



Consultoria e Licenciamento Ambiental LTDA

ESTUDO HIDROLÓGICO PARA PROJETO DE OBRAS HIDRÁULICAS

Pontes (3 Pontes)

Ponte 01 – Afluente Rio Henrique: Latitude (GD) -27.705471° e Longitude (GD) -52.348422° em Datum SIRGAS 2000.

Ponte 02 – Afluente do Rio Henrique: Latitude (GD) -27.691179° e Longitude (GD) -52.33195751° em Datum SIRGAS 2000.

Ponte 03 – Arroio Barbosa: Latitude (GD) -27.70546459° e Longitude (GD) -52.413894° em Datum SIRGAS 2000.

DADOS DO EMPREENDIMENTO

Contratante: Município de Paulo Bento

CNPJ: 04.215.168/0001-75

Curso d'água: Arroio Barbosa

Bacia Hidrográfica: Uruguai

Paulo Bento, Novembro de 2025

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	3
2. IDENTIFICAÇÃO DO PROPONENTE	8
3. RESPONSABILIDADE TÉCNICA	8
4. PARÂMETROS E CRITÉRIOS GERAIS DO ESTUDO	9
4.1 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (TC)	9
4.2 TEMPO DE RETORNO (TR)	9
4.3 CHUVAS INTENSAS	10
4.4 MÉTODO CHUVA-VAZÃO: RACIONAL E RACIONAL MODIFICADO	13
4.5 MÉTODO CHUVA-VAZÃO HIDROGRAMA: UNITÁRIO SINTÉTICO	16
4.6 VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA	22
5. ESTUDO HIDROLÓGICO	26
5.1 BACIAS DE DRENAGEM	26
5.2 INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DE CHUVAS	32
5.3 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	38
5.4 COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	40
5.5 VAZÕES	42
6. VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA	53
6.1 PONTE 1	55
6.1 PONTE 2	55
6.2 PONTE 3	56
7. CONCLUSÃO	57
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
9. RESPONSABILIDADE TÉCNICA	61
10. ANEXOS	62

1. APRESENTAÇÃO

O presente estudo compreende a avaliação hidrológica e hidráulica de três Obras de Arte Especiais localizadas no município de Paulo Bento, correspondentes a pontes. As análises foram conduzidas com o objetivo de verificar a capacidade de escoamento das seções, avaliar o comportamento do fluxo sob diferentes condições de vazão e identificar eventuais restrições hidráulicas. O estudo hidrológico contemplou a estimativa das vazões de projeto a partir das características físicas das bacias contribuintes e das equações de intensidade-duração-frequência (IDF) aplicáveis à região, bem como os eventos críticos de 2023/2024. O estudo hidráulico teve como foco a verificação do escoamento nas estruturas previamente definidas, analisando as condições de regime e da linha específica de energia, bem como a identificação de perdas de carga e possíveis situações de remanso ou afogamento.

De acordo com a base de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), uma Ponte está implantada no Arroio Barbosa, e duas Pontes encontram-se em afluente do Rio Lajeado Henrique. Ambas as estruturas estão inseridas na Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, conforme a classificação hidrográfica oficial.

As áreas deste estudo, ou seja, os pontos de avaliação hidrológica e hidráulica estão localizados nas seguintes coordenadas geográficas em Graus Decimais (GD):

Ponte 01 – Afluente Rio Henrique: Latitude (GD) -27.705471° e Longitude (GD) -52.348422° em Datum SIRGAS 2000.

Ponte 02 – Afluente do Rio Henrique: Latitude (GD) -27.691179° e Longitude (GD) -52.33195751° em Datum SIRGAS 2000.

Ponte 03 – Arroio Barbosa: Latitude (GD) -27.70546459° e Longitude (GD) -52.413894° em Datum SIRGAS 2000

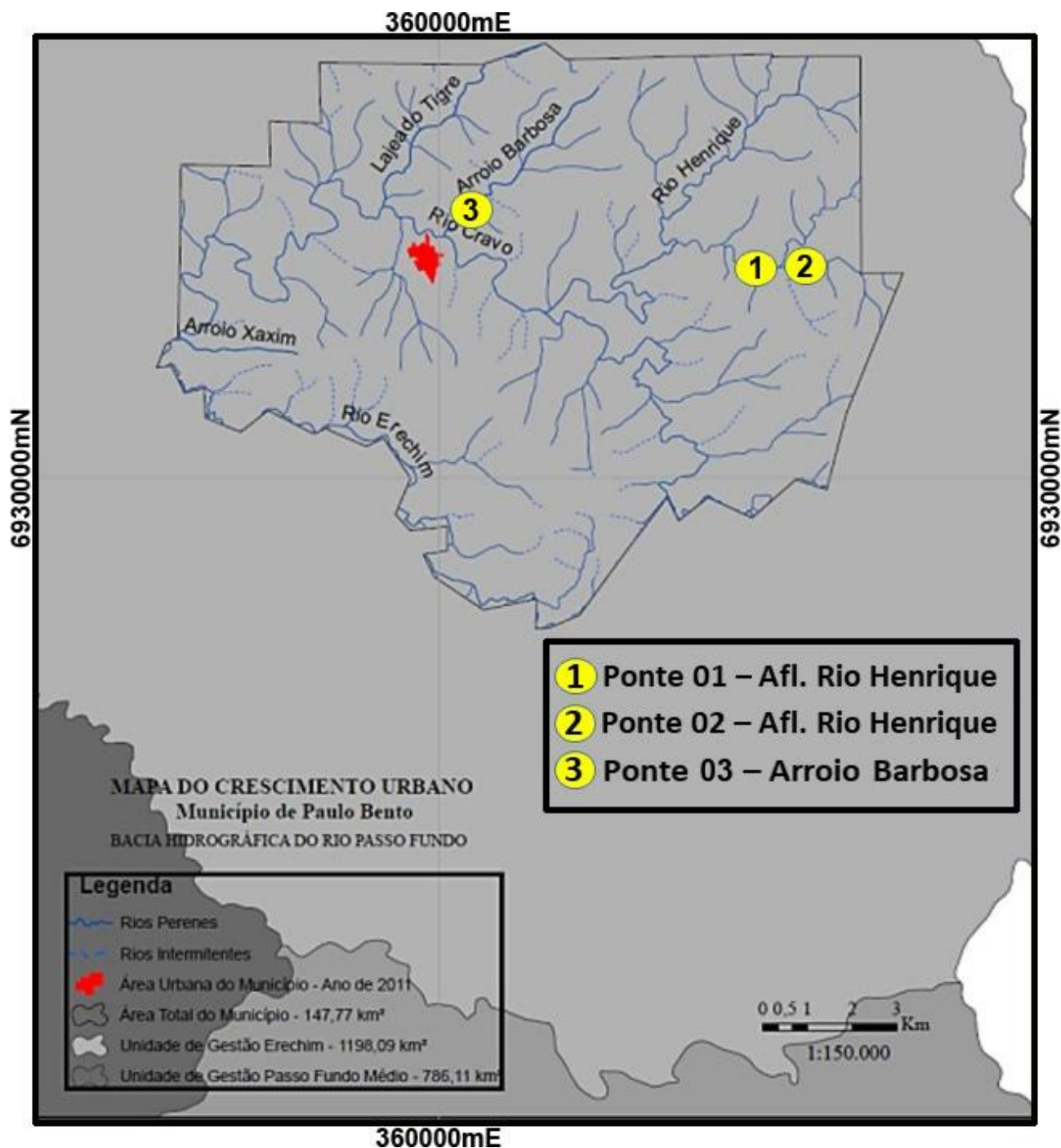


Figura 1 - Localização das áreas de estudo, Pontes localizadas em Afluente do Rio Henrique (Pontes 01 e 02) e no Arroio Barbosa (Ponte 03).



Figura 2- Registro Fotográfico de campo do Ponto 01 (Ponte 01) – evidenciando a seção transversal do rio e a ponte de madeira.



Figura 3- Registro Fotográfico de campo do Ponto 02 (Ponte 02) – evidenciando a secção transversal do rio e a passagem molhada em concreto.



Figura 4- Registro Fotográfico de campo do Ponto 03 (Ponte 03) evidenciando a secção transversal do rio e a ponte existente em situação precária.

2. IDENTIFICAÇÃO DO PROPONENTE

Município de Paulo Bento, inscrito no CNPJ N. 04.215.168/0001-75, localizado na Av. Irmãs Consolata, nº189, Centro, CEP: 99718-000, Paulo Bento - RS

3. RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Empresa: GEOPLAN – Consultoria e Licenciamento Ambiental LTDA, com registro de CNPJ sob nº 36.528.082/0001-99, registrada no CREA-RS sob nº 245329 e CRBio-03: 001405-03/2023, localizada na Rua Maranhão, nº 494, sl. 03, CEP: 99704-000, Bairro Bela Vista, Erechim-RS e Rua Independência, nº 279, sl 304, CEP: 99950-000, Centro, Tapejara-RS.

Responsáveis Técnicos:

Geógrafo, Vanderlei Secretti Decian, Esp. Msc. em Engenharia Agrícola e Dr. em Ciências, Registro CPF sob n. 698.967.120-34, CREA RS 123105D, Residente na Rua Luiz Zanella, nº 155, Bairro Esperança - Erechim RS, CEP 99701-480.

Engenheira Sanitarista e Ambiental Érisa Amáble Calliari Machado Guimarães, com registro de CPF sob nº 032.733.650-13 e registro no CREA-RS sob nº 2222849608, residente na Rua Fagundes dos Reis, 452, apartamento 101, Centro, Passo Fundo-RS.

4. PARÂMETROS E CRITÉRIOS GERAIS DO ESTUDO

4.1 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (TC)

O tempo de concentração corresponde ao intervalo máximo necessário para que o escoamento proveniente de toda a área de drenagem alcance a seção de controle. A determinação deste parâmetro foi realizada de acordo com as diretrizes do Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem IPR – 715 (DNIT, 2005) aplicando-se a Fórmula de Kirpich, publicada no “California Culverts Practice”, para o cálculo dos tempos de concentração parciais, de forma a considerar as alterações parciais da topografia ao longo do talvegue, resultando no tempo de concentração total da bacia.

Fórmula de Kirpich:

$$tc = 57 * \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Sendo:

tc = tempo de concentração (min); L = comprimento do talvegue (km); e

H = desnível entre o divisor da bacia e a seção de interesse (m).

4.2 TEMPO DE RETORNO (TR)

Tempo de Retorno (TR), Tempo de Recorrência ou Período de Retorno, é o inverso da probabilidade de um determinado evento hidrológico ser igualado ou excedido em um ano. A probabilidade (P) de ocorrência da tormenta de projeto é obtida pelo inverso do tempo de retorno.

$$P = \frac{1}{TR} \cdot 100$$

Sendo:

P = probabilidade anual de ocorrência da tormenta (%); e

TR = tempo de retorno (anos).

De acordo com o Manual de Drenagem de Rodovias – IPR-724 (DNIT, 2006), a escolha do tempo de recorrência a ser adotado no projeto hidráulico está diretamente relacionada à importância da obra, uma vez que define o risco de superação da vazão de projeto em função do nível de segurança desejado.

No presente estudo, considerando a localização das estruturas em áreas com indícios de urbanização e o fato de estarem situadas ao longo do talvegue principal das bacias hidrográficas, foram definidos os seguintes critérios:

- Obras de Arte Especiais (Pontes): tempo de recorrência de 100 anos.

4.3 CHUVAS INTENSAS

A obtenção das curvas Intensidade–Duração–Frequência (IDF) para a região de estudo foi realizada a partir do tratamento dos dados do posto pluviométrico mais próximo das bacias hidrográficas analisadas. Utilizou-se como base para os métodos determinísticos e probabilísticos a dissertação de Santos (2010).

Os dados brutos de precipitação utilizados nesta análise hidrológica foram obtidos na plataforma HIDROWEB, mantida pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Essa plataforma constitui o repositório oficial das séries históricas de dados pluviométricos e fluviométricos do Brasil, assegurando a rastreabilidade, confiabilidade e respaldo institucional das informações utilizadas.

A seguir, apresenta-se o fluxograma com as etapas para a obtenção das curvas IDF. A metodologia adotada é aplicável a séries históricas com período mínimo de observação de 10 anos. As séries anuais foram avaliadas quanto aos totais médios anuais, bem como às precipitações máximas, médias e mínimas mensais, e às alturas máximas anuais registradas. Nesta etapa, foi realizado o Controle de Qualidade dos dados, com o objetivo de identificar e corrigir possíveis inconsistências ou falhas.

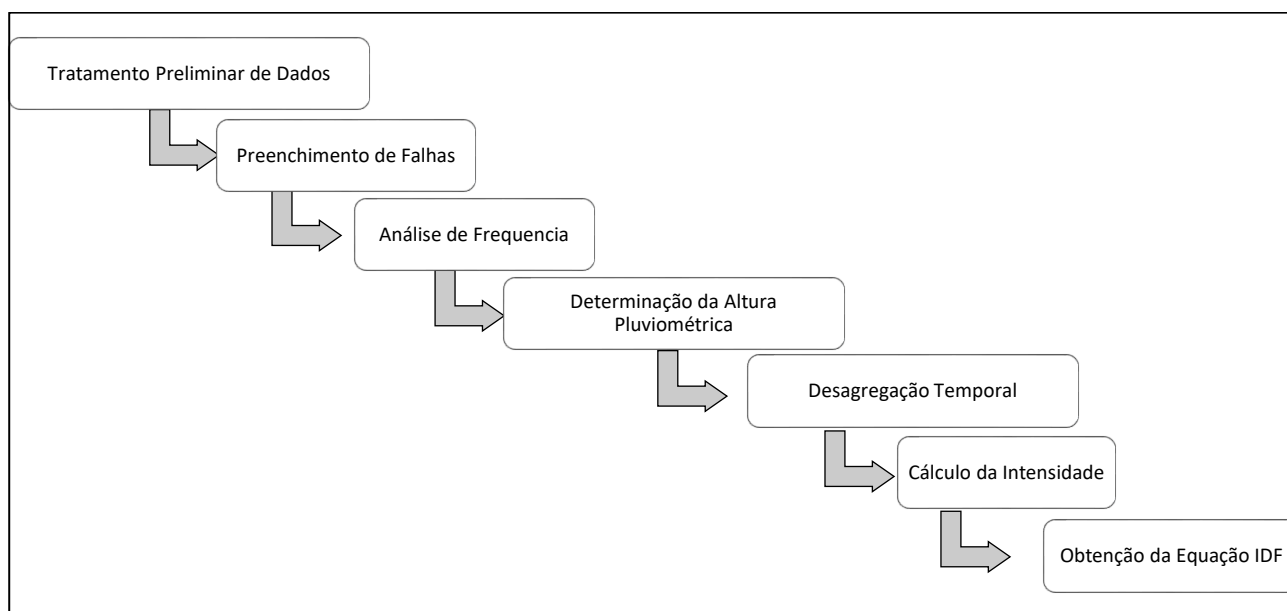


Figura 5 - Fluxograma com as etapas para a obtenção das curvas IDF.

Na análise de frequência, procede-se à seleção das chuvas máximas anuais. A distribuição empírica dessas ocorrências é representada graficamente por meio de um histograma. Em seguida, para estimar a altura pluviométrica associada a um determinado período de retorno, aplica-se o modelo estatístico proposto por Ven Te Chow. Esse autor demonstrou que a maioria das distribuições de frequência hidrológica pode ser expressa por uma equação geral derivada da teoria dos valores

extremos. A partir da aplicação dessa teoria às séries históricas do posto selecionado, é possível determinar a altura máxima diária correspondente ao período de retorno desejado.

$$x = \bar{x} + K\sigma$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Onde:

x = altura pluviométrica esperada para o período de retorno desejado;

$\bar{x}$ = média aritmética das chuvas máximas anuais;

K = fator de frequência em função do período de recorrência e número de eventos;

σ = desvio padrão da amostra; e n = número de anos considerados.

Os valores de K (fator de frequência) são obtidos segundo a distribuição da lei de Gumbel.

VALORES DE "K" CALCULADOS SEGUNDO A LEI DE GUMBEL													
Nº de eventos considerado	TR - Tempo de Recorrência em anos						Nº de eventos considerado	TR - Tempo de Recorrência em anos					
	5	10	15	25	50	100		5	10	15	25	50	100
20	0,919	1,625	2,018	2,517	3,179	3,836	61	0,772	1,406	1,786	2,251	2,849	3,443
21	0,911	1,613	2,004	2,500	3,157	3,810	62	0,738	1,367	1,770	2,248	2,845	3,439
22	0,905	1,603	1,992	2,484	3,138	3,787	63	0,703	1,327	1,753	2,246	2,842	3,435
23	0,899	1,593	1,980	2,470	3,121	3,766	64	0,668	1,288	1,737	2,244	2,839	3,432
24	0,893	1,584	1,969	2,457	3,104	3,747	65	0,634	1,248	1,721	2,242	2,836	3,428
25	0,888	1,575	1,958	2,444	3,088	3,729	66	0,599	1,208	1,705	2,239	2,833	3,425
26	0,883	1,566	1,949	2,432	3,074	3,711	67	0,564	1,169	1,689	2,237	2,830	3,421
27	0,879	1,560	1,941	2,422	3,061	3,696	68	0,529	1,129	1,672	2,235	2,826	3,417
28	0,874	1,553	1,932	2,412	3,048	3,681	69	0,495	1,090	1,656	2,232	2,823	3,414
29	0,870	1,547	1,924	2,402	3,037	3,667	70	0,460	1,050	1,640	2,230	2,820	3,410
30	0,866	1,541	1,917	2,393	3,026	3,653	71	0,460	1,049	1,639	2,229	2,818	3,408
31	0,863	1,535	1,910	2,385	3,015	3,641	72	0,459	1,048	1,638	2,227	2,817	3,406
32	0,860	1,530	1,904	2,377	3,005	3,629	73	0,459	1,048	1,637	2,226	2,815	3,404
33	0,856	1,525	1,897	2,369	2,996	3,618	74	0,458	1,047	1,636	2,224	2,813	3,402
34	0,853	1,520	1,892	2,362	2,987	3,609	75	0,458	1,046	1,635	2,223	2,812	3,400
35	0,851	1,516	1,886	2,354	2,977	3,598	76	0,457	1,045	1,633	2,222	2,810	3,398
36	0,848	1,511	1,881	2,349	2,971	3,588	77	0,457	1,044	1,632	2,220	2,808	3,396
37	0,845	1,507	1,876	2,344	2,963	3,579	78	0,456	1,044	1,631	2,219	2,807	3,394
38	0,843	1,503	1,871	2,338	2,957	3,571	79	0,456	1,043	1,630	2,217	2,805	3,392
39	0,840	1,499	1,867	2,331	2,950	3,563	80	0,455	1,042	1,629	2,216	2,803	3,390
40	0,838	1,495	1,862	2,326	2,943	3,554	81	0,455	1,042	1,628	2,215	2,802	3,388
41	0,836	1,492	1,856	2,321	2,936	3,547	82	0,454	1,041	1,627	2,214	2,800	3,386
42	0,834	1,489	1,854	2,316	2,930	3,539	83	0,454	1,041	1,627	2,212	2,798	3,384
43	0,832	1,485	1,850	2,311	2,924	3,532	84	0,453	1,040	1,626	2,211	2,797	3,382
44	0,830	1,482	1,846	2,307	2,919	3,526	85	0,453	1,040	1,625	2,210	2,795	3,380
45	0,828	1,478	1,842	2,303	2,913	3,519	86	0,453	1,04	1,624	2,209	2,793	3,378
46	0,826	1,476	1,839	2,298	2,908	3,513	87	0,452	1,039	1,623	2,208	2,792	3,376
47	0,824	1,474	1,836	2,294	2,903	3,507	88	0,452	1,039	1,623	2,206	2,790	3,374
48	0,823	1,471	1,832	2,290	2,898	3,501	89	0,451	1,038	1,622	2,205	2,788	3,372
49	0,821	1,469	1,830	2,287	2,894	3,498	90	0,451	1,038	1,621	2,204	2,787	3,370
50	0,820	1,466	1,827	2,283	2,889	3,490	91	0,45	1,037	1,620	2,203	2,785	3,368
51	0,818	1,464	1,824	2,280	2,885	3,486	92	0,449	1,036	1,619	2,201	2,783	3,366
52	0,817	1,462	1,821	2,276	2,881	3,481	93	0,449	1,036	1,618	2,200	2,782	3,364
53	0,815	1,459	1,818	2,273	2,875	3,474	94	0,448	1,035	1,617	2,198	2,780	3,362
54	0,814	1,457	1,816	2,270	2,270	3,471	95	0,447	1,034	1,616	2,197	2,778	3,36
55	0,813	1,455	1,813	2,267	2,869	3,467	96	0,446	1,033	1,614	2,196	2,777	3,358
56	0,812	1,453	1,811	2,264	2,865	3,462	97	0,445	1,032	1,613	2,194	2,775	3,356
57	0,810	1,451	1,809	2,261	2,862	3,458	98	0,445	1,032	1,612	2,193	2,773	3,354
58	0,809	1,449	1,806	2,258	2,858	3,454	99	0,444	1,031	1,611	2,191	2,772	3,352
59	0,808	1,448	1,804	2,256	2,855	3,450	100	0,443	1,030	1,610	2,190	2,770	3,350
60	0,807	1,446	1,802	2,253	2,852	3,446							

Tabela 1- Valores de K (fator de frequência) são obtidos distribuição da lei de Gumbel

Para a conversão das alturas pluviométricas diárias em alturas horárias, empregou-se o Método de Taborga Torrico. De acordo com esse método, as alturas pluviométricas de 24 horas mantêm uma relação constante e independente do período de retorno com a altura máxima diária, sendo essa relação igual a 1,095. Além disso, Taborga definiu isozonas que permitem estimar alturas correspondentes a durações menores, como 1 hora e 0,1 hora. A relação entre as alturas máximas diárias, horárias e de 0,1 hora é apresentada na tabela a seguir.

