



LAUDO HIDROLÓGICO PARA IMPLANTAÇÃO DE CONTENÇÃO DE ENCOSTA MUNICÍPIO DE RELVADO/RS

ESTIMATIVA DE VAZÃO MÁXIMA E COTA DE PROJETO DO ARROIO JACARÉ

Cotiporã/RS

Agosto de 2025

EQUIPE TÉCNICA

RENOVARE SOLUÇÕES AMBIENTAIS LTDA	
CNPJ: 58.921.084/0001-86	
Endereço: Rua José Della Pasqua, 201, Centro, Cotiporã/RS	
Contato: rennovare@rennovare.eco.br / 54 99909-7273	
1. IDENTIFICAÇÃO DA RESPONSÁVEL TÉCNICA:	
Nome: Bianca Breda	CPF: 009.608.930-08
E-mail: bianca.breda@rennovare.eco.br	Telefone: (54) 99970-2762
Profissão: Engenheira Ambiental	Nº do registro: CREA RS 257100
ART nº 13954709	
Obs.: A Anotação de Responsabilidade Técnica encontra-se no Anexo I .	

2. IDENTIFICAÇÃO DO REQUERENTE:	
Razão social: Município de Relvado	
Requerente: Raquel Martini	
Telefone: (51) 99719-3413	
Cidade: Relvado/RS	

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E OBJETIVO.....	2
2	LOCALIZAÇÃO DA INTERVENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA	2
3	DELIMITAÇÃO DO EXUTÓRIO E DA SUB-BACIA.....	5
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	6
4.1	DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA DE DRENAGEM..	6
4.2	ESTIMATIVA DE VAZÃO MÁXIMA – MÉTODO HUT	11
4.3	DETERMINAÇÃO DA COTA DE PROJETO.....	15
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5.1	DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA DE DRENAGEM	17
5.2	ESTIMATIVA VAZÃO MÁXIMA – MÉTODO HUT.....	23
5.3	DETERMINAÇÃO DA COTA DE PROJETO.....	27
5.3.1	Quadro resumo do estudo hidrológico	31
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
	REFERÊNCIAS	33
	APÊNDICE A – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO	34
	ANEXO I – ANOTAÇÕES DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA (ART).....	37

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

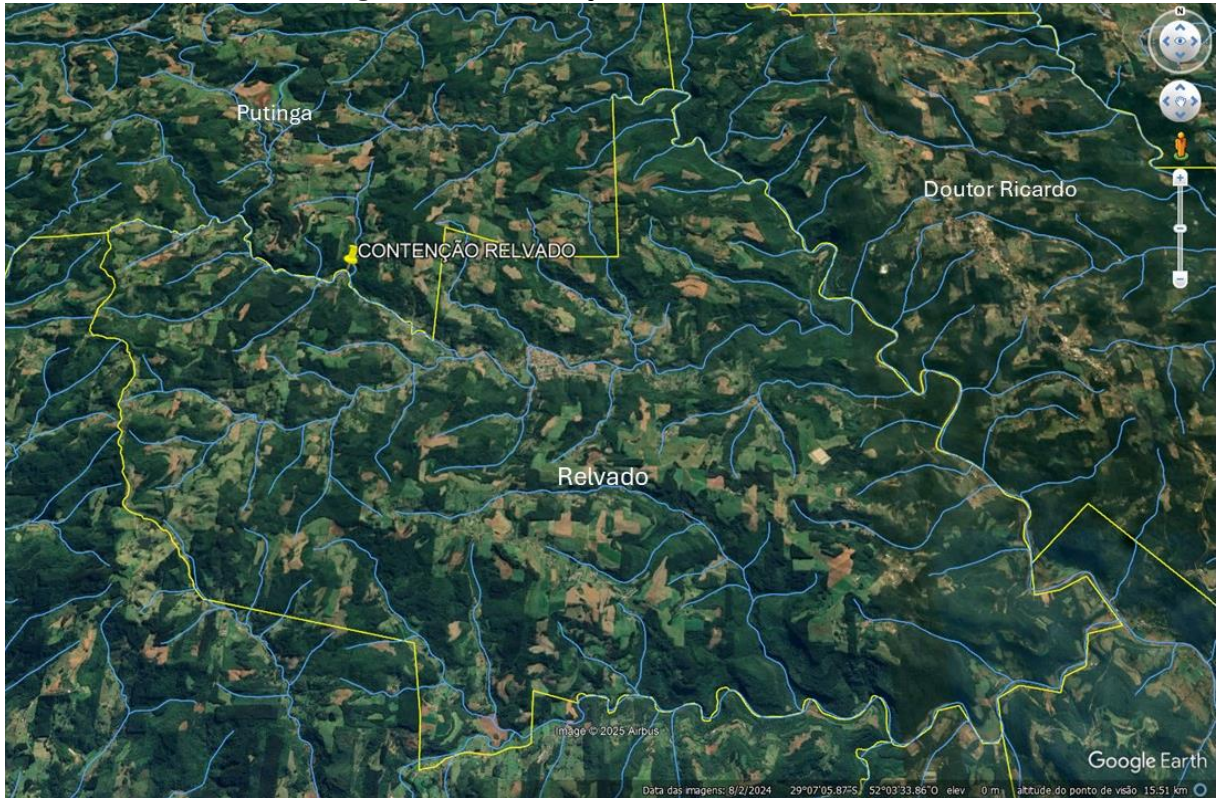
O laudo hidrológico é um documento técnico essencial para a análise e estimativa de vazões de projeto em empreendimentos que envolvem interferência em recursos hídricos. Sua função principal é fornecer subsídios técnicos para dimensionamento de obras hidráulicas, avaliação de disponibilidade hídrica e prevenção de eventos extremos, além de atender a exigências legais e ambientais. Por meio dele, é possível obter estimativas confiáveis das vazões mínimas, médias e máximas em um determinado ponto da bacia hidrográfica, contribuindo para o planejamento sustentável e seguro das intervenções.

O objetivo nesse caso, é a elaboração de laudo hidrológico com estimativa de vazão máxima e definição da cota de projeto, visando dar subsídios para um projeto de contenção de encosta para o município de Relvado/RS.

2 LOCALIZAÇÃO DA INTERVENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

O local pretendido para a instalação da obra fica localizado no município de Relvado/RS, na divisa com Putinga/RS. A contenção será implementada no Arroio Jacaré, afluente do Rio Taquari, com as coordenadas aproximadas de 29° 5'42.97"S e 52° 6'23.00"O – Linha São João. O Rio Taquari pertence à Bacia-Hidrográfica dos rios Taquari-Antas. A localização da obra (marcador amarelo), a hidrografia do entorno (em azul) e as divisas municipais (em amarelo) estão apresentadas na Figura 1.

