,41	2,03	2,44
848,80	0,42	2,07	2,49
848,90	0,43	2,11	2,54
849,00	0,44	2,15	2,59
849,10	0,45	2,19	2,64
849,20	0,45	2,23	2,69
849,30	0,46	2,27	2,73
849,40	0,47	2,31	2,78
849,50	0,48	2,35	2,83
849,60	0,48	2,39	2,87
849,70	0,49	2,42	2,91
849,80	0,50	2,46	2,96

Fonte: BSG Consultoria (2021)

Tabela 16 – Curva de Descarga do sifão e descarregador de fundo da Barragem São Pedro.

Nível do Reservatório (m)	Vazão Vertedor 01 (m³/s)	Vazão Vertedor 2 (m³/s)	Vazão Total (m³/s)
849,64	0,00	0,00	0,00
849,70	0,00	0,15	0,15
849,75	0,00	0,39	0,39
849,80	0,00	0,70	0,70
849,85	0,07	1,05	1,12
849,90	0,21	1,45	1,66
849,95	0,38	1,90	2,27
850,00	0,58	2,38	2,96

Fonte: Adaptado BSG Consultoria (2021)

2.4.1.2 Simulações Hidrológicas para Identificação da Duração Crítica

As simulações foram realizadas para os eventos de chuva com recorrência de 25 anos, 50 anos e 1000 anos (somente para confirmação do sistema extravasor da barragem São Pedro) e as durações variando entre 5 minutos e 24 horas, a fim de se pesquisar a duração crítica, ou seja, a que resultará na maior vazão de pico. Os resultados das simulações para obtenção das vazões podem ser visualizados na Tabela 17 à Tabela 19.

803

Tabela 17 - Síntese das vazões de pico para TR 25 anos.

Elemento	AD (km²)	Vazão de Pico (m³/s)														
		5min	10 min	15min	20min	25min	30min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h	24h
Sub-03	2,90	0,00	0,00	0,70	1,70	2,90	4,00	9,20	13,50	14,50	14,50	13,30	12,10	11,00	10,10	6,70
Sub-02	1,00	0,00	0,20	0,90	1,90	2,70	3,60	6,60	8,00	7,70	7,10	6,00	5,20	4,60	4,10	2,60
Sub-01	0,60	0,00	0,10	0,50	1,20	1,70	2,10	4,20	4,90	4,60	4,30	3,60	3,10	2,80	2,50	1,60
J1	1,60	0,00	0,30	1,40	3,00	4,40	5,70	10,80	12,90	12,30	11,40	9,70	8,30	7,30	6,50	4,10
R1	1,60	0,00	0,20	1,20	2,80	4,30	5,40	10,20	12,40	12,10	11,30	9,60	8,30	7,30	6,50	4,10
Sub-04	0,80	0,00	1,00	2,10	3,70	5,10	6,00	9,30	9,70	9,10	8,10	6,60	5,50	4,80	4,20	2,60
J2	5,40	0,00	1,00	3,10	6,00	9,10	12,20	23,60	31,50	32,70	31,70	28,20	25,20	22,70	20,50	13,30
R2	5,40	0,00	1,00	3,10	6,00	9,00	11,80	23,40	31,50	32,60	31,60	28,20	25,10	22,60	20,50	13,30
Sub-05	2,20	0,00	0,00	0,40	1,20	2,00	2,80	6,60	9,80	10,50	10,50	9,70	8,80	8,00	7,40	4,90
J3	7,60	0,00	1,00	3,50	7,10	10,90	14,60	29,80	41,10	43,10	42,10	37,80	34,00	30,70	27,90	18,20
R3	7,60	0,00	1,00	3,40	6,90	10,80	14,30	29,70	40,90	42,80	41,70	37,80	33,80	30,60	27,80	18,20
Sub-07	4,30	0,00	0,20	1,20	2,70	4,20	5,60	12,30	18,40	20,30	20,60	19,50	18,00	16,60	15,30	10,40
Sub-06	0,90	0,00	0,00	0,60	1,70	2,50	3,20	6,30	7,20	6,50	6,00	5,00	4,20	3,70	3,30	2,10
Res_SP	12,70	4,60	4,60	4,60	4,80	5,40	7,40	33,10	52,60	58,60	59,70	57,30	52,90	48,80	45,10	30,50
R4	12,70	4,60	4,60	4,60	4,80	5,40	7,30	32,30	52,00	58,20	59,60	57,00	52,80	48,80	45,00	30,50
Sub-08	1,30	0,00	0,30	1,20	2,80	4,30	5,20	9,50	10,80	10,30	9,50	7,90	6,80	5,90	5,20	3,30
Sub-09	1,00	0,00	0,10	0,60	1,60	2,60	3,20	6,30	7,50	7,10	6,70	5,60	4,80	4,20	3,80	2,40
Sub-13	0,60	0,00	0,00	0,20	0,70	1,20	1,70	3,10	4,10	3,90	3,60	3,10	2,60	2,30	2,10	1,30
J4	15,60	4,60	4,90	6,50	9,60	12,60	14,60	32,60	53,80	62,50	65,10	65,20	61,80	57,60	53,50	37,20
R6	15,60	4,60	4,90	6,50	9,40	12,30	14,50	32,50	53,60	62,30	65,10	65,10	61,70	57,60	53,50	37,20
Sub-10	1,10	0,00	0,00	0,50	1,50	2,40	3,00	6,40	7,80	7,40	7,00	6,00	5,20	4,60	4,10	2,60
Sub-14	0,70	0,00	0,20	0,80	1,50	2,20	2,80	4,80	5,80	5,50	5,10	4,30	3,70	3,30	2,90	1,80
J5	1,80	0,00	0,20	1,40	3,00	4,40	5,70	11,20	13,60	13,00	12,10	10,30	8,90	7,80	7,00	4,40
R5	1,80	0,00	0,20	1,20	2,80	4,30	5,50	10,60	13,00	12,80	12,00	10,20	8,90	7,80	7,00	4,40
Sub-11	1,30	0,00	0,60	1,50	2,50	3,40	4,20	7,50	9,80	10,10	9,80	8,80	7,90	7,10	6,40	4,10
Sub-12	0,40	0,00	0,30	0,70	1,70	2,50	2,90	4,00	4,00	3,60	3,20	2,50	2,10	1,80	1,60	1,00
J6	19,10	4,60	5,40	8,90	13,50	17,60	21,80	38,90	62,40	74,10	78,70	80,20	76,30	71,40	66,50	46,40
R7	19,10	4,60	5,40	8,80	13,20	17,40	21,70	38,10	61,90	73,80	78,70	80,10	76,20	71,30	66,40	46,40
Sub-15	2,00	0,10	2,00	4,60	7,10	9,10	11,40	18,20	21,50	20,50	19,10	16,20	14,00	12,20	10,80	6,70
Sub-16	1,90	0,00	1,50	4,00	6,50	8,70	11,20	17,70	20,10	18,70	17,10	14,20	12,10	10,50	9,30	5,70
J7	23,00	4,70	8,60	15,60	23,20	31,90	39,30	66,70	82,70	84,00	92,30	96,50	93,10	87,80	82,50	58,00
R8	23,00	4,70	8,60	15,30	23,00	31,00	38,50	64,60	82,40	83,90	91,90	96,30	93,00	87,80	82,50	58,00
Sub-17	0,80	0,10	1,60	3,50	5,20	6,60	8,50	11,80	11,30	9,90	8,70	6,80	5,60	4,80	4,30	2,60
Sub-18	0,40	0,00	0,40	1,00	1,70	2,20	2,80	4,30	4,80	4,40	4,00	3,30	2,80	2,40	2,20	1,30
J8	24,20	4,70	9,00	16,20	24,40	32,20	40,00	69,60	89,90	91,50	94,20	100,00	97,40	92,30	86,90	61,60
R9	24,20	4,70	8,90	16,10	24,10	32,20	39,10	69,10	89,10	90,50	93,80	99,60	97,20	92,20	86,80	61,60
Sub-21	0,40	0,00	0,50	1,20	1,70	2,20	2,80	4,10	4,50	4,10	3,80	3,10	2,60	2,20	2,00	1,20
Sub-22	0,40	0,00	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20	2,10	2,70	2,70	2,50	2,10	1,80	1,60	1,50	0,90
Sub-20	0,40	0,10	1,30	2,30	3,30	4,80	5,60	5,90	5,90	4,90	4,10	3,20	2,60	2,30	2,00	1,20
J9	25,30	4,80	9,30	16,80	24,70	33,30	40,80	71,70	93,90	96,30	96,00	102,50	100,60	95,80	90,50	64,50
R10	25,30	4,80	9,20	16,40	24,60	32,60	40,40	69,40	92,10	96,20	95,70	102,40	100,50	95,80	90,50	64,50

Elemento	AD (km²)	Vazão de Pico (m³/s)														
		5min	10 min	15min	20min	25min	30min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h	24h
Sub-27	0,40	0,00	0,30	0,90	1,50	2,30	3,00	4,50	4,80	4,30	3,90	3,20	2,70	2,30	2,00	1,30
Sub-23	0,10	0,00	0,10	0,30	0,50	0,70	0,90	1,50	1,60	1,40	1,20	1,00	0,80	0,70	0,60	0,40
J10	25,90	4,80	9,20	16,50	24,70	32,60	40,50	69,70	93,90	98,40	96,50	103,60	102,10	97,50	92,30	66,00
R11	25,90	4,80	9,20	16,40	24,20	32,50	40,00	69,60	92,80	97,30	95,90	103,00	101,60	97,20	92,10	66,00
Sub-19	1,90	0,00	1,70	4,40	7,20	11,00	13,60	18,70	21,10	19,20	16,90	13,90	11,70	10,10	8,90	5,50
Sub-26	0,30	0,00	0,00	0,20	0,40	0,70	1,00	2,00	2,40	2,30	2,10	1,70	1,50	1,30	1,20	0,70
J12	2,20	0,00	1,70	4,60	7,60	11,70	14,60	20,70	23,50	21,40	19,00	15,70	13,10	11,40	10,10	6,20
R12	2,20	0,00	1,40	4,00	7,10	9,50	12,20	20,50	22,60	20,80	19,00	15,50	13,10	11,40	10,10	6,20
Sub-28	0,30	0,00	0,00	0,30	0,70	1,00	1,40	2,60	2,90	2,70	2,40	2,00	1,70	1,50	1,30	0,80
Sub-25	0,30	0,00	0,10	0,30	1,00	1,50	1,70	2,60	2,70	2,40	2,10	1,70	1,40	1,30	1,10	0,70
Sub-24	0,20	0,00	0,20	0,60	1,10	1,40	1,80	2,80	2,80	2,50	2,20	1,70	1,50	1,30	1,10	0,70
J11	28,90	4,80	9,40	17,20	25,30	33,40	41,20	73,00	102,90	110,70	110,70	109,80	110,30	106,50	101,40	73,80
R13	28,90	4,80	9,40	17,10	25,20	33,30	41,00	72,30	101,80	110,40	109,90	109,30	109,80	106,20	101,20	73,80
Sub-30	0,40	0,00	0,30	0,80	1,30	1,80	2,20	3,70	4,40	4,20	3,90	3,40	2,90	2,50	2,30	1,40
Sub-29	0,40	0,00	0,30	0,80	1,20	1,60	2,00	3,30	3,80	3,70	3,40	2,90	2,50	2,20	1,90	1,20
J13	29,70	4,80	9,90	18,20	26,90	34,70	42,30	75,50	106,60	115,40	115,30	111,80	112,80	109,20	104,20	76,20

Fonte: GEASA, 2025

Tabela 18 - Síntese das vazões de pico para TR 50 anos.

Elemento	AD (km²)	Vazão de Pico (m³/s)														
		5min	10 min	15min	20min	25min	30min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h	24h
Sub-03	2,90	0,00	0,20	1,40	2,90	4,50	6,10	12,70	17,80	18,90	18,60	16,90	15,20	13,80	12,50	8,20
Sub-02	1,00	0,00	0,40	1,50	2,90	3,90	5,10	8,90	10,30	9,60	8,90	7,50	6,40	5,60	5,00	3,10
Sub-01	0,60	0,00	0,20	0,80	1,80	2,60	3,10	5,60	6,30	5,90	5,50	4,50	3,90	3,40	3,00	1,90
J1	1,60	0,00	0,70	2,40	4,60	6,50	8,10	14,50	16,60	15,50	14,40	12,00	10,30	9,00	8,00	5,00
R1	1,60	0,00	0,60	2,20	4,20	6,30	7,80	13,60	15,80	15,40	14,20	12,00	10,20	9,00	8,00	5,00
Sub-04	0,80	0,10	1,60	3,10	5,00	6,80	7,90	11,70	12,00	11,10	9,80	8,00	6,70	5,70	5,10	3,10
J2	5,40	0,10	1,80	5,00	9,20	13,30	17,40	31,50	40,90	41,90	40,10	35,40	31,20	28,00	25,20	16,10
R2	5,40	0,10	1,80	5,00	9,10	13,00	16,80	31,40	40,80	41,70	39,80	35,30	31,20	27,90	25,20	16,10
Sub-05	2,20	0,00	0,10	0,90	2,00	3,20	4,30	9,10	12,90	13,70	13,60	12,30	11,20	10,10	9,20	6,00
J3	7,60	0,10	1,80	5,90	11,10	16,10	21,10	40,40	53,70	55,40	53,40	47,60	42,20	38,00	34,40	22,20
R3	7,60	0,10	1,80	5,80	10,80	16,00	20,60	40,10	53,30	54,80	52,70	47,40	42,20	37,90	34,40	22,20
Sub-07	4,30	0,00	0,50	2,20	4,20	6,30	8,10	16,60	23,90	26,00	26,10	24,50	22,40	20,50	18,90	12,60
Sub-06	0,90	0,00	0,20	1,20	2,80	4,00	4,70	8,80	9,30	8,40	7,70	6,20	5,30	4,60	4,10	2,50
Res_SP	12,70	4,60	4,60	4,70	5,40	10,90	19,00	47,10	69,50	75,70	76,40	72,30	66,40	60,70	55,70	37,10
R4	12,70	4,60	4,60	4,70	5,40	10,80	18,60	46,50	69,10	75,60	76,10	72,20	66,20	60,60	55,70	37,10
Sub-08	1,30	0,00	0,70	2,10	4,20	6,20	7,50	12,50	13,70	13,00	11,80	9,80	8,30	7,20	6,40	4,00
Sub-09	1,00	0,00	0,30	1,10	2,60	3,90	4,80	8,50	9,60	9,20	8,50	7,00	6,00	5,20	4,70	2,90
Sub-13	0,60	0,00	0,00	0,50	1,10	2,00	2,60	4,50	5,50	5,10	4,60	3,90	3,30	2,90	2,60	1,60
J4	15,60	4,60	5,60	8,30	12,50	16,70	19,50	46,90	71,30	80,80	84,00	82,60	77,30	71,60	66,30	45,20
R6	15,60	4,60	5,50	8,30	12,10	16,30	19,20	46,70	70,90	80,70	83,90	82,50	77,30	71,50	66,20	45,20
Sub-10	1,10	0,00	0,20	1,00	2,50	3,80	4,60	8,80	10,20	9,60	9,00	7,50	6,50	5,70	5,00	3,20

Elemento	AD (km²)	Vazão de Pico (m³/s)														
		5min	10 min	15min	20min	25min	30min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h	24h
Sub-14	0,70	0,00	0,40	1,30	2,20	3,00	3,90	6,30	7,40	6,90	6,30	5,30	4,50	3,90	3,50	2,20
J5	1,80	0,00	0,60	2,30	4,70	6,60	8,20	15,10	17,50	16,40	15,30	12,80	11,00	9,60	8,60	5,40
R5	1,80	0,00	0,60	2,10	4,30	6,40	8,00	14,20	16,70	16,40	15,10	12,80	10,90	9,60	8,50	5,40
Sub-11	1,30	0,00	0,90	2,20	3,40	4,60	5,60	9,60	12,20	12,40	12,00	10,70	9,50	8,50	7,60	4,80
Sub-12	0,40	0,00	0,60	1,20	2,40	3,50	4,00	5,20	5,20	4,60	3,90	3,10	2,60	2,20	2,00	1,20
J6	19,10	4,60	6,50	11,80	18,40	24,00	29,10	51,60	83,30	96,30	101,60	101,20	95,50	88,70	82,30	56,30
R7	19,10	4,60	6,50	11,80	18,00	23,20	29,00	51,50	83,00	96,20	101,30	101,10	95,50	88,70	82,30	56,30
Sub-15	2,00	0,30	3,00	6,40	9,50	11,90	14,60	22,80	26,30	24,80	23,10	19,40	16,60	14,50	12,80	7,80
Sub-16	1,90	0,10	2,40	5,80	9,00	11,60	14,80	22,60	24,90	22,80	20,90	17,10	14,50	12,60	11,10	6,80
J7	23,00	5,00	11,20	21,20	31,20	42,60	52,10	85,20	103,60	110,30	119,10	122,10	116,70	109,30	102,20	70,10
R8	23,00	5,00	11,10	20,80	30,90	41,30	51,00	83,00	103,50	109,90	119,00	121,90	116,40	109,30	102,20	70,10
Sub-17	0,80	0,20	2,40	4,90	6,90	8,50	10,90	14,70	13,70	12,00	10,40	8,10	6,70	5,70	5,00	3,00
Sub-18	0,40	0,00	0,70	1,50	2,30	2,90	3,60	5,50	5,90	5,40	4,90	4,00	3,40	2,90	2,60	1,60
J8	24,20	5,00	11,80	21,70	32,70	42,70	52,90	89,20	112,50	112,90	122,40	127,00	122,10	115,00	107,70	74,30
R9	24,20	5,00	11,70	21,70	32,30	42,50	51,30	88,40	111,30	111,80	122,00	126,80	122,00	114,90	107,60	74,30
Sub-21	0,40	0,10	0,80	1,60	2,30	2,90	3,60	5,20	5,50	5,00	4,50	3,70	3,10	2,70	2,30	1,40
Sub-22	0,40	0,00	0,10	0,50	0,90	1,30	1,70	2,90	3,50	3,40	3,10	2,60	2,30	2,00	1,80	1,10
Sub-20	0,40	0,20	2,00	3,10	4,20	6,10	7,10	7,40	7,20	5,90	5,00	3,80	3,10	2,70	2,30	1,40
J9	25,30	5,10	12,10	22,60	33,20	44,00	53,40	91,70	117,10	119,50	124,60	130,70	126,50	119,50	112,20	77,90
R10	25,30	5,10	12,00	22,20	32,80	43,10	53,00	88,50	115,40	119,00	124,30	130,20	126,20	119,40	112,20	77,80
Sub-27	0,40	0,00	0,50	1,40	2,10	3,20	4,10	5,90	6,10	5,40	4,80	3,90	3,20	2,80	2,50	1,50
Sub-23	0,10	0,00	0,10	0,40	0,70	1,00	1,30	1,90	2,00	1,70	1,50	1,20	1,00	0,90	0,80	0,50
J10	25,90	5,10	12,10	22,20	32,90	43,20	53,10	89,00	117,50	121,60	125,30	131,90	128,40	121,70	114,40	79,70
R11	25,90	5,10	11,90	22,10	32,20	42,90	52,30	88,80	115,70	120,60	124,50	131,30	128,00	121,30	114,20	79,60
Sub-19	1,90	0,00	3,00	6,70	9,80	14,80	18,20	24,30	26,40	23,60	20,80	16,90	14,10	12,10	10,70	6,50
Sub-26	0,30	0,00	0,00	0,30	0,80	1,10	1,60	2,80	3,20	2,90	2,70	2,20	1,90	1,60	1,40	0,90
J12	2,20	0,00	3,00	7,00	10,50	15,90	19,70	27,10	29,60	26,50	23,50	19,10	15,90	13,80	12,10	7,40
R12	2,20	0,00	2,40	6,00	10,00	13,10	16,30	26,50	28,20	25,90	23,30	18,90	15,90	13,70	12,10	7,40
Sub-28	0,30	0,00	0,10	0,50	1,10	1,50	2,10	3,50	3,80	3,40	3,10	2,50	2,10	1,90	1,60	1,00
Sub-25	0,30	0,00	0,20	0,60	1,50	2,30	2,50	3,40	3,50	3,10	2,70	2,10	1,80	1,50	1,40	0,80
Sub-24	0,20	0,00	0,40	0,90	1,50	1,90	2,40	3,60	3,40	3,10	2,70	2,10	1,80	1,50	1,30	0,80
J11	28,90	5,10	12,40	22,90	33,60	44,00	54,00	92,90	128,60	136,60	136,20	140,70	139,30	133,30	126,00	89,20
R13	28,90	5,10	12,40	22,80	33,40	43,90	53,50	92,00	127,30	136,50	134,90	140,10	138,80	133,00	125,90	89,10
Sub-30	0,40	0,00	0,50	1,20	1,80	2,40	2,90	4,70	5,40	5,10	4,80	4,10	3,50	3,00	2,70	1,70
Sub-29	0,40	0,00	0,50	1,10	1,60	2,10	2,50	4,10	4,70	4,50	4,20	3,50	3,00	2,60	2,30	1,40
J13	29,70	5,10	13,00	24,20	35,40	45,20	55,10	95,70	133,00	142,50	141,90	143,60	142,70	136,90	129,60	92,00

Fonte: GEASA, 2025

807
808
809
810
811

812

Tabela 19 - Síntese da vazão de pico entrada e saída da Barragem São Pedro - TR 1000 anos.