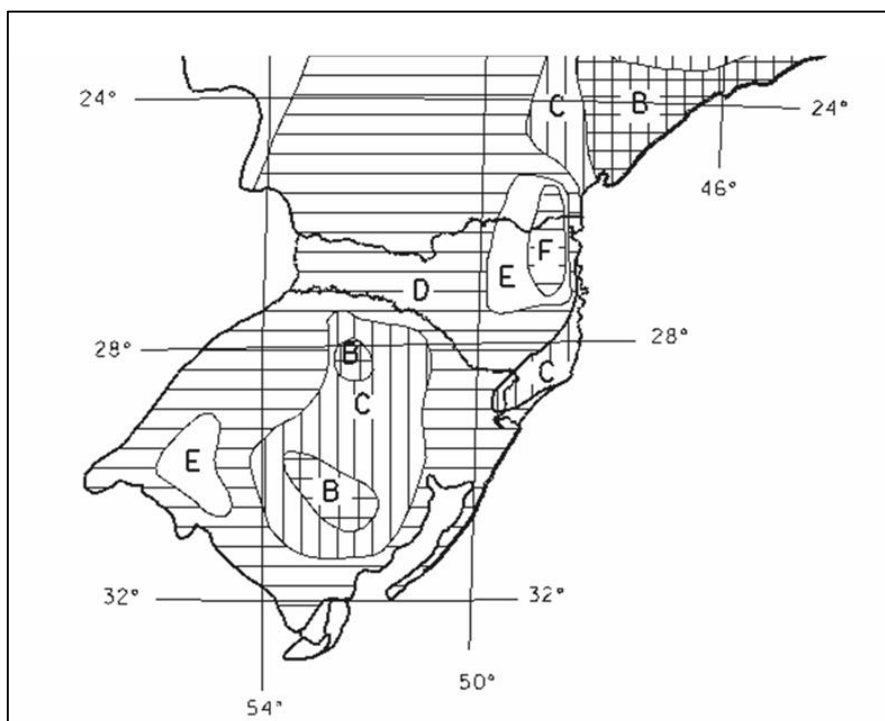


Figura 6 - Mapa do sul do Brasil com isozonas segundo Taborga.

Zona	TEMPO DE RECORRÊNCIA					
	10		25		100	
	1,0 hora	0,1 hora	1 hora	0,1 hora	1 hora	0,1 hora
A	35,8%	7,0%	35,4%	7,0%	34,7%	6,3%
B	37,8%	8,4%	37,3%	8,4%	36,6%	7,5%
C	39,7%	9,8%	39,2%	9,8%	38,4%	8,8%
D	41,6%	11,2%	41,1%	11,2%	40,3%	10,0%
E	43,6%	12,6%	43,0%	12,6%	42,2%	11,2%
F	45,5%	13,9%	44,9%	13,9%	44,1%	12,4%
G	47,4%	15,4%	46,8%	15,4%	45,9%	13,7%
H	49,4%	16,7%	48,8%	16,7%	47,8%	14,9%

Tabela 2- Relação entre precipitações máximas diárias e precipitação horária - Taborga

O produto desta etapa é a determinação da Intensidade da chuva definida pela razão entre a altura pluviométrica de projeto e a duração correspondente.

$$H = (t, T)$$

$$I = (t, T)$$

Onde:

H = altura de precipitação (mm);
 t = tempo de duração da chuva (hora);
 T = tempo de recorrência (anos); e
 I = intensidade de precipitação (mm/h).

Por fim, os valores de intensidade, duração e frequência são sintetizados em uma equação empírica do tipo Sherman, cujos parâmetros são ajustados por meio de regressão linear múltipla ou não linear, conforme o comportamento dos dados analisados.

$$i = \frac{k TR^a}{(b + t)^c}$$

Onde:

i = intensidade de precipitação (mm/h);
TR = Tempo de Retorno; e
 K, a, b, c = parâmetros locais.

Para a verificação do evento crítico ocorrido no Rio Grande do Sul em 2023 e 2024, foram analisados os dados telemétricos de estações fluviométricas localizadas na área de estudo e em regiões adjacentes. As análises abrangeram os períodos de 15 de agosto a 15 de outubro de 2023 e de 15 de abril a 15 de junho de 2024, considerando os registros das vazões máximas observadas.

A partir desses dados, foi obtida a série histórica de vazões do posto fluviométrico selecionado, a qual foi submetida ao tratamento estatístico pela Distribuição de Gumbel, com o objetivo de determinar o período de retorno associado ao evento de cheia observado.

$$X_{TR} = 0,7797 Y_{TR} \sigma + \bar{x} - 0,45 \sigma$$
$$Y_{TR} = -\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right)$$

Onde:

X_{TR} = vazão máxima (m³/s);
 $\bar{x}$ = média aritmética das chuvas máximas anuais;
 Y_{TR} = variável do método de Gumbel;
 σ = desvio padrão da amostra; e
TR = Tempo de Retorno (anos).

4.4 MÉTODO CHUVA-VAZÃO: RACIONAL E RACIONAL MODIFICADO

De acordo com as diretrizes do Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem IPR – 715 (DNIT, 2005), o método Racional aplica-se para bacias pequenas com áreas de até 1 km². Para

as descargas de projeto com áreas entre 1 e 10 km² devem ser determinadas pelo Método Racional Modificado.

O Método Racional considera a relação direta entre a chuva de projeto e a vazão de escoamento superficial, sendo o método modificado incorporando fatores de correção que representam o tempo de concentração e a distribuição temporal da precipitação ao longo do evento chuvoso. A principal diferença em relação ao método tradicional é a possibilidade de ajuste da intensidade de chuva ao tempo de concentração efetivo, proporcionando uma estimativa mais realista da vazão de pico em condições não uniformes de chuva e escoamento.

Método Racional:

$$Q = \frac{C * i * A}{3,6}$$

Onde:

Q = Vazão de dimensionamento em cada seção estudada (m³/s);

C = Coeficiente de deflúvio; i = intensidade da chuva crítica (mm/h); e

A = Área de contribuição (km²).

Método Racional Modificado:

$$Q = \frac{C * i * A}{3,6} * n$$

Onde:

Q = Vazão de dimensionamento em cada seção estudada (m³/s);

C = Coeficiente de deflúvio; i = Intensidade da chuva crítica (mm/h); e

A = Área de contribuição (km²); e n = Coeficiente de Distribuição.

Em que o coeficiente de distribuição possui a finalidade de corrigir a precipitação pontual para precipitação uniformemente distribuída pela área.

$$n = A^{-0,1}$$

Onde:

n = Coeficiente de distribuição; e A = Área de contribuição (km²).

O coeficiente de deflúvio (runoff) representa a fração da precipitação total que se transforma em escoamento superficial, sendo influenciado por características físicas e antrópicas da bacia hidrográfica, como tipo de solo, declividade, cobertura vegetal e uso do solo. Neste estudo, a determinação do coeficiente de deflúvio foi realizada de forma ponderada, considerando a proporção

das classes de uso e ocupação do solo identificadas na bacia por meio do mapeamento fornecido pelo MapBiomas. O MapBiomas é uma iniciativa colaborativa que mapeia e monitora o uso e a cobertura da terra no Brasil ao longo do tempo, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e classificação automática de imagens de satélite.

$$C = \frac{\sum [(Ci \cdot Ai) + (Cj \cdot Aj)]}{A}$$

Sendo:

C = coeficiente de escoamento superficial ponderado;

C_i, C_j = coeficiente de escoamento superficial;

A_i, A_j = Área com determinado o uso (m^2); A = Área Total (m^2).

Os valores de coeficiente de deflúvio (C) adotados neste estudo seguiram as recomendações do Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem – IPR-715 (DNIT, 2005) e da obra Hidrologia: Ciência e Aplicação (TUCCI, 2020). Considerou-se que, no comportamento natural da bacia hidrográfica, o coeficiente de escoamento tende a variar em função do tempo de retorno e da magnitude do evento de cheia, uma vez que o aumento da intensidade da chuva reduz a influência das perdas por infiltração e armazenamento superficial. Dessa forma, o coeficiente de deflúvio foi ajustado por meio de um fator multiplicador, de modo a representar adequadamente o acréscimo da eficiência de escoamento em eventos mais intensos.

DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DAS BACIAS TRIBUTÁRIAS	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO "C"
Comércio:	
Áreas Centrais	0,70 a 0,95
Áreas da periferia do centro	0,50 a 0,70
Residencial:	
Áreas de uma única família	0,30 a 0,50
Multi-unidades, isoladas	0,40 a 0,60
Multi-unidades, ligadas	0,60 a 0,75
Residencial (suburbana)	0,25 a 0,40
Área de apartamentos	0,50 a 0,70
Industrial:	
Áreas leves	0,50 a 0,80
Áreas densas	0,60 a 0,90
Parques, cemitérios	0,10 a 0,25
Playgrounds	0,20 a 0,35
Pátio e espaço de serviços de estrada de ferro	0,20 a 0,40
Terrenos baldios	0,10 a 0,30

TIPO DE SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO "c"
Ruas:	
Asfalto	0,70 a 0,95
Concreto	0,80 a 0,95
Tijolos	0,70 a 0,85
Trajeto de acesso a calçadas	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
Gramados; solos arenosos:	
Plano, 2%	0,05 a 0,10
Médio, 2 a 7%	0,10 a 0,15
Íngreme, 7%	0,15 a 0,20
Gramados; solo compacto:	
Plano, 2%	0,13 a 0,17
Médio, 2 a 7%	0,18 a 0,22
Íngreme, 7%	0,15 a 0,35

Tabela 3 - Valores de C

Fonte: Manual de Hidrologia Básica para estruturas de Drenagem (DNIT, 2005)

Tempo de Retorno (anos)	Cf
2 a 10	1,00
25	1,10
50	1,20
100	1,25

Tabela 4- Fator de correção de C

Fonte: Hidrologia: Ciência e Aplicação (TUCCI, 2020)

4.5 MÉTODO CHUVA-VAZÃO HIDROGRAMA: UNITÁRIO SINTÉTICO

As recomendações do Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem IPR – 715 (DNIT, 2005), estabelecem que, para bacias intermediárias com áreas superiores a 10 km², as descargas de projeto devem ser determinadas pelo Método do Hidrograma Unitário Triangular. Esse método considera que o escoamento superficial se inicia somente após a ocorrência de uma abstração inicial, e que a razão entre a precipitação retida e a retenção potencial máxima é proporcional à razão entre o escoamento direto e a precipitação disponível. Para estimar a precipitação efetiva, utiliza-se o conceito do *Curve Number* (CN), parâmetro empírico que incorpora as características do tipo e grupo hidrológico do solo, da cobertura e uso do solo, bem como da condição de umidade antecedente.

Distribuição temporal da chuva - HUFF

Proposto por Huff (1967), o método organiza as chuvas observadas em uma série histórica conforme a fração acumulada da duração do evento, classificando-as em quartis (primeiro, segundo, terceiro e quarto quartil) de acordo com o momento em que ocorre a maior intensidade de precipitação. Cada quartil representa um padrão típico de distribuição, em que, por exemplo, o primeiro quartil indica eventos com picos de intensidade no início da chuva e o quarto quartil aqueles com picos no final.

Distribuição de HUFF				
%Tempo	1° Quartil	2° Quartil	3° Quartil	4° Quartil
0	0	0	0	0
0,05	0,16	0,03	0,03	0,02
0,1	0,33	0,08	0,06	0,05
0,15	0,43	0,12	0,09	0,08
0,2	0,52	0,16	0,12	0,1
0,25	0,6	0,22	0,15	0,13
0,3	0,66	0,29	0,19	0,16
0,35	0,71	0,39	0,23	0,19
0,4	0,75	0,51	0,27	0,22
0,45	0,79	0,62	0,32	0,25
0,5	0,82	0,7	0,38	0,28
0,55	0,84	0,76	0,45	0,32
0,6	0,86	0,81	0,57	0,35
0,65	0,88	0,85	0,7	0,39
0,7	0,9	0,88	0,79	0,45
0,75	0,92	0,91	0,85	0,51
0,8	0,94	0,93	0,89	0,59
0,85	0,96	0,95	0,92	0,72
0,9	0,97	0,97	0,95	0,84
0,95	0,98	0,99	0,97	0,92
1	1	1	1	1

Tabela 5- Distribuição HUFF

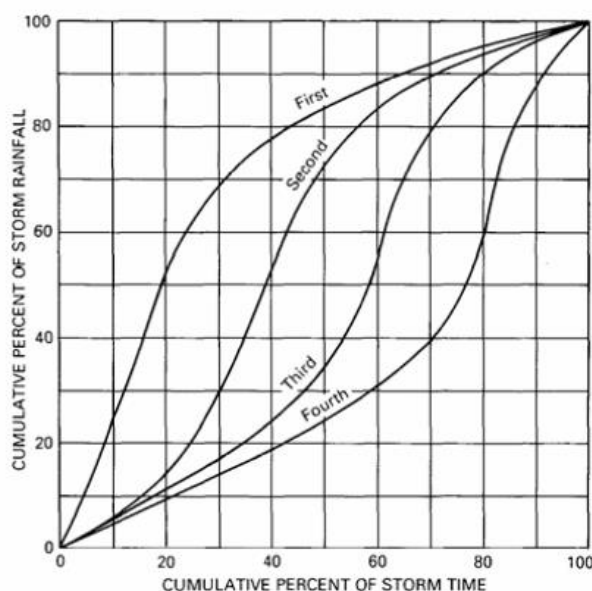


Figura 7 - Fator de correção de C

Fonte: Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois (HUFF, 1990)

Tempo de resposta da bacia

Tempo de atraso da onda ou o tempo de recessão fluvial (“Lag Time”) definido pelo tempo entre o centro da chuva unitária e o pico do Hidrograma unitário, sendo para condições médias de bacias hidrográficas e deflúvios com distribuição aproximadamente uniforme sobre a área:

$$T_L = 0,6 \cdot T_C$$

Onde:

T_L = tempo de resposta (h); e

T_C = tempo de concentração da bacia (h).

Duração da precipitação excedente (Duração unitária)

A duração unitária deve ser inteira múltipla de 5 minutos ou de 7,5 minutos mais próxima do quinto do tempo de ponta TP para uniformidade dos resultados do tempo de concentração TC. A duração unitária máxima deverá ser obtida por:

$$D_{U\text{ MÁX}} = \frac{T_C}{5}$$

Onde:

D_U = duração unitária máxima a ser adotada (h); e

T_C = tempo de concentração da bacia (h).

Tempo de ocorrência de pico

É o intervalo entre o início do escoamento superficial e o momento em que a vazão atinge seu valor máximo. Ele reflete o tempo necessário para que a contribuição de toda a bacia chegue à seção de controle, influenciado pelo tempo de concentração e pelo atraso entre a chuva efetiva e o escoamento.

$$T_P = \frac{D_u}{2} + T_L$$

Onde:

D = duração unitária (h);

T_L = tempo de resposta (h); e

T_p = tempo de pico (h).

Tempo de base

Duração total do Hidrograma unitário, desde o início do escoamento superficial até seu retorno a zero. Representa o período em que a vazão gerada pelo evento de chuva ainda está escoando, englobando tanto a fase de aumento até o pico quanto a recessão.

$$T_B = \frac{8 \cdot T_p}{3}$$

Onde:

T_B = tempo de base (h); e

T_p = tempo de pico (h).

Precipitação total (P)

Corresponde à altura total da chuva precipitada durante o evento.

$$P = i \cdot T_c$$

Onde:

P = precipitação total (mm);

i = intensidade de precipitação (mm/h); e

T_c = tempo de concentração (h).

Descarga máxima

É a vazão de pico associada ao Hidrograma unitário triangular, calculada por:

$$Q_p = \frac{A_R}{0,03 T_B}$$

Onde:

Q_p = descarga máxima [m³/s.mm]

A_R = área da bacia [km²]

T_B = tempo de base (min)

Curve Number (CN)

Parâmetro que expressa a capacidade de infiltração de uma bacia hidrográfica. Seus valores variam de 30 (alta infiltração) a 100 (superfície impermeável), sendo definidos conforme o tipo e grupo hidrológico do solo, o uso e cobertura da terra e a condição de umidade antecedente. Os dados classicamente utilizados como referência seguem o descrito em *Handbook of Applied Hydrology* (Chow, 1963) e no *Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem* (DNIT, 2005). Neste estudo, foi utilizado o índice Curva Número na Base Ottocodificada (ANA, 2022).

As condições de umidade antecedente do solo podem ser classificadas em três níveis. Na Condição I, o solo é considerado seco, caracterizando-se por chuvas acumuladas nos últimos cinco dias inferiores a 15 mm. A Condição II representa uma situação média típica da época das cheias, com precipitação acumulada entre 15 e 40 mm nos cinco dias anteriores. Já a Condição III corresponde a solo úmido, próximo da saturação, quando o volume de chuva nos últimos cinco dias supera 40 mm e as condições meteorológicas são desfavoráveis a elevadas taxas de evaporação.

Table 45.4 Runoff Curve Numbers for Selected Land Uses and Antecedent Moisture Class II				
Land use description	Hydrologic soil group			
	A	B	C	D
Cultivated land:				
without conservation treatment	72	81	88	91
with conservation treatment	62	71	78	81
Pasture or range land:				
poor condition	68	79	86	89
good condition	39	61	74	80
Meadow: good condition	30	58	71	78
Wood or forest land:				
thin stand, poor cover, no mulch	45	66	77	83
good cover	25	55	70	77
Open spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.				
good condition: grass cover on 75% or more of the area	39	61	74	80
fair condition: grass cover on 50–75% of the area	49	69	79	84
Commercial and business areas (85% impervious)	89	92	94	95
Industrial districts (72% impervious)	81	88	91	93
Residential (average impervious)				
65%	77	85	90	92
38%	61	75	83	87
30%	57	72	81	86
25%	54	70	80	85
20%	51	68	79	84
Paved parking lots, roofs, driveways, etc.	98	98	98	98
Streets and roads				
paved with curbs and storm sewers	98	98	98	98
gravel	76	85	89	91
dirt	72	82	87	89
Legend: Group A—Deep sand, deep loess, aggregated silts Group B—Shallow loess, sandy loam Group C—Clay loams, shallow sandy loam, soils low in organic content, soils usually high in clay Group D—Soils that swell significantly when wet, heavy plastic clays, certain saline soils [Sources: Soil Conservation Service, 1972; Chow et al., 1988]				

Figura 8- Cuper number

Fonte: *Handbook of Applied Hydrology* (Chow, 1963)

Solo - Cobertura Vegetal					
Para Condição de Umidade Antecedente II (Média) E $I_a = 0,2s$					
Cobertura Vegetal	Condição de Retenção Superficial	Grupo Hidrológico do Solo			
		A	B	C	D
Terreno não Cultivado com Pouca Vegetação	Pobre	77	86	91	94
Terreno Cultivado	Pobre	72	81	88	91
	Boa	51	67	76	80
Pasto	Pobre	68	79	86	89
	Boa	39	61	74	80
Mata ou Bosque	Pobre	45	66	77	83
	Boa	25	55	70	77
Área Urbana	Pobre	74	80	87	90
	Boa	70	76	83	86

Figura 9- Cuver number

Fonte: Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem (DNIT, 2005)

Infiltração potencial máxima /Parâmetro de armazenamento (S)

O parâmetro S depende da relação solo-vegetação-uso da terra e das condições de umidade do solo antecedentes da bacia. Para cada relação, S tem um limite superior e um limite inferior e é expresso em termos de número de curva (CN).

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Onde:

S = infiltração potencial máxima (mm); e

CN = curve number.

Infiltração inicial (I_a)

Representa a quantidade de chuva que se perde no início de um evento de precipitação antes que o escoamento superficial comece. Essas perdas incluem a interceptação pela vegetação, o preenchimento de depressões no terreno e a infiltração inicial na camada mais superficial e seca do solo.

$$I_a = 0,20.S$$

Onde:

I_a = infiltração inicial (mm); e

S = infiltração potencial máxima (mm).

Precipitação excedente acumulado (P_e)

Porção da chuva total que sobra depois que essas perdas iniciais e a infiltração contínua são subtraídas, resultando no volume de água que escoar pela superfície da bacia.

$$P_e = \frac{(P - 0,2 S)^2}{(P + 0,8 S)}$$

Onde:

P_e = precipitação excedente (mm);

P = precipitação total (mm); e

S = infiltração potencial máxima (mm).

Hidrograma De Projeto

Após a obtenção da precipitação excedente, constrói-se o Hidrograma Triangular. A partir dele, aplicando o princípio da linearidade e superposição, obtém-se o Hidrograma Total de projeto por blocos sucessivos de chuva excedente.

4.6 VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA

As verificações hidráulicas realizadas neste estudo seguiram as diretrizes estabelecidas pelo Manual de Drenagem de Rodovias IP-724 (DNIT, 2006), bem como os fundamentos teóricos descritos em Introdução à Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais (Gribbin, 2016), Manual de Hidráulica (Azevedo Netto, 2016) e Hidráulica Básica (Porto, 2006). Esses referenciais foram adotados como base para a definição dos parâmetros, métodos de cálculo e critérios de análise empregados nas verificações das estruturas hidráulicas, descrita a seguir.

A avaliação hidráulica dos trechos e estruturas foi realizada por meio da Equação da Continuidade e da Equação de Manning. A Equação de Manning foi aplicada para a determinação das velocidades e vazões, considerando a condição de escoamento livre, como canal.

$$Q = A \cdot v$$

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_h^{2/3} \cdot I_0^{2/3}$$

Onde:

Q = vazão (m³/s);

n = coeficiente de Manning;

A = área molhada (m²);

v = velocidade média (m/s);

R_h = raio hidráulico (m); e

I_0 = declividade (m/m).

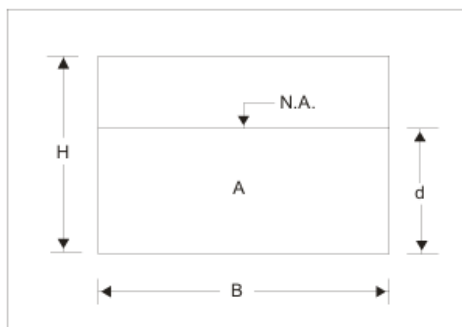
A seguir são apresentados coeficientes de rugosidade Manning a serem utilizados no estudo.