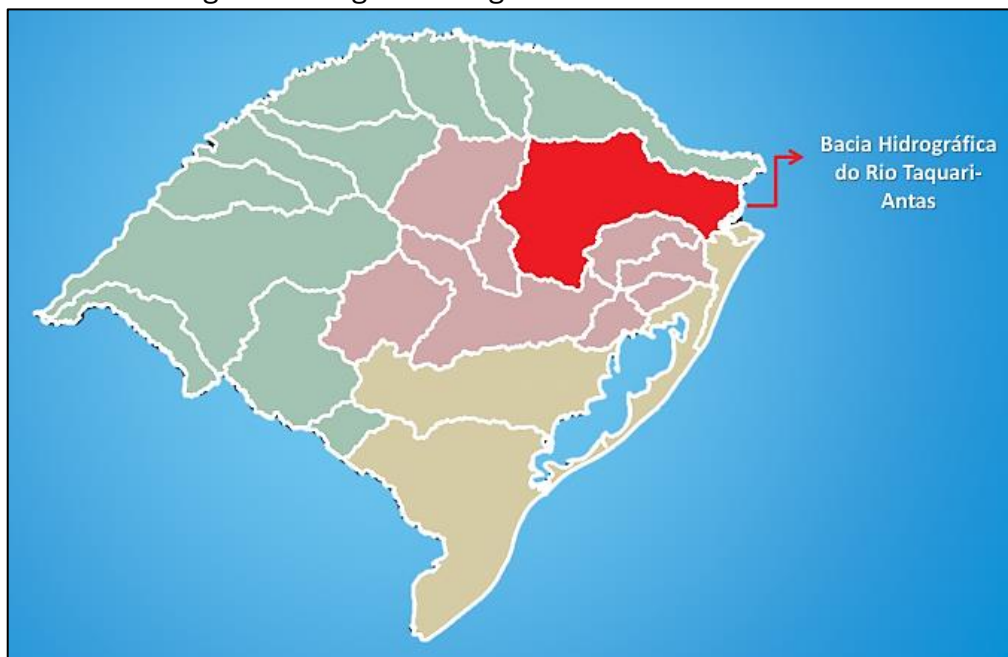
Figura 1 – Localização da obra hidráulica



Fonte: RENNOVARE adaptado de Google Earth (2023).

A Bacia Hidrográfica Taquari-Antas fica localizada na Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba, representada na cor vermelha, conforme Figura 2.

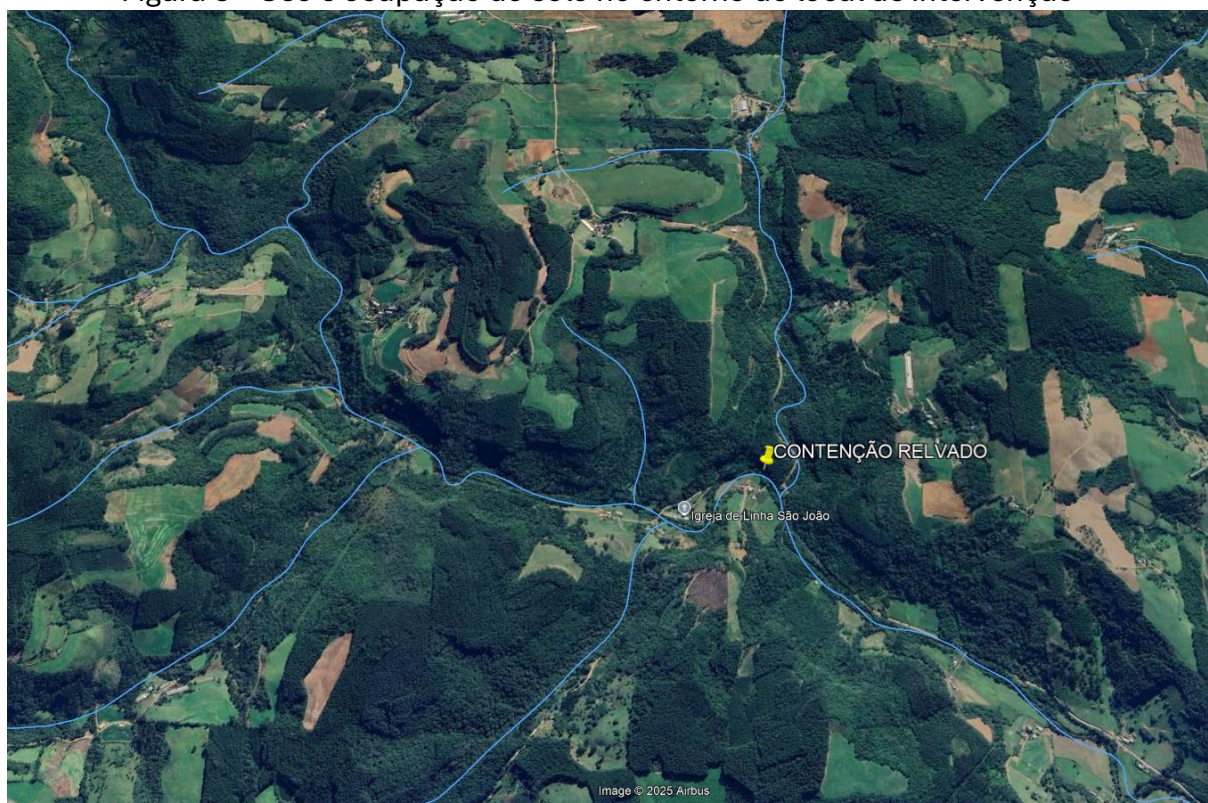
Figura 2 – Região hidrográfica da obra hidráulica



Fonte: SEMA RS (2025).

O local da obra hidráulica situa-se no interior do município, com baixa urbanização, onde destacam-se as áreas verdes. No entanto, é possível observar intervenção humana através das atividades de silvicultura e agricultura, conforme apresenta a Figura 3.

Figura 3 – Uso e ocupação do solo no entorno do local de intervenção



Fonte: RENNOVARE, adaptado de Google Earth (2023).

A contenção da encosta será necessária para garantir segurança de quem trafega pela estrada São João, a qual margeia o Arroio Jacaré e foi afetada pelo evento das enchentes de 2024, apresentando danos estruturais. A Figura 4 demonstra a situação atual do local onde será instalada a contenção. O relatório fotográfico completo consta no Apêndice A.

Figura 4 – Situação atual do local de instalação da contenção em Relvado



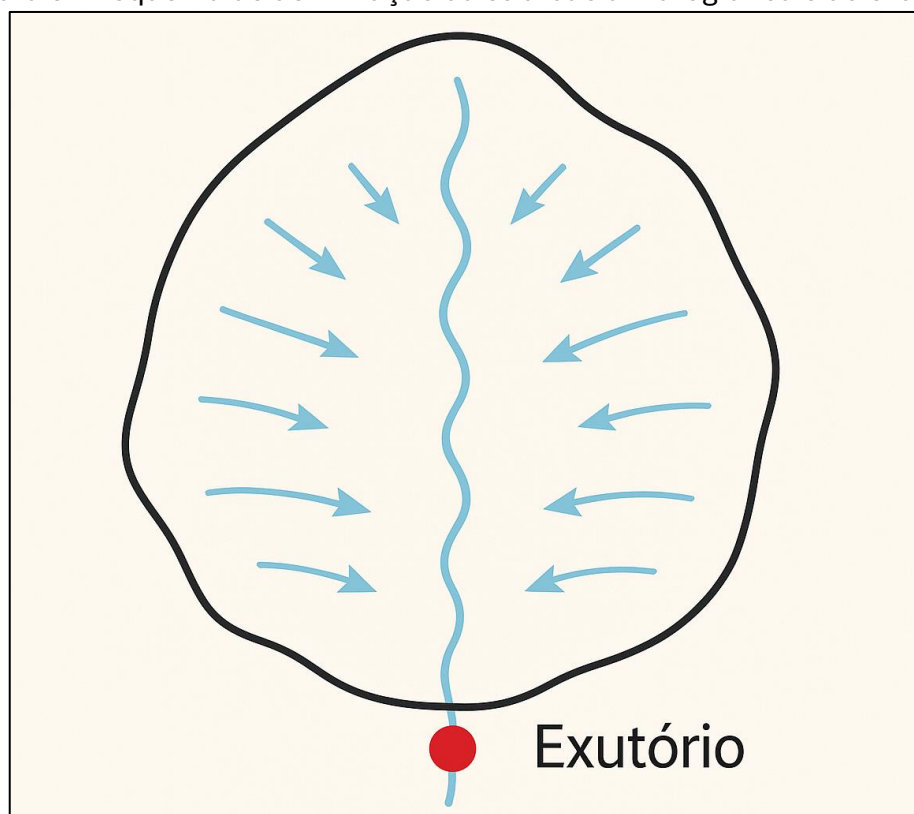
Fonte: PROGETTARE (2025).