Elemento	AD (km²)	Vazão de Pico (m³/s)														
		5min	10 min	15min	20min	25min	30min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h	24h
Sub-03	2,90	0,20	29,20	38,50	42,80	45,70	48,40	57,70	59,60	55,70	51,40	43,50	37,70	33,10	29,40	18,10
Sub-02	1,00	0,40	21,60	26,50	29,80	31,20	31,60	34,80	30,10	26,20	22,70	17,80	14,70	12,50	11,00	6,50
Sub-01	0,60	0,20	15,10	17,80	19,00	21,20	22,00	22,00	19,30	16,50	14,00	11,00	9,00	7,70	6,70	4,00
J1	1,60	0,70	36,60	42,90	48,80	52,40	53,30	56,80	48,80	42,60	36,70	28,80	23,70	20,20	17,70	10,60
R1	1,60	0,60	34,70	42,70	42,60	48,70	52,20	52,00	48,70	41,70	36,30	28,50	23,60	20,20	17,70	10,60
Sub-04	0,80	1,60	28,40	32,80	33,70	37,10	38,60	36,70	32,00	26,40	22,50	17,20	14,00	11,80	10,30	6,00
J2	5,40	1,80	73,60	94,60	100,80	107,30	116,20	129,10	128,00	116,30	104,90	86,80	74,00	64,30	56,90	34,50
R2	5,40	1,70	70,60	91,70	99,60	103,80	112,50	128,20	126,60	114,90	104,70	86,70	73,70	64,20	56,80	34,50
Sub-05	2,20	0,10	21,00	28,00	31,00	33,10	35,30	42,00	43,70	41,00	37,80	32,20	27,90	24,50	21,80	13,40
J3	7,60	1,80	91,60	119,70	130,60	136,90	147,90	170,20	170,30	155,90	142,50	118,70	101,60	88,70	78,60	48,00
R3	7,60	1,80	90,60	114,60	126,90	136,50	143,00	166,80	166,80	154,80	141,80	118,60	101,30	88,40	78,60	48,00
Sub-07	4,30	0,50	35,00	45,40	49,80	53,80	57,10	68,60	74,80	73,00	69,50	61,00	53,80	48,00	43,20	27,10
Sub-06	0,90	0,20	27,90	30,60	34,50	38,20	38,10	37,00	29,50	24,40	20,30	15,40	12,60	10,70	9,30	5,60
Res_SP Saída	12,70	4,60	106,10	138,80	151,00	161,70	173,70	204,80	223,40	218,70	206,80	182,40	160,70	142,90	128,40	80,20

OBS: Para o TR 1.000 anos é apresentada as vazões somente até a Barragem São Pedro, tendo em vista a relevância dessa vazão para a segurança da barragem, conforme apresentado no item 2.1.2.

Fonte: GEASA, 2025

813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841

2.4.1.3 Hidrogramas de projeto

Os hidrogramas das vazões afluentes associadas às durações críticas dos eventos de precipitação com tempos de retorno de 25, 50 e 1000 anos são apresentados nas Figura 19 a Figura 21.

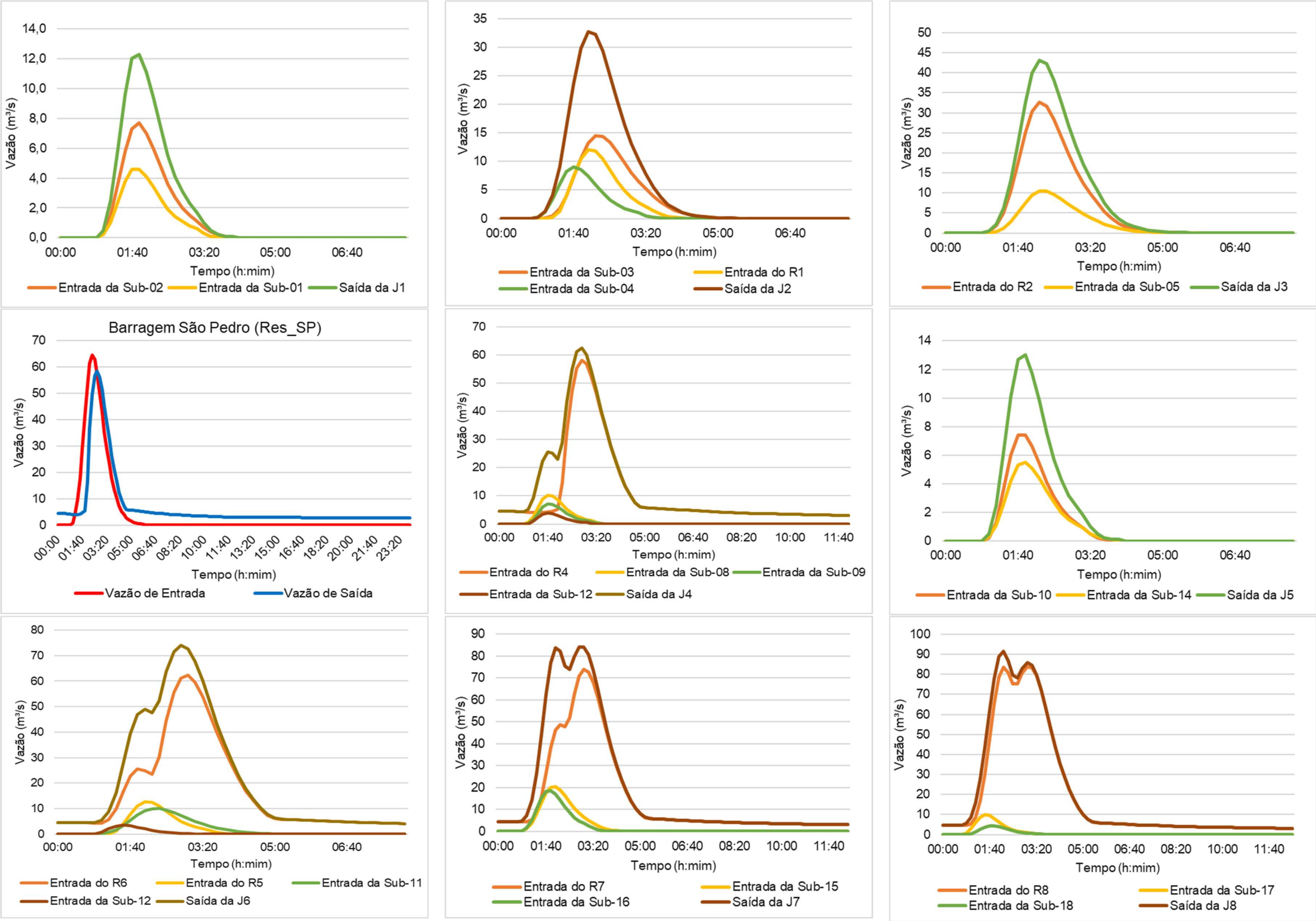


Figura 19 - Hidrogramas das vazões para a duração crítica de 3 horas – TR 25 anos.

Fonte: GEASA, 2025.

846
847

848

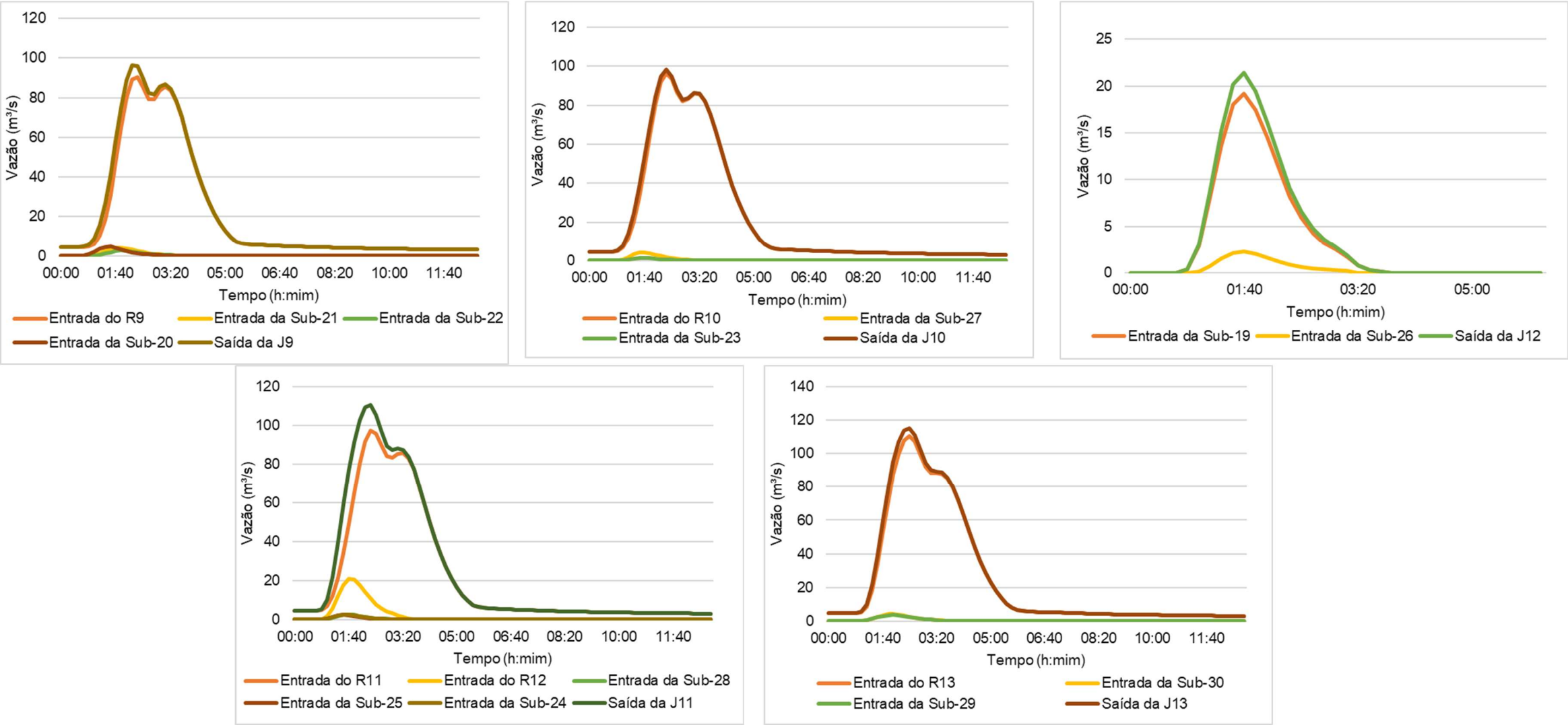


Figura 20 - Hidrogramas das vazões nas junções (J) para a duração crítica de 3 horas – TR 25 anos
Fonte: GEASA, 2025

849
850
851
852

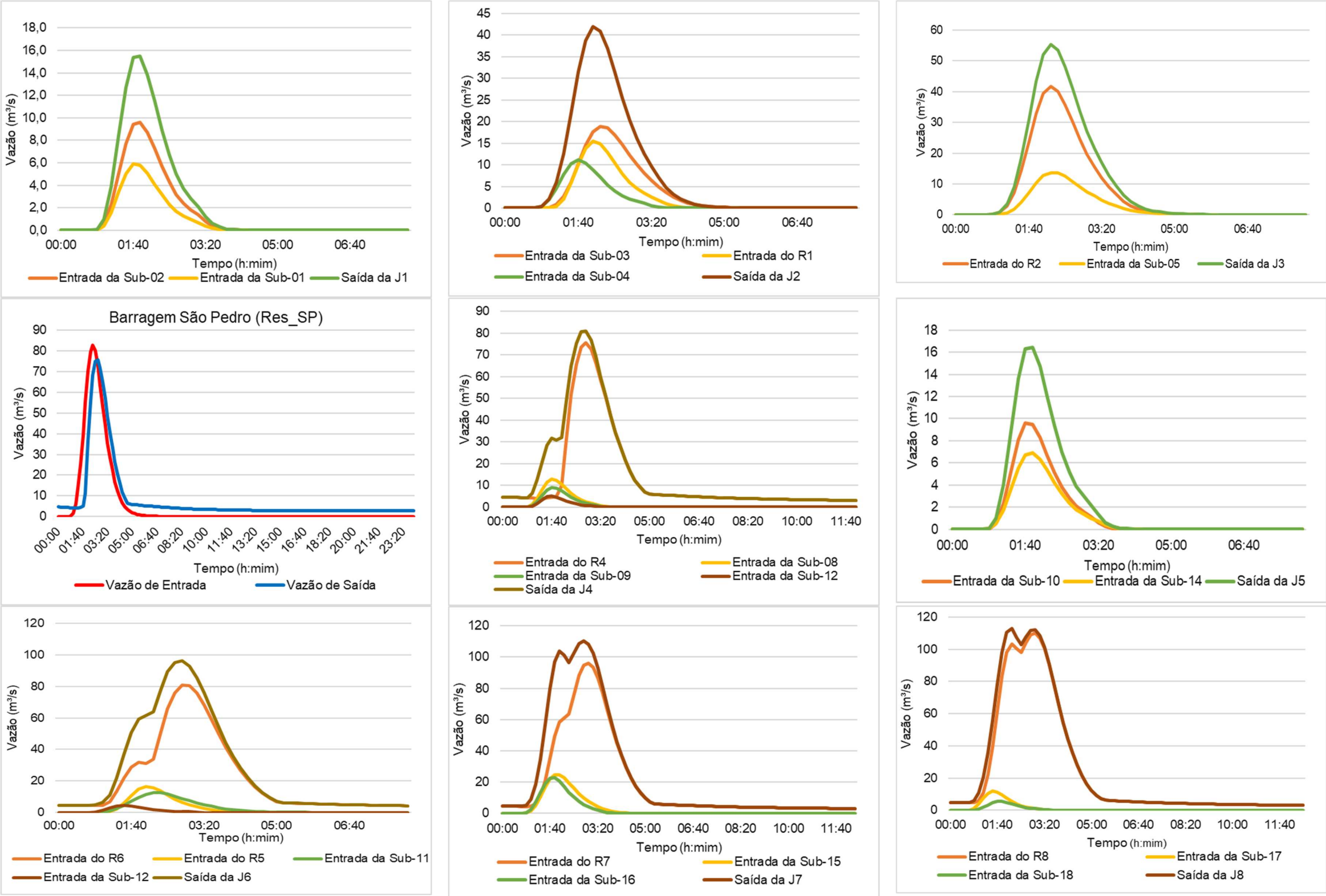


Figura 21 - Hidrogramas das vazões nas junções (J) para a duração crítica de 3 horas – TR 50 anos
Fonte: GEASA, 2025

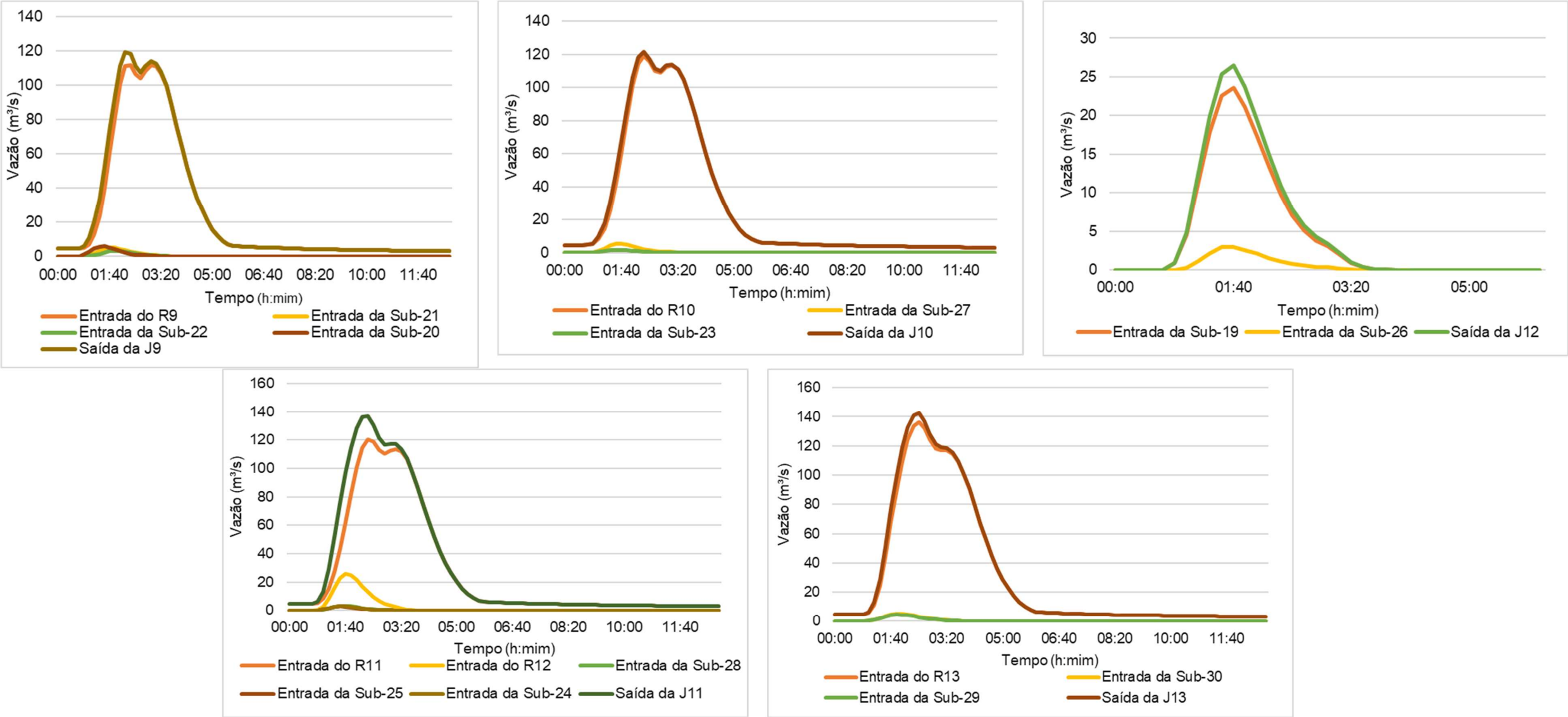


Figura 22 - Hidrogramas das vazões nas junções (J) para a duração crítica de 3 horas – TR 50 anos

Fonte: GEASA, 2025



De acordo com os dados apresentados na Tabela 19, a duração crítica da chuva no reservatório da Barragem São Pedro é de 2 horas, resultando em uma vazão de pico saída de 223,40 m³/s. A Figura 25 apresenta os hidrogramas até o reservatório para o tempo de retorno de 1000 anos, considerando um evento de precipitação com duração de 2 horas.