Tipo	Intervalo de n
CANAIS COM REVESTIMENTO	
Pouco lisas	0,017 – 0,019
Alisado	0,010 – 0,013
Parede rugosa	0,019 – 0,021
Paredes de terra com vegetação	0,028 – 0,32
RIOS	
Limpos e retilíneos	0,025 – 0,033
Limpos e retilíneos com vegetação	0,030 – 0,040
Com meandros, vegetação e pedras	0,033 – 0,060
Com área de inundação e vegetação	0,075 – 0,150

Tabela 6- Coeficientes rugosidade

Fonte: Hidrologia: Ciência e Aplicação (TUCCI, 2020)

As grandezas hidráulicas de seções retangulares são descritas por:



onde:

H = altura da seção do bueiro;

B = base da seção;

d = tirante;

A = área molhada do fluxo;

Pela figura, tem-se que:

- área molhada: $A = Bd$
- perímetro molhado: $P = B + 2d$
- raio hidráulico: $R = \frac{A}{P} = \frac{Bd}{B + 2d}$
- profundidade hidráulica: $h = \frac{A}{T} = d$

Figura 10- Grandezas Hidráulicas - retangular

Fonte: Manual de Drenagem de Rodovias (DNIT, 2006)

A Linha Específica de Energia foi utilizada como parâmetro na análise do escoamento. Representa a energia total por unidade de peso do fluido em um ponto do conduto ou canal, sendo composta pela soma das cargas de posição, de pressão e de velocidade. Sua verificação permite avaliar as perdas de carga distribuídas e localizadas, identificar variações de energia entre seções e compreender o comportamento do fluxo em situações críticas, como contrações, expansões, quedas e transições hidráulicas.

$$E = h + \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Onde:

E = energia específica (m);

h = lâmina d'água (m);

v = velocidade d'água (m/s); e

g = aceleração da gravidade (m/s²).

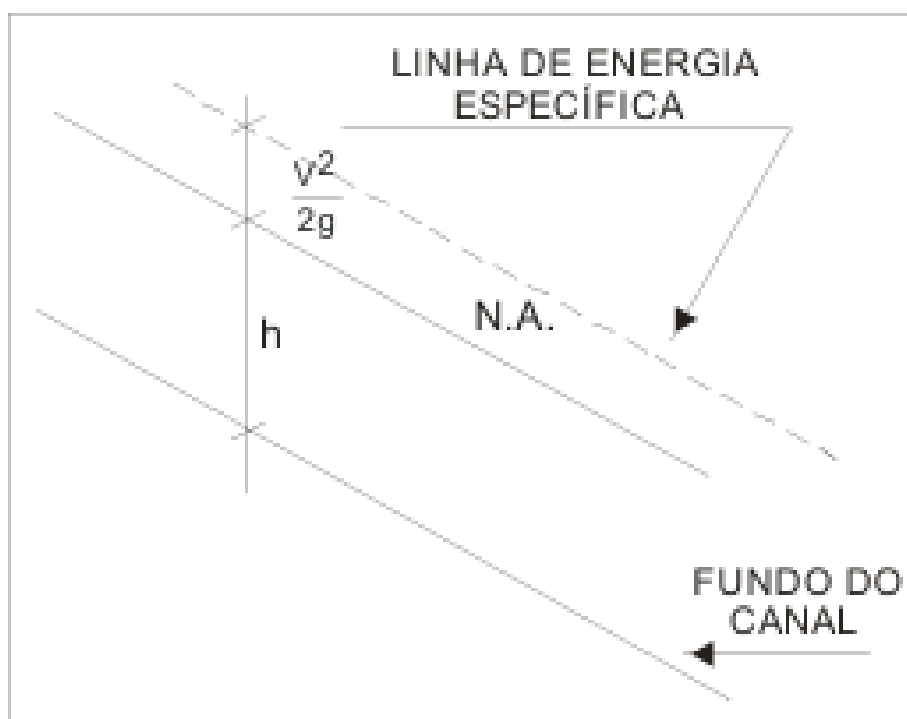


Figura 11- Linha de energia específica

Fonte: Manual de Drenagem de Rodovias (DNIT, 2006)

Nas verificações de pontes em regime livre, estas foram tratadas como canais, sendo a Equação de Manning aplicada para representar o comportamento do escoamento.

COBERTURA SUPERFICIAL	Velocidade máxima m/s
Gramma comum firmemente implantada	1,50 – 1,80
Tufos de grama com solo exposto	0,60 – 1,20
Argila	0,80 – 1,30
Argila coloidal	1,30 – 1,80
Lodo	0,35 – 0,85
Areia fina	0,30 – 0,40
Areia média	0,35 – 0,45
Cascalho fino	0,50 – 0,80
Silte	0,70 – 1,20
Alvenaria de tijolos	2,50
Concreto de cimento portland	4,50
Aglomerados consistentes	2,00
Revestimento betuminoso	3,00 – 4,00

Figura 12- Velocidades admissíveis

Fonte: Manual de Drenagem de Rodovias (DNIT, 2006)

5. ESTUDO HIDROLÓGICO

5.1 BACIAS DE DRENAGEM

As bacias de drenagem foram delimitadas considerando a topografia e o divisor de águas, de forma a englobar a chuva que incide sobre a bacia de drenagem contribua até o exutório. Considerando o Modelo Digital de Elevação ALOS WORLD 3D Ellipsoidal, com resolução espacial de 30 metros, processado por meio do software HEC-HMS 4.12. A delimitação final da bacia foi realizada considerando as Cartas Topográficas na escala 1:50.000 do Banco de Dados Geográficos do Exército.

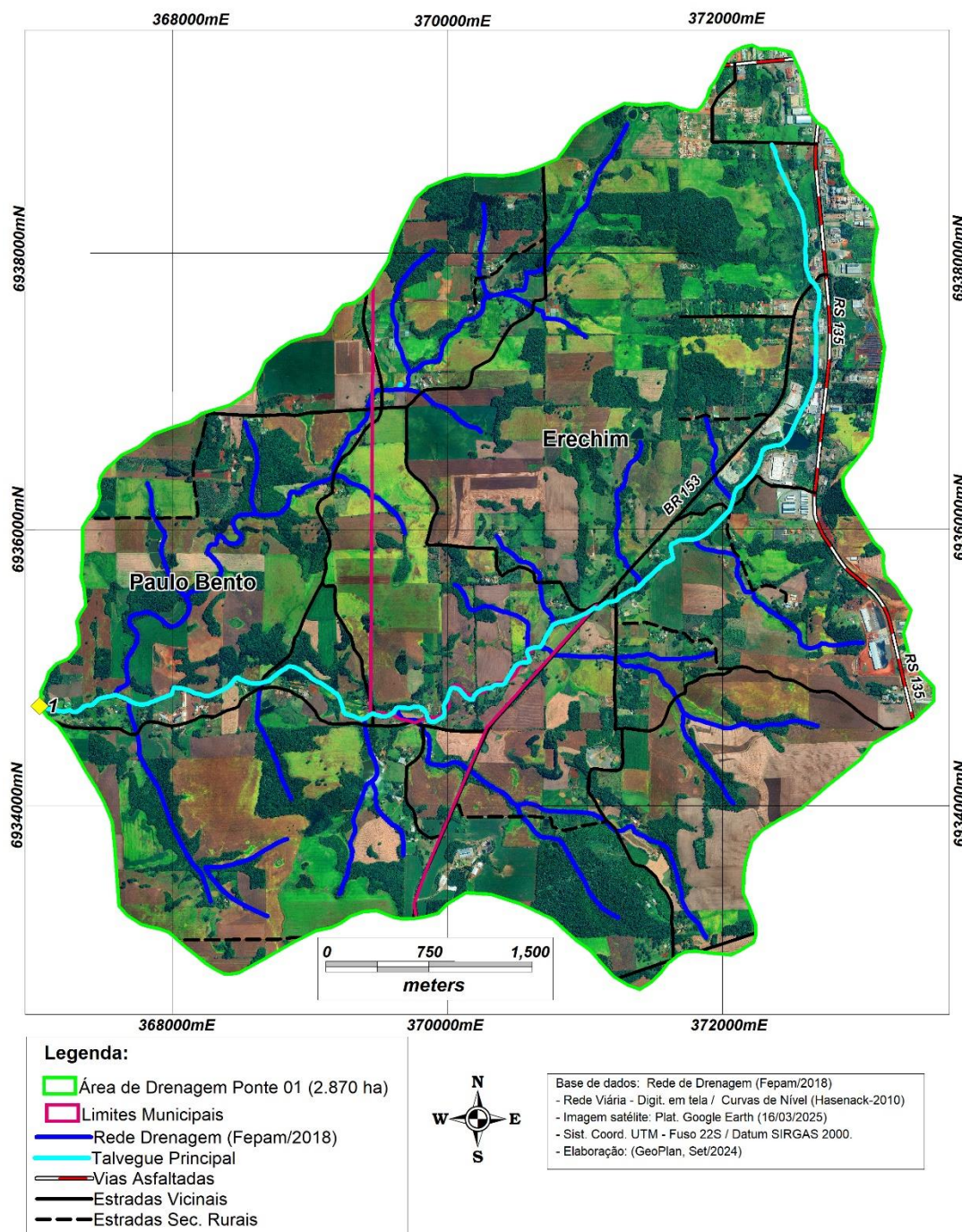


Figura 13 - Mapa da Bacia de Contribuição da Ponte 1 (P1) – Afl. Rio Henrique, Paulo Bento-RS.

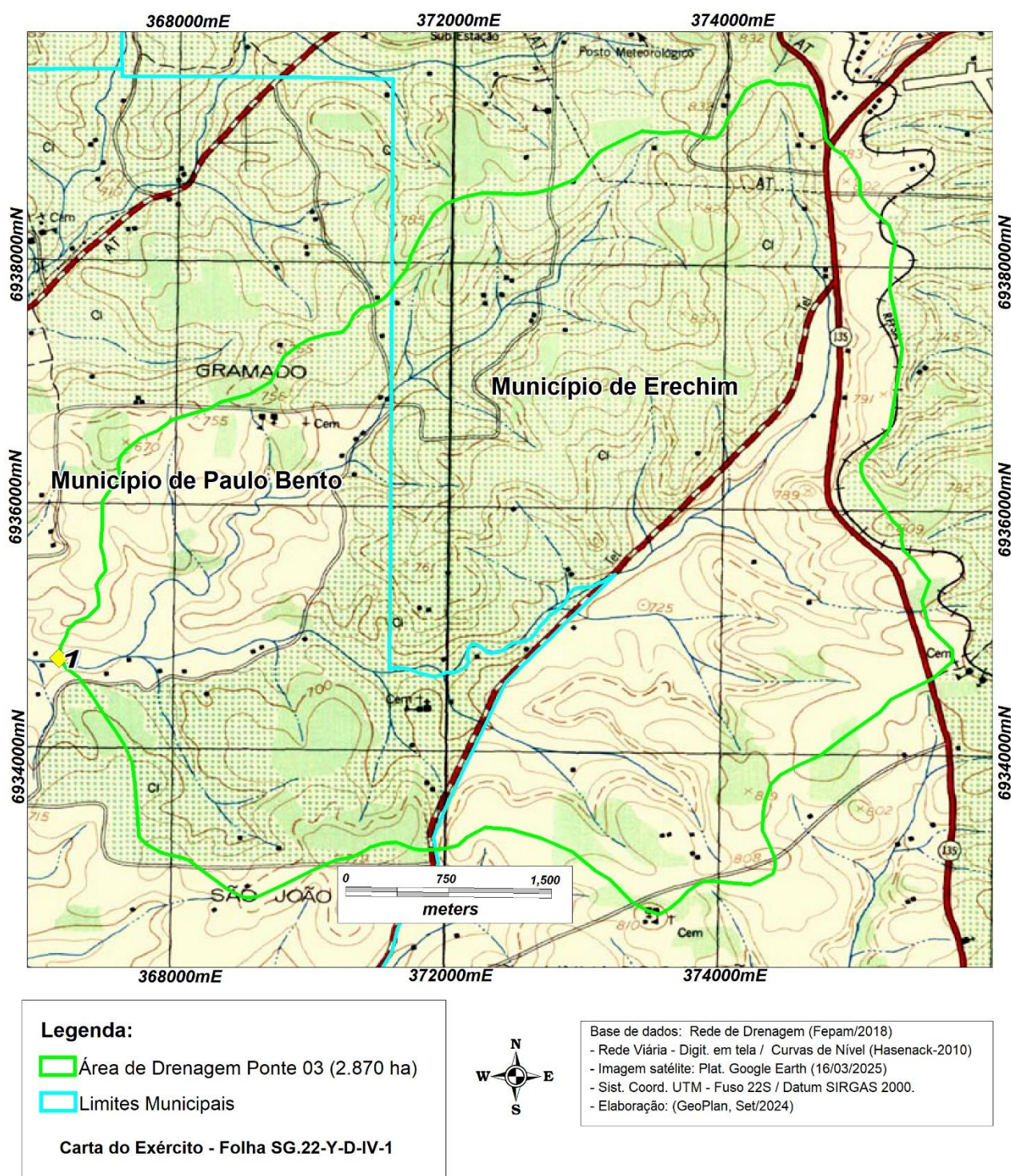


Figura 14 – Carta Topográfica da Bacia Ponte 1 (P1) – Afl. Rio Henrique, Paulo Bento-RS.

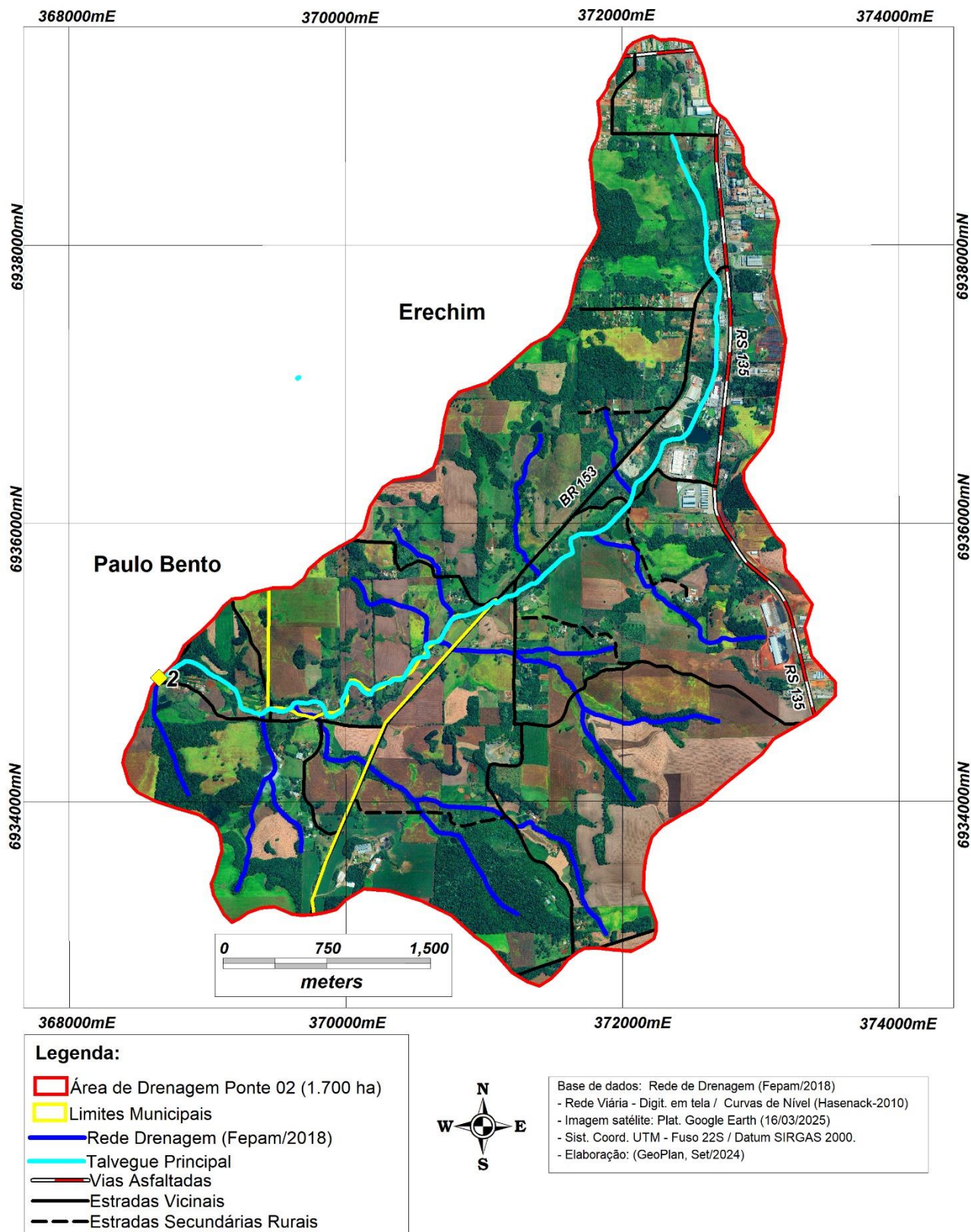


Figura 15 - Mapa da Bacia de Contribuição da Ponte 2 (P2) – Afl. Rio Henrique, Paulo Bento-RS.

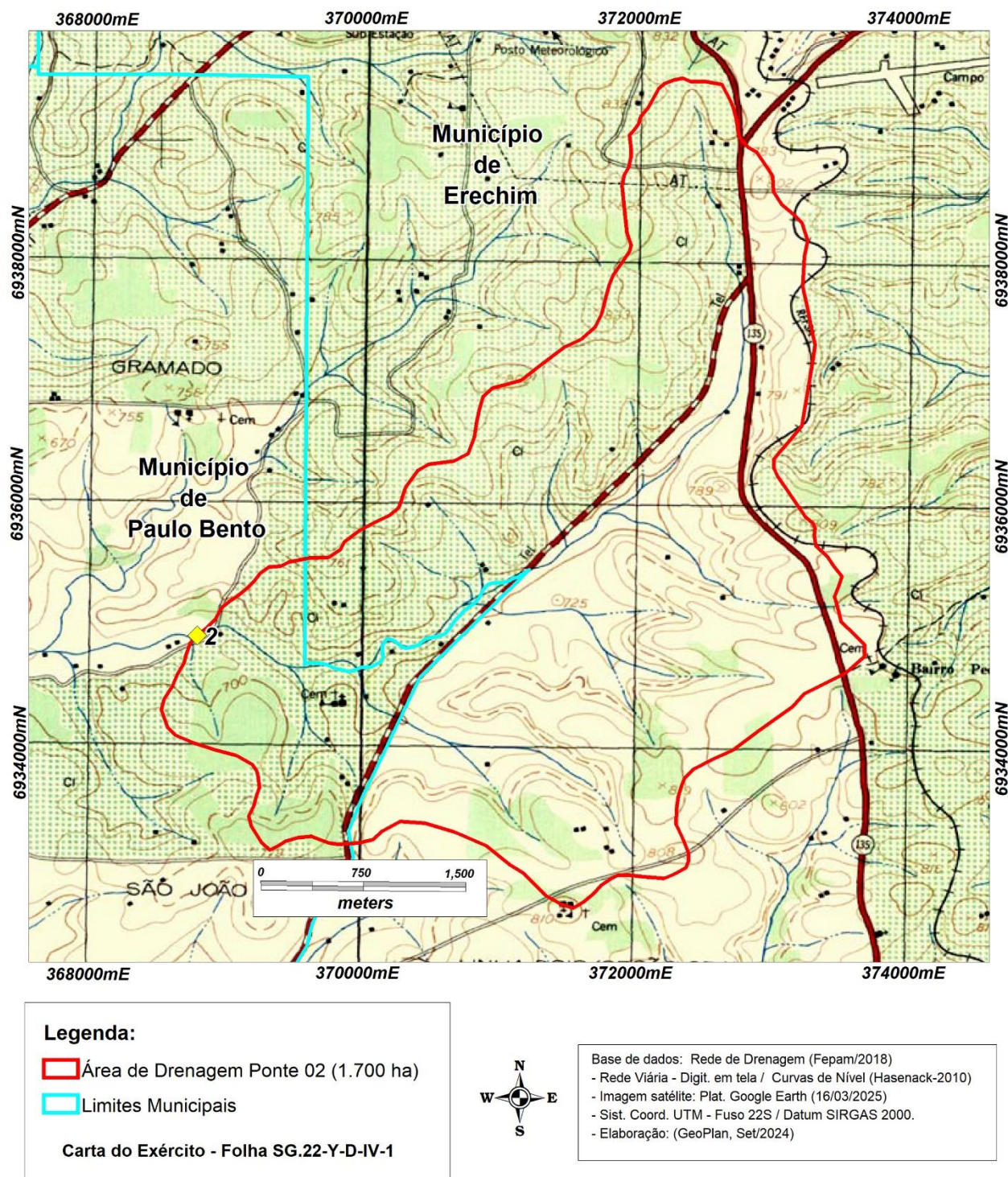


Figura 16 – Carta Topográfica da Bacia Ponte 2 (P2) – Afl. Rio Henrique, Paulo Bento-RS.

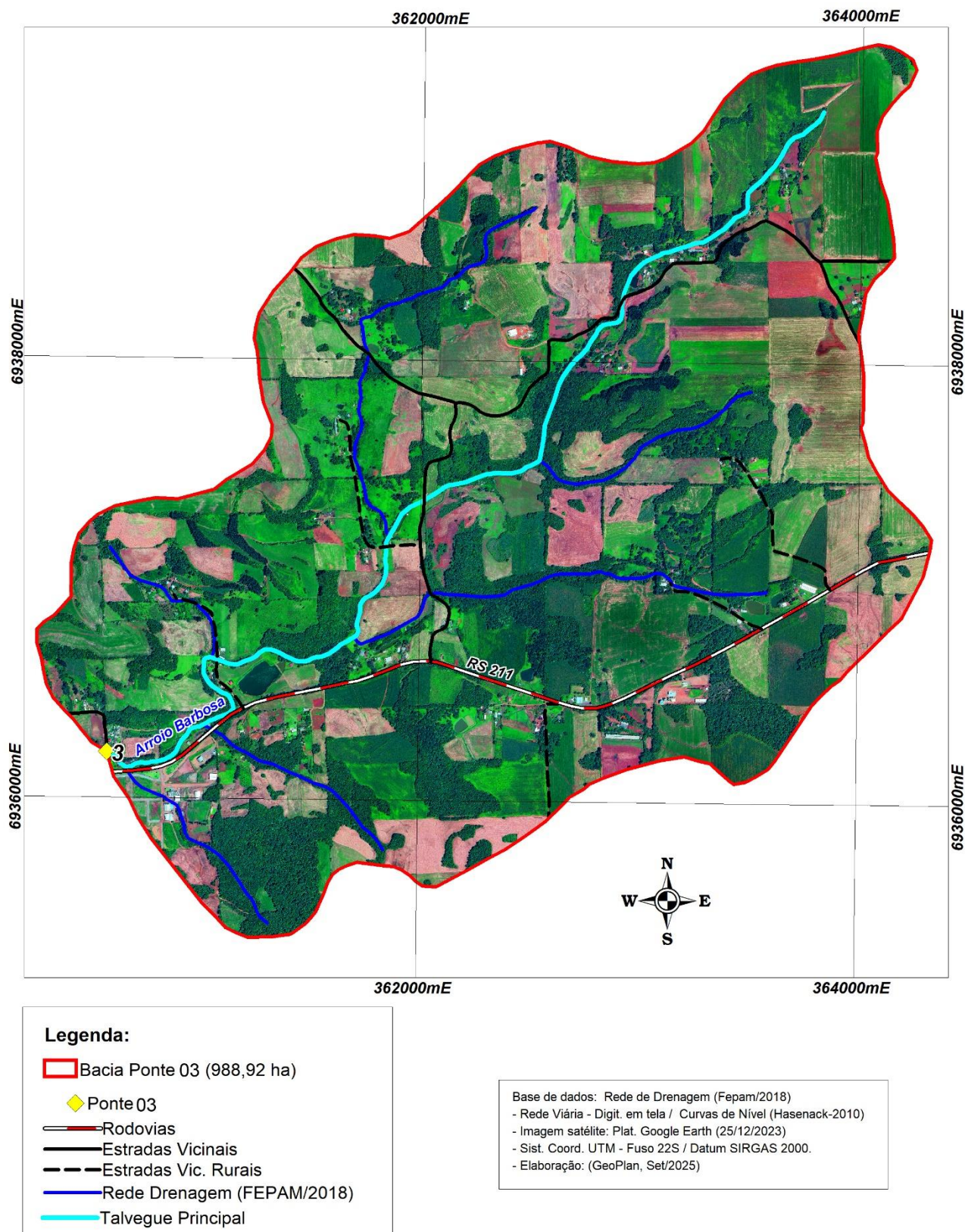


Figura 17 - Mapa da Bacia de Contribuição da Ponte 3 (P3) – Arroio Barbosa, Paulo Bento-RS.