3 DELIMITAÇÃO DO EXUTÓRIO E DA SUB-BACIA

Tucci (2009) define bacia hidrográfica como “uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório”.

Com base nessa definição, pretende-se instalar uma contenção em uma das margens do Arroio Jacaré, que é um afluente do Rio Taquari. O ponto de implantação da obra hidráulica foi considerado como o exutório da bacia (coordenadas 29° 5'42.97"S e 52° 6'23.00"O). A área da sub-bacia hidrográfica, correspondente à área de contribuição utilizada para a estimativa da vazão de projeto, foi delimitada com base nos fluxos de drenagem a montante do exutório, definidos pelo relevo local, conforme esquema apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Esquema de delimitação da sub-bacia hidrográfica e do exutório



Fonte: RENNOVARE (2025).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para a elaboração deste estudo hidrológico seguiu as diretrizes do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER/RS, 2018) a partir da Recomendação Técnica RT-SHD-02/18 para elaboração de estudos para determinação de altura e comprimento de pontes; além de ter como base o Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2005).

4.1 DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA DE DRENAGEM

Os dados fisiográficos de uma bacia hidrográfica são úteis para avaliar o comportamento das bacias, auxiliando na elaboração de projetos. Segundo Tucci (2009), consideram-se dados fisiográficos “todos aqueles dados que podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite”, o que, basicamente, corresponde a áreas, comprimento, declividade e coberturas do solo.

A sub-bacia de drenagem contribuinte para o ponto que se considerou como exutório, bem como sua rede de drenagem, foi delimitada com o uso de modelos digitais de elevação (MDE), disponibilizados no TOPODATA (INPE, 2011) e com a Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:25.000 – BCRS25 da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (SEMA/FEPAM, 2018). As bases cartográficas foram manipuladas pelo software QGis, que também auxiliou no processamento dos parâmetros necessários.

Os parâmetros fisiográficos básicos da bacia hidrográfica são:

- Área de drenagem da bacia, sendo a partir deste valor que se obtém a potencialidade hídrica da área delimitada;
- Perímetro, que delimita a área de captação da mesma;
- Comprimento do curso d'água principal;
- Comprimento total da rede de drenagem: somatório do comprimento de cada segmento de curso hídrico;
- Número total de segmentos de drenagem: representa o total de cursos d'água da bacia em questão;
- O comprimento axial da bacia;
- A hierarquia fluvial, conforme os critérios de Strahler (1957);
- Número de segmentos de ordem 1.

Os parâmetros morfométricos foram definidos a partir da delimitação da bacia hidrográfica através do software QGis, sendo eles:

- a) coeficiente de compacidade (Equação 1): Conforme Garcez e Alvarez (2015), o coeficiente de compacidade vai relacionar o perímetro da bacia com o perímetro de um círculo de mesma área.

$$K_c = 0,282 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

sendo,

K_c = coeficiente de compacidade (adimensional);

P = perímetro da bacia (km);

A = área da bacia hidrográfica (km²);

- b) fator de forma (Equação 2): definido pela relação entre a largura média da bacia e o seu comprimento axial. O fator de forma é um índice indicativo da tendência para enchentes de uma bacia.

$$I = \frac{A}{L_b^2} \quad (2)$$

sendo,

I = fator de forma;

A = área da bacia hidrográfica (km²);

L_b = comprimento axial (km);

- c) índice de circularidade (I_c) (Equação 3): Representa o quanto a bacia se aproxima da forma circular, ou mais alongada, vindo a complementar o coeficiente de compacidade.

$$I_c = \frac{4\pi \times A}{P^2} \quad (3)$$

sendo,

I_c = índice de circularidade;

A = área da bacia hidrográfica (km²);

P = perímetro da bacia (km);

- d) densidade de drenagem (Equação 4): Segundo Garcez e Alvarez (1988), densidade de drenagem se caracteriza pela “relação entre o comprimento total dos cursos de água efêmeros, intermitentes e perenes de uma bacia hidrográfica e a área total da mesma bacia”.

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (4)$$

sendo,

D_d = densidade de drenagem (km/km²);

L_t = comprimento total da rede drenagem (km);

A = área da bacia hidrográfica (km^2);

e) densidade de rios (Equação 5): Relaciona o número total de segmentos de ordem 1 com a área da bacia hidrográfica em questão. Segundo Barros e Steinke (2009), “a densidade de rios é importante, pois representa matematicamente a capacidade que a bacia tem de gerar novos cursos de água”.

$$D_r = \frac{N_t}{A} \quad (5)$$

sendo,

D_r = densidade de rios (adimensional);

N_t = número total de segmentos de ordem 1;

A = área da bacia hidrográfica (km^2);

f) extensão média de escoamento superficial (Equação 6): Este parâmetro indica a distância média que a água da chuva teria que percorrer até alcançar um curso hídrico, relacionando valores de área e comprimento total da rede de drenagem.

$$L_{es} = \frac{A}{4 \times L_t} \quad (6)$$

sendo,

L_{es} = extensão média de escoamento superficial (km);

A = área da bacia hidrográfica (km^2);

L_t = comprimento total da rede drenagem (km);

g) coeficiente de manutenção (Equação 7): este item tem por finalidade quantificar a área mínima necessária para a manutenção de um metro de

canal de escoamento, além de permitir avaliar o risco de disponibilidade hídrica.

$$C_m = \frac{1}{D_d} \quad (7)$$

sendo,

C_m = coeficiente de manutenção (km^2/km);

D_d = densidade de drenagem (km/km^2);

h) declividade média do curso d'água principal (Equação 8):

$$S_m = \frac{\Delta H}{L} \quad (8)$$

sendo,

S_m = declividade média do curso d'água principal;

ΔH = diferença de altitude entre o início e fim do curso d'água principal (m);

L = comprimento do curso d'água principal (m);

As características de declividade da bacia foram obtidas através do software QGis e validadas pelas Cartas Topográficas do Exército Brasileiro (BDGEx), buscando as variações de altitude entre o ponto mais alto e mais baixo do rio principal, isto é, a variação de elevação dos terrenos da bacia com relação ao nível do mar.

i) tempo de concentração através do método de DNOS (Equação 9):

$$T_c = \frac{10}{K} \times \left(\frac{A^{0,3} \times L^{0,2}}{I^{0,4}} \right) \quad (9)$$

sendo,

T_c = tempo de concentração (min);

L = comprimento do curso d'água principal (m);

I = declividade (%);

K = coeficiente das características da bacia: considerado K de 4,5 = terreno argiloso de vegetação média, pouca absorção.

A classificação do uso e cobertura do solo da bacia de interesse foi obtida a partir dos dados da Plataforma MapBiomas – Cobertura (2023) e manipulados no software QGis. A caracterização dos tipos de solo do solo, obteve-se através dos dados de Pedologia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002). Esses dados têm por objetivo a classificação segundo a maior ou menor permeabilidade, dada a influência que tal característica tem na rapidez de crescimento das cheias, condicionando a parcela da água de chuva que se transforma em escoamento superficial e a velocidade com que esse escoamento atinge a rede de drenagem.