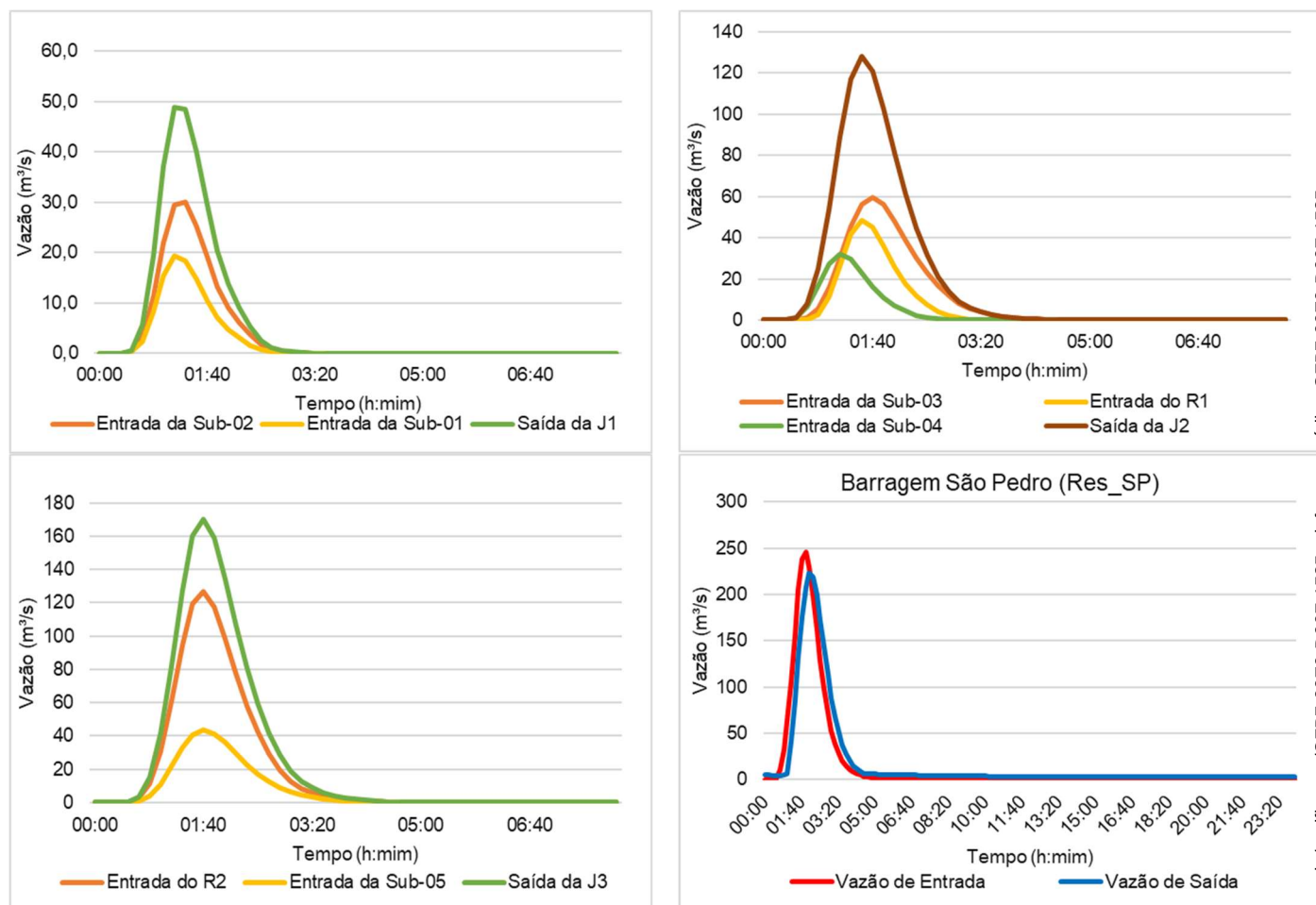


Figura 23 - Hidrogramas das vazões para a duração crítica de 2 horas –
TR 1000 anos
Fonte: GEASA, 2025

2.4.1.4 Resumo dos resultados da propagação de cheias no reservatório da Barragem São Pedro

Conforme apresentado no item 2.1.2, para garantir a segurança hidráulica da barragem, é recomendado a adoção do tempo de retorno de 1.000 anos para o caso da Barragem São Pedro. A avaliação do trânsito de cheias no reservatório da barragem foi realizada a fim de verificar a borda livre para a situação atual. Na Tabela 20 pode ser observado o resultado para a chuva com duração de 2 horas, que apresentou o maior pico.

Tabela 20 – Resultado do trânsito de cheias no reservatório da Barragem São Pedro para a chuva com duração de 2 horas.

Período de Retorno	Vazão Afluente (m³/s)	Vazão Efluente (m³/s)	Elevação do NA (m)	Crista (m)	Borda Livre (m)
TR 25	59,80	52,60	850,10	850,00	-0,10
TR 50	78,10	69,50	850,20	850,00	-0,20
TR 1.000	245,80	223,40	850,50	850,00	-0,50

Conforme pode ser observado pelos resultados obtidos, hoje a Barragem São Pedro galgará para eventos com período de retorno de 25, 50 e 1.000 anos. Assim, para garantir a segurança da estrutura é necessário a adequação do sistema extravasor dessa barragem.

Importante destacar que, para que o modelo no HEC-HMS rodasse as simulações, a partir da cota 850,0m, foi inserida vazões de saída correspondente a vazão de soleira livre, considerando todo o comprimento da crista da barragem como soleira, simulando dessa forma o galgamento da barragem.



3. ESTUDOS HIDRÁULICOS

3.1 - CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE MACRODRENAGEM EXISTENTE

Ao longo das últimas décadas, o curso do córrego São Pedro foi submetido a sucessivas intervenções antrópicas que modificaram suas características hidrológicas e hidráulicas, resultando em alterações no volume e na velocidade do escoamento. Essas transformações contribuíram para o agravamento dos eventos de inundação, tanto nas áreas a jusante quanto a montante. Conforme apontado por Machado (2011), a implantação de múltiplos pequenos represamentos no alto curso, com finalidades como piscicultura ou uso paisagístico em propriedades privadas, ocasionou a descaracterização do leito natural e alterações significativas na dinâmica fluvial. Somam-se a esses impactos a proliferação de loteamentos fechados na bacia hidrográfica. Destaca-se, ainda, a construção da rodovia BR-440, cuja obra promoveu a canalização de um trecho do córrego, intensificando as interferências sobre o sistema de drenagem natural.

O levantamento cadastral foi realizado, sendo apresentadas 09 seções de controle (Figura 25). Para complementação do levantamento, foram utilizadas as seções cadastradas pela CESAMA (2021), conforme pode ser observado na Figura 24 e na Tabela 21.

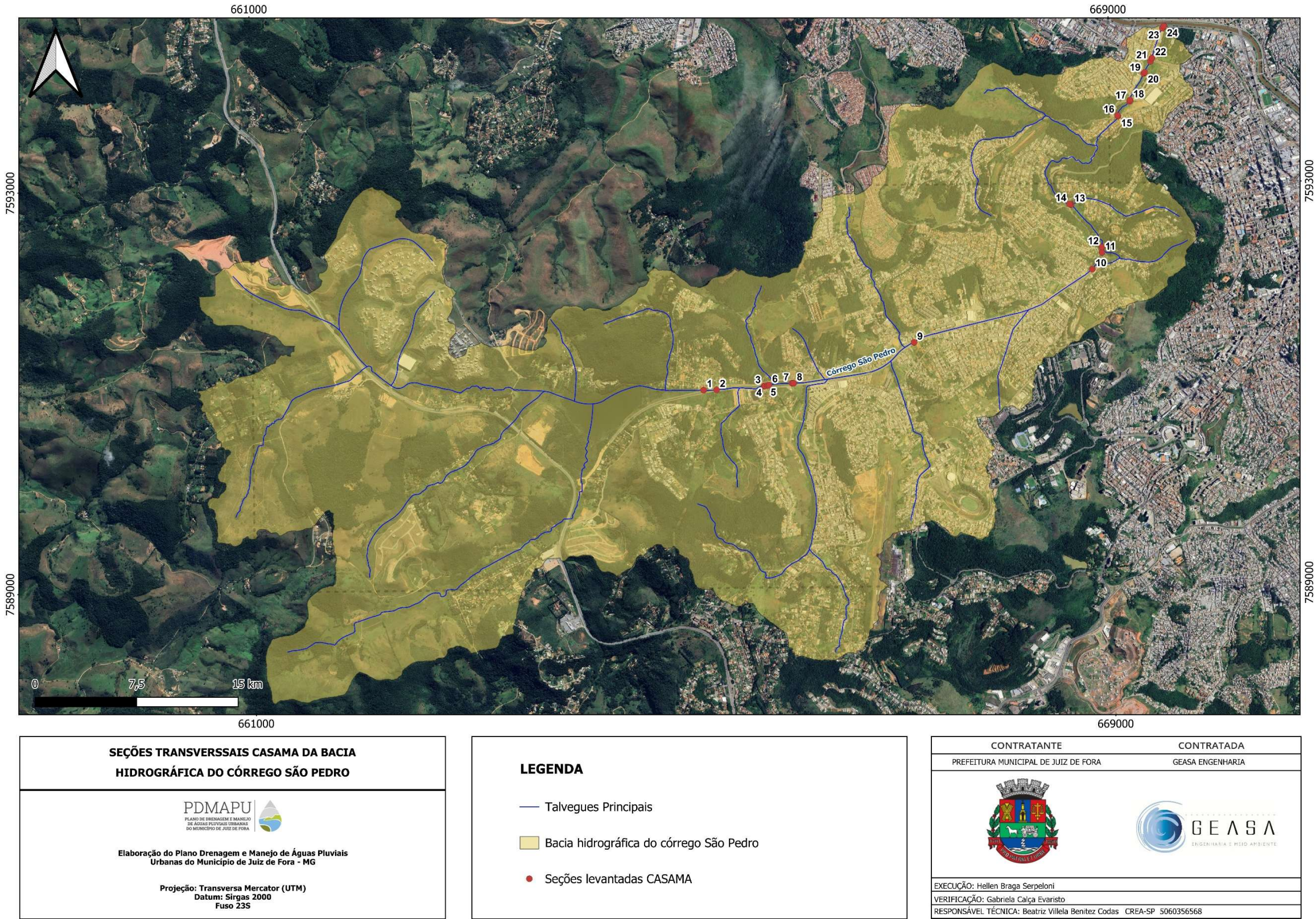


Figura 24 – Localização das seções levantadas pelo CASAMA

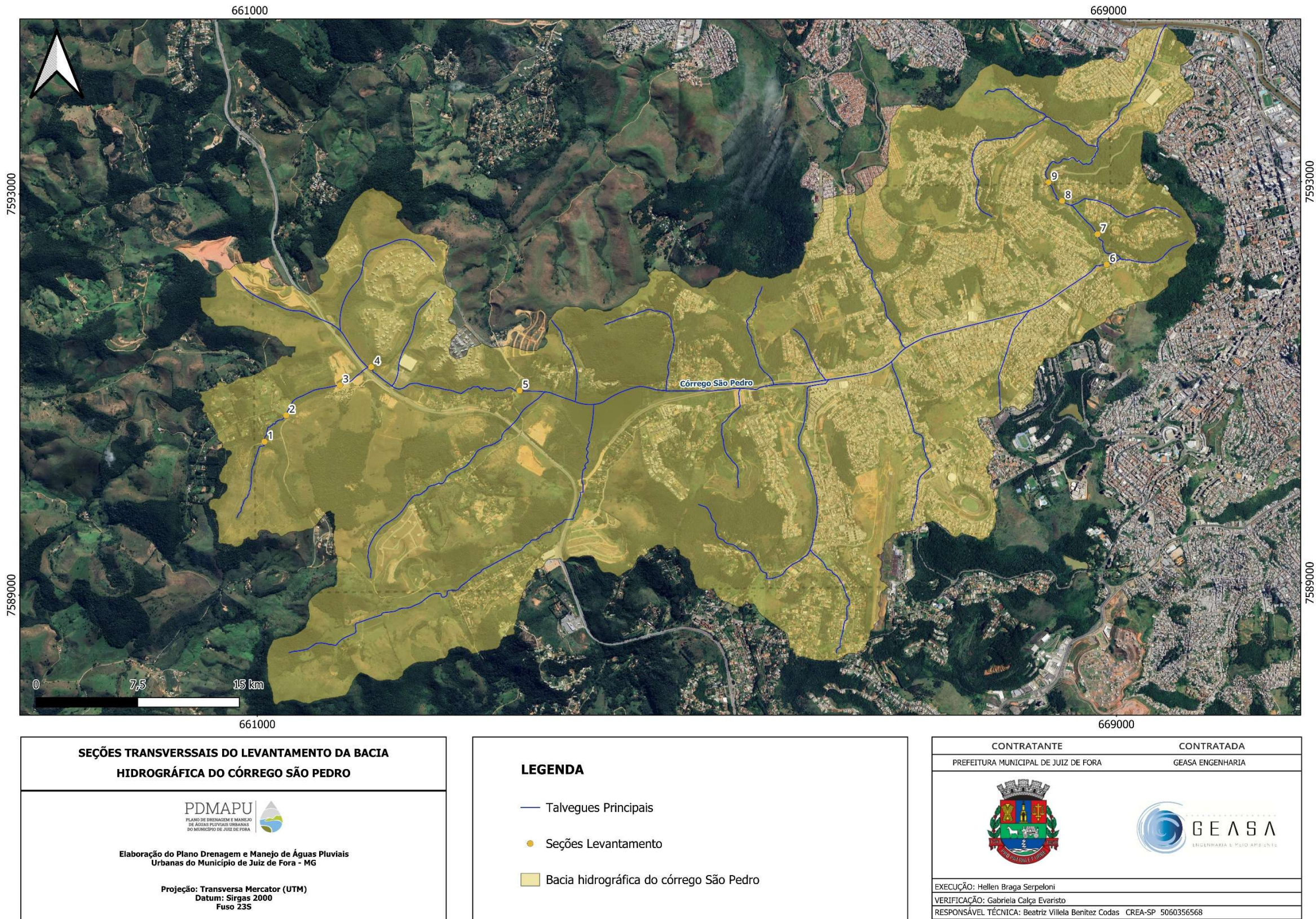


Figura 25 - Localização das seções onde foram feitos levantamentos topográficos

912
913

Tabela 21 – Interferências no canal.
Fonte: CESAMA, 2021

NÚMERO REFERÊNCIA NO MAPA	MONTANTE	JUSANTE	CANAL
1 e 2			Canal Bosque
3 e 4			Ponte Zico

NÚMERO REFERÊNCIA NO MAPA	MONTANTE	JUSANTE	CANAL
5 e 6			Canal 2
7 e 8			Canal 3

NÚMERO REFERÊNCIA NO MAPA	MONTANTE	JUSANTE	CANAL
9 e 10			Canal Integra
11 e 12			Ponte Martelos

NÚMERO REFERÊNCIA NO MAPA	MONTANTE	JUSANTE	CANAL
13 e 14			Ponte Granville
15 e 16			Ponte Antônio Felet

NÚMERO REFERÊNCIA NO MAPA	MONTANTE	JUSANTE	CANAL
17 e 18			Ponte Benjamin Guimarães
19 e 20			Ponte Violeta Santos

NÚMERO REFERÊNCIA NO MAPA	MONTANTE	JUSANTE	CANAL
21 e 22			Travessia da Linha Férrea
			Canal Aberto

NÚMERO REFERÊNCIA NO MAPA	MONTANTE	JUSANTE	CANAL
23 e 24			Canal Mariano Paraibuna

914

Com o objetivo da obtenção um nível maior de precisão nas simulações, novas seções transversais foram criadas através da interpolação das seções obtidas na topobatimetria. A Figura abaixo apresenta a configuração final utilizada na simulação hidráulica.

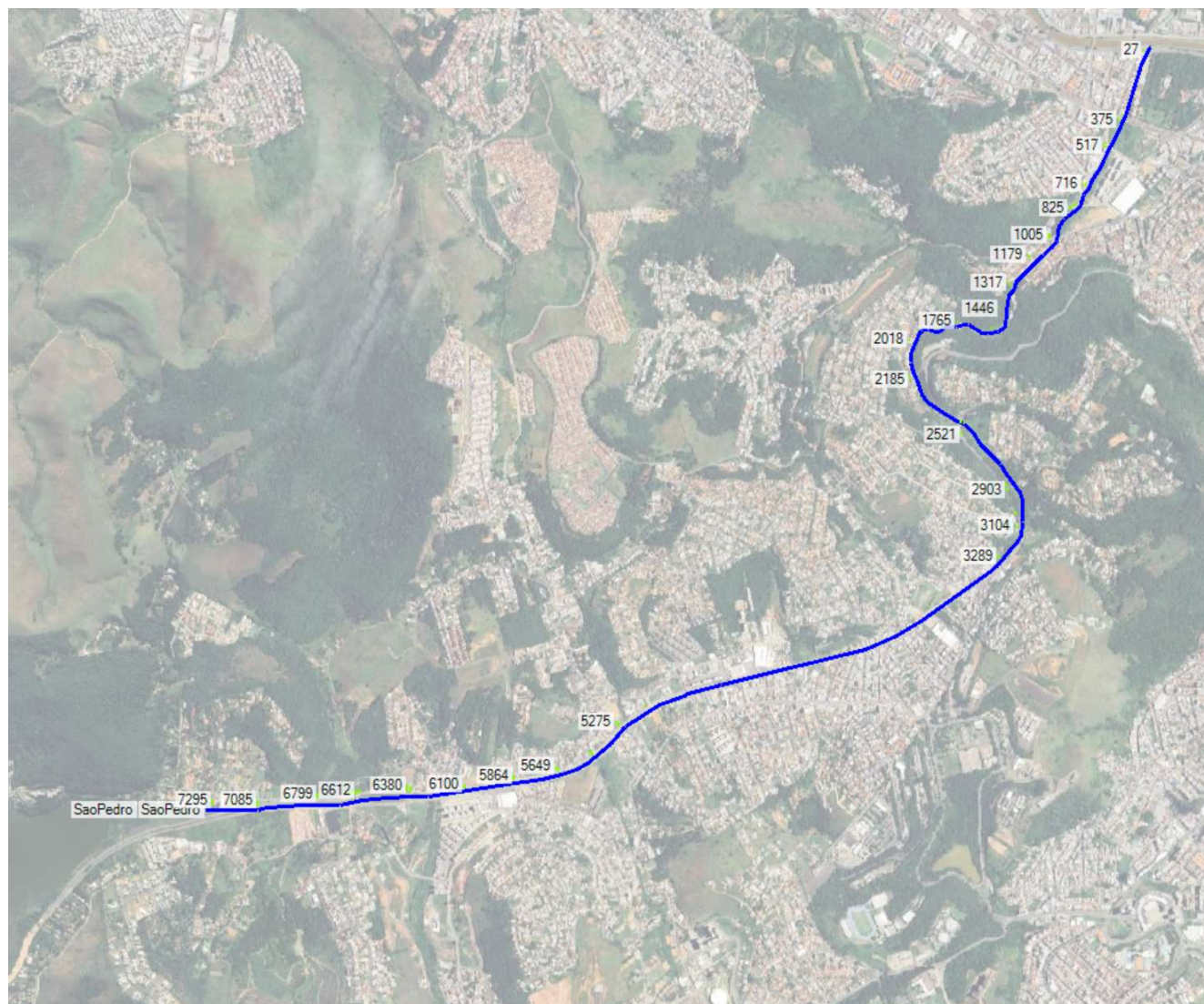


Figura 26 – Esquema representativo do córrego São Pedro no software HEC-RAS.