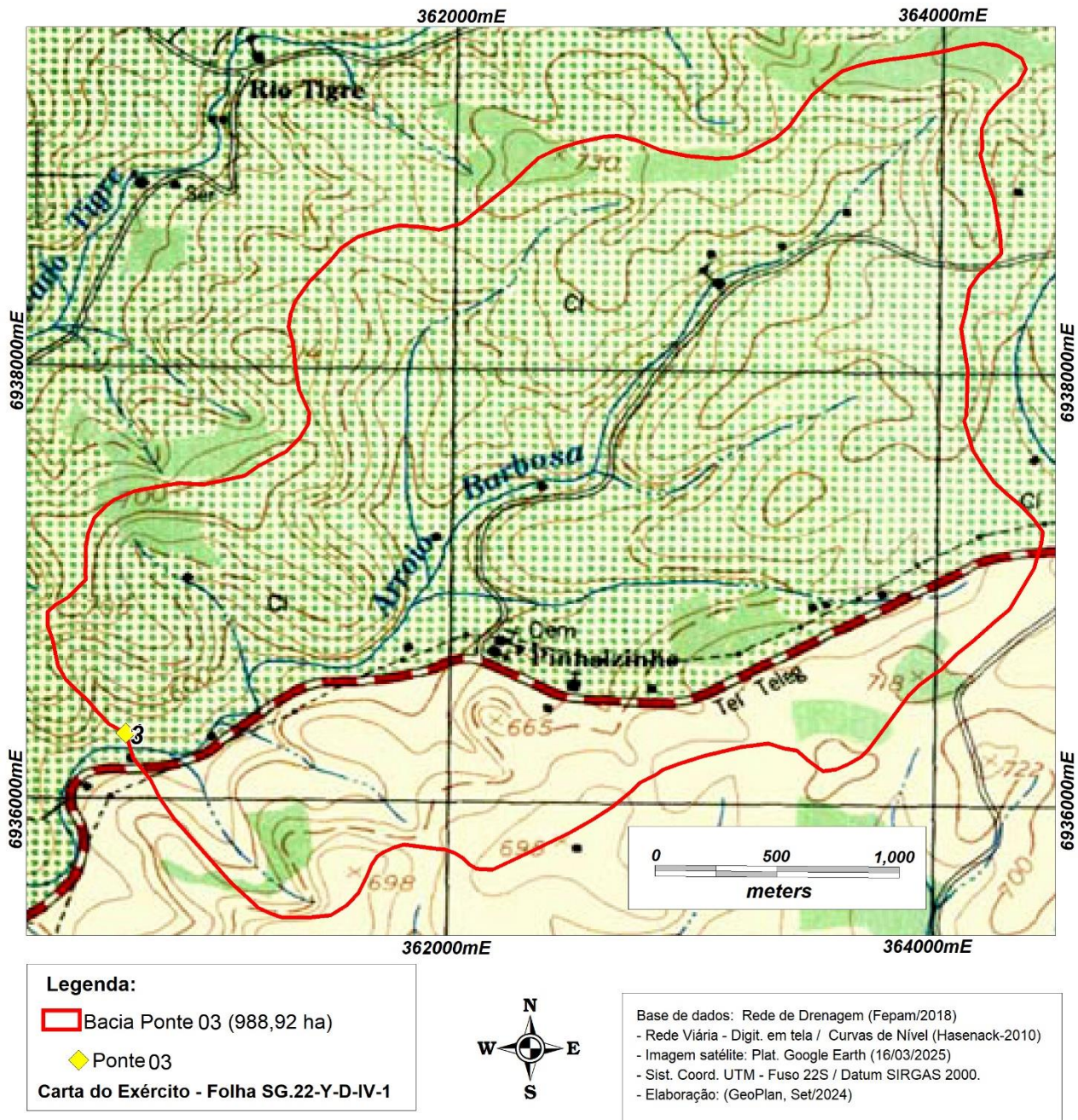


Figura 18 – Carta Topográfica da Bacia Ponte 3 (P3) – Arroio Barbosa, Paulo Bento-RS.

Estrutura hidráulica	Bacia de Drenagem	Área de drenagem (km ²)	Método Chuva-Vazão
Ponte 1	SB-1	28,647	Hidrograma Triangular SCS
Ponte 2	SB-2	16,971	Hidrograma Triangular SCS
Ponte 3	SB-3	9,870	Racional Modificado

Tabela 7- Dados das bacias de contribuição

5.2 INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DE CHUVAS

O município de Paulo Bento não apresenta a Estação Pluviométrica. Assim, foram avaliadas as estações mais próximas da região de estudo. Foram obtidos os dados pluviométricos da Estação 275011 – Quatro Irmãos, com período de observação compreendido entre 1959 e 1987. As séries anuais que apresentaram mais de duas falhas mensais foram excluídas da análise histórica temporal.

O histograma de frequência anual foi elaborado considerando o período válido de 21 anos de registros consistidos, representando de forma adequada o comportamento histórico das precipitações na localidade.

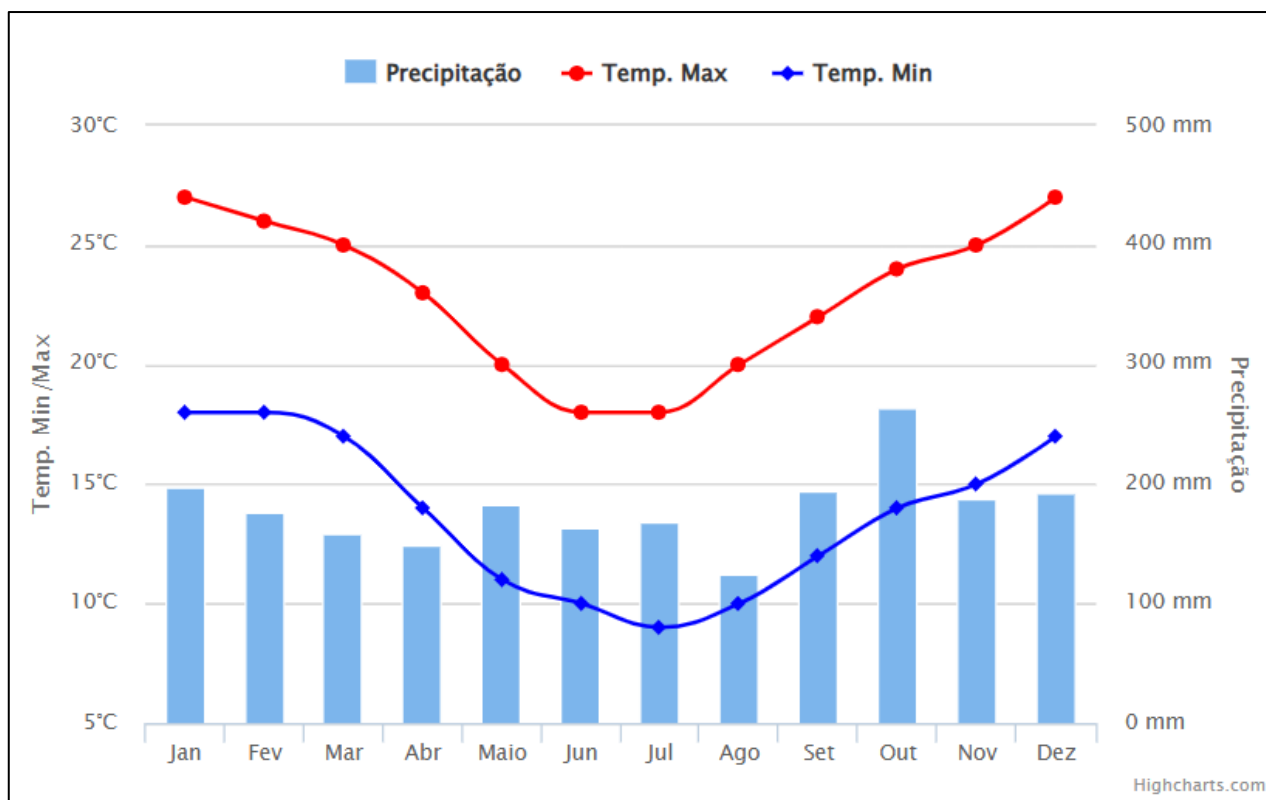


Figura 19 – Dados históricos de clima para Quatro Irmãos.

Fonte: Climatempo (2025)

Mês	Mínima (°C)	Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	18°	27°	198
Fevereiro	18°	26°	177
Março	17°	25°	159
Abril	14°	23°	149
Maio	11°	20°	183
Junho	10°	18°	163
Julho	9°	18°	169
Agosto	10°	20°	124
Setembro	12°	22°	194
Outubro	14°	24°	263
Novembro	15°	25°	188
Dezembro	17°	27°	192

Tabela 8 – Dados históricos de clima para Quatro Irmãos.

Fonte: Climatempo (2025)

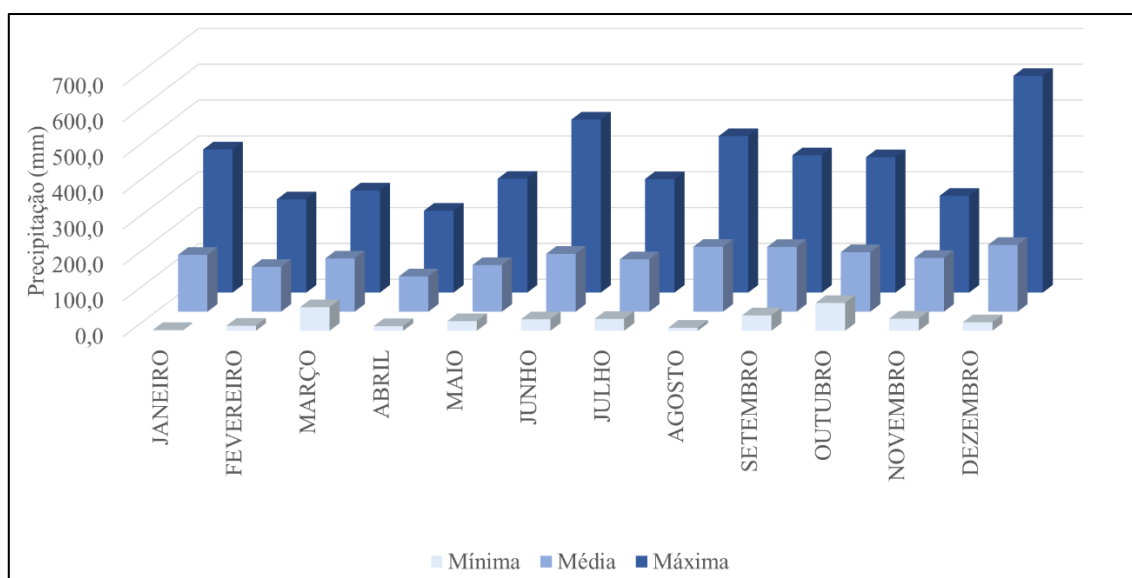


Figura 20 – Histograma para Quatro Irmãos.

PRECIPITAÇÃO MENSAL (DADOS EM mm) - POSTO PLUVIOMÉTRICO DE QUATRO IRMÃOS													
ANO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	MÁXIMA MENSAL
1961	219,40	132,00	269,00	110,60	128,00	124,40	96,00	90,00	293,00	206,40	118,40	125,60	293,00
1962	112,80	73,00	142,00	68,20	273,00	32,20	111,60	64,80	139,80	109,40	112,60	24,00	273,00
1963	284,40	56,00	236,80	29,20	117,60	113,00	118,00	105,40	238,60	205,20	260,00	126,20	284,40
1964	52,00	42,60	83,80	218,00	37,20	54,00	113,80	111,80	141,80	109,00	44,60	77,40	218,00
1965	45,60	133,40	129,40	228,60	97,70	49,40	136,60	422,10	314,70	151,80	103,60	247,40	422,10
1966	211,80	238,00	120,40	27,70	41,40	482,80	316,90	436,70	307,90	331,40	45,00	222,60	482,80
1967	128,90	75,40	195,30	48,50	88,20	45,80	204,20	331,50	186,60	192,90	159,20	112,30	331,50
1968	128,20	143,60	165,50	111,80	26,90	94,20	107,50	8,60	195,10	137,80	142,10	174,90	195,10
1969	145,90	197,00	143,10	79,60	172,80	107,80	66,60	115,80	113,60	94,60	268,00	156,00	268,00
1970	117,80	124,60	161,10	89,60	237,60	346,60	216,60	115,30	139,10	136,20	34,30	604,50	604,50
1971	287,10	260,10	104,30	228,80	140,60	279,00	104,40	191,70	121,60	92,80	34,00	254,70	287,10
1972	156,30	238,50	102,70	115,90	62,80	425,40	177,50	410,80	383,20	134,70	218,00	69,00	425,40
1973	399,40	172,00	98,50	99,70	317,80	203,50	288,40	296,70	238,90	200,70	85,50	209,70	399,40
1974	199,90	136,10	284,80	34,30	206,30	170,90	33,30	94,40	42,90	105,00	151,30	292,50	292,50
1975	180,20	105,20	155,10	81,20	77,10	168,40	73,90	201,80	206,50	181,90	155,00	182,70	206,50
1976	179,30	63,00	90,80	60,00	183,70	59,60	153,30	175,80	122,20	206,30	239,90	236,00	239,90
1977	197,00	96,90	211,10	48,90	52,20	270,70	191,00	131,10	96,20	99,30	270,20	90,60	270,70
1978	102,80	14,00	138,60	13,00	32,10	81,60	152,60	63,20	95,20	162,90	182,90	68,70	182,90
1979	2,20	128,70	99,10	181,80	213,90	57,90	214,70	184,70	115,10	377,70	125,30	231,30	377,70
1980	98,60	71,60	122,10	34,80	180,80	62,40	146,30	182,30	158,90	171,40	186,00	173,30	186,00
1981	77,90	117,70	65,90	158,50	49,90	160,80	44,80	75,60	147,30	77,60	214,60	235,70	235,70
MÉDIA	158,45	124,73	148,54	98,51	130,36	161,45	146,10	181,43	180,87	165,95	150,02	186,43	124,15
MÍNIMA	2,20	14,00	65,90	13,00	26,90	32,20	33,30	8,60	42,90	77,60	34,00	24,00	182,90
MÁXIMA	399,40	260,10	284,80	228,80	317,80	482,80	316,90	436,70	383,20	377,70	270,20	604,50	425,40

Tabela 9 – Dados históricos do Posto Pluviométrico – Quatro Irmãos.

PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS ESPERADAS			
TR	H 24 h (mm)	H 1 h (mm)	H 0,1 h (mm)
5	146,35	61,47	16,39
10	172,23	71,65	19,29
15	186,65	77,27	20,91
25	204,92	84,22	22,95
50	229,19	93,28	25,67
100	253,25	102,06	25,33

Tabela 10 – Resultados Método Torrico

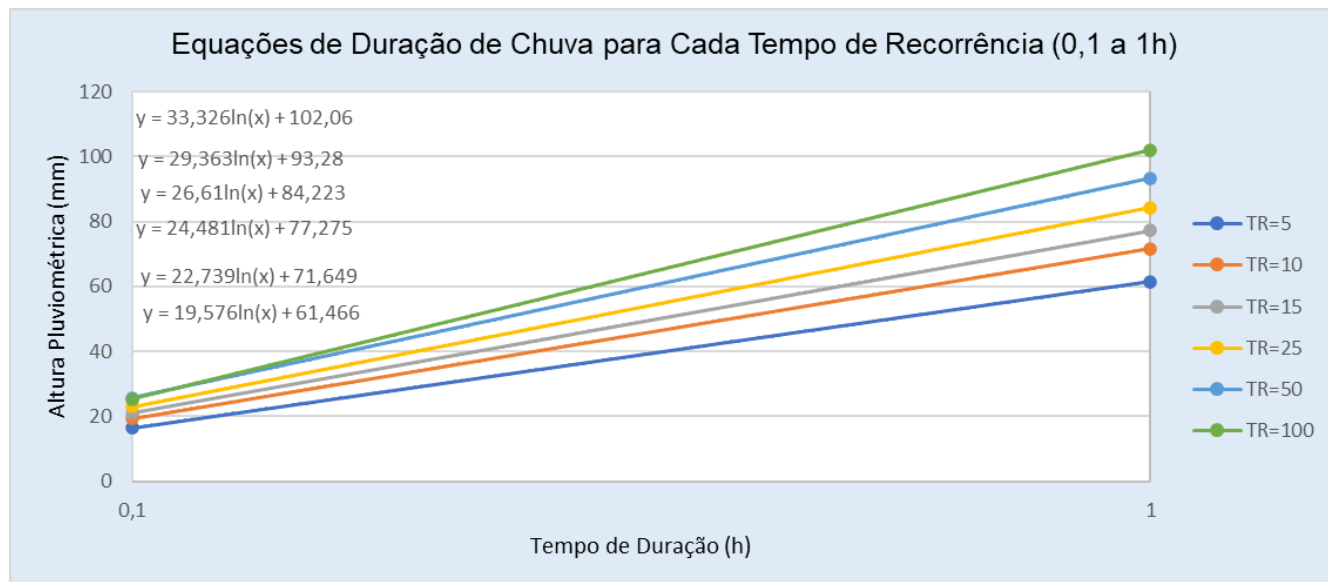


Figura 21 – Equações de Duração de Chuva para cada Tempo de Retorno (0,1 a 1 h).

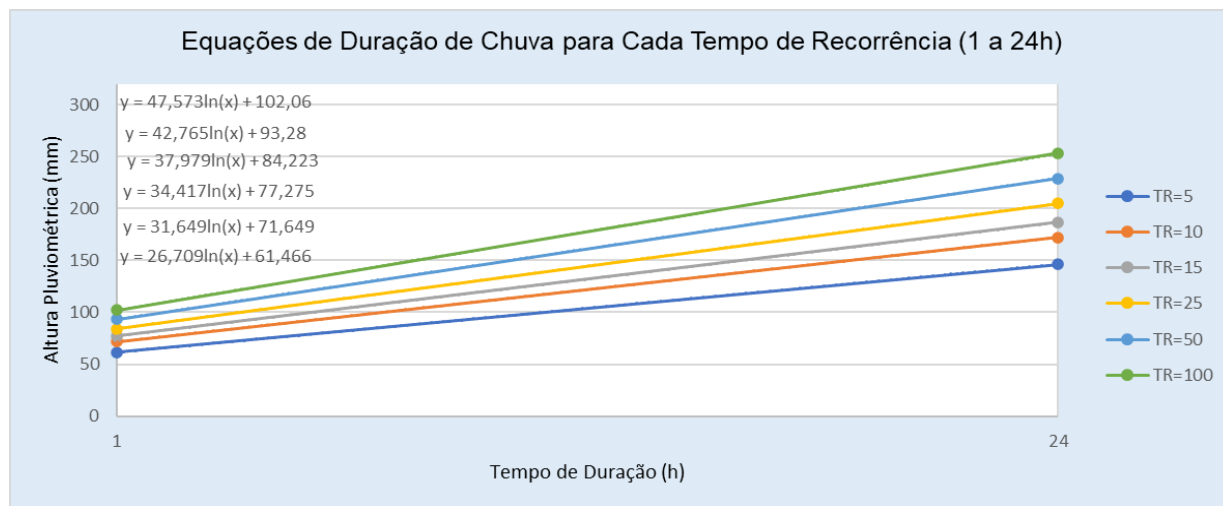


Figura 22 – Euações de Duração de Chuva para cada Tempo de Retorno (1 a 24 h).

TEMPO DE DURAÇÃO (h)	TR 5 anos		TR 10 anos		TR 15 anos		TR 25 anos		TR 50 anos		TR 100 anos	
	h (mm)	I (mm/h)	h (mm)	I (mm/h)	h (mm)	I (mm/h)	h (mm)	I (mm/h)	h (mm)	I (mm/h)	h (mm)	I (mm/h)
0,5	52,77	105,54	58,43	116,86	62,02	124,04	66,85	133,71	74,03	148,05	81,97	163,93
0,6	57,66	96,11	63,85	106,42	67,77	112,95	73,06	121,76	80,89	134,82	89,57	149,28
0,7	61,85	88,36	68,49	97,84	72,69	103,84	78,36	111,94	86,77	123,95	96,07	137,25
0,8	65,49	81,87	72,52	90,65	76,97	96,22	82,98	103,72	91,88	114,84	101,73	127,16
0,9	68,71	76,34	76,08	84,53	80,75	89,73	87,05	96,72	96,39	107,10	106,73	118,59
1	63,44	63,44	71,12	71,12	76,04	76,04	82,73	82,73	92,75	92,75	103,99	103,99
2	83,43	41,72	93,54	46,77	100,02	50,01	108,81	54,41	122,00	61,00	136,78	68,39
3	95,06	31,69	106,57	35,52	113,95	37,98	123,97	41,32	138,99	46,33	155,83	51,94
4	103,24	25,81	115,75	28,94	123,76	30,94	134,64	33,66	150,96	37,74	169,25	42,31
5	109,57	21,91	122,85	24,57	131,35	26,27	142,90	28,58	160,22	32,04	179,63	35,93
6	114,76	19,13	128,66	21,44	137,57	22,93	149,66	24,94	167,80	27,97	188,13	31,35
12	134,80	11,23	151,13	12,59	161,59	13,47	175,80	14,65	197,10	16,43	220,99	18,42
20	150,27	7,51	168,48	8,42	180,13	9,01	195,98	9,80	219,72	10,99	246,34	12,32
24	156,01	6,50	174,91	7,29	187,01	7,79	203,46	8,48	228,11	9,50	255,75	10,66

Tabela 11 – Intensidade, duração e frequência.