As características do relevo e declividade da bacia foram obtidas através da geração da Curva Hipsométrica do software QGis, uma forma de se fazer a representação gráfica do relevo médio da bacia hidrográfica.

4.2 ESTIMATIVA DE VAZÃO MÁXIMA – MÉTODO HUT

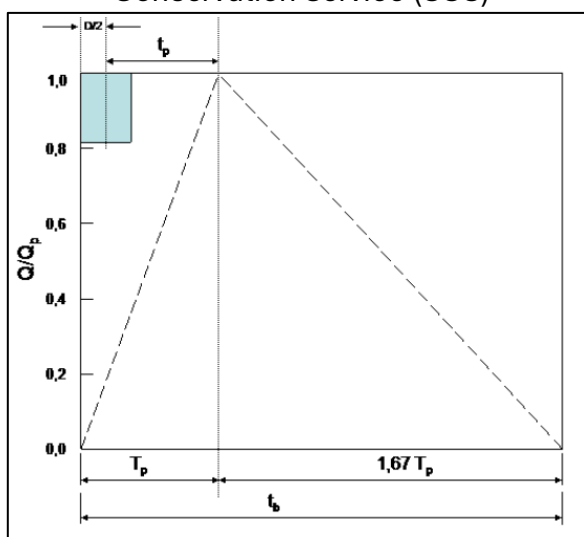
A determinação da vazão máxima é necessária para o dimensionamento de obras hidráulicas e, portanto, tem importância decisiva na segurança e custos dos projetos de engenharia (TUCCI, 2013b). Bacias hidrográficas pequenas, raramente possuem dados observados de vazão e de nível de água, como é o caso do nosso estudo. Dessa forma, a estimativa de vazões máximas não pode ser realizada por métodos estatísticos baseados em séries de vazões.

Visando embasar o anteprojeto para a instalação da ponte, utilizou-se o método do Hidrograma Unitário Triangular (HUT), conforme indicado pelo DAER (2018), visto ser uma bacia hidrográfica maior a 10 km². De acordo com o DNIT (2005), o HUT desenvolvido pelo *U.S. Soil Conservation Service* (SCS, 1957), atual *National Resource Conservation Service (NRCS)* é frequentemente utilizado por ser suficientemente preciso.

O hidrograma unitário sintético triangular é formado pela vazão de pico (q_p), pelo tempo de pico (t_p) e pelo tempo de base (t_b), conforme mostra a Figura 6 (COLLISCHONN;

TASSI, 2011), a fim de estipular o escoamento direto causado por uma chuva efetiva unitária.

Figura 6 – Representação do hidrograma unitário sintético triangular (HUT) do *Soil Conservation Service (SCS)*



Fonte: Collischonn & Tassi (2011)

A vazão de pico do hidrograma unitário triangular foi obtida por meio da Equação 10:

$$q_p = \frac{0,208 \times A}{T_p} \quad (10)$$

sendo:

q_p = vazão de pico ($m^3/s.mm$);

A = área da bacia hidrográfica (km^2);

T_p = tempo de ascensão (h).

Estimou-se o tempo de ascensão da bacia através da Equação 11:

$$T_p = t_p + \frac{D}{12} \quad (11)$$

sendo:

t_p = tempo de pico do hidrograma (min);

D = duração da chuva (min);

A duração de chuva foi estabelecida como 15 minutos, visto que de acordo com Collischonn e Dornelles (2015) deve ser entre 5 e 10 vezes menor que o tempo de concentração da bacia hidrográfica. Já o tempo de pico foi estimado como 60% do tempo de concentração, conforme Equação 13:

$$t_p = 0,60 \times t_c \quad (13)$$

sendo:

t_p = tempo de pico (h);

t_c = tempo de concentração da bacia hidrográfica (h).

Para construção do HUT do SCS obteve-se a vazão para os diferentes intervalos de duração de chuva, respeitando as seguintes condições:

a) Se $t(h) < T_p$, calculou-se a vazão por meio da Equação 14:

$$q(t) = t \times \frac{q_p}{T_p} \quad (14)$$

b) Se $t(h) > T_p$, calculou-se a vazão através da equação 15:

$$q(t) = \frac{q_p}{(t_b - T_p)} \times (t_b - t) \quad (15)$$

sendo:

t = intervalo de tempo de base com duração de 5 min (h);

q_p = vazão de pico ($m^3/s.mm$);

t_b = tempo de base (h)

T_p = tempo de ascensão (h).

Após, definiu-se a chuva de projeto pelas curvas intensidade-duração-frequência (IDF), indicada na Equação 16, a qual foi determinada pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL, 2023) para o Estado do Rio Grande do Sul, sendo os coeficientes “a” e “b”, definidos no local exato do local do exutório, em Relvado.

$$I = \frac{966,708 \times T^{0,102079}}{(t+9,791)^{0,7294}} \quad (16)$$

sendo:

I = intensidade da precipitação (mm/h);

T = tempo de retorno (ano);

t = duração da precipitação (min).

Estabeleceu-se diferentes durações de chuva de projeto, também em intervalos de 15 minutos, sendo sua duração total igual ao tempo de concentração da bacia, dado que segundo Collischonn e Tassi (2011) as precipitações pluviais que potencialmente podem causar maiores vazões no exutório são as chuvas cujas duração é igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica. Com relação ao tempo de retorno, adotou-se 100 anos, conforme recomendado pelo DAER (2018).

Uma vez definida a intensidade da chuva para os diferentes intervalos de tempo discretizados da chuva de projeto, obteve-se a respectiva altura total de precipitação pluvial multiplicando-se estes valores. Por fim, definiu-se a distribuição temporal da chuva de projeto pelo método dos blocos alternados, que reorganiza os valores incrementais de forma que o máximo incremento ocorra no meio da duração da chuva total (COLLISCHONN & TASSI, 2011).

Com base na chuva de projeto, calculou-se a precipitação efetiva, que representa a parcela de chuva que gera escoamento superficial, usando a metodologia Curva Número (CN). Segundo este método, o volume escoado durante uma chuva é dado conforme a Equação 17:

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia + S)} \quad (17)$$

sendo:

Q = precipitação efetiva (mm);

P = precipitação durante o evento (mm);

Ia = perdas iniciais;

S = armazenamento máximo da camada superior do solo (adimensional).

Esta equação é válida para $P > I_a$. Quando $P < I_a$, não há ocorrência de precipitação efetiva ($Q=0$). Para determinar o parâmetro S, relacionou-se com o fator CN, conforme indicado pela Equação 18. As perdas iniciais representam 20% da capacidade máxima de armazenamento (Equação 19).

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \quad (28)$$

$$I_a = 0,2 \times S \quad (29)$$

Para a estimativa do valor do CN, observou-se os valores tabelados por Tucci (2013) em função do grupo hidrológico do solo (A, B, C ou D) e do uso e ocupação existentes na bacia de drenagem. Tendo em vista que, em geral, as bacias são compostas por diversas características físicas e hidrológicas diferentes, realizou-se uma média ponderada dos valores de CN com relação às respectivas áreas da bacia de estudo.

A partir da precipitação efetiva e do HUT do SCS aplicou-se o princípio da superposição através da convolução, a fim de gerar o hidrograma de projeto (COLLISCHONN & TASSI, 2011). A maior vazão do hidrograma de projeto foi definida como a vazão máxima que contribui para o exutório da bacia hidrográfica, onde será instalada a ponte.

4.3 DETERMINAÇÃO DA COTA DE PROJETO

A verificação da cota de projeto foi executada utilizando a Fórmula de Manning, conforme Equação 30.