Ao todo, foram utilizadas as seções transversais levantadas, algumas seções interpoladas, e as interferências (considerando que nos trechos que apresentam várias pequenas interferências, menos de 1 metro de comprimento, essas foram simuladas como apenas uma interferência).



3.2–HISTÓRICO DE INUNDAÇÕES NA REGIÃO DE ESTUDO

As inundações urbanas atualmente representam um dos impactos ambientais mais significativos sobre o espaço construído e, conseqüentemente, na vida da população. As inundações e alagamentos são resultado essencialmente do crescimento populacional acelerado desacompanhado da implementação de infraestrutura urbana.

A seguir, serão relacionados os principais eventos mais notáveis de inundações e alagamentos que afetaram a bacia do córrego São Pedro.

3.2.1 Eventos históricos

3.2.1.1 Ocorrências em 2013

Em dezembro de 2013, 50 milímetros de chuva causaram estragos na cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais. Entre os registros da Defesa Civil estão alagamentos na Rua José Kirchmaier e na Avenida Senhor dos Passos, no São Pedro, além da Avenida dos Andradas, esquina com a Rua Benjamin Guimarães, na altura do Mariano Procópio. Neste caso, a via precisou ser interditada pelos agentes da Secretaria de Transporte e Trânsito (Settra). Houve também alagamento também na Rua Pedro Trogo, no Santo Antônio.

3.2.1.2 Ocorrências em 2014

Em 17 de janeiro de 2014, uma chuva intensa alagou bairros da cidade de Juiz de Fora/MG, o 5º Distrito de Meteorologia informou que, entre a noite do dia 16 e a madrugada, choveu cerca de 27 milímetros com fortes rajadas de vento que chegaram a 50 quilômetros por hora. A Defesa Civil de Juiz de Fora informou que, neste período, foram registradas oito ocorrências, a exemplo da Figura 27. (G1 notícias, 2014).



Figura 27 – Alagamento na Avenida presidente Costa e Silva, Bairro São Pedro.

3.2.1.3 Ocorrências em 2019

A Rua Mariano Procópio, no bairro de mesmo nome, é frequentemente palco de alagamentos mesmo em chuvas menos volumosas. No dia 15 de março, a rua ficou completamente tomada pelas águas como mostra a Figura 28.



Figura 28 - Alagamento na Rua Mariano Procópio.

Fonte: Página do Facebook Juiz de Fora da depressão.

3.3 - MODELAGEM HIDRÁULICA

Nesse capítulo é apresentado o processo de modelagem matemática utilizado para avaliação hidráulica do canal de drenagem da bacia hidrográfica. Esta fase visa compreender o funcionamento do sistema de drenagem local, considerando a situação atual do sistema de macrodrenagem. Esse diagnóstico possibilita a determinação da linha d'água ao longo de todo o trecho analisado levando em consideração as interferências existentes, mudanças de seções, entre outros. Dessa forma, os resultados das análises apresentam as capacidades máximas de vazão e níveis d'água máximos alcançados durante eventos de cheia na bacia do córrego São Pedro.

Após o reconhecimento dos padrões de escoamento das cheias fluviais na bacia, é obtida a cota máxima de inundação para um evento de cheia. O risco de inundação do terreno é definido a partir do período de retorno do evento hidrológico, adotando, para esse estudo, TR de 25 anos e 50 anos (verificação).

Os resultados permitem estimar as cotas máximas de nível d'água ao longo do curso principal dos rios estudados. Com esses resultados, determina-se a cota de inundação no curso d'água junto ao terreno marginal e às planícies de inundação.

Para realizar as simulações hidrodinâmicas, optou-se pela utilização do software HEC-RAS. O HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) é um software desenvolvido pelo Instituto de Recursos Hídricos do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos. Este sistema é amplamente utilizado para a modelagem de escoamento hidráulico em rios e canais, possibilitando a análise de uma série de condições hidrológicas e hidráulicas.

No contexto deste relatório de macrodrenagem, o HEC-RAS será empregado para simular as condições de escoamento na bacia em estudo. O software permite a realização de cálculos precisos de perfis de elevação da água, distribuição de velocidades, áreas de inundação e outros parâmetros essenciais para a avaliação e o planejamento de sistemas de drenagem. Utilizando algoritmos avançados, o HEC-RAS pode modelar tanto escoamentos permanentes quanto escoamentos variáveis no tempo, sendo uma ferramenta indispensável para a análise detalhada de eventos hidrológicos extremos e para o desenvolvimento de soluções de engenharia eficazes.

A aplicação do HEC-RAS neste estudo permitirá a simulação de diferentes cenários de inundação, ajudando a identificar áreas críticas e a propor medidas de mitigação apropriadas. A precisão e a robustez dos dados gerados pelo software são fundamentais para a tomada de decisões, garantindo a eficácia das intervenções planejadas para a bacia em questão.

Portanto, a escolha do HEC-RAS como ferramenta de simulação hidráulica neste estudo é justificada por sua capacidade de fornecer análises detalhadas e confiáveis, essenciais para o desenvolvimento de um plano de drenagem robusto e eficiente.

3.3.1 Resultados da modelagem hidráulica para as chuvas de projeto

Para a presente etapa, foi simulado o Cenário Atual, que considera o padrão topográfico e de cobertura do solo existente na área de estudo, considerando as chuvas de projeto idealizadas na etapa de estudos hidrológicos para os períodos de retorno de 25 e 50 anos, e para a duração de 3 horas.

As Figuras a seguir apresentam as linhas d'água resultantes para os TR 25 e 50 anos, na região avaliada.

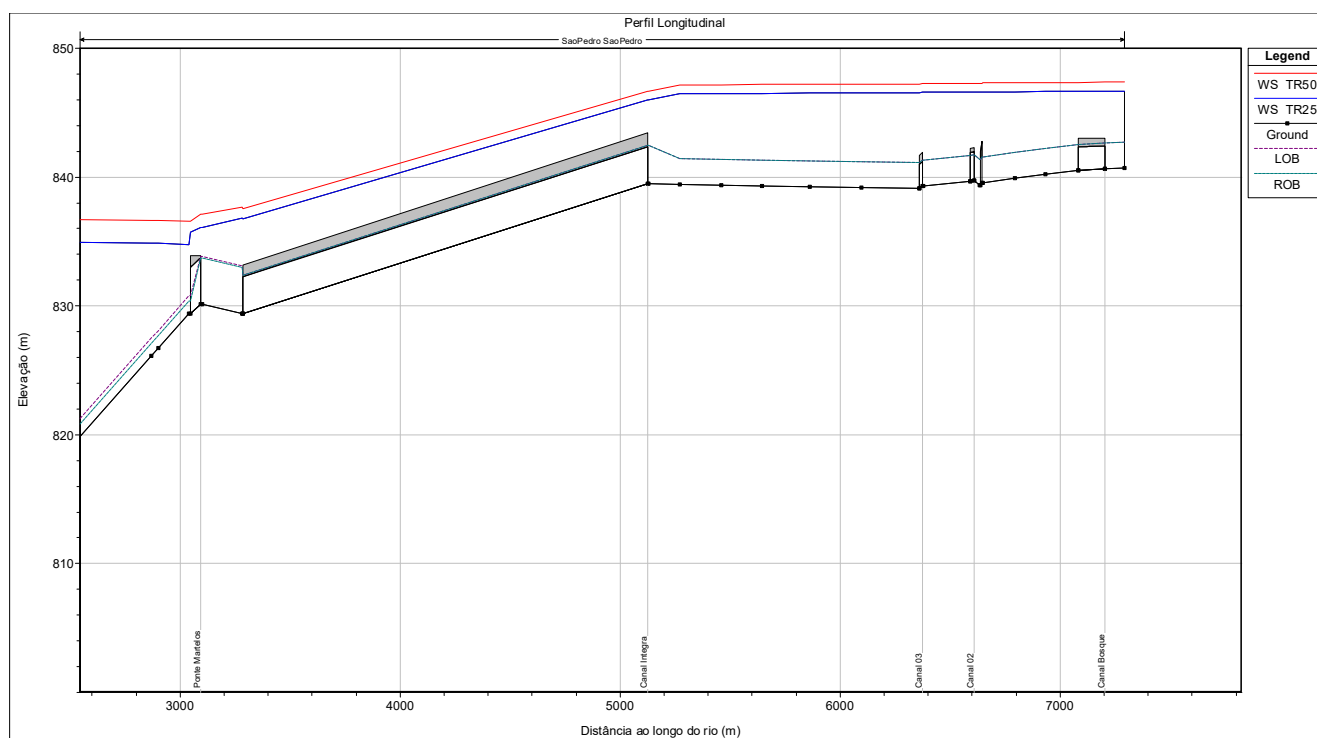


Figura 29 – Resultado Chuvas de Projeto (Trecho 01 - a montante da cachoeira do córrego São Pedro)

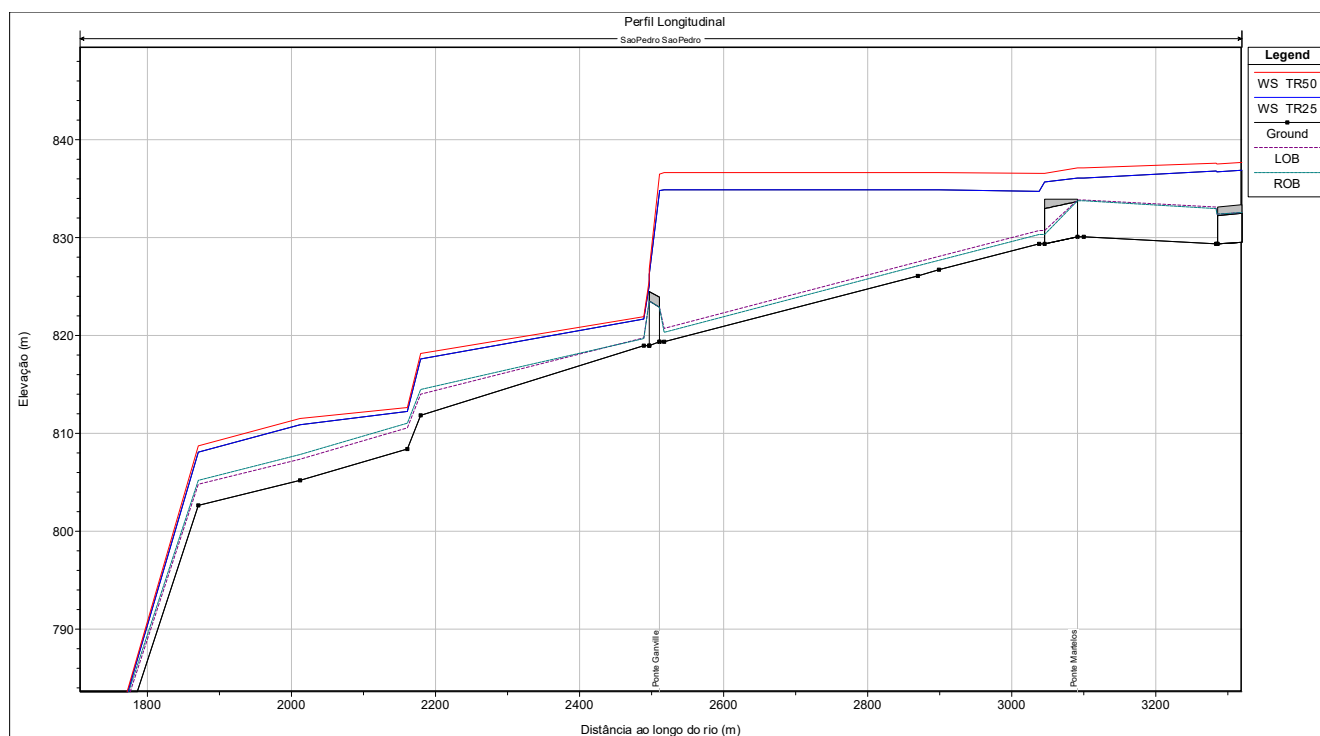


Figura 30 – Resultado Chuvas de Projeto (Trecho 02 - a montante da cachoeira do córrego São Pedro)

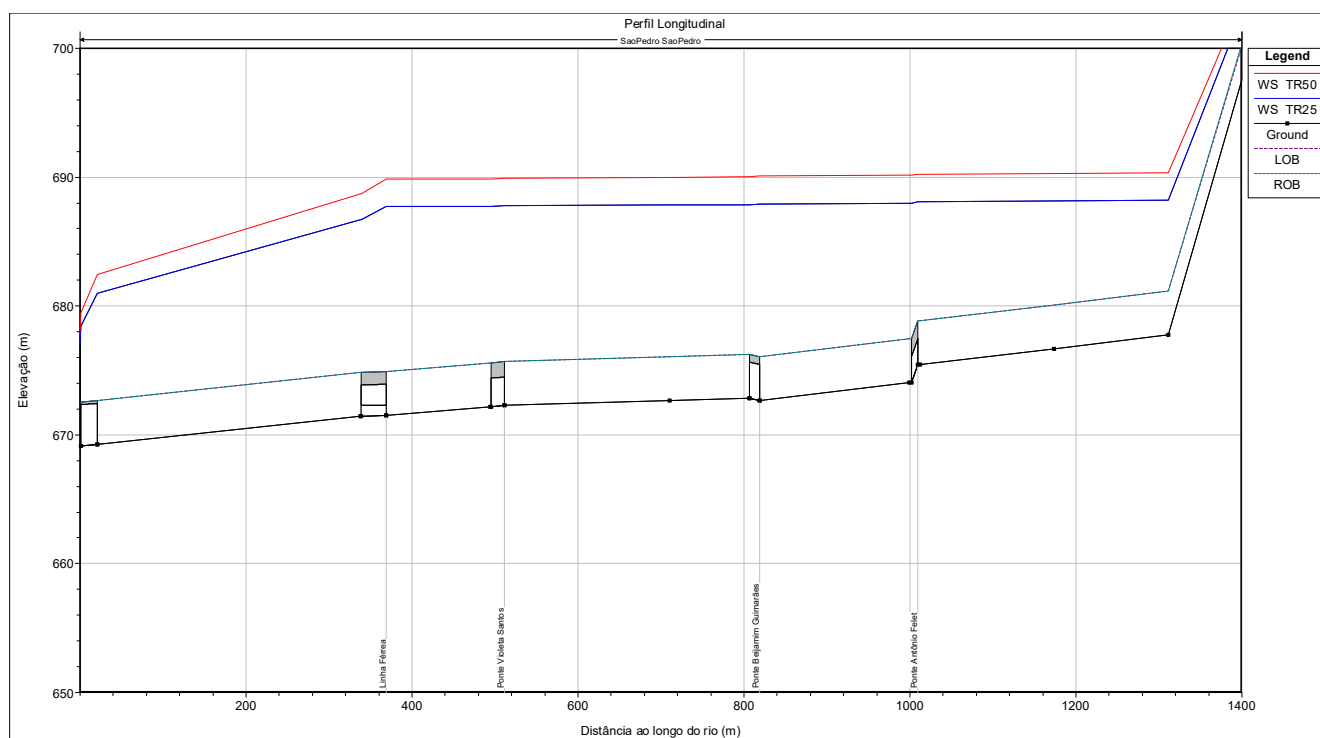


Figura 31 – Resultado Chuvas de Projeto (Trecho a jusante da cachoeira do córrego São Pedro)

A análise dos resultados revela que ao longo de todo o trecho do córrego São Pedro há extravasamento de vazão para o sistema viários em todos os períodos de retorno considerados. Os



1007 resultados da simulação estão em conformidade com os registros da Defesa Civil. Os resultados são
1008 apresentados na tabela abaixo.

1009

Tabela 22 – Síntese dos resultados – TR 25 anos.

TR 25 anos										
Seção Levant. Topo	Seção HEC-RAS	Distância (m)	Cota de fundo (m)	NA (m)	I (m/m)	V (m/s)	Froude	N manning	Borda Livre ME (m)	Borda Livre MD (m)
Interpolada	7295	88	840.68	846.68	0.0007	1.01	0.14	0.033	-4.00	-4.00
Canal Bosque Montante	7207	122	840.62	846.67	0.0006	1.00	0.14	0.033	-4.05	-4.05
Canal Bosque Jusante	7085	148	840.55	846.65	0.0022	0.99	0.14	0.033	-4.10	-4.10
Interpolada	6937	138	840.22	846.64	0.0023	0.93	0.13	0.032	-4.42	-4.42
Interpolada	6799	149	839.91	846.63	0.0022	0.88	0.12	0.032	-4.72	-4.72
Ponte Zico Montante	6650	1	839.58	846.61	0.0000	0.83	0.11	0.032	-5.03	-5.03
Ponte Zico Jusante	6638	26	839.36	846.61	-0.0157	0.80	0.10	0.032	-5.25	-5.25
Canal 02 Montante	6612	18	839.76	846.60	0.0034	0.86	0.11	0.032	-4.84	-4.84
Canal 02 Jusante	6595	215	839.70	846.59	0.0018	0.85	0.11	0.032	-4.89	-4.89
Canal 03 Montante	6380	17	839.32	846.57	0.0114	0.80	0.10	0.032	-5.25	-5.25
Canal 03 Jusante	6363	263	839.13	846.55	-0.0003	0.78	0.10	0.032	-5.42	-5.42
Interpolada	6100	236	839.21	846.54	-0.0003	0.79	0.10	0.032	-5.33	-5.33
Interpolada	5864	214	839.27	846.52	-0.0003	0.80	0.10	0.032	-5.25	-5.25
Interpolada	5649	186	839.33	846.50	-0.0003	0.81	0.10	0.032	-5.17	-5.17
Interpolada	5463	188	839.38	846.49	-0.0003	0.82	0.10	0.032	-5.11	-5.11
Interpolada	5275	143	839.43	846.47	-0.0003	0.83	0.11	0.032	-5.04	-5.04
Canal Integra Montante	5132	1,844	839.47	846.02	0.0055	2.93	0.37	0.032	-3.55	-3.55
Canal Integra Jusante	3289	1	829.39	836.76	0.0000	2.94	0.35	0.032	-4.37	-4.37
Ponte Martelos Montante	3288	183	829.39	836.83	-0.0040	2.48	0.32	0.035	-3.72	-3.82
Ponte Martelos Jusante	3104	62	830.13	836.11	0.0119	3.65	0.54	0.034	-2.26	-2.36
Interpolada	3041	139	829.39	834.74	0.0193	3.49	0.50	0.031	-3.97	-4.36
Seção 7 - Levantamento topo	2903	30	826.71	834.86	0.0195	2.21	0.25	0.028	-6.77	-7.16