Euação IDF, para 10 minutos a 1 hora:

$$i = \frac{2108,702 \cdot TR^{0,147}}{(20,00 + tc)^{0,826}}$$

Euação IDF, para 1 hora a 24 horas:

$$i = \frac{1858,559 \cdot TR^{0,165}}{(28,816 + tc)^{0,812}}$$

Onde: TR = Tempo de Retorno; e tc = tempo de concentração.

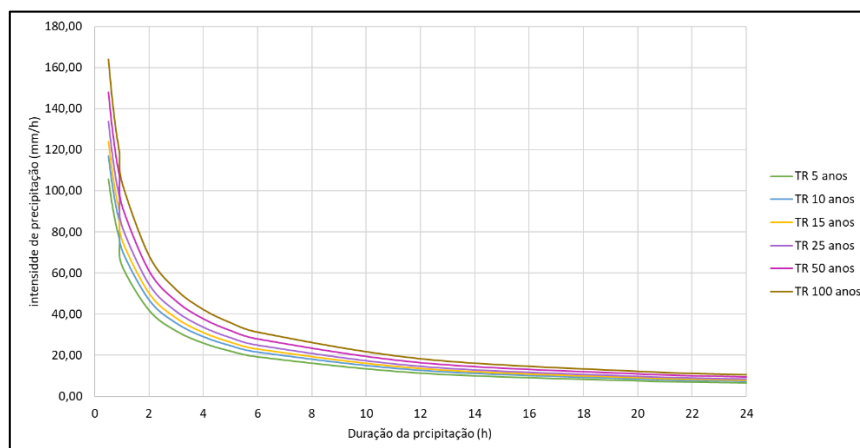


Figura 23 – Intensidade, duração e frequência.

Para o evento crítico de 2023/2024, os dados observados no período de cheia estão apresentados a seguir. Nesta análise, foram utilizados dados telemétricos e séries históricas com o objetivo de compreender a magnitude da vazão observada em relação ao seu respectivo Tempo de Retorno. A estação fluviométrica mais próxima que atendeu aos critérios de disponibilidade de dados consistidos, séries históricas completas e registros horários telemétricos foi a Estação 73420080 – UHE Passo Fundo (Barramento). O maior pico de vazão foi registrado em 02 de maio de 2024, atingindo 1.673,00 m³/s. De acordo com o tratamento estatístico por regionalização utilizando a distribuição de Gumbel, essa vazão está associada a um Tempo de Retorno de aproximadamente 243 anos, sendo, portanto, adotado o valor de 250 anos para as análises hidrológicas deste estudo.

Data	Hora	Chuva (mm)	Nível (cm)	Vazão (m³/s)
2/5/2024	12:00:00 AM	0	597	105
2/5/2024	1:00:00 AM	0	596,99	104
2/5/2024	2:00:00 AM	0	597	105
2/5/2024	3:00:00 AM	0	597	94
2/5/2024	4:00:00 AM	0	597,01	52
2/5/2024	5:00:00 AM	0	597,01	52
2/5/2024	6:00:00 AM	0	597,02	96
2/5/2024	7:00:00 AM	97	597,04	106
2/5/2024	8:00:00 AM	33	597,07	106
2/5/2024	9:00:00 AM	43	597,11	107
2/5/2024	10:00:00 AM	338	597,18	107
2/5/2024	11:00:00 AM	311	597,25	141
2/5/2024	12:00:00 PM	572	597,34	307
2/5/2024	1:00:00 PM	264	597,35	847
2/5/2024	2:00:00 PM	297	597,36	1188
2/5/2024	3:00:00 PM	145	597,36	1598
2/5/2024	4:00:00 PM	91	597,36	1673
2/5/2024	5:00:00 PM	41	597,35	1605
2/5/2024	6:00:00 PM	8	597,34	1599
2/5/2024	7:00:00 PM	74	597,33	1593
2/5/2024	8:00:00 PM	53	597,32	1587
2/5/2024	9:00:00 PM	18	597,31	1582
2/5/2024	10:00:00 PM	8	597,29	1574
2/5/2024	11:00:00 PM	5	597,27	1566

Tabela 12 – Dados telemétricos da Estação 73420080

Média ($\bar{x}$): 368,7562064

Desvio Padrão (σ): 340,3262053

Ano	Q. Máx. (m³/s)		
1973	400		
1974	80	1997	846
1975	334	1998	516
1976	385	1999	103
1977	172	2000	102
1978	92	2001	156
1979	319	2002	385
1980	115	2003	135
1981	100	2004	96
1982	786	2005	292
1983	864	2006	100
1984	925	2007	159
1985	481	2008	106
1986	93	2009	295
1987	268	2010	197
1988	90	2011	649
1989	324	2012	106
1990	1465	2013	106
1991	86	2014	916
1992	963	2015	887
1993	969	2016	222
1994	439	2017	808
1995	92	2018	106
1996	94	2019	108

TR	yTR	XTR (m³/s)
5	1,50	613,62
10	2,25	812,75
243	5,49	1673,00

Tabela 13 – Dados Método de Regionalização - Estação 73420080

5.3 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Os tempos de concentração das bacias de drenagem foram determinados conforme a metodologia previamente explicitada, considerando a somatória dos tempos de concentração parciais calculados para trechos consecutivos de 500 metros. A representação detalhada do escoamento superficial ao longo do percurso, refletindo as variações topográficas existentes na área de estudo, estão apresentadas a seguir.

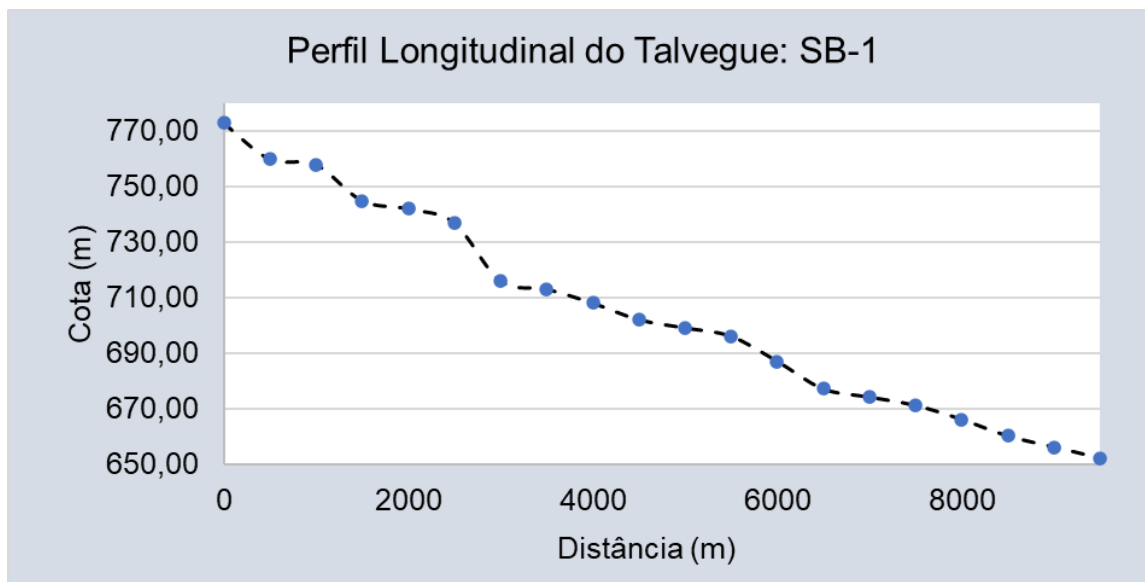


Figura 24 – Perfil Longitudinal Talvegue SB-1

L (m)	COTA (m)	DESNIVEL (m)	TC PARCIAL (min)
0	772,97	-	-
500	759,97	12,99	9,54
1000	757,98	1,99	19,62
1500	744,98	13,00	9,54
2000	741,99	2,99	16,78
2500	737,00	4,99	13,78
3000	716,00	20,99	7,93
3500	713,01	2,99	16,78
4000	708,01	4,99	13,78
4500	702,02	5,99	12,85
5000	699,03	2,99	16,78
5500	696,03	2,99	16,78
6000	687,04	8,995	10,99
6500	677,04	10,00	10,55
7000	674,04	3,00	16,77
7500	671,05	3,00	16,78
8000	666,05	4,99726	13,78
8500	660,05	5,99	12,85
9000	656,06	4,00	15,02
9500	652,06	4,00	15,02

Tabela 14 – Tempos de concentração parciais SB-1

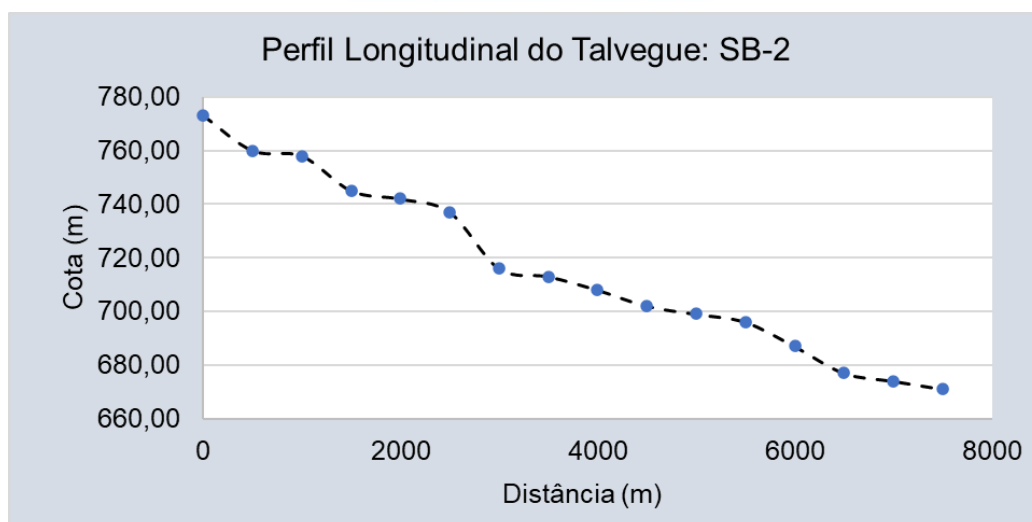


Figura 25 – Perfil Longitudinal Talvegue SB-2

L (m)	COTA (m)	DESNIVEL (m)	TC PARCIAL (min)
0	772,97	-	-
500	759,97	12,99	9,54
1000	757,98	1,99	19,62
1500	744,98	13,00	9,54
2000	741,99	2,99	16,78
2500	737,00	4,99	13,78
3000	716,00	20,99	7,93
3500	713,01	2,99	16,78
4000	708,01	4,99	13,78
4500	702,02	5,99	12,85
5000	699,03	2,99	16,78
5500	696,03	2,99	16,78
6000	687,04	8,995	10,99
6500	677,04	10,00	10,55
7000	674,04	3,00	16,77
7500	671,05	3,00	16,78

Tabela 15 – Tempos de concentração parciais SB-2

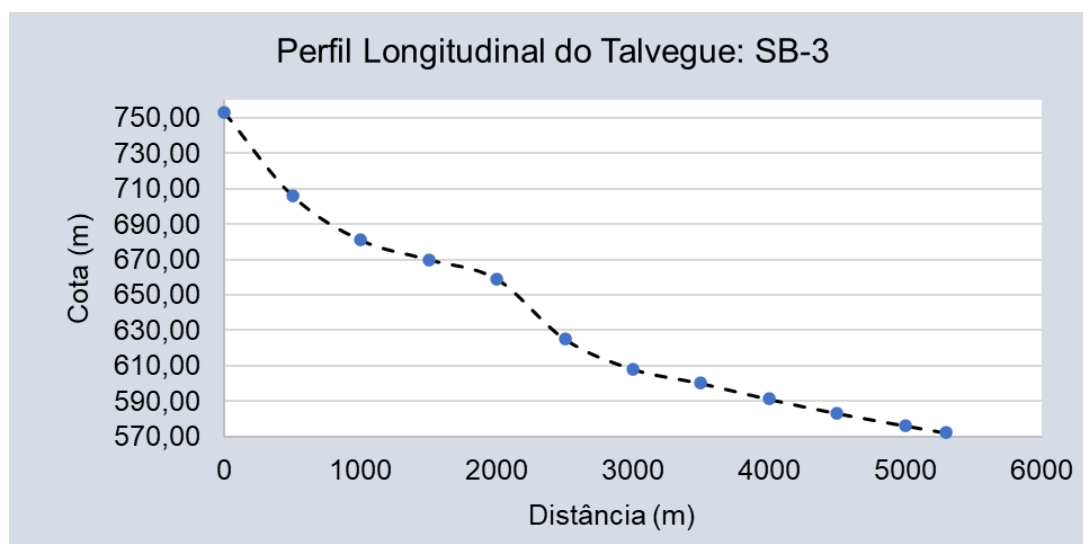


Figura 26 – Perfil Longitudinal Talvegue SB-3

L (m)	COTA (m)	DESNIVEL (m)	TC PARCIAL (min)
0	753,02	-	-
500	706,03	46,99	5,81
1000	681,04	24,99	7,41
1500	670,05	10,99	10,17
2000	659,05	10,99	10,17
2500	625,06	33,99	6,59
3000	608,07	16,99	8,60
3500	600,08	7,99	11,50
4000	591,08	9,00	10,99
4500	583,09	8,00	11,50
5000	576,09	6,99	12,11
5299	572,09	4,00	8,29

Tabela 12 – Tempos de concentração parciais SB-3

Bacia de Drenagem	Tempo de concentração (min)	Tempo de concentração (h)
SB-1	265,90	4,43
SB-2	209,24	3,49
SB-3	103,13	1,72

Tabela 17 – Tempos de concentração finais

5.4 COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Os valores dos coeficientes de escoamento Runoff (C) e Curve Number (CN) adotados no estudo estão apresentados a seguir. Esses parâmetros foram definidos com base nas características físicas e de uso e ocupação do solo das bacias de contribuição, sendo fundamentais para a estimativa das vazões de pico e para a representação adequada do comportamento hidrológico das áreas analisadas.

Ocupação	CN	ÁREA (m²)
Formação Florestal	26	5764169,65
Silvicultura	25	541685,37
Formação Campestre	36	43016,19
Formação Campestre	47	398298,07
Mosaico de Usos	67	376789,97
Mosaico de Usos	42	5068741,22
Área Urbanizada	89	162505,61
Outras Áreas não vegetadas	72	587887,95
Rio, Lago e Oceano	98	157726,04
Soja	60	15535217,86
Ponderado:		55

Tabela 18 – Coeficientes CN SB-1, ponderado com correção de 10% no coeficiente considerando a área expansível urbana

Ocupação	CN	ÁREA (m²)
Formação Florestal	26	3328413,84
Silvicultura	25	336003,77
Formação Campestre	36	18974,33
Formação Campestre	47	319401,23
Mosaico de Usos	67	323354,22
Mosaico de Usos	42	3540293,87
Área Urbanizada	89	172350,17
Outras Áreas não vegetadas	72	529700,06
Rio, Lago e Oceano	98	135982,70
Soja	60	8279132,96
Ponderado:		55

Tabela 39 – Coeficientes CN SB-2, ponderado com correção de 10% no coeficiente considerando e área expansível urbana

Ocupação	C	ÁREA (m²)
Formação Florestal	0,15	2203785,78
Silvicultura	0,25	37487,49
Pastagem	0,25	214556,05
Mosaico de Usos	0,40	2020336,36
Outras Áreas não vegetadas	0,65	66998,92
Rio, Lago e Oceano	0,90	15154,52
Outras Lavouras Temporárias	0,30	588633,33
Soja	0,30	4698697,80
Ponderado:		0,289

Tabela 20 – Coeficientes C SB-3

Os valores finais de coeficientes de escoamento Runoff.

Bacia de Drenagem	TR 10 anos	TR 50 anos	TR 100 anos	TR 250 anos
SB-3	0,289	0,347	0,361	0,390

Tabela 21 – Coeficientes de escoamento Runoff

5.5 VAZÕES

A seguir são apresentadas as determinações das vazões de cheia correspondentes aos Tempos de Retorno previamente definidos. Esses valores representam as condições de pico esperadas para cada cenário de recorrência, servindo de base para as análises hidráulicas subsequentes.

Para a Ponte 1, foram avaliados os eventos com TR de 100 e 250 anos, resultando em:

BACIA	Área	CN	Tc (min)	TR	Intensidade	Vazão
	(km ²)			(anos)	(mm/h)	(m ³ /s)
SB-1	28,647	55	265,90	100	27,91	79,51
	28,647	55	265,90	250	32,46	107,36

Tabela 22 – Vazões de cheia, SB-1

A seguir são apresentados os demais parâmetros do método Hidrograma Triangular SCS.

Tempo de duração	Tempo de Resposta	Duração unitária	Tempo de pico	Tempo de Base	Descarga Máxima	Infiltração potencial máxima	Infiltração inicial
(h)	(h)	(min)	(h)	(h)	(m ³ /s.mm)	mm	mm
07	2,66	35	2,95	7,97	2,02	209,67	41,93

Tabela 23 – Parâmetros Método Hidrograma Triangular SCS, SB-1

1° Quartil		
t	P	ΔP
h	mm	mm
0,00	0	0,00
0,35	31,25	31,25
0,70	64,46	33,21
1,05	84,00	19,53
1,40	101,58	17,58
1,75	117,21	15,63
2,10	128,93	11,72
2,45	138,69	9,77
2,80	146,51	7,81
3,15	154,32	7,81
3,50	160,18	5,86
3,85	164,09	3,91
4,20	167,99	3,91
4,55	171,90	3,91
4,90	175,81	3,91
5,25	179,71	3,91
5,60	183,62	3,91
5,95	187,53	3,91
6,30	189,48	1,95
6,65	191,43	1,95
7,00	195,34	3,91

Tabela 24 – Distribuição de chuva, SB-1, TR=100 anos

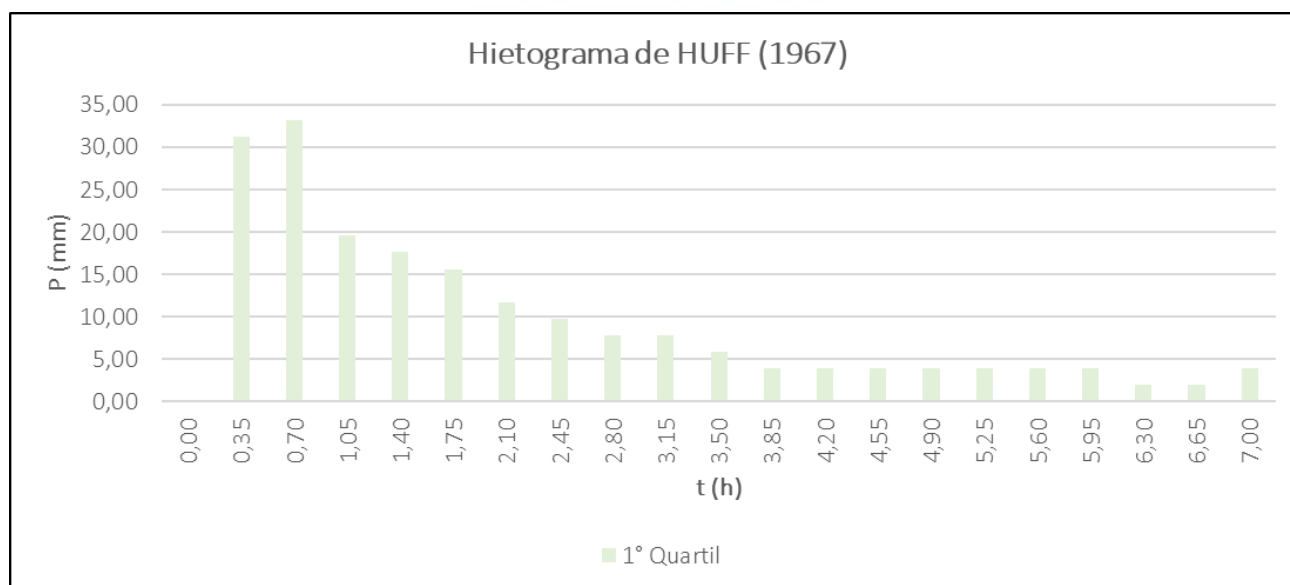


Figura 25- Gráfico da Distribuição de chuva, SB-1, TR=100 anos

t	ΔP	P	P exc Acumulado	Hietograma exc	Blocos	TP'	TB'	QP'
h	mm	mm	mm	mm		h	h	m ² /s
0	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,00	0,00	0,00
0,35	31,25	31,25	0,00	0,00	2	0,00	0,00	0,00
0,7	33,21	64,46	2,19	2,19	3	3,65	8,57	4,42
1,05	19,53	84,00	7,03	4,84	4	4,00	8,92	9,79
1,4	17,58	101,58	13,21	6,18	5	4,35	9,27	12,50
1,75	15,63	117,21	19,88	6,67	6	4,70	9,62	13,50
2,1	11,72	128,93	25,51	5,63	7	5,05	9,97	11,38
2,45	9,77	138,69	30,55	5,04	8	5,40	10,32	10,20
2,8	7,81	146,51	34,80	4,25	9	5,75	10,67	8,59
3,15	7,81	154,32	39,22	4,42	10	6,10	11,02	8,94
3,5	5,86	160,18	42,64	3,42	11	6,45	11,37	6,92
3,85	3,91	164,09	44,97	2,33	12	6,80	11,72	4,71
4,2	3,91	167,99	47,33	2,37	13	7,15	12,07	4,78
4,55	3,91	171,90	49,73	2,40	14	7,50	12,42	4,86
4,9	3,91	175,81	52,17	2,43	15	7,85	12,77	4,92
5,25	3,91	179,71	54,64	2,47	16	8,20	13,12	4,99
5,6	3,91	183,62	57,14	2,50	17	8,55	13,47	5,06
5,95	3,91	187,53	59,67	2,53	18	8,90	13,82	5,12
6,3	1,95	189,48	60,94	1,28	19	9,25	14,17	2,58
6,65	1,95	191,43	62,23	1,28	20	9,60	14,52	2,60
7	3,91	195,34	64,82	2,59	21	9,95	14,87	5,24