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R H^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}} \quad (30)$$

sendo:

Q = vazão máxima de projeto (m^3/s);

n = coeficiente de rugosidade;

A = área molhada (m^2);

RH = raio hidráulico (m);

i = declividade (m/m).

Para determinação do coeficiente de rugosidade, realizou-se vistoria in loco, observando as condições das margens e do leito do rio. Dessa forma, utilizou-se o valor da bibliografia definido por Manning para “canais naturais com meandros, zonas mortas e regiões pouco profundas com pedras” de 0,055.

Para determinação da área molhada e raio hidráulico considerou-se as fórmulas para canais retangulares, conforme Equações 31 e 32.

$$A = b \times y_n \quad (31)$$

sendo:

A = área molhada (m²);

b = largura do canal (m) = comprimento da ponte;

y_n = profundidade média do canal = altura da ponte.

Nesse caso, uma vez determinado o comprimento da ponte (b) nos parâmetros de projeto, a profundidade média do canal (y_n) passa ser a incógnita, visto que a estimativa da altura da ponte permite a definição da cota de projeto.

$$RH = \frac{A}{P} = \frac{A}{b + (2 \times y_n)} \quad (32)$$

sendo:

RH = raio hidráulico (m);

P = perímetro molhado.

A declividade foi determinada a partir da topografia do canal e dos respectivos perfis de elevação (considerando a lâmina d'água), gerados em um espaçamento de 100 m, abrangendo o local de implantação da obra hidráulica.

$$i = \frac{(\text{cota montante} - \text{cota jusante})}{100} \quad (33)$$

sendo:

i = declividade (m/m).

Para determinar a velocidade média do escoamento, utilizou-se a Equação 34.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (34)$$

sendo:

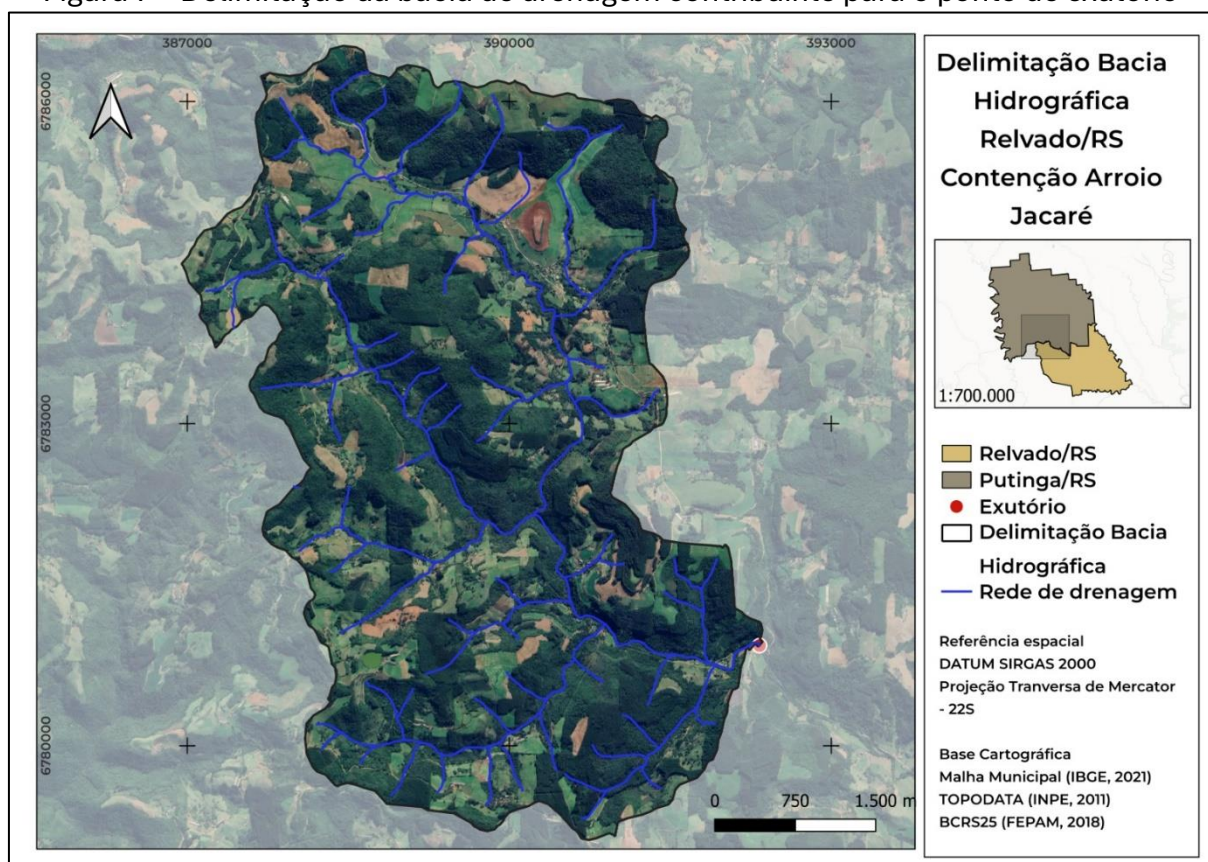
V = velocidade média (m/s);

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FISIOGRAFICA DA BACIA DE DRENAGEM

A delimitação da bacia de drenagem para o ponto definido como exutório (início da contenção) é apresentada na Figura 7.

Figura 7 – Delimitação da bacia de drenagem contribuinte para o ponto de exutório



Fonte: RENNOVARE, com base em QGis (2025).

A totalidade da bacia de drenagem está inserida na bacia hidrográfica do Taquari-Antas. Em termos de território, ela situa-se cerca de 32% no município de Relvado e 68% no município de Putinga. A caracterização fisiográfica da bacia de drenagem contribuinte para o ponto de exutório considerado é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Índices fisiográficos da bacia de drenagem contribuinte para o ponto de exutório