TR 25 anos										
Seção Levant. Topo	Seção HEC-RAS	Distância (m)	Cota de fundo (m)	NA (m)	I (m/m)	V (m/s)	Froude	N manning	Borda Livre ME (m)	Borda Livre MD (m)
Ponte Ganville Montante	2873	352	826.12	834.87	0.0193	2.05	0.23	0.028	-7.37	-7.76
Ponte Ganville Jusante	2521	7	819.34	834.92	0.0003	1.20	0.10	0.024	-14.2	-14.59
Seção 8 - Levantamento topo	2517.2	0	819.34	834.80	0.0000	1.87	0.15	0.013	-11.9	-11.9
Interpolada	2508.82	7	819.01	825.10	0.0000	7.26	1.00	0.015	-1.59	-1.59
Interpolada	2496	311	819.01	821.69	0.0231	10.93	2.30	0.031	-1.94	-1.96
Seção 9 - Levantamento topo	2185	18	811.84	817.59	0.1850	6.98	1.00	0.032	-3.59	-3.11
Interpolada	2166	148	808.44	812.22	0.0220	11.63	2.14	0.033	-1.62	-1.15
Interpolada	2018	142	805.18	810.93	0.0182	6.99	1.00	0.032	-3.59	-3.11
Interpolada	1877	112	802.61	808.06	0.2232	7.43	1.10	0.032	-3.29	-2.81
Interpolada	1765	168	777.63	780.07	0.2229	21.18	5.13	0.035	-0.28	0.2
Interpolada	1597	151	740.17	743.14	0.2229	16.04	3.44	0.034	-0.81	-0.33
Ponte Antônio Felet Montante	1446	129	706.51	709.30	0.2230	17.50	3.91	0.034	-0.63	-0.15
Ponte Antônio Felet Jusante	1317	138	677.75	688.21	0.0076	2.22	0.23	0.035	-7.06	-7.06
Ponte Beijamim Guimarães Montante	1179	161	676.69	688.13	0.0077	2.01	0.20	0.035	-8.04	-8.04
Ponte Beijamim Guimarães Jusante	1018	13	675.46	688.06	0.1110	1.80	0.17	0.035	-9.2	-9.2
Interpolada	1005	181	674.05	687.99	0.0076	1.61	0.14	0.035	-10.54	-10.54
Ponte Violeta Santos Montante	825	13	672.67	687.94	-0.0143	1.46	0.12	0.035	-11.87	-11.87
Ponte Violeta Santos Jusante	812	96	672.85	687.88	0.0020	1.49	0.13	0.035	-11.63	-11.63
Linha Férrea Montante	716	199	672.66	687.85	0.0019	1.47	0.13	0.035	-11.79	-11.79
Linha Férrea Jusante	517	17	672.28	687.79	0.0046	1.44	0.12	0.035	-12.11	-12.11
Mariano Paraibuna Montante	500	125	672.20	687.73	0.0054	1.43	0.12	0.035	-12.13	-12.13
Mariano Paraibuna Jusante	375	31	671.52	687.70	0.0016	1.37	0.11	0.035	-12.78	-12.78
Interpolada	344	317	671.47	686.69	0.0070	4.56	0.37	0.035	-11.82	-11.82

1010

1011

TR 25 anos										
Seção Levant. Topo	Seção HEC-RAS	Distância (m)	Cota de fundo (m)	NA (m)	I (m/m)	V (m/s)	Froude	N manning	Borda Livre ME (m)	Borda Livre MD (m)
Interpolada	27	21	669.24	680.97	0.0048	5.92	0.55	0.035	-8.33	-8.33
Interpolada	6	0	669.14	677.05	0.0000	8.78	1.00	0.035	-4.51	-4.51

Tabela 23 – Síntese dos resultados – TR 50 anos.

TR 50 anos										
Seção Levant. Topo	Seção HEC-RAS	Distância (m)	Cota de fundo (m)	NA (m)	I (m/m)	V (m/s)	Froude	N manning	Borda Livre ME (m)	Borda Livre MD (m)
Interpolada	7295	88	840.68	847.37	0.0007	1.05	0.14	0.032	-4.69	-4.69
Canal Bosque Montante	7207	122	840.62	847.36	0.0006	1.05	0.14	0.032	-4.74	-4.74
Canal Bosque Jusante	7085	148	840.55	847.34	0.0022	1.04	0.14	0.032	-4.79	-4.79
Interpolada	6937	138	840.22	847.32	0.0023	0.98	0.13	0.032	-5.10	-5.10
Interpolada	6799	149	839.91	847.31	0.0022	0.94	0.12	0.032	-5.40	-5.40
Ponte Zico Montante	6650	1	839.58	847.30	0.0000	0.89	0.11	0.032	-5.72	-5.72
Ponte Zico Jusante	6638	26	839.36	847.30	-0.0157	0.87	0.10	0.032	-5.94	-5.94
Canal 02 Montante	6612	18	839.76	847.29	0.0034	0.92	0.11	0.032	-5.53	-5.53
Canal 02 Jusante	6595	215	839.70	847.27	0.0018	0.91	0.11	0.032	-5.57	-5.57
Canal 03 Montante	6380	17	839.32	847.26	0.0114	0.87	0.10	0.032	-5.94	-5.94
Canal 03 Jusante	6363	263	839.13	847.23	-0.0003	0.85	0.10	0.032	-6.10	-6.10
Interpolada	6100	236	839.21	847.22	-0.0003	0.86	0.10	0.032	-6.01	-6.01
Interpolada	5864	214	839.27	847.20	-0.0003	0.87	0.10	0.032	-5.93	-5.93
Interpolada	5649	186	839.33	847.18	-0.0003	0.88	0.11	0.032	-5.85	-5.85
Interpolada	5463	188	839.38	847.17	-0.0003	0.89	0.11	0.032	-5.79	-5.79
Interpolada	5275	143	839.43	847.15	-0.0003	0.89	0.11	0.032	-5.72	-5.72

TR 50 anos										
Seção Levant. Topo	Seção HEC-RAS	Distância (m)	Cota de fundo (m)	NA (m)	I (m/m)	V (m/s)	Froude	N manning	Borda Livre ME (m)	Borda Livre MD (m)
Canal Integra Montante	5132	1,844	839.47	846.64	0.0055	3.14	0.37	0.032	-4.17	-4.17
Canal Integra Jusante	3289	1	829.39	837.56	0.0000	3.12	0.35	0.032	-5.17	-5.17
Ponte Martelos Montante	3288	183	829.39	837.66	-0.0040	2.50	0.30	0.035	-4.55	-4.65
Ponte Martelos Jusante	3104	62	830.13	837.13	0.0119	3.27	0.44	0.035	-3.28	-3.38
Interpolada	3041	139	829.39	836.57	0.0193	3.00	0.37	0.029	-5.80	-6.19
Seção 7 - Levantamento topo	2903	30	826.71	836.64	0.0195	2.15	0.22	0.027	-8.55	-8.94
Ponte Ganville Montante	2873	352	826.12	836.64	0.0193	2.02	0.20	0.027	-9.14	-9.53
Ponte Ganville Jusante	2521	7	819.34	836.69	0.0003	1.29	0.10	0.023	-15.97	-16.36
Seção 8 - Levantamento topo	2517.2	0	819.34	836.54	0.0000	2.01	0.16	0.013	-13.64	-13.64
Interpolada	2508.82	7	819.01	825.72	0.0000	7.71	1.01	0.015	-2.21	-2.21
Interpolada	2496	311	819.01	821.94	0.0231	11.59	2.32	0.031	-2.19	-2.21
Seção 9 - Levantamento topo	2185	18	811.84	818.20	0.1850	7.44	1.00	0.032	-4.2	-3.72
Interpolada	2166	148	808.44	812.68	0.0220	12.04	2.06	0.033	-2.08	-1.61
Interpolada	2018	142	805.18	811.53	0.0182	7.44	1.00	0.032	-4.19	-3.71
Interpolada	1877	112	802.61	808.74	0.2232	7.75	1.07	0.032	-3.97	-3.49
Interpolada	1765	168	777.63	780.37	0.2229	21.54	4.89	0.034	-0.58	-0.1
Interpolada	1597	151	740.17	743.39	0.2229	17.23	3.51	0.034	-1.06	-0.58
Ponte Antônio Felet Montante	1446	129	706.51	709.56	0.2230	18.48	3.89	0.034	-0.89	-0.41
Ponte Antônio Felet Jusante	1317	138	677.75	690.36	0.0076	2.14	0.20	0.035	-9.21	-9.21
Ponte Beijamim Guimarães Montante	1179	161	676.69	690.29	0.0077	1.97	0.18	0.035	-10.2	-10.2
Ponte Beijamim Guimarães Jusante	1018	13	675.46	690.23	0.1110	1.80	0.16	0.035	-11.37	-11.37
Interpolada	1005	181	674.05	690.14	0.0076	1.64	0.14	0.035	-12.69	-12.69
Ponte Violeta Santos Montante	825	13	672.67	690.09	-0.0143	1.51	0.12	0.035	-14.02	-14.02

TR 50 anos										
Seção Levant. Topo	Seção HEC-RAS	Distância (m)	Cota de fundo (m)	NA (m)	I (m/m)	V (m/s)	Froude	N manning	Borda Livre ME (m)	Borda Livre MD (m)
Ponte Violeta Santos Jusante	812	96	672.85	690.03	0.0020	1.53	0.12	0.035	-13.78	-13.78
Linha Férrea Montante	716	199	672.66	690.00	0.0019	1.52	0.12	0.035	-13.94	-13.94
Linha Férrea Jusante	517	17	672.28	689.93	0.0046	1.49	0.12	0.035	-14.25	-14.25
Mariano Paraibuna Montante	500	125	672.20	689.86	0.0054	1.49	0.12	0.035	-14.26	-14.26
Mariano Paraibuna Jusante	375	31	671.52	689.83	0.0016	1.43	0.11	0.035	-14.91	-14.91
Interpolada	344	317	671.47	688.70	0.0070	4.79	0.37	0.035	-13.83	-13.83
Interpolada	27	21	669.24	682.43	0.0048	6.26	0.55	0.035	-9.79	-9.79
Interpolada	6	0	669.14	678.01	0.0000	9.32	1.00	0.035	-5.47	-5.47

1012



4 MEDIDAS MITIGADORAS

Neste capítulo, estão apresentadas as principais alternativas estruturantes no que diz respeito ao controle e mitigação de inundações na bacia do Córrego São Pedro, considerando somente a Etapa Inicial. Para a avaliação da solução de controle da inundação foi utilizado o modelo de simulação hidrodinâmica construído para a bacia em estudo, apresentado no item 2.4. A simulação hidráulica serve para prever os desdobramentos de medidas de macrodrenagem e auxiliar na tomada de decisão de uma maneira mais confiável.

Conforme já informado anteriormente, as soluções propostas para a bacia do córrego São Pedro foram divididas em duas etapas, inicial e final, onde na etapa inicial foram previstas soluções para mitigação da parcela mais a jusante da bacia, incluindo os bairros Granville, Vale do Ipê e Mariana Procópio. Já a fase final englobará as obras do restante da bacia.

Inicialmente, tendo ciência de que a Barragem São Pedro não atende aos critérios indicados pela ANA e Eletrobras quanto a Segurança de Barragens, foi realizado um pré-dimensionamento do sistema extravasor para esse barramento de forma a atender ao critério de borda livre de 1,0 m e tempo de retorno de 1.000 anos. Além do atendimento as normativas de segurança da barragem, a adequação do sistema extravasor também foi pensada de forma a aumentar a capacidade de amortecimento na barragem das vazões provenientes de eventos pluviométricos com períodos de retorno de menores magnitudes (menores que 25 anos).

Ressalta-se, que a adequação do sistema extravasor da Barragem São Pedro é de suma importância para otimizar o amortecimento das vazões na bacia, reduzindo significativamente as vazões de pico, sendo então prevista já na etapa inicial.

Diante do exposto, a alternativa de mitigação vislumbrada para a bacia do Córrego São Pedro para a primeira etapa resume-se: (i) adequação do sistema extravasor da Barragem São Pedro, (ii) definição das novas seções transversais para a calha do córrego São Pedro, e (iii) definição das travessias sobre o córrego São Pedro.



4.1 Premissas e Critérios de Projeto

A proposição das alternativas para o controle e a mitigação de inundações na bacia do Córrego São Pedro foi realizado adotando algumas premissas e critérios, conforme destacados a seguir.

- **Período de Retorno**

Os períodos de retorno para avaliação e dimensionamento das soluções foram definidos em conjunto com a equipe técnica da Prefeitura de Juiz de Fora:

- ✓ Canais e travessias – Utilização de 25 anos para o dimensionamento e 50 anos para verificação;
- ✓ Travessia da Ferrovia – Utilização de 50 anos para o dimensionamento e 100 anos para verificação;
- ✓ Barramento – Adoção de 1.000 anos devido ao Dano Potencial Associado a barragem ser considerado Alto.

- **Borda livre**

A borda livre considerada no dimensionamento das soluções foi estimada em:

- ✓ Canais e Travessias – mínimo de 20 %
- ✓ Barramento – conforme critérios indicados pela ANA e pela Eletrobras, deve ser de 1,0 m acima do nível máximo de enchente do reservatório

- **Coeficiente de Manning**

Os coeficientes de rugosidade de Manning utilizados para a verificação e dimensionamento dos canais, travessias estão apresentados a seguir:

- ✓ Concreto – 0,018
- ✓ Gabião – 0,030

- **Velocidades Admissíveis**

As velocidades máximas admissíveis consideradas nos dimensionamentos dos canais, travessias estão apresentados a seguir:

- ✓ Concreto – 6,0 m/s
- ✓ Gabião – 4,0 m/s



- **Etapas**

Inicial

Atendimento aos períodos de retorno de projeto para o trecho compreendido entre a seção de jusante do canal Integra, localizados nos bairros Granville, Vale do Ipê e Mariana Procópio.

Nesta etapa estão previstas as seguintes intervenções:

- Adequação do maciço e do sistema extravasor da Barragem São Pedro,
- Canalização do córrego São Pedro, do trecho compreendido entre o bairro Granville e montante da cachoeira, além da adequação das travessias existentes nesse trecho, e;
- Canalização do córrego São Pedro, do trecho compreendido entre o Bairro Vale do Ipê e a foz no rio Paraibuna, além da adequação das travessias existentes nesse trecho.

Final

Atendimento aos períodos de retorno de projeto para o trecho a montante do Canal Integra.

Nesta etapa estão previstas as seguintes intervenções:

- Canalização do córrego São Pedro, do trecho compreendido entre a barragem São Pedro e a montante do canal Integra, além da adequação das travessias existentes nesse trecho.

- **Canal Integra**

Define-se Canal Integra o trecho da canalização composta por uma galeria tripla com cerca de 2,75 m de largura e 2,91 m de altura, declividade longitudinal de aproximadamente 0,005 m/m e com 1.841 m de comprimento. Devido à grande extensão desta galeria e pelo fato de ter sido executada a pouco tempo, utilizou-se a capacidade hidráulica deste trecho para a determinação da vazão máxima admissível para o trecho, uma vez que esta apresenta capacidade significativa.

- **Barragem São Pedro**

Manutenção do nível d'água normal da Barragem São Pedro conforme solicitação da Prefeitura de Juiz de Fora, ou seja, na cota 849,90 m.



Ressalta-se que, essa estrutura tem um grande potencial de amortecimento das vazões de pico, para tanto é preciso aumentar o volume de espera do reservatório no período de cheia. O aumento do volume de espera do reservatório da Barragem São Pedro pode ser feito por meio do rebaixamento do nível de água normal ou do aumento do volume disponível no reservatório.

Diante do exposto, é de suma importância conhecer o volume atualmente disponível no reservatório da Barragem São Pedro, sendo recomendado a realização de um levantamento topobatimétrico do reservatório São Pedro. Esse levantamento servirá de subsídio na tomada de decisão quanto aumentar o potencial de amortecimento da Barragem São Pedro, sem que seja prejudicado o abastecimento público.

4.2 Adequação do Sistema Extravador da Barragem São Pedro

Conforme informado no item 2.4, tendo em vista que hoje o sistema extravasor da barragem São Pedro não é capaz de conduzir com segurança as cheias provenientes a eventos com período de retorno acima de 25 anos, faz-se necessário o dimensionamento de um novo sistema extravasor para a barragem, considerando os critérios indicados por ANA e Eletrobras quando a segurança de barragens.

O pré-dimensionamento do sistema extravasor foi realizada por meio da avaliação do trânsito de cheia no reservatório, simulado mediante a aplicação de modelo hidrológico de propagação de cheias, denominado como método de Puls Modificado, cuja metodologia encontra-se também inserida no ambiente do software HEC-HMS. Foi utilizado o mesmo modelo hidrológico apresentado no item 2.4.

Tal método simula o escoamento através do reservatório mediante a discretização finita da equação da continuidade, além do emprego da relação entre armazenamento e vazão defluente, utilizando-se para isso a curva cota x volume do reservatório (apresentada no item 2.4.1.1) e a curva de descarga do sistema extravasor.

Conforme demonstrado na simulação hidrológica da condição atual da bacia do Córrego São Pedro, item 2.4, a barragem está sendo galgada para eventos com período de retorno de 25 e 50 anos. Ademais, foi informado pela Prefeitura de Juiz de Fora, que a elevação do nível da soleira vertente (cota 849,90 m) não pode ser alterada, uma vez que pode acarretar problemas operacionais para a estrutura, e a cota da crista atual (elevação 850 m) não garante o 1 metro de borda livre, conforme solicitado pelos critérios da ANA e Eletrobras.

Diante do exposto, além da adequação da geometria do sistema extravasor, há necessidade de alteamento da crista da barragem. Assim, foi proposto um sistema extravasor para a barragem do tipo superfície em soleira livre, com cerca de 80 m de largura, para passagem das cheias com recorrência de 1.000 anos, e 5 m para a passagem das cheias com períodos de retorno menores. Nesta configuração, a crista da barragem deverá ser locada na elevação 852,15 m, configurando uma altura de 2,25 m para o extravasor, conforme apresentado na Figura 32 e Figura 33.

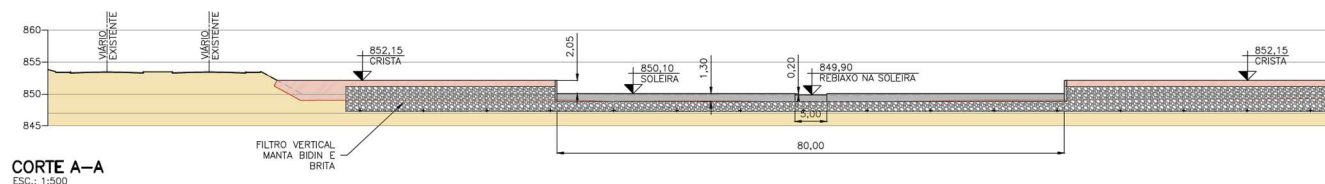


Figura 32 – Seção proposta para o sistema extravasor da Barragem São Pedro

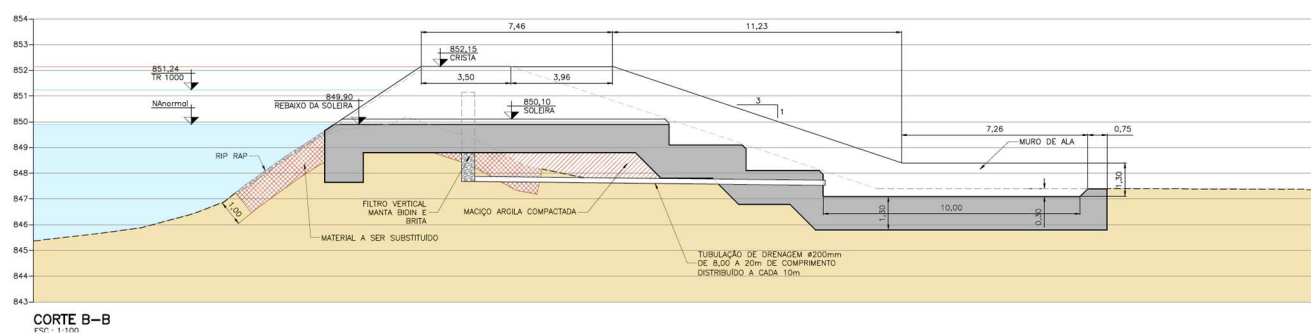


Figura 33 – Perfil proposta para o sistema extravasor da Barragem São Pedro.