Tabela 26 – Hietograma, SB-1, TR=100 anos

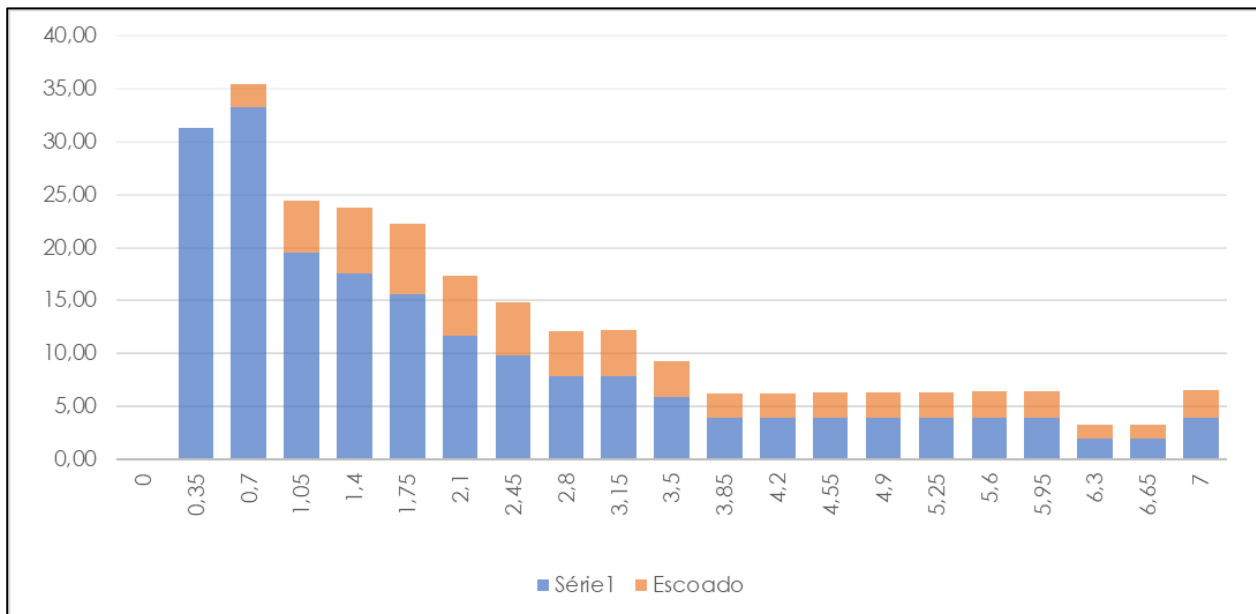


Figura 28- Gráfico Hietograma, SB-1, TR=100 anos

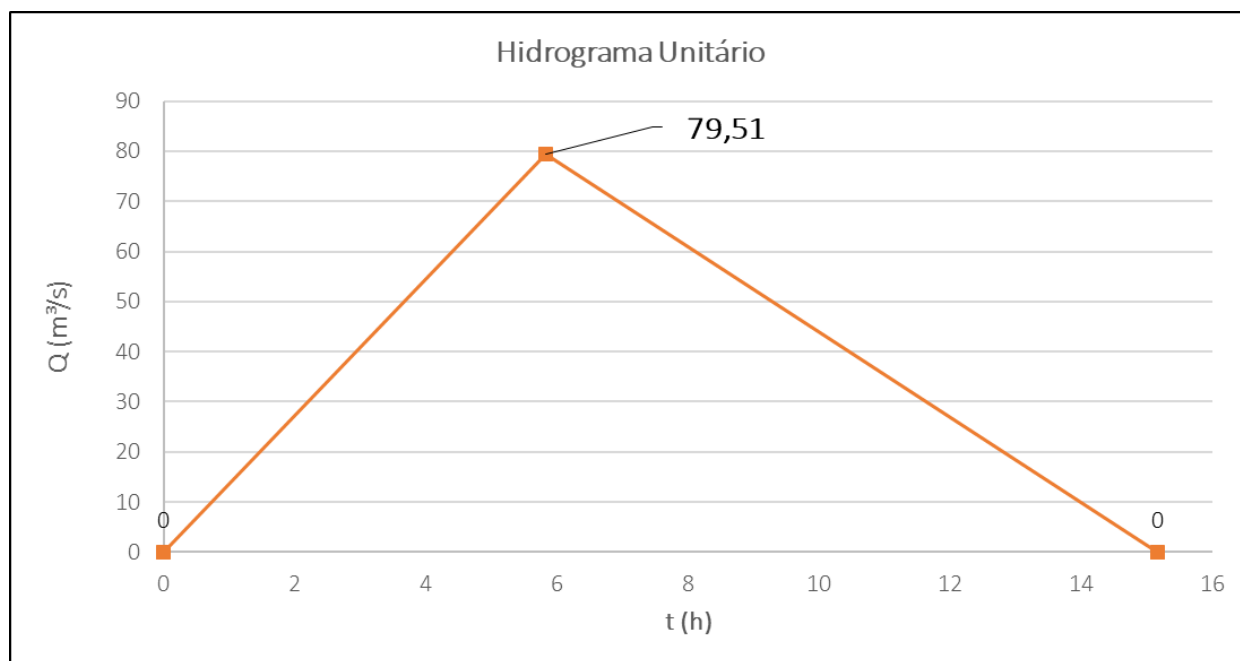


Figura 29- Gráfico Hidrograma, SB-1, TR=100 anos

1° Quartil		
t	P	ΔP
h	mm	mm
0,00	0	0,00
0,35	36,36	36,36
0,70	74,98	38,63
1,05	97,71	22,72
1,40	118,16	20,45
1,75	136,33	18,18
2,10	149,97	13,63
2,45	161,33	11,36
2,80	170,42	9,09
3,15	179,51	9,09
3,50	186,32	6,82
3,85	190,87	4,54
4,20	195,41	4,54
4,55	199,96	4,54
4,90	204,50	4,54
5,25	209,05	4,54
5,60	213,59	4,54
5,95	218,14	4,54
6,30	220,41	2,27
6,65	222,68	2,27
7,00	227,22	4,54

Tabela 27 – Distribuição de chuva, SB-1, TR=250 anos

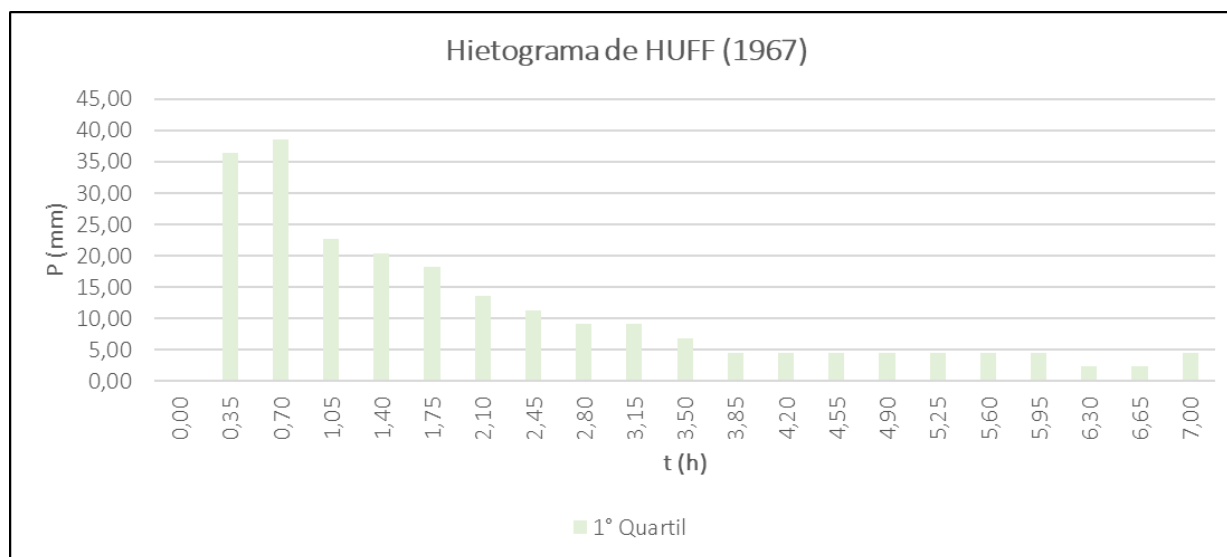


Figura 30- Gráfico da Distribuição de chuva, SB-1, TR=250 anos

t	ΔP	P	P exc Acumulado	Hietograma exc	Blocos	TP'	TB'	QP'
h	mm	mm	mm	mm		h	h	m ² /s
0	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,00	0,00	0,00
0,35	36,36	36,36	0,00	0,00	2	0,00	0,00	0,00
0,7	38,63	74,98	4,50	4,50	3	3,65	8,57	9,10
1,05	22,72	97,71	11,72	7,22	4	4,00	8,92	14,60
1,4	20,45	118,16	20,32	8,60	5	4,35	9,27	17,40
1,75	18,18	136,33	29,31	8,99	6	4,70	9,62	18,17
2,1	13,63	149,97	36,74	7,43	7	5,05	9,97	15,03
2,45	11,36	161,33	43,32	6,58	8	5,40	10,32	13,32
2,8	9,09	170,42	48,82	5,50	9	5,75	10,67	11,12
3,15	9,09	179,51	54,50	5,69	10	6,10	11,02	11,50
3,5	6,82	186,32	58,88	4,38	11	6,45	11,37	8,86
3,85	4,54	190,87	61,85	2,97	12	6,80	11,72	6,01
4,2	4,54	195,41	64,86	3,01	13	7,15	12,07	6,09
4,55	4,54	199,96	67,91	3,05	14	7,50	12,42	6,17
4,9	4,54	204,50	71,00	3,08	15	7,85	12,77	6,24
5,25	4,54	209,05	74,12	3,12	16	8,20	13,12	6,31
5,6	4,54	213,59	77,27	3,15	17	8,55	13,47	6,38
5,95	4,54	218,14	80,46	3,19	18	8,90	13,82	6,45
6,3	2,27	220,41	82,06	1,61	19	9,25	14,17	3,25
6,65	2,27	222,68	83,68	1,61	20	9,60	14,52	3,26
7	4,54	227,22	86,93	3,25	21	9,95	14,87	6,57

Tabela 28 – Hietograma, SB-1, TR=250 anos

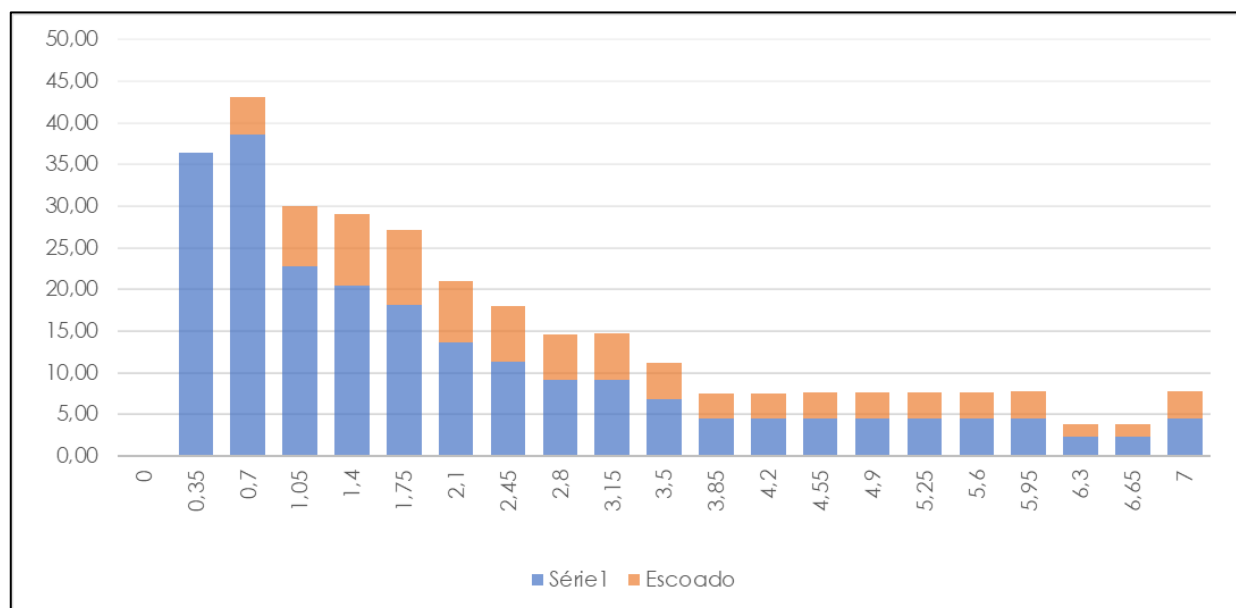


Figura 31- Gráfico Hietograma, SB-1, TR=250 anos

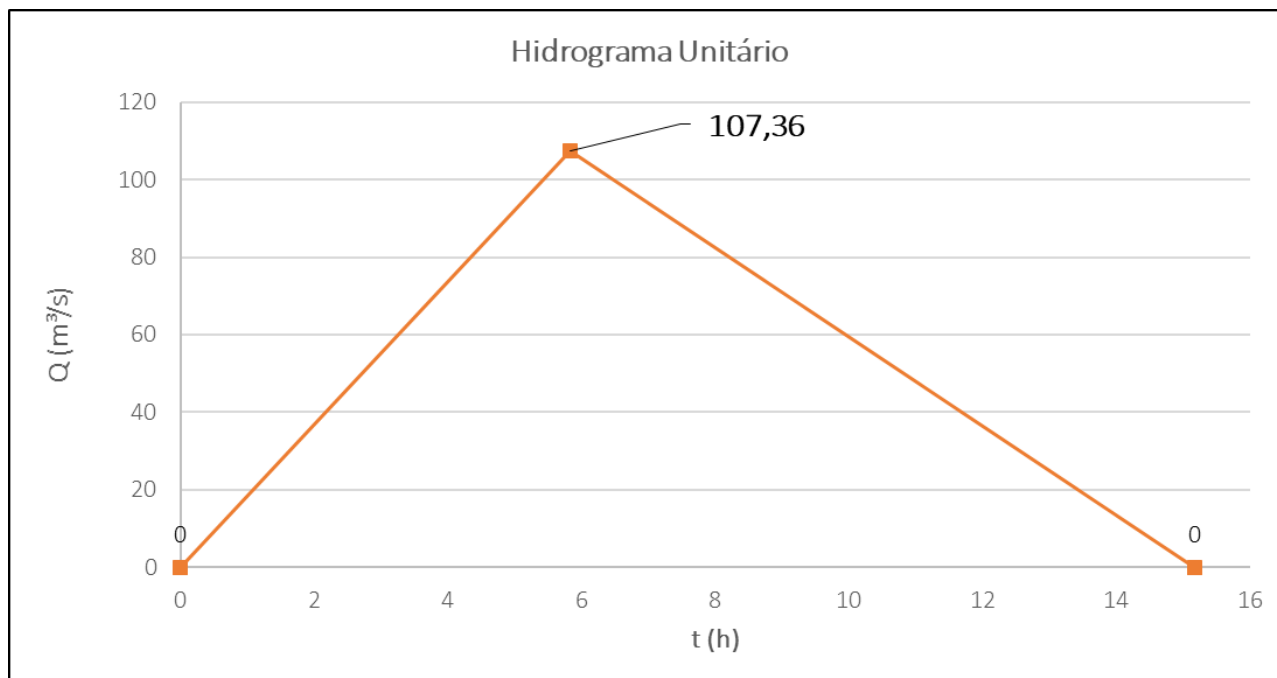


Figura 32- Gráfico Hidrograma, SB-1, TR=250 anos

Para a Ponte 2, foram avaliados os eventos com TR de 100 e 250 anos, resultando em:

BACIA	Área	CN	Tc (min)	TR	Intensidade	Vazão
	(km²)			(anos)	(mm/h)	(m³/s)
SB-2	16,971	55	209,24	100	25,20	53,18
	16,971	55	209,24	250	29,32	71,73

Tabela 29 – Vazões de cheia, SB-2

A seguir são apresentados os demais parâmetros do método Hidrograma Triangular SCS.

Tempo de duração	Tempo de Resposta	Duração unitária	Tempo de pico	Tempo de Base	Descarga Máxima	Infiltração potencial máxima	Infiltração inicial
(h)	(h)	(min)	(h)	(h)	(m³/s.mm)	mm	mm
08	2,09	25	2,30	6,14	1,54	210,33	42,07

Tabela 30 – Parâmetros Método Hidrograma Triangular SCS, SB-2

1° Quartil		
t	P	ΔP
h	mm	mm
0,00	0	0,00
0,40	32,26	32,26
0,80	66,54	34,28
1,20	86,70	20,16
1,60	104,84	18,15
2,00	120,97	16,13
2,40	133,07	12,10
2,80	143,15	10,08
3,20	151,22	8,06
3,60	159,28	8,06
4,00	165,33	6,05
4,40	169,36	4,03
4,80	173,40	4,03
5,20	177,43	4,03
5,60	181,46	4,03
6,00	185,49	4,03
6,40	189,53	4,03
6,80	193,56	4,03
7,20	195,57	2,02
7,60	197,59	2,02
8,00	201,62	4,03

Tabela 31 – Distribuição de chuva, SB-2, TR=100 anos

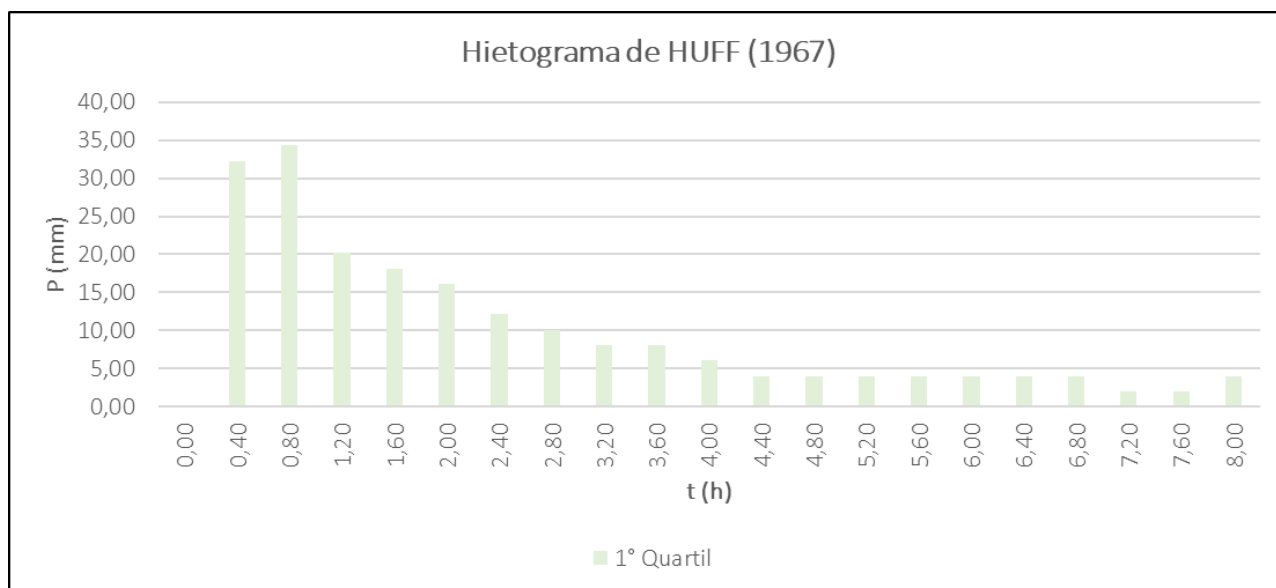


Figura 33- Gráfico da Distribuição de chuva, SB-2, TR=100 anos

t	ΔP	P	P exc Acumulado	Hietograma exc	Blocos	TP'	TB'	QP'
h	mm	mm	mm	mm		h	h	m ² /s
0	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,00	0,00	0,00
0,4	32,26	32,26	0,00	0,00	2	0,00	0,00	0,00
0,8	34,28	66,54	2,55	2,55	3	3,10	6,94	3,92
1,2	20,16	86,70	7,81	5,26	4	3,50	7,34	8,09
1,6	18,15	104,84	14,43	6,62	5	3,90	7,74	10,17
2	16,13	120,97	21,53	7,10	6	4,30	8,14	10,91
2,4	12,10	133,07	27,48	5,96	7	4,70	8,54	9,15
2,8	10,08	143,15	32,81	5,33	8	5,10	8,94	8,19
3,2	8,06	151,22	37,29	4,48	9	5,50	9,34	6,88
3,6	8,06	159,28	41,95	4,66	10	5,90	9,74	7,15
4	6,05	165,33	45,55	3,60	11	6,30	10,14	5,53
4,4	4,03	169,36	48,00	2,45	12	6,70	10,54	3,76
4,8	4,03	173,40	50,48	2,49	13	7,10	10,94	3,82
5,2	4,03	177,43	53,00	2,52	14	7,50	11,34	3,88
5,6	4,03	181,46	55,56	2,56	15	7,90	11,74	3,93
6	4,03	185,49	58,15	2,59	16	8,30	12,14	3,98
6,4	4,03	189,53	60,78	2,62	17	8,70	12,54	4,03
6,8	4,03	193,56	63,43	2,65	18	9,10	12,94	4,08
7,2	2,02	195,57	64,77	1,34	19	9,50	13,34	2,06
7,6	2,02	197,59	66,11	1,35	20	9,90	13,74	2,07
8	4,03	201,62	68,83	2,71	21	10,30	14,14	4,17