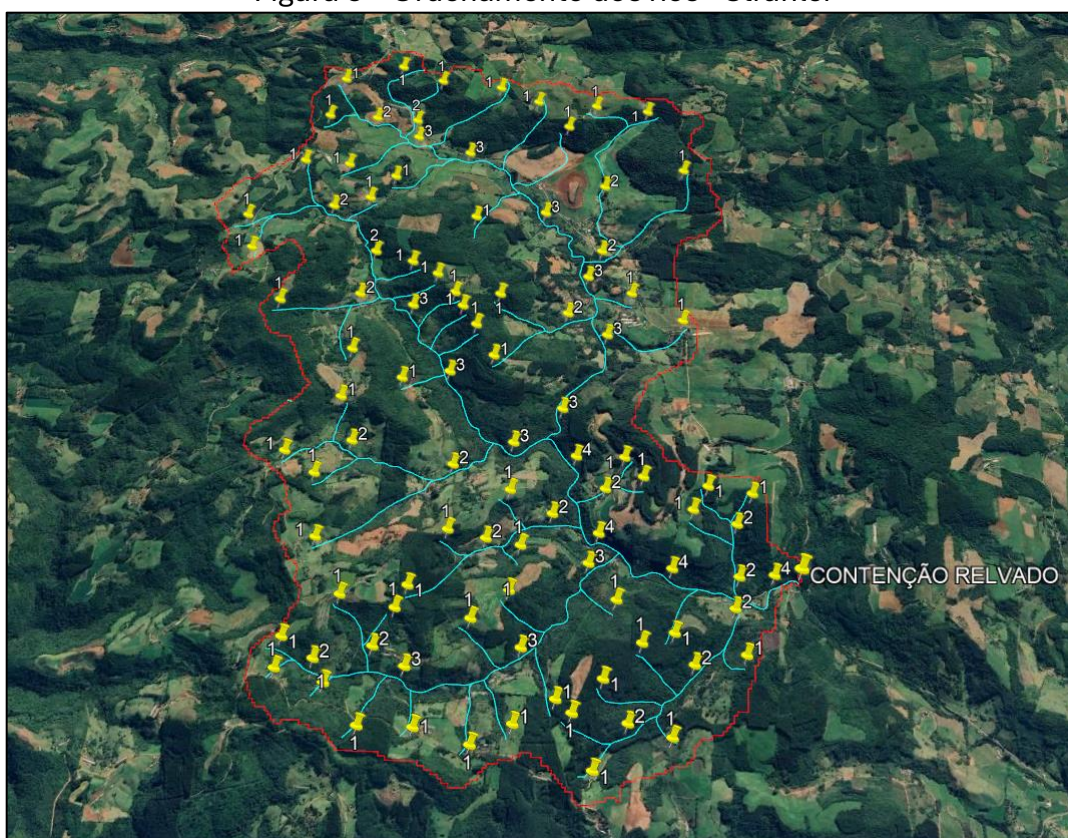
Dados Fisiográficos	Resultados	Unidade de medida
Área da bacia hidrográfica (A)	25,665	km ²
Área da bacia hidrográfica (A)	2566,500	ha
Perímetro da bacia hidrográfica (P)	33,210	km
Comprimento do curso d'água principal (L)	8,100	km
Comprimento do curso d'água principal (L)	8100,00	m
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,849	-
Fator de forma (I)	0,782	-
Comprimento axial (Lb)	5,730	km
Índice de circularidade (Ic)	0,292	-
Densidade de drenagem (Dd)	2,235	km/km ²
Comprimento total da rede de drenagem (Lt)	57,370	km
Densidade de rios (Dr)	2,416	-
Ordenamento dos rios conforme Strahler	4	ordem
Número total de segmentos de drenagem (Nt)	128	un
Número total de segmentos de ordem 1 (Nt1)	62	un
Extensão média do escoamento superficial (Les)	0,112	km
Coeficiente de manutenção (Cm)	0,447	km/km ²
Declividade média do curso d'água principal (Sm)	0,036	m/m
Diferença de altitude (ΔH)	291,20	m
Altitude inicial do rio principal (Hi)	642,26	m
Altitude final do rio principal (Hf)	351,06	m
Tempo de concentração (tc) - DNOS	84,919	min

Fonte: RENNOVARE (2025).

De acordo com Negri e Fill (2023), o valor do coeficiente de compacidade ($Kc = 1,849$) indica uma bacia com geometria irregular, permitindo maior distribuição do deflúvio, resultando no aumento do tempo de concentração. No entanto, o formato da bacia resultou em um fator de forma que foi considerado alto ($I = 0,782$), indicando maior probabilidade a enchentes. A densidade de drenagem ($Dd = 2,235 \text{ km/km}^2$) indicou alta capacidade de drenagem, ou seja, resultam em menor taxa de infiltração, o que, por sua vez, aumenta o escoamento superficial.

A Figura 8 apresenta o ordenamento dos rios segundo Strahler, que define a hierarquia da rede tributária de um rio, sendo uma medida da ramificação dentro de uma bacia. A Figura 9 apresenta a Curva Hipsométrica, que é uma representação gráfica do relevo médio da área bacia hidrográfica; enquanto a Figura 10 apresenta o perfil longitudinal do curso d'água principal (declividade pelo comprimento do arroio).

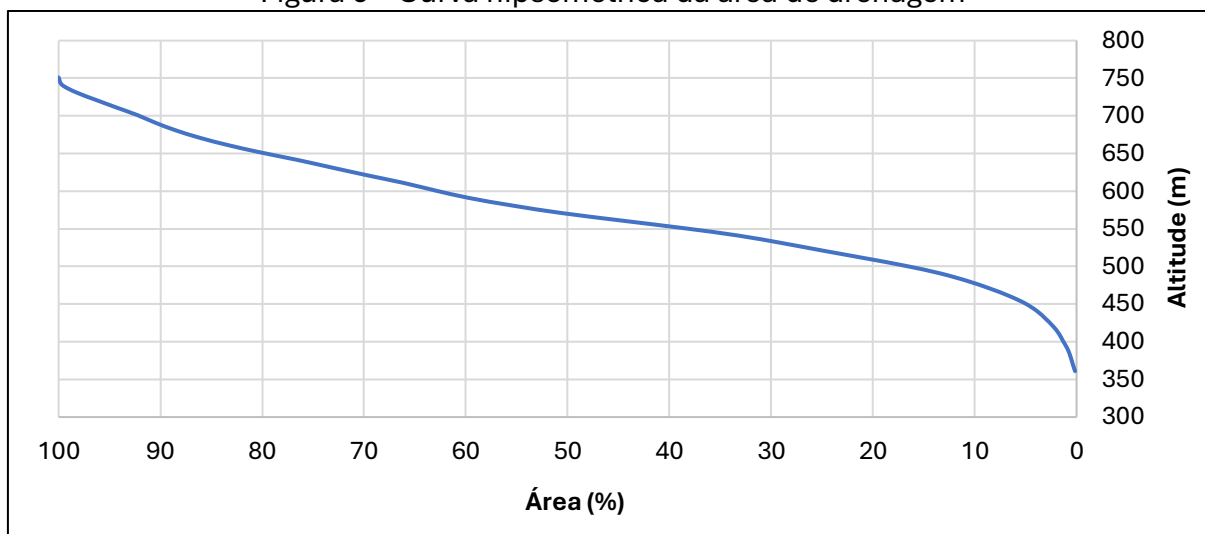
Figura 8 – Ordenamento dos rios - Strahler



Fonte: RENNOVARE, adaptado de Google Earth (2025).

Observa-se na Figura 8 que o rio principal, próximo ao exutório, é classificado como ordem 4, que indica um porte maior em relação aos anteriores.

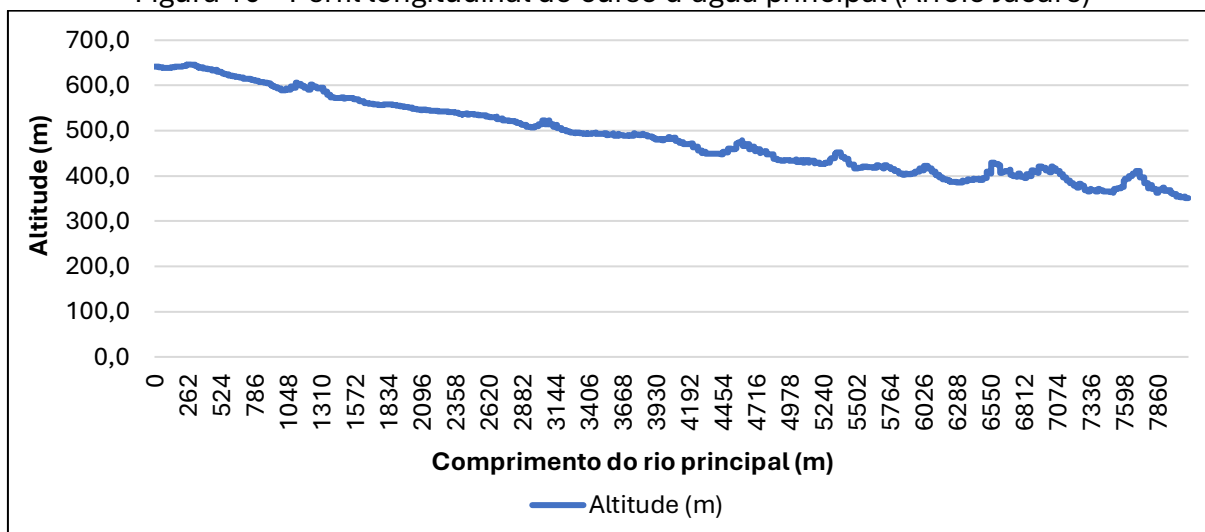
Figura 9 – Curva hipsométrica da área de drenagem



Fonte: RENNOVARE, adaptado de QGis (2025).