Diante do exposto, para determinação da curva de descarga do novo sistema extravasor, foi utilizada a equação de soleira livre:

$$Q = C_d \times L \times H^{3/2}$$

Onde:

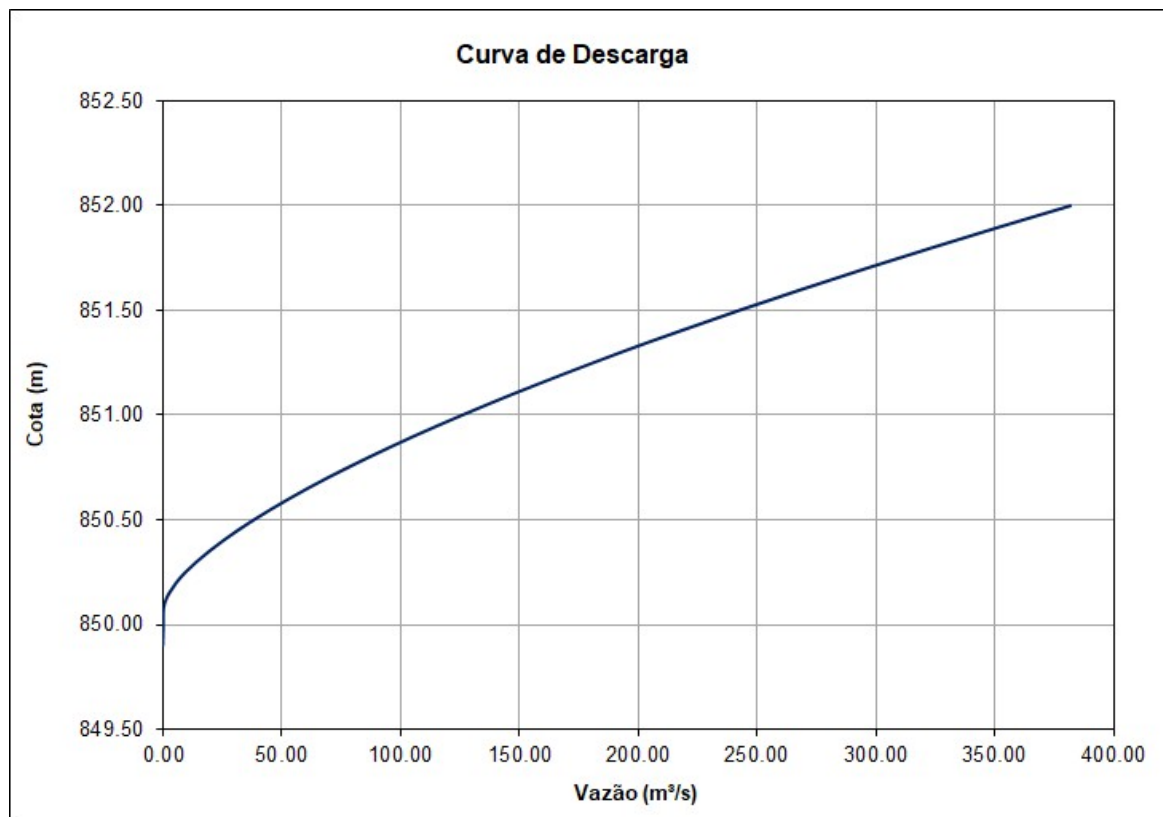
Q = vazão, m³/s

Cd = coeficiente de descarga, adotado 1,70;

L = largura do extravasor, m;

H = carga hidráulica, m.

1148 Por meio da equação acima apresentada, foi obtida a curva de descarga apresentada na Figura 34.



1149

1150

1151

Figura 34 – Curva de Descarga do Sistema Extravaso da barragem.

1152 Na Tabela 24 e na Figura 35 podem ser visualizados os resultados obtidos para a propagação da cheia
1153 de projeto (TR = 1.000 anos).

1154

Tabela 24 – Propagação de cheias – TR 1.000 anos.

Duração da Chuva de Projeto	Vazão de Pico (m³/s)		Elevação do Nível de Água (m)
	Afluente	Defluente	
3h	223,32	176,56	851,18

1155

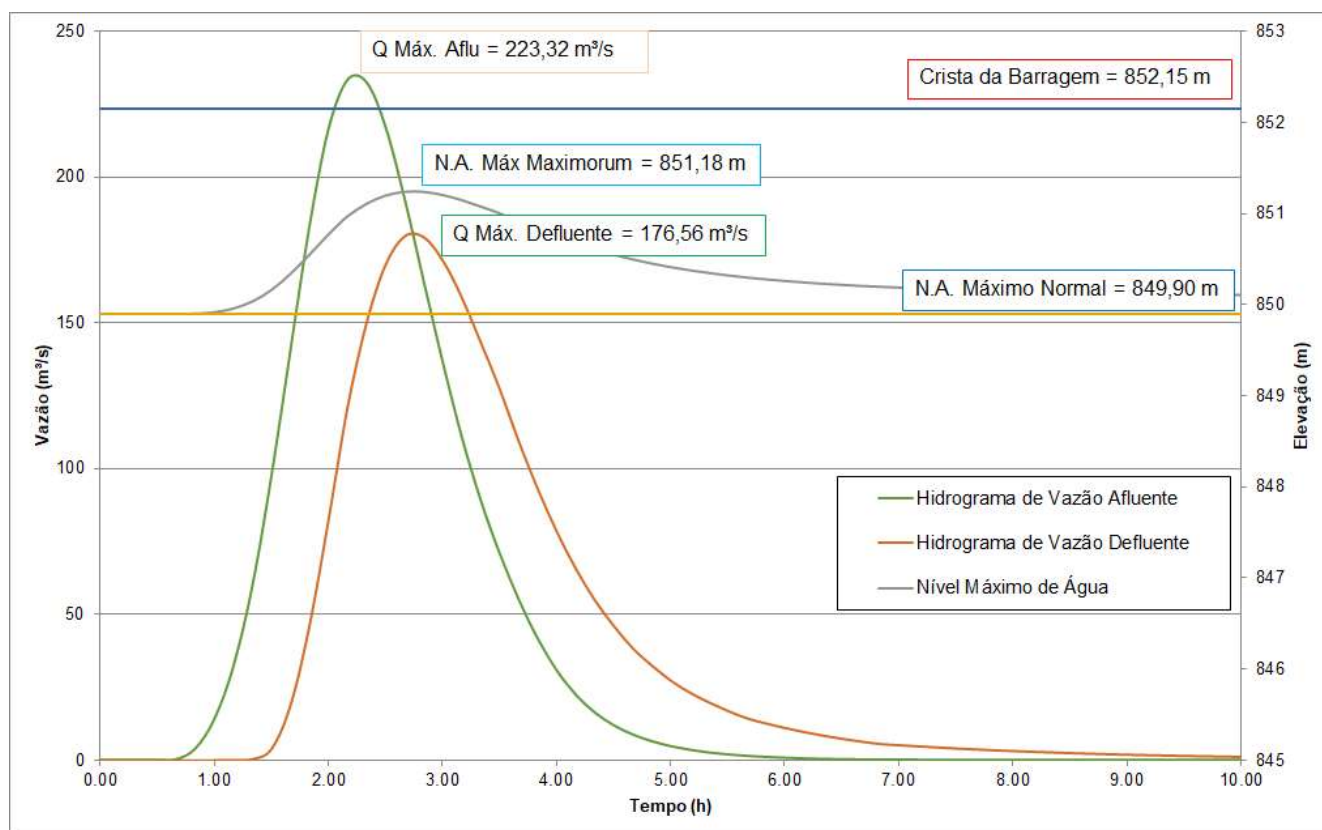


Figura 35 – Trânsito da cheia de 1.000 anos de período de retorno no reservatório da barragem.

Diante dos resultados apresentado, observa-se uma melhor eficiência do reservatório para o amortecimento das vazões afluentes a barragem São Pedro.

4.3 Resultados da Modelagem Hidrológica

De posse do novo arranjo proposto para o sistema extravasor da Barragem São Pedro, foi realizada a simulação hidrológica adotando o mesmo modelo apresentado no item 2.4, a fim de verificar o potencial de amortecimento da barragem e as vazões de pico resultantes nos trechos a jusante.

Na Tabela 25 e na Tabela 26 são apresentadas as vazões obtidas após a adequação do sistema extravasor da Barragem São Pedro.

1167

Tabela 25 - Síntese das vazões de pico para TR 25 anos – Após adequação da Barragem São Pedro.

TR 25 anos																
Elemento	AD (km²)	Vazão de Pico (m³/s)														
		5min	10 min	15min	20min	25min	30min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h	24h
Sub-03	2,94	0,00	0,02	0,65	1,71	2,86	4,03	9,16	13,50	14,53	14,47	13,31	12,10	11,00	10,08	6,69
Sub-02	0,99	0,00	0,18	0,92	1,89	2,70	3,63	6,64	8,00	7,66	7,05	6,04	5,20	4,57	4,08	2,57
Sub-01	0,62	0,00	0,08	0,49	1,15	1,73	2,11	4,17	4,91	4,62	4,33	3,64	3,15	2,76	2,46	1,55
J1	1,61	0,00	0,26	1,41	3,04	4,40	5,71	10,81	12,92	12,27	11,38	9,68	8,35	7,33	6,54	4,12
R1	1,61	0,00	0,25	1,25	2,81	4,31	5,45	10,24	12,37	12,08	11,31	9,60	8,31	7,31	6,53	4,12
Sub-04	0,83	0,01	1,00	2,14	3,73	5,09	5,98	9,29	9,69	9,08	8,12	6,63	5,55	4,80	4,25	2,60
J2	5,38	0,01	1,04	3,14	6,04	9,09	12,16	23,60	31,54	32,73	31,72	28,20	25,21	22,65	20,54	13,31
R2	5,38	0,01	1,02	3,11	5,96	8,99	11,77	23,39	31,47	32,63	31,55	28,19	25,12	22,63	20,49	13,31
Sub-05	2,20	0,00	0,01	0,42	1,16	1,98	2,82	6,56	9,77	10,50	10,50	9,72	8,85	8,05	7,40	4,93
J3	7,58	0,01	1,03	3,48	7,12	10,91	14,58	29,84	41,05	43,12	42,05	37,82	33,97	30,68	27,88	18,23
R3	7,58	0,01	0,99	3,42	6,93	10,85	14,31	29,69	40,91	42,83	41,68	37,77	33,80	30,61	27,84	18,23
Sub-07	4,26	0,00	0,16	1,22	2,69	4,18	5,60	12,32	18,37	20,33	20,62	19,48	18,01	16,58	15,29	10,37
Sub-06	0,89	0,00	0,04	0,61	1,71	2,52	3,19	6,35	7,16	6,49	6,00	4,98	4,21	3,69	3,29	2,09
Res_SP	12,72	0,00	0,02	0,14	0,30	0,56	1,22	12,09	28,50	36,51	40,44	42,93	42,46	40,77	38,86	29,17
R4	12,72	0,00	0,02	0,14	0,30	0,56	1,21	12,03	28,37	36,39	40,35	42,92	42,35	40,76	38,82	29,17
Sub-08	1,27	0,00	0,28	1,22	2,84	4,30	5,25	9,47	10,78	10,26	9,45	7,87	6,75	5,89	5,25	3,29
Sub-09	1,00	0,00	0,06	0,60	1,64	2,58	3,23	6,29	7,47	7,14	6,66	5,59	4,85	4,25	3,80	2,41
Sub-13	0,60	0,00	0,00	0,21	0,67	1,19	1,68	3,13	4,08	3,92	3,58	3,06	2,63	2,31	2,07	1,33
J4	15,59	0,00	0,34	2,00	5,15	8,08	10,16	18,92	28,49	37,73	43,18	47,34	48,11	47,19	45,46	34,92
R6	15,59	0,00	0,33	1,98	4,95	7,85	9,99	18,44	28,42	37,71	43,07	47,29	48,10	47,15	45,44	34,92
Sub-10	1,12	0,00	0,02	0,53	1,50	2,38	3,01	6,37	7,81	7,43	7,00	5,96	5,18	4,56	4,08	2,61
Sub-14	0,66	0,00	0,22	0,83	1,50	2,18	2,85	4,83	5,80	5,54	5,07	4,33	3,71	3,25	2,90	1,81
J5	1,78	0,00	0,24	1,35	3,01	4,39	5,70	11,19	13,61	12,97	12,07	10,29	8,89	7,82	6,98	4,41
R5	1,78	0,00	0,24	1,19	2,77	4,28	5,49	10,60	13,01	12,78	11,98	10,21	8,85	7,79	6,97	4,41

TR 25 anos																
Elemento	AD (km²)	Vazão de Pico (m³/s)														
		5min	10 min	15min	20min	25min	30min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h	24h
Sub-11	1,34	0,00	0,57	1,50	2,47	3,39	4,20	7,52	9,85	10,11	9,83	8,81	7,87	7,06	6,38	4,06
Sub-12	0,36	0,00	0,28	0,72	1,68	2,54	2,86	4,02	4,03	3,65	3,19	2,52	2,11	1,83	1,62	1,00
J6	19,08	0,00	0,99	4,42	9,07	13,14	17,36	34,48	44,44	44,58	50,66	57,11	58,98	57,98	56,12	43,72
R7	19,08	0,00	0,98	4,34	8,75	12,91	17,25	33,68	43,95	44,40	50,65	57,10	58,91	57,98	56,10	43,71
Sub-15	2,03	0,11	2,05	4,62	7,10	9,13	11,38	18,24	21,50	20,54	19,12	16,19	13,96	12,22	10,85	6,66
Sub-16	1,88	0,00	1,49	3,98	6,50	8,72	11,18	17,67	20,09	18,66	17,09	14,19	12,10	10,50	9,30	5,74
J7	22,99	0,11	4,00	11,01	18,67	27,41	34,83	62,30	78,31	79,55	75,70	68,59	71,53	71,05	69,05	54,70
R8	22,99	0,11	3,96	10,77	18,50	26,53	34,04	60,19	78,10	79,18	75,15	68,45	71,43	70,98	69,03	54,64
Sub-17	0,78	0,09	1,62	3,53	5,16	6,61	8,55	11,80	11,29	9,90	8,69	6,81	5,64	4,84	4,26	2,58
Sub-18	0,42	0,01	0,42	1,04	1,68	2,16	2,78	4,34	4,80	4,40	4,05	3,32	2,83	2,45	2,17	1,33
J8	24,19	0,13	4,41	11,60	19,82	27,66	35,54	65,22	85,64	87,22	83,14	73,81	74,84	74,48	72,66	57,91
R9	24,19	0,12	4,29	11,55	19,54	27,64	34,62	64,69	84,81	86,20	83,11	73,52	74,74	74,47	72,57	57,88
Sub-21	0,36	0,04	0,53	1,16	1,73	2,22	2,79	4,14	4,53	4,12	3,77	3,08	2,60	2,25	1,98	1,21
Sub-22	0,36	0,00	0,05	0,28	0,56	0,89	1,18	2,12	2,70	2,66	2,47	2,13	1,84	1,63	1,45	0,92
Sub-20	0,36	0,10	1,34	2,25	3,25	4,80	5,56	5,93	5,88	4,91	4,13	3,21	2,65	2,27	1,99	1,20
J9	25,27	0,17	4,65	12,18	20,20	28,78	36,26	67,32	89,63	92,20	89,97	79,99	77,50	77,52	75,74	60,61
R10	25,27	0,16	4,59	11,84	20,04	28,08	35,85	64,98	87,86	91,98	89,03	79,80	77,46	77,33	75,65	60,60
Sub-27	0,45	0,00	0,28	0,90	1,46	2,33	2,99	4,49	4,85	4,33	3,90	3,17	2,66	2,30	2,04	1,26
Sub-23	0,14	0,00	0,08	0,28	0,50	0,71	0,94	1,49	1,56	1,37	1,25	1,01	0,85	0,73	0,65	0,40
J10	25,86	0,16	4,60	11,88	20,12	28,15	35,94	65,30	89,58	94,18	91,48	82,60	78,68	78,79	77,10	61,96
R11	25,86	0,16	4,55	11,87	19,66	28,02	35,45	65,20	88,45	93,16	91,37	82,36	78,62	78,69	77,09	61,92
Sub-19	1,85	0,00	1,74	4,44	7,20	10,99	13,55	18,65	21,05	19,17	16,93	13,93	11,67	10,08	8,93	5,50
Sub-26	0,33	0,00	0,00	0,15	0,45	0,70	1,02	2,00	2,43	2,26	2,06	1,74	1,49	1,31	1,17	0,75
J12	2,18	0,00	1,74	4,59	7,58	11,68	14,57	20,66	23,48	21,42	18,99	15,67	13,15	11,39	10,10	6,24

TR 25 anos																
Elemento	AD (km²)	Vazão de Pico (m³/s)														
		5min	10 min	15min	20min	25min	30min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h	24h
R12	2,18	0,00	1,37	3,99	7,07	9,46	12,15	20,50	22,59	20,79	18,96	15,50	13,12	11,38	10,08	6,24
Sub-28	0,35	0,00	0,03	0,29	0,68	1,01	1,41	2,58	2,94	2,68	2,44	2,03	1,72	1,50	1,34	0,85
Sub-25	0,28	0,00	0,07	0,31	0,98	1,52	1,70	2,58	2,66	2,44	2,14	1,71	1,44	1,25	1,11	0,70
Sub-24	0,23	0,00	0,23	0,62	1,09	1,41	1,81	2,82	2,79	2,48	2,21	1,75	1,46	1,26	1,11	0,68
J11	28,90	0,16	4,83	12,56	20,73	28,83	36,69	68,58	98,66	106,47	106,64	97,73	88,08	86,42	85,07	69,10
R13	28,90	0,16	4,81	12,53	20,61	28,79	36,43	67,86	97,56	106,19	105,76	97,58	88,01	86,41	85,04	69,07
Sub-30	0,45	0,01	0,34	0,83	1,35	1,78	2,20	3,69	4,40	4,22	3,95	3,35	2,90	2,54	2,26	1,40
Sub-29	0,38	0,01	0,32	0,76	1,22	1,60	1,96	3,25	3,84	3,66	3,43	2,91	2,51	2,19	1,95	1,20
J13	29,73	0,17	5,28	13,61	22,28	30,12	37,72	71,00	102,31	111,26	111,30	102,62	92,72	89,10	87,66	71,37

Tabela 26 - Síntese das vazões de pico para TR 50 anos – Após adequação da Barragem São Pedro.