Tabela 32 – Hietograma, SB-2, TR=100 anos

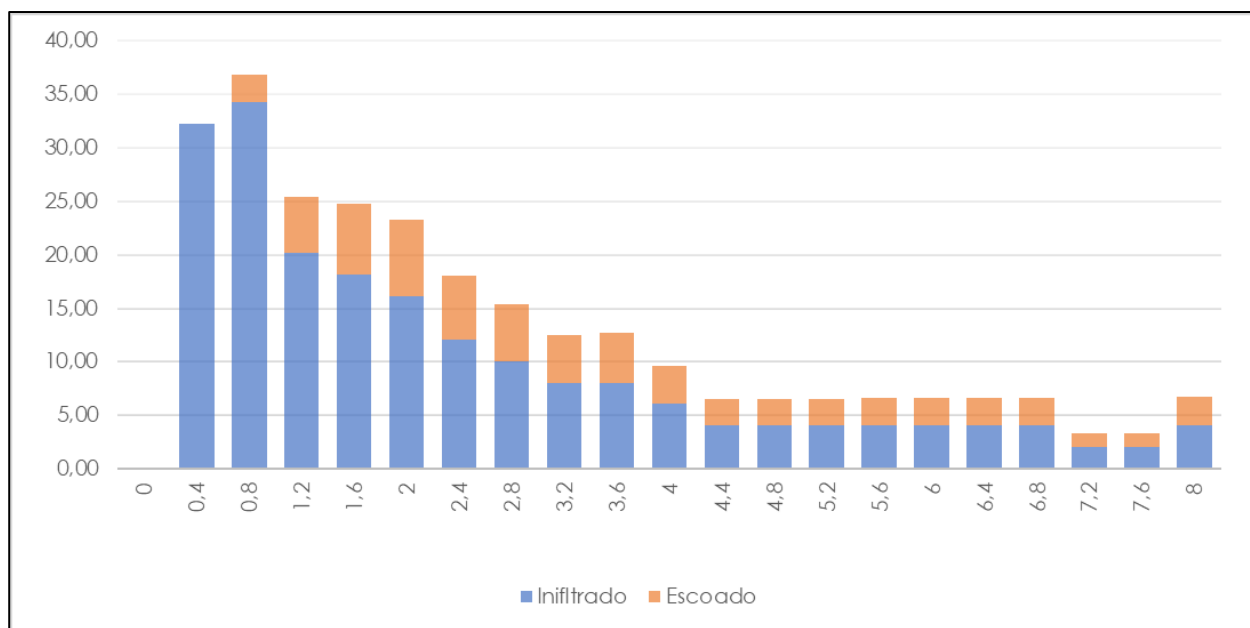


Figura 34- Gráfico Hietograma, SB-2, TR=100 anos

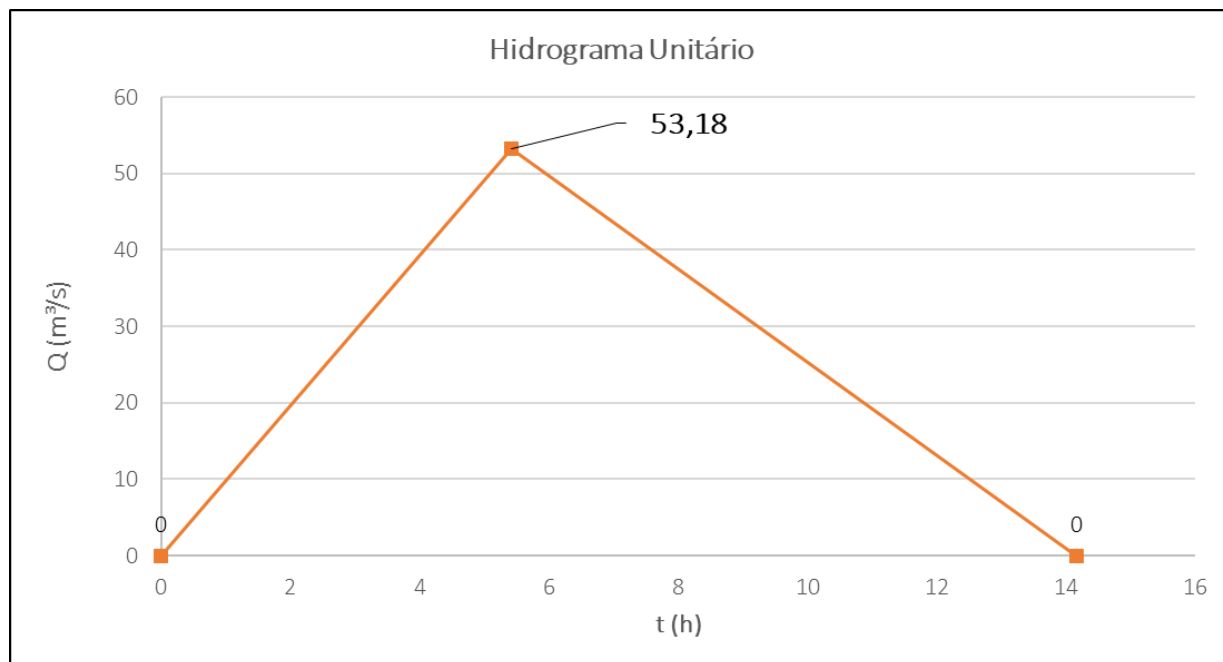


Figura 35- Gráfico Hidrograma, SB-2, TR=100 anos

1° Quartil		
t	P	ΔP
h	mm	mm
0,00	0	0,00
0,40	37,52	37,52
0,80	77,40	39,87
1,20	100,85	23,45
1,60	121,96	21,11
2,00	140,72	18,76
2,40	154,79	14,07
2,80	166,52	11,73
3,20	175,90	9,38
3,60	185,28	9,38
4,00	192,31	7,04
4,40	197,01	4,69
4,80	201,70	4,69
5,20	206,39	4,69
5,60	211,08	4,69
6,00	215,77	4,69
6,40	220,46	4,69
6,80	225,15	4,69
7,20	227,49	2,35
7,60	229,84	2,35
8,00	234,53	4,69

Tabela 33 – Distribuição de chuva, SB-2, TR=250 anos

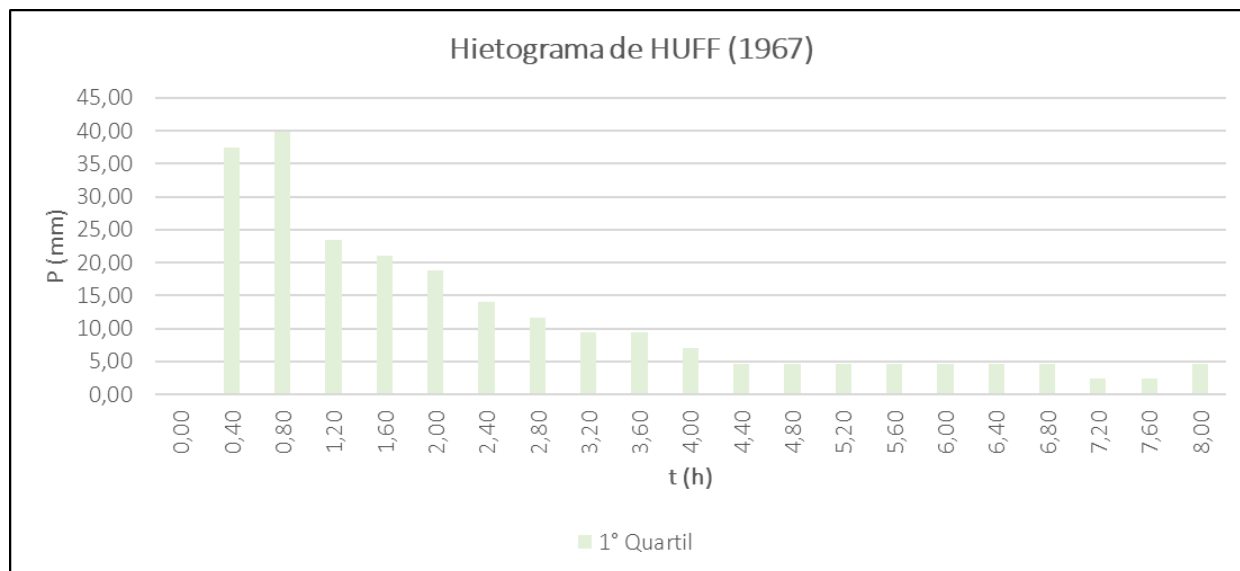


Figura 36- Gráfico da Distribuição de chuva, SB-2, TR=250 anos

t	ΔP	P	P exc Acumulado	Hietograma exc	Blocos	TP'	TB'	QP'
h	mm	mm	mm	mm		h	h	m ² /s
0	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,00	0,00	0,00
0,4	37,52	37,52	0,00	0,00	2	0,00	0,00	0,00
0,8	39,87	77,40	5,08	5,08	3	3,10	6,94	7,81
1,2	23,45	100,85	12,84	7,76	4	3,50	7,34	11,92
1,6	21,11	121,96	21,99	9,15	5	3,90	7,74	14,06
2	18,76	140,72	31,50	9,51	6	4,30	8,14	14,61
2,4	14,07	154,79	39,33	7,84	7	4,70	8,54	12,04
2,8	11,73	166,52	46,26	6,93	8	5,10	8,94	10,65
3,2	9,38	175,90	52,04	5,78	9	5,50	9,34	8,88
3,6	9,38	185,28	58,01	5,97	10	5,90	9,74	9,17
4	7,04	192,31	62,61	4,59	11	6,30	10,14	7,06
4,4	4,69	197,01	65,72	3,12	12	6,70	10,54	4,79
4,8	4,69	201,70	68,88	3,16	13	7,10	10,94	4,85
5,2	4,69	206,39	72,07	3,19	14	7,50	11,34	4,91
5,6	4,69	211,08	75,30	3,23	15	7,90	11,74	4,96
6	4,69	215,77	78,57	3,27	16	8,30	12,14	5,02
6,4	4,69	220,46	81,87	3,30	17	8,70	12,54	5,07
6,8	4,69	225,15	85,20	3,33	18	9,10	12,94	5,12
7,2	2,35	227,49	86,88	1,68	19	9,50	13,34	2,58
7,6	2,35	229,84	88,57	1,69	20	9,90	13,74	2,59
8	4,69	234,53	91,97	3,40	21	10,30	14,14	5,22

Tabela 34 – Hietograma, SB-2, TR=250 anos

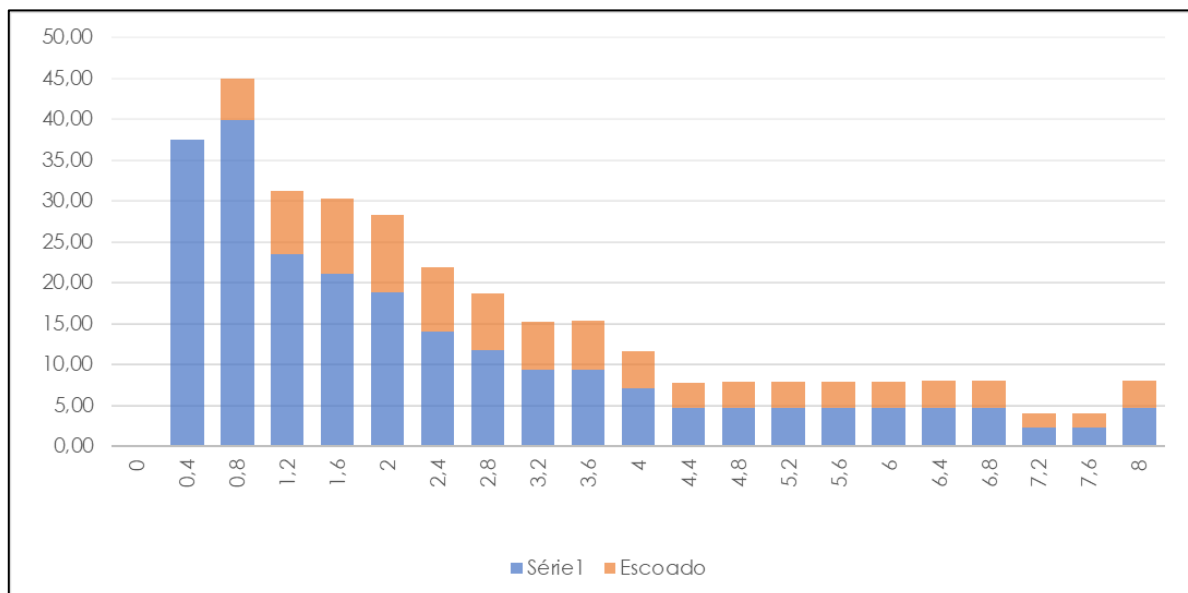


Figura 37- Gráfico Hietograma, SB-2, TR=250 anos

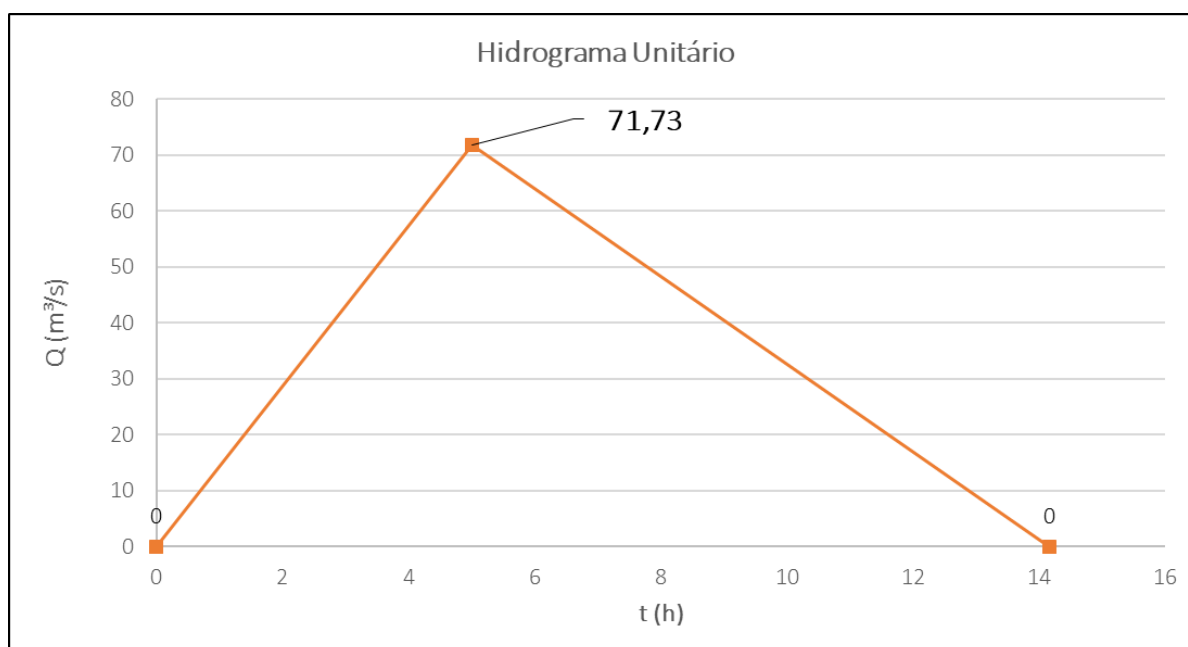


Figura 38- Gráfico Hidrograma, SB-2 TR=250 anos

Para a Ponte 3, foram avaliados os eventos com TR de 100 e 250 anos, resultando em:

BACIA	Área (km²)	C	Tc (min)	TR (anos)	Intensidade (mm/h)	Vazão (m³/s)
SB-3	9,870	0,361	103,13	100	75,41	59,40
	9,870	0,390	103,13	250	87,71	74,62

Tabela 35 – Vazões de cheia, SB-3

6. VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA

A seguir, são apresentadas as seções de verificação das Estruturas Hidráulicas consideradas neste estudo, abrangendo as condições geométricas, hidráulicas e de escoamento avaliadas para cada elemento. Essas seções foram analisadas de forma a verificar o desempenho hidráulico das estruturas sob diferentes cenários de vazão e tempo de retorno.

Estrutura hidráulica	Dimensões hidráulicas	Comprimento	Declividade
Ponte 1	10,00 x 2,58 m	6,00 m	1,10%*
Ponte 2	10,00 x 2,08 m	6,00 m	0,90%*
Ponte 3	9,00 x 2,08 m	6,00 m	1,40%*

* Valor mínimo adotado

Tabela 36 – Dados das estruturas hidráulicas

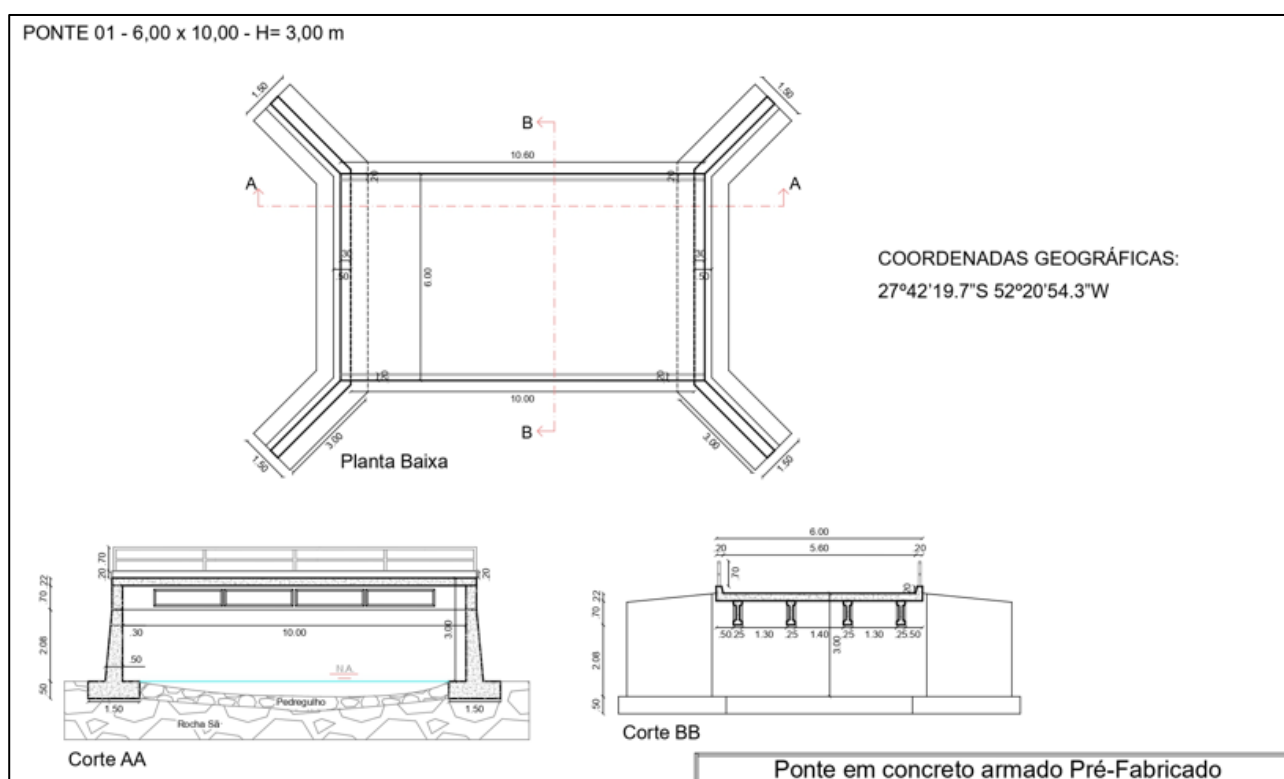


Figura 39 - Detalhamento da Ponte 1

Fonte: Angelica Gasparetto Sandri (2025)

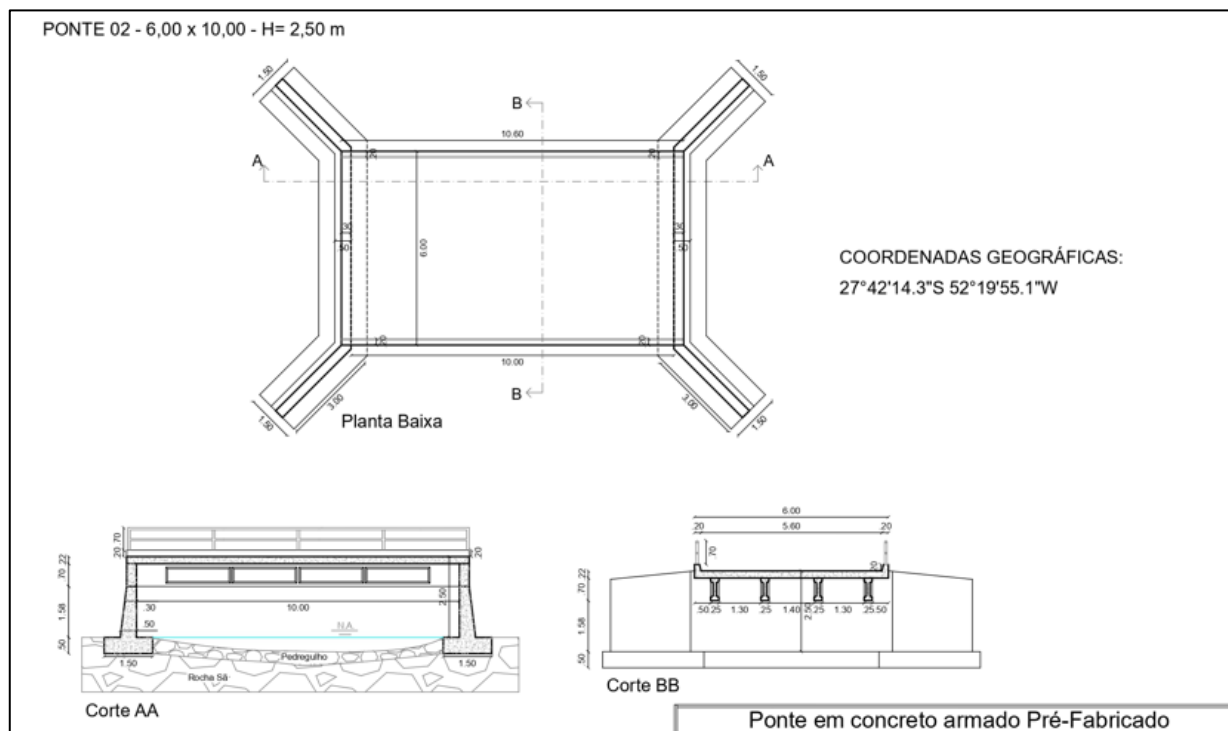


Figura 40 - Detalhamento da Ponte 2

Fonte: Angelica Gasparetto Sandri (2025)

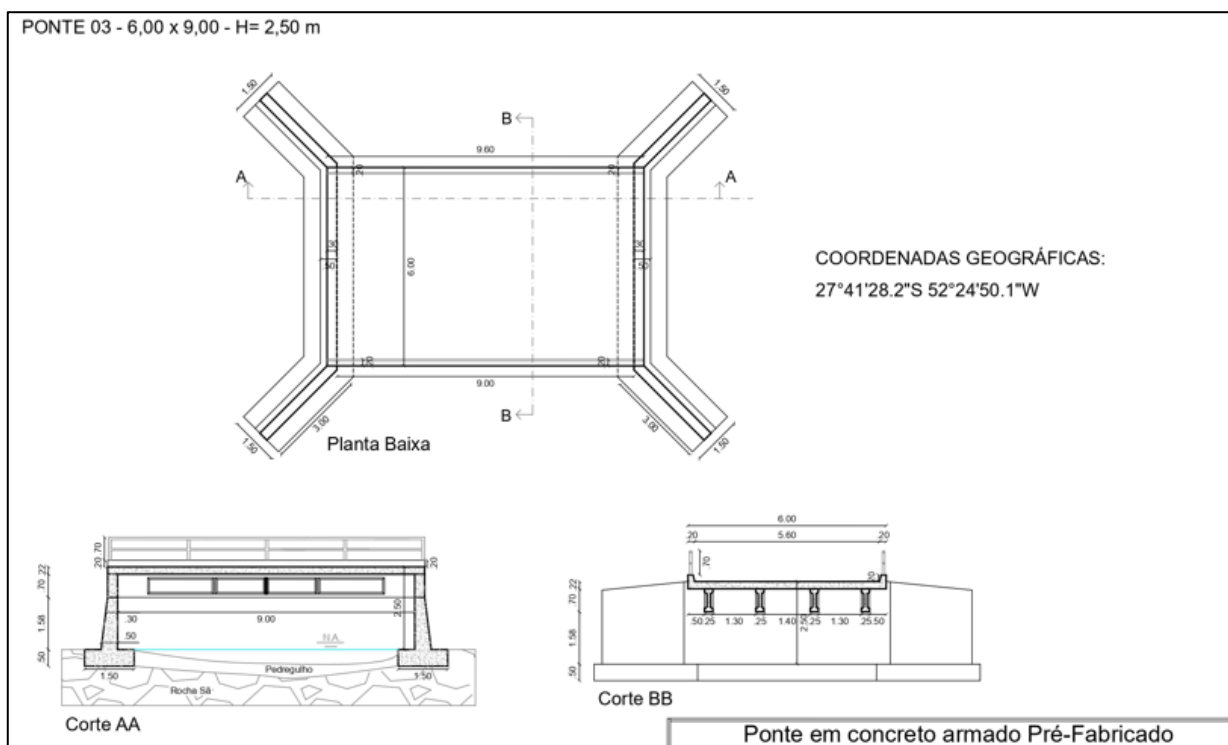


Figura 41 - Detalhamento da Ponte 3

Fonte: Angelica Gasparetto Sandri (2025)

6.1 PONTE 1

Para a Ponte 01, correspondente à seção útil de 2,58 metros de altura e 10,00 metros de largura, implantada em área rural e destinada ao escoamento sob estrutura de acesso, a análise hidráulica indica que o escoamento deve ser avaliado em regime de canal livre. A seção em questão apresenta revestimento em concreto nas paredes laterais e revestimento natural no leito.