A curva hipsométrica indicou uma elevação média da bacia de 556 m.

Figura 10 – Perfil longitudinal do curso d'água principal (Arroio Jacaré)



Fonte: RENNOVARE, adaptado de QGis (2025).

O perfil longitudinal do rio principal indicou uma altitude de 642,3 m onde ele nasce e de 351,10 m no exutório, obtendo uma variação de 291,2 m nos 8,1 km de comprimento do arroio, indicando declividade de 3,6%, classificando o relevo como suavemente ondulado (NEGRI; FILL, 2023).

O tipo de cobertura e uso do solo é especialmente importante para a hidrologia, uma vez que influenciam diretamente no escoamento superficial. A Figura 11 apresenta

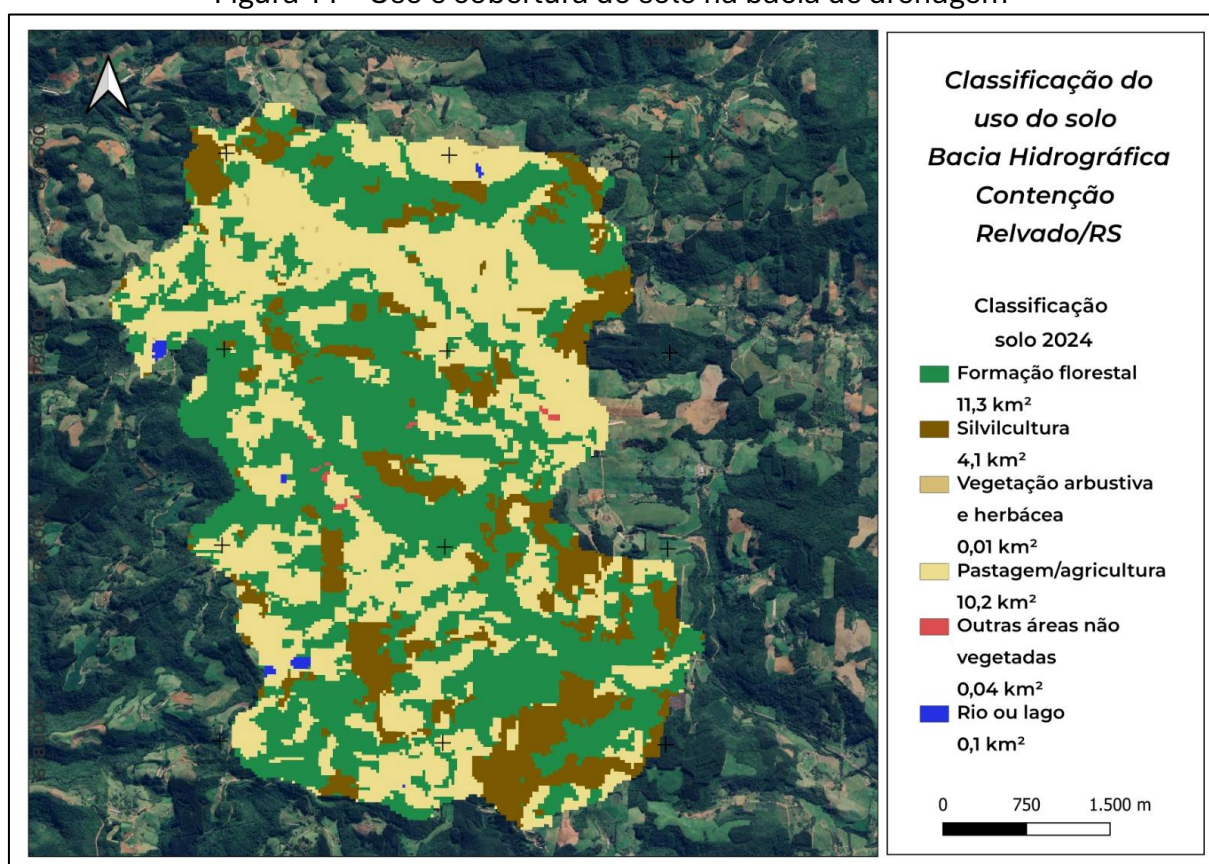
o mapa de uso do solo da bacia. A Tabela 2 apresenta a classificação dos usos em termos de área (ha) e porcentagem (%).

Tabela 2 – Uso e ocupação do solo da bacia de drenagem

Classificação	Área (km ²)	Área (%)
Formação Florestal	11,3	44,02
Silvicultura	4,07	15,85
Outras áreas não vegetadas	0,037	0,14
Vegetação arbustiva e herbácea	0,013	0,05
Rio ou lago	0,062	0,24
Pastagem/agricultura	10,19	39,69
ÁREA TOTAL	25,672	100,00

Fonte: RENNOVARE, com base em MapBiomas (2023).

Figura 11 – Uso e cobertura do solo na bacia de drenagem



Fonte: RENNOVARE, com base em MapBiomas (2023).

Além disso, o tipo de solo tem importante efeito sobre a parcela da água de infiltração. As características de permeabilidade e de porosidade do solo estão intimamente relacionadas com a percolação e os volumes de água de armazenamento, respectivamente. Os tipos de solo presentes na bacia hidrográfica foram definidos segundo a classificação do IBGE (2002), conforme apresenta a Tabela 3.

Tabela 3 – Pedologia da bacia de drenagem contribuinte para o ponto de exutório

Classe	Características	Porcentagem (%)
Re23 – Neossolos litólicos	Solos com textura média argilosa e argilosa fase pedregosa (cascalhenta) em relevo forte ondulado a montanhoso	1,5%
Re24 - Neossolos litólicos		98,5%
TOTAL		100,00

Fonte: RENNOVARE, com base em IBGE (2002).

Os tipos de solo identificados se enquadram no grupo hidrológico de solo “C”, que se classificam como solos pouco profundos e solos contendo bastante argila, apresentando infiltração abaixo da média (DNIT, 2005).

A existência de terrenos menos permeáveis ocasiona a aceleração do escoamento devido à baixa infiltração. Contudo, a significativa área da bacia com cobertura vegetal aumenta a parcela de água de interceptação e contribui para o processo de infiltração.

Diante da análise de cobertura do solo, foi possível definir o coeficiente de escoamento, conforme apresenta a Tabela 4.

Tabela 4 – Coeficientes de escoamento de acordo com a cobertura do solo

Uso do Solo	Tipo de superfície	CN
Formação Florestal	Floresta densa	62
Silvicultura	Floresta normal	70
Outras áreas não vegetadas	Chácaras normais	86
Vegetação arbustiva e herbácea	Campos normais	73
Rio ou lago	-	-
Pastagem/agricultura	Plantações regulares em fileiras retas e pastagens normais	79,5

Fonte: RENNOVARE, com base em Tucci (2009).