TR 50 anos																
Elemento	AD (km²)	Vazão de Pico (m³/s)														
		5min	10 min	15min	20min	25min	30min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h	24h
Sub-03	2,94	0,00	0,18	1,35	2,93	4,51	6,09	12,68	17,82	18,94	18,60	16,87	15,20	13,77	12,51	8,19
Sub-02	0,99	0,00	0,44	1,54	2,87	3,91	5,14	8,87	10,27	9,64	8,89	7,47	6,41	5,58	4,97	3,10
Sub-01	0,62	0,00	0,24	0,85	1,78	2,58	3,09	5,60	6,31	5,92	5,47	4,53	3,89	3,38	3,01	1,88
J1	1,61	0,00	0,68	2,39	4,65	6,49	8,10	14,47	16,57	15,45	14,36	11,99	10,29	8,96	7,98	4,98
R1	1,61	0,00	0,65	2,19	4,24	6,31	7,84	13,58	15,77	15,39	14,19	11,95	10,22	8,96	7,97	4,98
Sub-04	0,83	0,08	1,58	3,10	5,04	6,77	7,90	11,69	12,03	11,12	9,83	7,98	6,66	5,73	5,05	3,07
J2	5,38	0,08	1,79	5,03	9,17	13,34	17,38	31,48	40,92	41,87	40,08	35,36	31,23	27,96	25,19	16,14
R2	5,38	0,08	1,76	5,03	9,07	12,98	16,84	31,38	40,85	41,66	39,80	35,29	31,16	27,90	25,19	16,13
Sub-05	2,20	0,00	0,10	0,91	2,02	3,17	4,30	9,06	12,87	13,74	13,56	12,32	11,16	10,11	9,21	6,05
J3	7,58	0,08	1,84	5,85	11,09	16,06	21,14	40,41	53,67	55,40	53,36	47,61	42,23	38,01	34,38	22,17

TR 50 anos																
Elemento	AD (km²)	Vazão de Pico (m³/s)														
		5min	10 min	15min	20min	25min	30min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h	24h
R3	7,58	0,07	1,83	5,83	10,81	16,04	20,57	40,11	53,30	54,85	52,74	47,43	42,22	37,87	34,36	22,17
Sub-07	4,26	0,00	0,50	2,19	4,24	6,26	8,12	16,61	23,92	26,04	26,12	24,48	22,39	20,54	18,88	12,59
Sub-06	0,89	0,00	0,22	1,17	2,79	3,98	4,71	8,76	9,31	8,42	7,67	6,23	5,25	4,56	4,06	2,55
Res_SP	12,72	0,00	0,06	0,24	0,57	2,00	4,40	21,00	41,92	51,27	55,49	57,18	55,34	52,48	49,68	35,87
R4	12,72	0,00	0,06	0,24	0,57	2,00	4,38	20,97	41,54	50,88	55,19	57,09	55,16	52,46	49,64	35,87
Sub-08	1,27	0,00	0,70	2,11	4,25	6,25	7,55	12,51	13,69	13,04	11,83	9,77	8,29	7,21	6,40	3,98
Sub-09	1,00	0,00	0,27	1,13	2,59	3,95	4,83	8,51	9,64	9,22	8,45	7,03	6,02	5,25	4,67	2,93
Sub-13	0,60	0,00	0,04	0,49	1,14	1,96	2,62	4,54	5,47	5,10	4,59	3,89	3,30	2,89	2,58	1,63
J4	15,59	0,00	1,01	3,73	7,99	12,17	15,01	25,34	41,82	53,70	59,35	63,09	62,98	60,91	58,24	43,19
R6	15,59	0,00	0,97	3,71	7,66	11,80	14,73	24,64	41,81	53,55	59,24	63,06	62,88	60,86	58,21	43,19
Sub-10	1,12	0,00	0,18	1,03	2,48	3,76	4,61	8,76	10,19	9,65	8,97	7,49	6,47	5,65	5,05	3,18
Sub-14	0,66	0,00	0,44	1,30	2,20	3,04	3,92	6,35	7,36	6,91	6,33	5,31	4,54	3,94	3,51	2,17
J5	1,78	0,00	0,61	2,33	4,68	6,62	8,17	15,11	17,55	16,41	15,30	12,79	11,01	9,59	8,55	5,35
R5	1,78	0,00	0,59	2,12	4,26	6,38	8,00	14,16	16,67	16,37	15,10	12,76	10,93	9,59	8,54	5,35
Sub-11	1,34	0,03	0,94	2,16	3,40	4,56	5,56	9,56	12,23	12,42	12,05	10,71	9,48	8,48	7,64	4,82
Sub-12	0,36	0,00	0,57	1,21	2,37	3,54	4,03	5,17	5,16	4,55	3,93	3,09	2,57	2,22	1,96	1,20
J6	19,08	0,03	2,09	7,36	13,89	19,49	24,60	46,16	57,12	62,27	69,60	76,43	77,00	74,80	71,72	53,93
R7	19,08	0,03	2,08	7,26	13,46	18,73	24,50	45,21	56,63	62,12	69,54	76,36	76,90	74,79	71,70	53,91
Sub-15	2,03	0,30	3,05	6,36	9,47	11,89	14,65	22,84	26,31	24,84	23,12	19,44	16,61	14,49	12,84	7,84
Sub-16	1,88	0,07	2,44	5,77	8,99	11,61	14,77	22,58	24,94	22,82	20,91	17,15	14,54	12,59	11,13	6,80
J7	22,99	0,38	6,56	16,65	26,66	38,07	47,57	80,72	99,32	99,52	93,61	91,04	93,21	91,20	87,75	67,20
R8	22,99	0,38	6,54	16,28	26,38	36,83	46,46	78,60	99,12	98,85	92,83	91,01	93,08	91,16	87,74	67,16
Sub-17	0,78	0,25	2,41	4,85	6,89	8,45	10,91	14,71	13,69	12,01	10,42	8,13	6,70	5,74	5,04	3,03
Sub-18	0,42	0,03	0,66	1,48	2,29	2,87	3,63	5,50	5,92	5,39	4,92	4,02	3,38	2,92	2,58	1,57

TR 50 anos																
Elemento	AD (km²)	Vazão de Pico (m³/s)														
		5min	10 min	15min	20min	25min	30min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h	24h
J8	24,19	0,43	7,23	17,13	28,11	38,16	48,39	84,76	108,13	108,38	103,15	94,50	97,16	95,59	92,29	71,09
R9	24,19	0,41	7,09	17,10	27,73	37,95	46,79	83,96	106,87	106,95	102,94	94,30	97,14	95,43	92,19	71,07
Sub-21	0,36	0,09	0,78	1,58	2,29	2,86	3,57	5,17	5,52	4,99	4,54	3,68	3,08	2,66	2,34	1,41
Sub-22	0,36	0,00	0,13	0,48	0,87	1,30	1,69	2,86	3,50	3,37	3,09	2,65	2,27	2,00	1,78	1,11
Sub-20	0,36	0,23	1,96	3,13	4,18	6,14	7,13	7,40	7,15	5,88	4,96	3,82	3,13	2,68	2,35	1,41
J9	25,27	0,50	7,45	17,98	28,63	39,46	48,87	87,24	112,69	115,22	111,12	98,14	100,71	99,33	96,13	74,41
R10	25,27	0,49	7,43	17,60	28,19	38,63	48,48	84,00	111,05	114,52	109,70	98,04	100,47	99,19	96,04	74,40
Sub-27	0,45	0,00	0,53	1,40	2,14	3,19	4,09	5,88	6,10	5,35	4,82	3,86	3,23	2,79	2,46	1,51
Sub-23	0,14	0,00	0,15	0,43	0,73	0,97	1,28	1,94	1,96	1,73	1,55	1,23	1,03	0,89	0,79	0,48
J10	25,86	0,49	7,46	17,65	28,31	38,72	48,61	84,54	113,14	117,15	113,05	101,39	102,15	100,92	97,88	76,07
R11	25,86	0,48	7,31	17,55	27,65	38,42	47,80	84,32	111,05	116,20	112,75	101,15	101,94	100,91	97,87	76,05
Sub-19	1,85	0,04	2,98	6,65	9,84	14,79	18,18	24,26	26,37	23,57	20,85	16,86	14,08	12,14	10,71	6,54
Sub-26	0,33	0,00	0,04	0,33	0,78	1,12	1,56	2,85	3,21	2,91	2,66	2,20	1,86	1,63	1,45	0,91
J12	2,18	0,04	3,01	6,98	10,46	15,91	19,74	27,11	29,58	26,47	23,51	19,07	15,94	13,76	12,15	7,45
R12	2,18	0,03	2,37	5,97	10,02	13,13	16,32	26,48	28,19	25,94	23,33	18,94	15,87	13,73	12,15	7,45
Sub-28	0,35	0,00	0,11	0,53	1,10	1,52	2,07	3,54	3,81	3,39	3,11	2,53	2,13	1,85	1,65	1,03
Sub-25	0,28	0,00	0,22	0,60	1,45	2,25	2,54	3,39	3,47	3,09	2,68	2,12	1,77	1,54	1,36	0,85
Sub-24	0,23	0,01	0,39	0,91	1,53	1,93	2,41	3,61	3,45	3,08	2,70	2,12	1,76	1,51	1,34	0,81
J11	28,90	0,49	7,76	18,25	29,03	39,51	49,44	88,43	124,24	132,22	131,98	119,94	111,36	110,74	108,05	85,03
R13	28,90	0,48	7,74	18,21	28,77	39,33	48,94	87,48	122,96	132,14	130,77	119,49	111,29	110,72	108,03	84,98
Sub-30	0,45	0,03	0,54	1,17	1,83	2,38	2,88	4,68	5,43	5,14	4,81	4,06	3,47	3,04	2,69	1,65
Sub-29	0,38	0,03	0,50	1,06	1,64	2,12	2,54	4,10	4,72	4,47	4,16	3,50	2,99	2,61	2,32	1,42
J13	29,73	0,53	8,41	19,57	30,76	40,56	50,55	91,26	128,69	138,20	137,79	125,81	114,81	114,00	111,32	87,76

1170

1171

1172

Tabela 27 - Síntese das vazões de pico para TR 100 anos – Após adequação da Barragem São Pedro.

TR 100 anos																
Elemento	AD (km²)	Vazão de Pico (m³/s)														
		5min	10 min	15min	20min	25min	30min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h	24h
Sub-03	2,94	0,00	0,56	2,41	4,61	6,71	8,80	17,14	23,23	24,25	23,53	21,17	18,87	17,00	15,41	9,93
Sub-02	0,99	0,00	0,86	2,40	4,16	5,52	7,04	11,60	12,96	11,97	11,05	9,13	7,80	6,78	6,01	3,71
Sub-01	0,62	0,00	0,50	1,34	2,60	3,67	4,36	7,33	7,96	7,48	6,80	5,60	4,74	4,12	3,65	2,26
J1	1,61	0,00	1,37	3,74	6,76	9,19	11,14	18,93	20,93	19,38	17,85	14,72	12,55	10,90	9,66	5,97
R1	1,61	0,00	1,30	3,51	6,12	8,86	10,89	17,63	20,07	19,30	17,56	14,70	12,47	10,87	9,65	5,97
Sub-04	0,83	0,23	2,36	4,32	6,67	8,83	10,24	14,51	14,83	13,47	11,80	9,52	7,92	6,81	5,99	3,61
J2	5,38	0,23	3,12	7,93	13,37	18,82	24,07	41,28	52,38	52,76	49,96	43,75	38,34	34,12	30,67	19,40
R2	5,38	0,22	3,03	7,71	13,23	18,17	23,33	41,25	52,17	52,40	49,53	43,60	38,31	34,02	30,65	19,40
Sub-05	2,20	0,00	0,36	1,66	3,22	4,76	6,26	12,27	16,80	17,66	17,21	15,51	13,87	12,52	11,35	7,34
J3	7,58	0,22	3,39	9,31	16,45	22,84	29,59	53,52	68,97	70,05	66,74	59,11	52,16	46,54	42,00	26,74
R3	7,58	0,20	3,23	9,26	16,05	22,84	28,62	53,00	68,27	69,16	66,13	58,77	52,07	46,43	41,93	26,72
Sub-07	4,26	0,00	1,10	3,56	6,33	8,98	11,37	21,92	30,62	32,84	32,62	30,37	27,63	25,14	23,05	15,16
Sub-06	0,89	0,00	0,62	1,97	4,23	5,91	6,68	11,72	11,87	10,76	9,63	7,68	6,47	5,60	4,96	3,08
Res_SP	12,72	0,00	0,12	0,46	2,10	5,38	9,88	33,15	59,07	69,55	73,60	74,26	70,58	66,47	62,35	43,68
R4	12,72	0,00	0,12	0,46	2,09	5,38	9,85	32,86	58,81	69,38	73,56	73,99	70,58	66,42	62,28	43,68
Sub-08	1,27	0,00	1,36	3,38	6,07	8,73	10,48	16,18	17,36	16,31	14,60	11,99	10,06	8,73	7,74	4,77
Sub-09	1,00	0,00	0,65	1,96	3,86	5,72	6,93	11,21	12,24	11,69	10,56	8,72	7,38	6,42	5,70	3,54
Sub-13	0,60	0,00	0,19	0,95	1,79	2,98	3,89	6,32	7,15	6,51	5,86	4,86	4,09	3,57	3,17	1,99
J4	15,59	0,00	2,21	6,30	11,70	17,44	21,31	33,13	59,25	72,76	78,89	82,12	80,82	77,26	73,13	52,82
R6	15,59	0,00	2,13	6,22	11,20	16,89	20,86	32,85	59,08	72,67	78,85	82,06	80,73	77,21	73,10	52,81
Sub-10	1,12	0,00	0,53	1,76	3,79	5,58	6,73	11,70	13,03	12,35	11,30	9,36	7,98	6,95	6,17	3,86
Sub-14	0,66	0,01	0,76	1,94	3,11	4,11	5,26	8,20	9,22	8,51	7,80	6,44	5,48	4,75	4,21	2,59
J5	1,78	0,01	1,27	3,70	6,90	9,52	11,30	19,90	22,24	20,72	19,09	15,78	13,46	11,70	10,38	6,44
R5	1,78	0,01	1,22	3,47	6,22	9,09	11,23	18,49	21,41	20,61	18,76	15,74	13,38	11,68	10,38	6,44

TR 100 anos																
Elemento	AD (km²)	Vazão de Pico (m³/s)														
		5min	10 min	15min	20min	25min	30min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h	24h
Sub-11	1,34	0,11	1,43	3,02	4,56	6,00	7,24	12,00	15,02	15,20	14,62	12,91	11,37	10,11	9,09	5,68
Sub-12	0,36	0,01	1,00	1,88	3,22	4,79	5,49	6,54	6,49	5,60	4,78	3,75	3,11	2,67	2,35	1,43
J6	19,08	0,12	3,92	11,44	20,26	27,73	33,80	60,44	72,25	84,31	92,61	99,45	98,55	94,73	89,91	65,68
R7	19,08	0,12	3,88	11,33	19,69	26,60	33,73	59,33	71,78	84,25	92,41	99,25	98,53	94,68	89,87	65,68
Sub-15	2,03	0,62	4,36	8,54	12,37	15,32	18,57	28,28	31,89	29,91	27,71	23,15	19,67	17,08	15,11	9,17
Sub-16	1,88	0,28	3,74	8,07	12,13	15,15	19,12	28,44	30,61	27,77	25,34	20,63	17,33	14,97	13,22	8,02
J7	22,99	0,92	10,45	24,21	36,92	51,54	63,54	102,92	124,68	122,98	114,69	118,31	118,66	114,88	109,65	81,36
R8	22,99	0,91	10,25	23,68	36,58	49,81	62,02	101,03	124,13	121,97	113,94	118,09	118,64	114,78	109,64	81,36
Sub-17	0,78	0,50	3,43	6,52	9,02	10,65	13,71	18,13	16,45	14,44	12,40	9,63	7,92	6,76	5,93	3,54
Sub-18	0,42	0,10	0,98	2,04	3,05	3,76	4,65	6,88	7,22	6,57	5,93	4,81	4,02	3,46	3,05	1,85
J8	24,19	1,03	11,25	24,81	38,82	51,50	64,45	108,48	134,81	133,19	126,57	122,32	123,89	120,40	115,30	86,03
R9	24,19	1,00	11,10	24,43	38,30	50,99	62,29	107,31	133,01	132,21	126,21	122,28	123,68	120,28	115,19	86,01
Sub-21	0,36	0,17	1,11	2,12	2,99	3,63	4,50	6,38	6,67	6,02	5,41	4,37	3,64	3,13	2,75	1,65
Sub-22	0,36	0,00	0,26	0,77	1,29	1,82	2,34	3,78	4,46	4,21	3,85	3,25	2,78	2,42	2,15	1,34
Sub-20	0,36	0,44	2,76	4,25	5,30	7,72	9,00	9,24	8,62	6,99	5,91	4,52	3,70	3,15	2,76	1,64
J9	25,27	1,12	11,56	25,64	39,48	52,95	64,54	111,35	139,97	142,31	135,90	126,05	128,16	124,97	120,18	90,08
R10	25,27	1,11	11,42	25,24	38,66	51,93	64,21	107,11	138,67	141,02	134,35	125,89	128,04	124,92	120,05	89,99
Sub-27	0,45	0,02	0,89	2,06	3,01	4,24	5,43	7,56	7,57	6,60	5,90	4,66	3,88	3,35	2,95	1,80
Sub-23	0,14	0,00	0,26	0,64	1,03	1,30	1,71	2,50	2,42	2,14	1,89	1,49	1,24	1,07	0,94	0,57
J10	25,86	1,12	11,47	25,31	38,82	52,04	64,38	107,92	141,17	144,15	138,76	127,55	130,01	127,15	122,40	92,07
R11	25,86	1,10	11,18	25,05	38,06	51,53	63,15	107,44	138,17	143,34	137,96	127,42	129,95	127,09	122,38	92,00
Sub-19	1,85	0,25	4,70	9,56	13,12	19,44	23,83	31,01	32,60	28,66	25,38	20,23	16,85	14,49	12,76	7,73
Sub-26	0,33	0,00	0,13	0,60	1,24	1,69	2,27	3,90	4,15	3,70	3,38	2,74	2,31	2,00	1,78	1,11
J12	2,18	0,25	4,82	10,16	14,06	21,11	26,11	34,90	36,75	32,34	28,76	22,97	19,15	16,49	14,54	8,84

TR 100 anos																
Elemento	AD (km²)	Vazão de Pico (m³/s)														
		5min	10 min	15min	20min	25min	30min	1h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h	24h
R12	2,18	0,19	3,82	8,57	13,78	17,74	21,41	33,63	34,74	31,97	28,39	22,90	19,09	16,44	14,51	8,84
Sub-28	0,35	0,00	0,27	0,88	1,66	2,19	2,91	4,73	4,85	4,32	3,89	3,11	2,62	2,26	2,00	1,24
Sub-25	0,28	0,00	0,47	1,04	2,05	3,17	3,62	4,35	4,45	3,86	3,31	2,61	2,17	1,87	1,65	1,02
Sub-24	0,23	0,03	0,62	1,30	2,07	2,58	3,13	4,54	4,21	3,76	3,26	2,55	2,11	1,81	1,59	0,96
J11	28,90	1,17	11,88	25,95	39,66	52,95	65,27	112,50	154,64	163,17	161,63	146,01	141,56	139,58	135,18	102,85
R13	28,90	1,15	11,79	25,86	39,19	52,59	64,46	111,32	153,21	162,66	160,49	145,67	141,53	139,46	135,05	102,81
Sub-30	0,45	0,08	0,80	1,61	2,44	3,11	3,69	5,84	6,63	6,27	5,80	4,86	4,14	3,60	3,19	1,94
Sub-29	0,38	0,08	0,73	1,45	2,17	2,75	3,25	5,10	5,74	5,43	5,01	4,19	3,56	3,09	2,74	1,66
J13	29,73	1,27	12,68	27,24	41,41	54,12	66,50	115,78	160,07	169,85	168,81	153,09	145,67	143,62	139,15	106,05

1173

Conforme pode ser observado nos resultados apresentados na Tabela 25 e Tabela 26, após a adequação do sistema extravasor da Barragem São Pedro há uma melhor eficiência no amortecimento das vazões resultando na redução das vazões de pico dos trechos a jusante. Na Tabela 28 é apresentada uma comparação das vazões de pico obtidas no cenário atual e após a adequação do sistema extravasor da barragem São Pedro em pontos notórios da bacia São Pedro.