Verificou-se que a vazão máxima de escoamento, considerando 80% da seção útil e declividade mínima de 1,10%, é de 85,73 m³/s. Para a vazão de projeto correspondente ao TR = 100 anos (79,51 m³/s), obteve-se a lâmina d'água de 1,96 m, e linha de energia em 2,51 metros. Já para o TR = 250 anos, associado ao evento extremo de 2023/2024, a vazão requerida é de 107,36 m³/s, resultando em lâmina d'água de 2,41 m, com linha de energia de 3,08 metros.

REFERÊNCIA - PONTE 01	n base	n lateral	n equiv.	DIMENSÕES (m)			Perímetro molhado	Área molhada	Raio Hidráulico	Decliv.	Veloc.	Lâmina d'água	Relação Y/D	VAZÃO	Linha de energia	
				Quant.	Base	Altura										m²
Capacidade máx	0,040	0,018	0,033	1	x	10,00	2,58	14,128	20,640	1,461	0,0110	3,38	2,06	0,800	85,73	2,64
TR=100 anos	0,040	0,018	0,033	1	x	10,00	2,58	13,923	19,613	1,409	0,0110	3,29	1,96	0,760	79,51	2,51
TR=250 anos	0,040	0,018	0,033	1	x	10,00	2,58	14,815	24,077	1,625	0,0110	3,62	2,41	0,933	107,36	3,08

Tabela 37 – Verificação hidráulica, Ponte 1

6.1 PONTE 2

Para a Ponte 02, correspondente à seção útil de 2,08 metros de altura e 10,00 metros de largura, implantada em área rural e destinada ao escoamento sob estrutura de acesso, a análise hidráulica indica que o escoamento deve ser avaliado em regime de canal livre. A seção em questão apresenta revestimento em concreto nas paredes laterais e revestimento natural no leito.

Verificou-se que a vazão máxima de escoamento, considerando 80% da seção útil e declividade mínima de 0,90%, é de 54,58 m³/s. Para a vazão de projeto correspondente ao TR = 100 anos (53,18 m³/s), obteve-se a lâmina d'água de 1,64 m, e linha de energia em 2,01 metros. Já para o TR = 250 anos, associado ao evento extremo de 2023/2024, a vazão requerida é de 71,73 m³/s, resultando em lâmina d'água de 2,00 m, com linha de energia de 2,46 metros.

REFERÊNCIA - PONTE 02	n base	n lateral	n equiv.	DIMENSÕES (m)			Perímetro molhado	Área molhada	Raio Hidráulico	Decliv.	Veloc.	Lâmina d'água	Relação Y/D	VAZÃO	Linha de energia	
				Quant.	Base	Altura										m²
Capacidade máx	0,040	0,018	0,034	1	x	10,00	2,08	13,328	16,640	1,248	0,0090	2,75	1,66	0,800	54,58	2,05
TR=100 anos	0,040	0,018	0,034	1	x	10,00	2,08	13,271	16,355	1,232	0,0090	2,73	1,64	0,786	53,18	2,01
TR=250 anos	0,040	0,018	0,034	1	x	10,00	2,08	13,999	19,994	1,428	0,0090	3,01	2,00	0,961	71,73	2,46

Tabela 38 – Verificação hidráulica, Ponte 2

6.2 PONTE 3

Para a Ponte 03, correspondente à seção útil de 2,08 metros de altura e 9,00 metros de largura, implantada em área rural e destinada ao escoamento sob estrutura de acesso, a análise hidráulica indica que o escoamento deve ser avaliado em regime de canal livre. A seção em questão apresenta revestimento em concreto nas paredes laterais e revestimento natural no leito.

Verificou-se que a vazão máxima de escoamento, considerando 80% da seção útil e declividade mínima de 1,40%, é de 61,05 m³/s. Para a vazão de projeto correspondente ao TR = 100 anos (59,40 m³/s), obteve-se a lâmina d'água de 1,63 m, e linha de energia em 2,20 metros. Já para o TR = 250 anos, associado ao evento extremo de 2023/2024, a vazão requerida é de 74,62 m³/s, resultando em lâmina d'água de 1,91 m, com linha de energia de 2,56 metros.

REFERÊNCIA - PONTE 03	n base	n lateral	n equiv.	DIMENSÕES (m)			Perímetro molhado	Área molhada	Raio Hidráulico	Decliv.	Veloc.	Lâmina d'água	Relação Y/D	VAZÃO	Linha de energia	
				Quant.	Base	Altura										m²
Capacidade máx	0,040	0,018	0,033	1	x	9,00	2,08	12,328	14,976	1,215	0,0140	3,37	1,66	0,800	61,05	2,24
TR=100 anos	0,040	0,018	0,033	1	x	9,00	2,08	12,267	14,703	1,199	0,0140	3,34	1,63	0,785	59,40	2,20
TR=250 anos	0,040	0,018	0,033	1	x	9,00	2,08	12,812	17,155	1,339	0,0140	3,59	1,91	0,916	74,62	2,56

Tabela 39 – Verificação hidráulica, Ponte 3

7. CONCLUSÃO

A análise pluviométrica para a região indicou que, para os eventos extremos de 2023/2024, o Tempo de Retorno (TR) associado é de 250 anos.

As verificações hidráulicas foram realizadas a partir das seções previamente definidas, adotando-se declividades mínimas de modo a atender ao critério de vazão com TR de 100 anos ocupando até 80% da seção útil.

Essa adoção se justifica pela ausência de dados detalhados do leito do rio, o que representa um fator limitante para a avaliação mais precisa do funcionamento hidráulico das seções. Sem a topografia detalhada do canal, não foi possível realizar a análise aprofundada dos efeitos de remanso ou ressalto hidráulico a montante e a jusante, tampouco avaliar a cota/mancha de inundação correspondente.

Ressalta-se que a utilização de declividades inferiores resultaria em aumento da lâmina d'água e redução da velocidade de escoamento. Por outro lado, declividade maior acarretaria lâmina mais elevada e maior vazão e, conseqüentemente, aumento da velocidade no leito.

- **Ponte 1 (SB-1):**

Área de drenagem	Tempo de concentração	Estrutura do vão hidráulico	Vazão TR=100 anos	Vazão TR=250 anos
28,647 km ²	265,90 min	10,00 x 2,58 m declividade 1,10%	79,51 m ³ /s	107,36 m ³ /s

TR	Regime	Lâmina d'água	Velocidade
100 anos	Livre	1,96 m (76,00% da seção)	3,29 m/s
250 anos	Livre, com observações	2,41 m (93,30% da seção)	3,62 m/s

Conclusão: Para TR 100 anos, a declividade de 1,10% atende ao critério de borda livre de 20,00% da seção. Para o TR de 250 anos, observa-se que a lâmina d'água e a linha de energia indicam condições hidráulicas propícias à formação de remanso a montante. Para situações extremas deve-se levar em conta o arraste de detritos e vegetações (galhos), resíduos sólidos ou outros materiais, ocasionando a possibilidade de obstrução da seção e possível galgamento da ponte. As velocidades se apresentam dentro do limite para revestimento de concreto, entretanto, acima do recomendado para leito natural, indicando provável erosão do corpo hídrico.

• **Ponte 2 (SB-2):**

Área de drenagem	Tempo de concentração	Estrutura do vão hidráulico	Vazão TR=100 anos	Vazão TR=250 anos
16,971 km ²	209,24 min	10,00 x 2,08 m declividade 0,90%	53,18 m ³ /s	71,73 m ³ /s

TR	Regime	Lâmina d'água	Velocidade
100 anos	Livre	1,64 m (78,60% da seção)	2,73 m/s
250 anos	Livre, com observações	2,00 m (96,10% da seção)	3,01 m/s

Conclusão: Para TR 100 anos, a declividade de 0,90% atende ao critério de borda livre de 20,00% da seção. Para o TR de 250 anos, observa-se que a lâmina d'água e a linha de energia indicam condições hidráulicas propícias à formação de remanso a montante. Para situações extremas deve-se levar em conta o arraste de detritos e vegetações (galhos), resíduos sólidos ou outros materiais, ocasionando a possibilidade de obstrução da seção e possível galgamento da ponte. As velocidades se apresentam dentro do limite para revestimento de concreto, entretanto, acima do recomendado para leito natural, indicando provável erosão do corpo hídrico.

• **Ponte 3 (SB-3):**

Área de drenagem	Tempo de concentração	Estrutura do vão hidráulico	Vazão TR=100 anos	Vazão TR=250 anos
9,870 km ²	103,13 min	9,00 x 2,08 m declividade 1,40%	59,40 m ³ /s	74,62 m ³ /s

TR	Regime	Lâmina d'água	Velocidade
100 anos	Livre	1,63 m (78,60% da seção)	3,34 m/s
250 anos	Livre, com observações	1,91 m (91,60% da seção)	3,59 m/s

Conclusão: Para TR 100 anos, a declividade de 1,40% atende ao critério de borda livre de 20,00% da seção. Para o TR de 250 anos, observa-se que a lâmina d'água e a linha de energia indicam condições hidráulicas propícias à formação de remanso a montante. Para situações extremas deve-se levar em conta o arraste de detritos e vegetações (galhos), resíduos sólidos ou outros materiais, ocasionando a possibilidade de obstrução da seção e possível galgamento da ponte. As velocidades se apresentam dentro do limite para revestimento de concreto, entretanto, acima do recomendado para leito natural, indicando provável erosão do corpo hídrico.

Conclusões gerais:

As velocidades médias observadas encontram-se dentro dos limites aceitáveis para revestimento em concreto, porém superiores aos limites compatíveis com leito natural, sendo, portanto, necessário o reforço do leito e dos taludes com enrocamento, a fim de prevenir processos erosivos.

Para as seções que apresentaram valores de linha específica de energia próximos ou superiores à altura da seção, há indicação de possível remanso. Para lâminas d'água superiores a 80% da seção útil, deve-se atentar para a possibilidade de galgamento da estrutura, pois durante eventos extremos de precipitação, pode ocorrer obstrução parcial da seção devido ao acúmulo de detritos, material vegetal, galhos, resíduos sólidos e sedimentos, o que reduz a área molhada disponível e aumenta o risco de transbordamento da estrutura hidráulica.

Dessa forma, recomenda-se a realização de manutenção periódica nas seções e em seus trechos a montante, visando garantir o escoamento adequado e minimizar o risco de extravasamento durante cheias.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Hidroweb: sistema de informações hidrológicas. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 17 out. 2025.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. SNIRH: metadados. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>. Acesso em: 17 out. 2025.

AZEVEDO NETTO, J. M. de. Manual de hidráulica. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2016.

BUREAU OF PUBLIC ROADS. Circular nº 5. Washington, D.C.: U.S. Department of Commerce, s.d.

CLIMATEMPO. Climatologia de Barão de Cotegipe – RS. Disponível em: <https://www.climatepo.com.br/climatologia/4354/baraodecotegipe-rs>. Acesso em: 17 out. 2025.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Manual de drenagem de rodovias – IPR-724. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem – IPR-715. Rio de Janeiro: DNIT, 2005.

GRIBBIN, J. E. Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

HUFF, F. A. Time distribution of rainfall in heavy storms. Water Resources Research, v. 3, n. 4, p. 1007–1019, 1967.

PORTO, R. M. Hidráulica básica. 4. ed. São Carlos: EESC/USP, 2006.

SANTOS, L. C. C. Estimativa de vazões máximas de projeto por métodos determinísticos e probabilísticos. Dissertação de Mestrado – UFES. Vitória-ES, 2010

TORRICO, J. J. T. Práticas hidrológicas. Rio de Janeiro: Transcon, 1974.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 5. ed. Porto Alegre: ABRH, 2020.

9. RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Estudo Hidrológico para Projeto de Obras Hidráulicas, acompanhado das ARTs nº: 13987184 e 14087255.

Responsável Técnico: Vanderlei Secretti Decian
Geógrafo, Esp. Msc. em Engenharia Agrícola e Dr. em Ciências
CREA-RS: 123105

Responsável Técnica: Ériッサ Amábile Calliari Machado Guimarães
Engenheira Sanitarista e Ambiental
CREA-RS: 2222849608

Contratante: Município de Paulo Bento / CNPJ N. 04.215.168/0001-75
Av. Irmãs Consolata, nº189, Centro
CEP: 99718-000, Paulo Bento - RS

10. ANEXOS: Anotações de Responsabilidade Técnica (ARTs)

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul



CREA-RS
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

ART Número
13987184

Tipo: OBRA OU SERVIÇO	Participação Técnica: INDIVIDUAL/PRINCIPAL
Convênio: NÃO É CONVÊNIO	Motivo: NORMAL

Contratado

Carteira: RS123105	Profissional: VANDERLEI SEGRETTI DECIAN	E-mail: vdecian@uri.com.br
RNP: 2204400246	Título: Geógrafo	
Empresa: NENHUMA EMPRESA	Nr.Reg.:	

Contratante

Nome: MUNICÍPIO DE PAULO BENTO/RS	E-mail:
Endereço: AVENIDA IRMÃS CONSOLATA 189 PREFEITURA	Telefone:
Cidade: PAULO BENTO	Bairro: CENTRO
	CPF/CNPJ: 04215168000175
	CEP: 99718000 UF: RS

Identificação da Obra/Serviço

Proprietário: MUNICÍPIO DE PAULO BENTO/RS	
Endereço da Obra/Serviço: Estrada ESTRADA LINHA GRAMADO E ARROIO BARBOSA Rural/Rios	CPF/CNPJ: 04215168000175
Cidade: PAULO BENTO	Bairro: INTERIOR
Finalidade: AMBIENTAL	CEP: 99718000 UF: RS
Data Início: 25/08/2025	Prev.Fim: 15/12/2025
Vlr Contrato(R\$): 4.800,00	Honorários(R\$): 4.800,00
	Ent.Clas: AGP-RS

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Laudo Técnico	Hidrografia e Hidrologia - Bacia Hidrográfica	1,00	UN

ART registrada (paga) no CREA-RS em 05/09/2025

Paulo Bento, 05 Setembro de 2025		EVANDRO BARATTO:00033552096	
Local e Data		Assinado de forma digital por EVANDRO BARATTO:00033552096	
Paulo Bento, 05 Setembro de 2025		Dados: 2025.09.05 11:28:17 -03'00'	
Local e Data		De acordo	
VANDERLEI SEGRETTI DECIAN		MUNICÍPIO DE PAULO BENTO/RS	
Profissional		Contratante	

A AUTENTICIDADE DESTA ART PODE SER CONFIRMADA NO SITE DO CREA-RS, LINK SOCIEDADE - ART CONSULTA.



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul



CREA-RS
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

ART Número
13987184

Contratado

Nr. Carteira: RS123105	Profissional: VANDERLEI SECRETI DECIAN	E-mail: vdecian@uri.com.br
Nr. RNP: 2204400246	Título: Geógrafo	
Empresa: NENHUMA EMPRESA		Nr. Reg.:

Contratante

Nome: MUNICÍPIO DE PAULO BENTO/RS	E-mail:	
Endereço: AVENIDA IRMÃS CONSOLATA 189 PREFEITURA	Telefone:	CPF/CNPJ: 04215168000175
Cidade: PAULO BENTO	Bairro: CENTRO	CEP: 99718000 UF: RS

RESUMO DO(S) CONTRATO(S)

Elaboração de Laudo Hidrológico com dados de Bacia Hidrográfica, estimativas de vazão tempo seco e cheias
Determinação de seção transversal de 3 pontos em rios, com a determinação de largura da seção transversal e área de seção transversal para subsidiar a construção de pontes nos referidos locais.
Estudo dos dados que compõem as bacias nos pontos selecionados para as pontes, como uso da terra, declividades, altimetria, além de outras informações técnicas que justifiquem a construção das 3 pontes
2 pontes no Afluente do Rio Henrique e 1 ponte no afluente do Arroio Barbosa, conforme apontado no laudo.

Documento assinado digitalmente

Paulo Bento, 5 Setembro 2025

Local e Data



VANDERLEI SECRETI DECIAN
Data: 05/09/2025 10:02:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profissional

De acordo

Evandro Baratto
Contratante

EVANDRO
BARATTO:000335
52096

Assinado de forma digital por
EVANDRO
BARATTO:00033552096
Dados: 2025.09.05 11:31:58
-03'00'



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul



CREA-RS
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul

ART Número
14087255

Tipo: OBRA OU SERVIÇO	Participação Técnica: INDIVIDUAL/PRINCIPAL
Convênio: NÃO É CONVÊNIO	Motivo: NORMAL

Contratado

Carteira: RS270760	Profissional: ÉRISSA AMÁBILE CALLIARI MACHADO GUIMARÃES	E-mail: eng.erissag@gmail.com
RNP: 2222849608	Título: Engenheira Sanitarista e Ambiental	
Empresa: NENHUMA EMPRESA		Nr.Reg.:

Contratante

Nome: MUNICÍPIO DE PAULO BENTO	E-mail:
Endereço: AVENIDA IRMÃS CONSOLATA 189	Telefone:
Cidade: PAULO BENTO	Bairro: CENTRO
	CPF/CNPJ: 04215168000175
	CEP: 99718000 UF: RS

Identificação da Obra/Serviço

Proprietário: MUNICÍPIO DE PAULO BENTO		
Endereço da Obra/Serviço: Avenida IRMÃS CONSOLATA 189		CPF/CNPJ: 04215168000175
Cidade: PAULO BENTO	Bairro: CENTRO	CEP: 99718000 UF: RS
Finalidade: PÚBLICO	Vlr Contrato(R\$): 2.000,00	Honorários(R\$): 2.000,00
Data Início: 30/10/2025	Prev.Fim: 30/10/2026	Ent.Classe:

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Estudo	Hidrologia - Dimensionamento de Vazões	55,49	KMF
Estudo	Obras Hidráulicas	3,00	UN

ART registrada (paga) no CREA-RS em 30/10/2025

Documento assinado digitalmente
gov.br **ERISSA AMÁBILE CALLIARI MACHADO GUIMARA**
Data: 30/10/2025 14:12:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Paulo Bento-RS, 30/10/2025	Declaro serem verdadeiras as informações acima	De acordo
Local e Data	ÉRISSA AMÁBILE CALLIARI MACHADO GUIMARÃES	MUNICÍPIO DE PAULO BENTO
	Profissional	Contratante

A AUTENTICIDADE DESTA ART PODE SER CONFIRMADA NO SITE DO CREA-RS, LINK SOCIEDADE - ART CONSULTA.



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul



CREA-RS
Conselho Regional de Engenharia
e Agronomia do Rio Grande do Sul

ART Número

14087255

Contratado

Nr. Carteira: RS270760 Profissional: ÉRISSA AMÁBILE CALLIARI MACHADO GUIMARÃES E-mail: eng.erissag@gmail.com
Nr. RNP: 2222849608 Título: Engenheira Sanitarista e Ambiental
Empresa: NENHUMA EMPRESA Nr. Reg.:

Contratante

Nome: MUNICÍPIO DE PAULO BENTO E-mail:
Endereço: AVENIDA IRMÃS CONSOLATA 189 Telefone: CPF/CNPJ: 04215168000175
Cidade: PAULO BENTO Bairro: CENTRO CEP: 99718000 UF: RS

RESUMO DO(S) CONTRATO(S)

Estudo hidrológico da bacia hidrográfica para determinação da vazão de cheia e estudo hidráulico para verificação de estruturas hidráulicas com finalidade de subsidiar o município a elaboração de projetos de Pontes

Paulo Bento-RS, 30/10/2025

Local e Data

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Profissional

De acordo

Contratante

Documento assinado digitalmente



ERISSA AMÁBILE CALLIARI MACHADO GUIMARÃES

Data: 30/10/2025 14:13:34-0300

verifique em <https://validar.iti.gov.br>