Tabela 28 – Comparação das vazões de pico.

Elemento HEC-HMS	Local	Vazão (m³/s)			
		TR 25 anos		TR 50 anos	
		Cenário Atual	Adequação Barragem	Cenário Atual	Adequação Barragem
Res_SP	Vertedor da Barragem São Pedro	89,77	42,93	107,22	57,18
J4	Travessia Canal 3	121,33	48,11	144,74	63,09
J7	Montante Canal Integra	196,55	79,55	233,83	99,52
J9	Jusante Canal Integra	226,15	92,20	268,92	115,22
J10	Ponte Granville	233,18	94,18	278,96	117,15
J11	Jusante Cachoeira	277,65	106,64	330,43	132,22
J13	Exutório	289,91	111,30	344,74	138,20

Conforme pode ser observado nos resultados acima apresentados, o efeito do amortecimento no reservatório da Barragem São Pedro e a redução do pico de vazão é nítida após a adequação da Barragem São Pedro, reduzindo em até 50% as vazões e pico obtidas no cenário da situação atual.

Importante destacar que foram apresentadas as vazões para o tempo de retorno de 100 anos, uma vez que será verificada a travessia da ferrovia para essa vazão, sem considerar borda livre para esse caso.

4.4 Dimensionamento Hidráulico do Canal São Pedro.

De posse das vazões obtidas após a adequação da Barragem São Pedro, foi realizado o pré-dimensionamento das seções para o canal do córrego São Pedro. Para tanto, foi utilizada a metodologia proposta por Manning para regime permanente e uniforme.

$$Q = \frac{1}{n} A R_H^{2/3} \sqrt{I}$$

Onde:



- 1194 Q é a vazão, em m^3/s
- 1195 I é a declividade, em m/m ;
- 1196 n é o coeficiente de rugosidade de Manning;
- 1197 A é a área do canal, em m^2 , e;
- 1198 RH é o raio hidráulico do canal, em m.
- 1199 Como critérios e premissas desse pré-dimensionamento foram adotadas:
- 1200 • Dimensionamento para período de retorno 25 anos e verificação para 50 anos;
- 1201 • Dimensionamento e verificação hidráulica considerando regime permanente e uniforme;
- 1202 • Adoção da borda livre mínima de 20% da altura das paredes dos canais, dentro da faixa de 5
- 1203 a 30% recomendada por CHOW (1959);
- 1204 • Serão adotados os seguintes valores para o coeficiente de rugosidade de Manning:
- 1205 ○ Concreto: 0,018;
- 1206 ○ Gabião caixa: 0,030;
- 1207 • As velocidades máximas admissíveis para o escoamento, considerada nesta etapa de projeto,
- 1208 serão:
- 1209 ○ Concreto: 6,0 m/s ;
- 1210 ○ Gabião caixa: 4,0 m/s ;
- 1211 • A ocorrência pontual de maiores velocidades deverá ser avaliada.
- 1212 Na Tabela 29 são apresentados os valores obtidos para cada uma das seções. Já na Tabela 30 pode
- 1213 ser observado os resultados obtidos na verificação do dimensionamento para vazões resultante de
- 1214 eventos com 50 anos de retorno.
- 1215



1216

Tabela 29 – Pré-dimensionamento das seções do canal do córrego São Pedro - TR 25 anos

Trecho	Revestimento	n	Q (m³/s)	b (m)	z (m)	l (m/m)	H (m)	y (m)	yc (m)	U (m/s)	Fr	BL (m)
Trecho no Bairro Vale do Ipé	Concreto	0,018	106,64	10,00	0,0	0,006	2,50	1,97	2,26	5,42	1,23	0,53
Seção após Bairro Vale do Ipé	Gabião	0,030	106,64	15,00	0,0	0,003	3,50	2,70	1,73	2,63	0,51	0,80
Seção após Ferrovia	Concreto	0,018	111,30	8,00	0,0	0,007	3,10	2,29	2,70	6,06	1,28	0,81

1217

1218

Tabela 30 – Verificação do pré-dimensionamento das seções do canal do córrego São Pedro - TR 50 anos

Trecho	Revestimento	n	Q (m³/s)	b (m)	z (m)	l (m/m)	H (m)	y (m)	yc (m)	U (m/s)	Fr	BL (m)
Trecho no Bairro Vale do Ipé	Concreto	0,018	132,22	10,00	0,0	0,006	2,50	2,28	2,61	5,80	1,23	0,22
Seção após Bairro Vale do Ipé	Gabião	0,030	132,22	15,00	0,0	0,003	3,50	3,12	1,99	2,82	0,51	0,38
Seção após Ferrovia	Concreto	0,018	138,20	8,00	0,0	0,007	3,10	2,68	3,12	6,46	1,26	0,42

1219

Legenda:

1220

n – Coeficiente de rugosidade de Manning;

1221

Q – Vazão

1222

b – Largura do canal

1223

z – Inclinação do talude lateral

1224

l – Declividade longitudinal

1225

H – Altura do canal

1226

y – Profundidade normal

1227

yc – Profundidade crítica

1228

U – Velocidade

1229

Fr – Número do Froude

1230

BL – Borda livre



4.5 Dimensionamento Hidráulico das Travessias

Inicialmente, para as travessias foi verificada a possibilidade de implantação de bueiros para as travessias. Os bueiros foram pré-dimensionados considerando seção celular, controle de entrada e escoamento supercrítico ao longo da estrutura. A declividade do bueiro foi definida conforme a declividade crítica (Eq. 4-1), calculada pela fórmula abaixo:

$$I_{cel} = 2,6 \frac{n^2}{\sqrt[3]{H}} \left(3 + \frac{4H}{B} \right)^{\frac{4}{3}} \quad \text{Eq. 4-1}$$

Onde n é o coeficiente de Manning (valor adotado 0,018), H e B são a altura e a largura da seção celular. Nessas condições, a capacidade de descarga de um bueiro (Eq. 4-2) é estimada pela seguinte equação:

$$Q_a = 1,705 B H^{\frac{3}{2}} \quad \text{Eq. 4-2}$$

Para as travessias, foram adotadas as geometrias disponíveis no Manual de Drenagens do DNIT, onde a maior dimensão para um bueiro celular é de 3,0 m de base por 3,0 m de altura. Na Tabela 31 é apresentado o resultado obtido para o pré-dimensionamento dos bueiros, onde é possível observar que para o TR de 25 anos o maior bueiro disponível pelo Manual de Drenagem do DNIT não é capaz de escoar, considerando o funcionamento como canal, as vazões.

O DNIT recomenda que o dimensionamento hidráulico de bueiros, para o tempo de retorno de 25 anos, seja realizado considerando que o seu funcionamento seja como canal, ou seja, não pode haver carga hidráulica a montante da estrutura. Diante dos resultados obtidos, observa-se que um BTCC – 3,0 x 3,0 não é a melhor solução para essas travessias.

Assim, como boa prática de engenharia, é recomendado adotar pontilhões ou pontes para as travessias em que a vazão de projeto seja superior à vazão admissível por um BTCC – 3,0 x 3,0. DNIT, no Manual de Drenagem de Rodovias, não recomenda a utilização de números maiores do que 3 linhas por provocar alagamento em uma faixa muito ampla. Diante do exposto, a adoção de pontilhão é a mais indicada para as travessias existentes desde o Bairro Vale do Ipê até a foz do córrego São Pedro no rio Paraibuna. Os pontilhões deverão ser projetados de forma a não alterar a geometria proposta para os canais apresentados, de forma a não ocorrer alteração no regime de escoamento nesses locais.

1256

Tabela 31 – Verificação da travessia - Bueiro.

Local	Tempo de Retorno	Vazão de Projeto (m³/s)	Tipo	Dimensão (m)	Declividade (m/m)	Declividade Crítica (m/m)	Vazão Admissível por linha (m³/s) – Funcionamento como Canal	Vazão Admissível por linha (m³/s) – Funcionamento como Orifício	Condição de Funcionamento
Travessias entre bairro Vale do Ipê e Ferrovia	25	106,641	BTCC	3,0 x 3,0	0,007	0,00543	26,578	55,914	Orifício
	50	132,221	BTCC	3,0 x 3,0	0,007	0,00543	26,578	55,914	Orifício
Travessias após a Ferrovia e travessia da Ferrovia	25	111,298	BTCC	3,0 x 3,0	0,007	0,00543	26,578	55,914	Orifício
	50	138,199	BTCC	3,0 x 3,0	0,007	0,00543	26,578	55,914	Orifício

1257

Destaca-se que para a travessia da ferrovia sobre o canal do córrego São Pedro, ainda foi realizada uma verificação da capacidade de condução frente a vazões resultantes de um evento de chuva com tempo de retorno de 100 anos. Essa verificação foi realizada adotando a metodologia proposta por Manning, apresentada anteriormente, e na Tabela 32 pode ser observado os resultados obtidos.

Tabela 32 – Verificação da travessia da Ferrovia - TR 100 anos

Revestimento	n	Q (m³/s)	b (m)	z (m)	I (m/m)	H (m)	y (m)	yc (m)	U (m/s)	Fr	BL (m)
Concreto	0,018	169,85	8,00	0,0	0,007	3,10	3,10	3,58	6,84	1,24	0,00

Legenda:

n – Coeficiente de rugosidade de Manning;

Q – Vazão

b – Largura do canal

z – Inclinação do talude lateral

I – Declividade longitudinal

H – Altura do canal

y – Profundidade normal

yc – Profundidade crítica

U – Velocidade

Fr – Número do Froude

BL – Borda livre

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O presente relatório técnico consolida os dados, análises e resultados dos estudos precipitação, permeabilidade e modelagem hidrológica que compõem o Produto 05 da elaboração do Plano Diretor de Drenagem do Município de Juiz de Fora. Ademais, são apresentadas as alternativas estruturantes na fase inicial no que diz respeito ao controle e mitigação de inundações para a bacia do Córrego São Pedro, parte integrante do Produto 07.

O estudo de permeabilidade teve como objetivo caracterizar as condições do solo e seu uso nas bacias hidrográficas, formando uma base essencial para a aplicação de modelos hidrológicos, ao fornecer dados sobre a capacidade de infiltração e armazenamento de água de chuva no solo. Nessa etapa, utilizou-se a metodologia do Curva Número (CN), que permitiu definir o parâmetro de geração de



1288 escoamento superficial do modelo hidrológico, essencial para representar com precisão a resposta das
1289 bacias aos eventos de precipitação. As análises foram realizadas considerando o cenário atual, que
1290 caracteriza o nível atual de impermeabilização das bacias.

1291 A classificação pedológica dos solos das bacias foi realizada para cada sub-bacia, utilizando dados
1292 fornecidos pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB). Com base nessa classificação, identificaram-se os
1293 grupos hidrológicos correspondentes a cada tipo de solo com predominância de solos do Grupo B.

1294 O mapeamento do uso e cobertura do solo no cenário atual foi realizado através de imagem de satélite
1295 atualizada e de forma manual.

1296 Em relação ao estudo de precipitações, este processo envolveu a definição de entre Intensidade-
1297 Duração-Frequência (IDF) para o município. As atividades realizadas incluíram a avaliação dos postos
1298 pluviométricos com dados históricos de estações locais com mais de 30 anos de registros, abrangendo
1299 informações até 2025, disponíveis nas bacias e nas regiões adjacentes, a análise da consistência e
1300 das tendências das séries históricas, e a seleção de estações de interesse com base em critérios
1301 previamente estabelecidos.

1302 Adicionalmente, foram analisados os valores extremos de precipitação e realizada a desagregação da
1303 chuva diária cm base em coeficientes de desagregação amplamente renomados. Por fim, foram
1304 definidas as curvas IDF.

1305 Os estudos hidrológicos e hidráulicos foram realizados com apoio de ferramentas de modelagem
1306 computacional, capazes de simular os fenômenos envolvidos na formação das cheias, desde a
1307 transformação da chuva em escoamentos superficiais, até o comportamento desses escoamentos
1308 sobre a bacia, de forma a solucionar os frequentes problemas de inundação que acontece na bacia do
1309 Córrego São Pedro.

1310 As modelagens hidrológicas apresentaram a definição da chuva crítica para cada bacia e as vazões
1311 correspondentes para os tempos de retorno de 25, 50 e 1000 anos (este último somente para
1312 confirmação do sistema extravasor da barragem São Pedro).

1313 Conforme mencionado no item 3.2, as inundações que vem ocorrendo em Juiz de Fora são decorrentes
1314 de chuvas frequentes, com baixo período de retorno. Dessa forma, foram propostas medidas de
1315 mitigação considerando os períodos de retorno de 25 e 50 anos.

1316 As premissas utilizadas para elaboração do diagnóstico e do prognóstico consideram TR = 25 anos e
1317 borda livre mínima de 20%, e verificação do funcionamento hidráulico da solução para o TR = 50 anos.

1318 As vazões de projeto de TR = 25 anos foram utilizadas para diagnosticar o comportamento da cheia
1319 de projeto, ou seja, o evento pluviométrico que define os parâmetros de projeto considerando que não
1320 há inundações em nenhum trecho do canal, indicando os níveis máximos de alagamento antes e
1321 depois de intervenções propostas para a rede de macrodrenagem.

1322 O cenário de diagnóstico sugere a ocorrência de extravasamentos ao longo de todo o trecho avaliado,
1323 com maior concentração na parcela mais a jusante da bacia. Todo o trecho simulado apresenta níveis
1324 d'água sempre acima da cota das margens do canal, independentemente do TR considerado,
1325 indicando que as seções não comportam as vazões afluentes necessitando a ampliação da capacidade
1326 do trecho. Além disso, pontos de estrangulamento da calha do rio, mudanças bruscas de seções, como
1327 entradas de galerias, travessias e outras restrições, criam pontos desfavoráveis para o escoamento.

1328 A compreensão do comportamento das cheias, a partir dos resultados obtidos na simulação do cenário
1329 de diagnóstico, permitiu identificar as áreas mais propensas a sofrer danos das inundações,
1330 subsidiando a formulação de propostas para a redução dos alagamentos. Assim, foram propostas
1331 intervenções estruturais na macrodrenagem, considerando a função principal de armazenamento,
1332 retardando o pico de cheia, e aumento a capacidade hidráulica dos trechos de interesse.

1333 Para a bacia do córrego São Pedro, a solução foi dividida em duas fases de obras e implantação,
1334 denominadas etapa inicial e final. Para a etapa inicial foram previstas soluções para mitigação da
1335 parcela mais a jusante da bacia, incluindo os bairros Granville, Vale do Ipê e Mariana Procópio. Já a
1336 fase final englobará as obras do restante da bacia.

1337 Ressalta-se que a adequação do maciço e do sistema extravasor da Barragem São Pedro é de suma
1338 importância para otimizar o amortecimento das vazões na bacia, reduzindo significativamente as
1339 vazões de pico, sendo então prevista já na etapa inicial.

1340 Assim, para a Barragem São Pedro, foi proposta a adequação do seu sistema extravasor, de forma a
1341 atender aos critérios de segurança de barragens preconizados pela ANA e Eletrobras. Ainda, conforme
1342 solicitação da Prefeitura de Juiz de Fora, foi mantido o nível de água na barragem na elevação 849,90
1343 m, para atendimento do abastecimento público da cidade, e proposta um alteamento da crista na
1344 elevação 852,15 m de forma a garantir a borda livre mínima de 1,0 m. Por meio da adequação do
1345 sistema extravasor foi possível observar uma melhora na eficiência de retenção das cheias na
1346 Barragem São Pedro, mostrando que essa barragem é um grande aliado para solucionar os problemas
1347 de enchentes que vem acontecendo na bacia.



Ressalta-se que os cálculos apresentados nesse documento quanto ao amortecimento proporcionado pela Barragem São Pedro foram realizados com base na curva cota x volume apresentado no Plano de Segurança elaborado por BSG Consultoria, em 2021. Assim, é de suma importância a atualização dessa informação, de forma a conhecer realmente qual o atual fundo do reservatório, e consequentemente o seu volume disponível. Para tanto, recomenda-se a realização de um levantamento topobatimétrico do reservatório São Pedro.

Vale a pena mencionar que o reservatório da Barragem São Pedro possui capacidade para amortecer ainda mais as vazões de pico observadas na bacia. Todavia, é preciso aumentar o volume de espera por meio do rebaixamento do nível de água normal. Dessa forma, para vazões provenientes de eventos de chuva com tempo de retorno ordinários, a eficiência de amortecimento poderá ser ainda mais otimizada.

Tendo conhecimentos dos resultados após a adequação do sistema extravasor da Barragem São Pedro, foi realizado um pré-dimensionamento da seção hidráulica para o canal do córrego São Pedro, considerando a utilização de concreto e gabião para o trecho desde o bairro Vale do Ipê até a foz do córrego no rio Paraibuna. Para esse trecho, foram definidas as seguintes seções:

- Do Bairro Vale do Ipê até a travessia da Rua Antônio Fellet (Est. 62+16,17 a Est. 51) – Canal retangular em concreto com 10,0 m de base por 2,5 m de altura, declividade longitudinal de 0,006 m/m;
- Da travessia da Rua Antônio Fellet à travessia da Ferrovia (est. 51 a Est. 21) – Canal retangular em gabião com 15,0 m de base por 3,5 m de altura, declividade longitudinal de 0,0025 m/m, e;
- Da travessia da Ferrovia à foz no rio Paraibuna (Est. 21 a Est. 0) – Canal retangular em concreto com 8,0 m de base por 3,1 m de altura, declividade longitudinal de 0,007 m/m.

Por fim, foi verificado as travessias existentes neste trecho que vai do bairro Vale do Ipê até a foz do córrego no rio Paraibuna, sendo observado que devido a magnitude das vazões, como boa prática de engenharia, não é indicado o uso de bueiros. Assim, as travessias deverão ser feitas por meios de pontilhões, sendo que eles deverão ser projetados de forma a não alterar a geometria proposta para os canais, para que não ocorra alteração no regime de escoamento nesses locais.



5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INSTITUTO DE PESQUISAS EM TRANSPORTES – Manual de hidrologia básica para Estruturas de Drenagem. Ministério dos Transportes - Publicação IPR 715, 2005.
- PLANO DE DRENAGEM DE JUIZ DE FORA, Parte 1, Zona Norte, vol. 1 diagnóstico, dezembro de 2011.
- Portal HidroWEB- disponível em <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>> Acesso em 05 de fevereiro de 2025.
- ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL - Equações Intensidade-Duração-Frequência. Serviço Geológico do Brasil, 2014,
- SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Parte 1: Classificação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2005.
- ATLAS Pluviométrico do Brasil; Equações Intensidade-Duração-Frequência. Município: Juiz de Fora. Estação Pluviográfica: Juiz de Fora Códigos 02143056 (ANA) e 83692 (INMET). Karine Pickbrenner e Eber José de Andrade Pinto – Porto Alegre: CPRM, 2014.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (1979). Drenagem urbana: manual de projeto. São Paulo, SP: CETESB.
- CALDEIRA, T. L.; BESKOW, S.; MELLO, C. R.; FARIA, L. C.; DE SOUZA, M. R.; GUEDES, H. A. Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi , v. 19, n. 3, 2015a.
- NAGHETTINI, M. C.; PINTO, E. J. A. Hidrologia Estatística. Belo Horizonte: CPRM, 552. p., 2007.
- PINTO, E. J. A.. Atlas Pluviométrico do Brasil: Equações Intensidade-Duração-Frequência: Equações Definidas em 2023 / Eber José de Andrade Pinto. – Belo Horizonte:CPRM, 2023.