Dessa forma, o **coeficiente de escoamento** ponderado pela área é:

$$CN = \frac{(62 \times 11,3) + (79,5 \times 10,19) + (70 \times 4,07) + (86 \times 0,04) + (73 \times 0,013)}{25,6}$$

*descontadas as áreas de lago/alagadas

$$CN = 70,27$$

5.2 ESTIMATIVA VAZÃO MÁXIMA – MÉTODO HUT

Os valores obtidos para os parâmetros que permitem a construção do hidrograma unitário sintético triangular (HUT) do Soil Conservation Service (SCS, 1957), são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Variáveis para construção do HUT

Variável	Resultado	Unidade
Vazão de pico (qp)	5,480	m ³ /s.mm
Tempo de ascensão (Tp)	58,451	min
Tempo de pico do hidrograma (tp)	50,951	min
Duração da chuva (D)	15,000	min
Tempo de base (tb)	156,065	min

Fonte: RENNOVARE (2025).

Na Tabela 6 estão indicadas as vazões obtidas a partir dessas variáveis para os diferentes tempos de base discretizados, as quais formam o HUT do SCS.

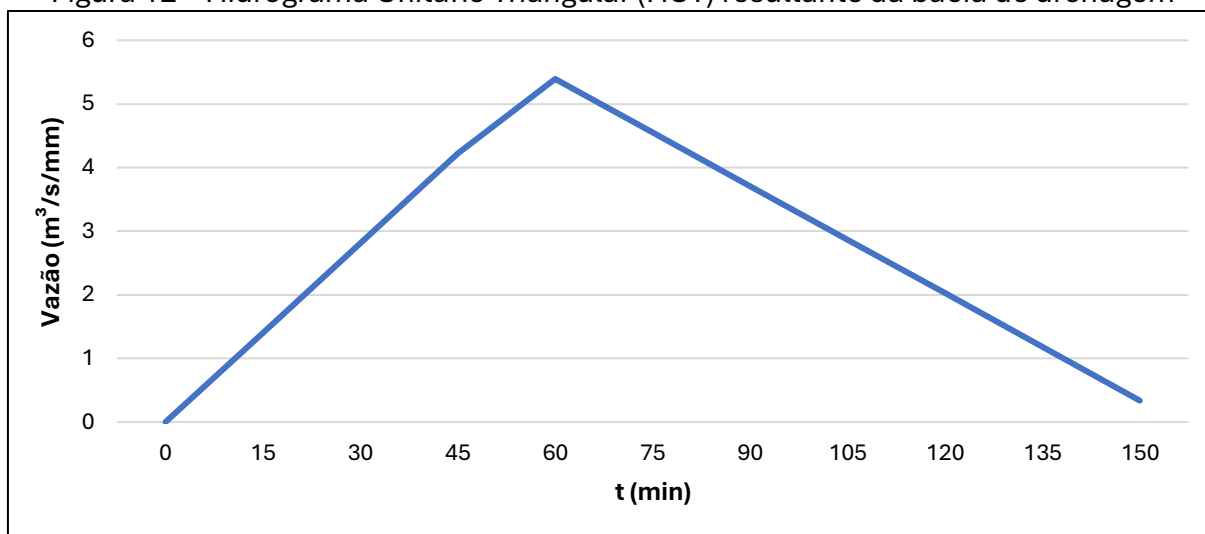
Tabela 6 – Vazões constituintes do hidrograma unitário sintético triangular

t (min)	Hu (m³/s/mm)
15,00	1,41
30,00	2,81
45,00	4,22
60,00	5,39
75,00	4,55
90,00	3,71
105,00	2,87
120,00	2,02
135,00	1,18
150,00	0,34

Fonte: RENNOVARE (2025).

A representação gráfica do HUT do SCS resultante para a bacia de drenagem do Arroio Guaporé está apresentada na Figura 12.

Figura 12 – Hidrograma Unitário Triangular (HUT) resultante da bacia de drenagem



Fonte: RENNOVARE (2025).

A chuva de projeto (incremento arranjado), essencial para determinação da chuva efetiva, obtida a partir da intensidade da chuva para os diferentes intervalos de discretização do tempo de concentração da bacia de drenagem e considerando o tempo de retorno (TR) de 100 anos, está apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultado do cálculo da chuva de projeto da bacia de drenagem

Duração (min)	Intensidade (mm/h)	Altura total (mm)	Incremento (mm)	Incremento arranjado (mm)
15,00	148,75	37,19	37,19	3,14
30,00	105,33	52,67	15,48	3,82
45,00	83,41	62,56	9,89	4,97
60,00	69,92	69,92	7,36	7,36
75,00	60,66	75,83	5,91	15,48
90,00	53,87	80,80	4,97	37,19
105,00	48,64	85,11	4,31	9,89
120,00	44,47	88,94	3,82	5,91
135,00	41,06	92,38	3,45	4,31
150,00	38,21	95,53	3,14	3,45

Fonte: RENNOVARE (2025).

Observa-se que o máximo incremento da chuva de projeto, disposto aproximadamente no meio da duração da chuva total, resultou em 37,19 mm.

No que diz respeito à chuva excedente, necessária para o cálculo do hidrograma de projeto final, considerou-se os valores de Curva Número (CN), que correspondeu a 70,27. A partir dessa definição, a Tabela 8 apresenta a chuva efetiva para cada intervalo discretizado do tempo de concentração da bacia de estudo.

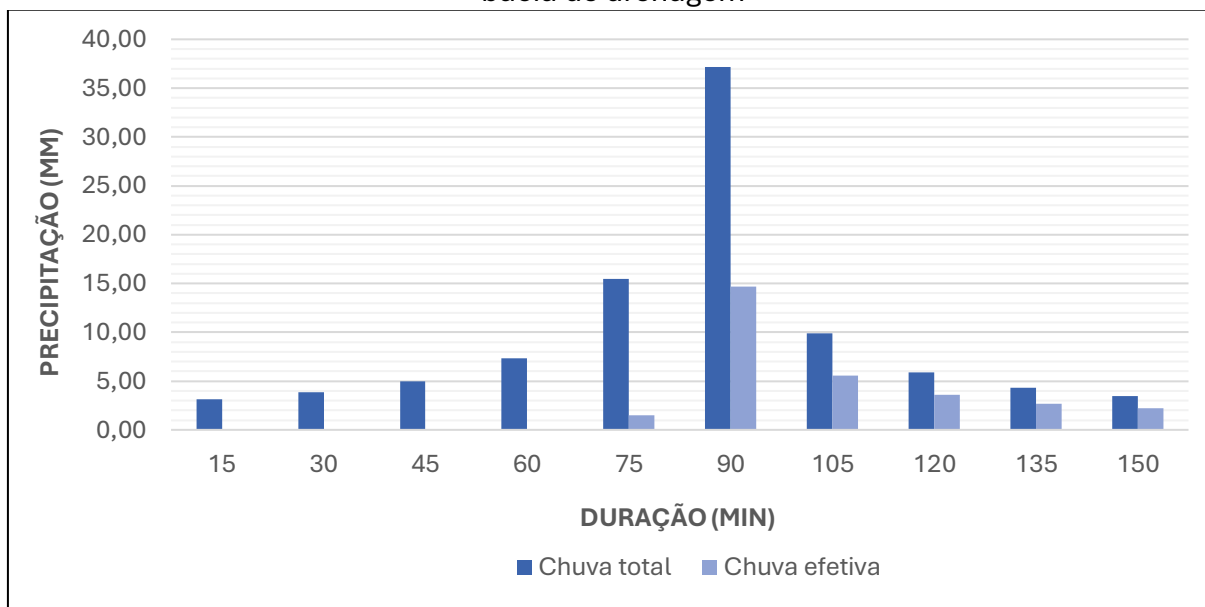
Tabela 8– Resultado do cálculo da precipitação efetiva da bacia de drenagem

Duração (min)	Chuva efetiva acumulada (mm)	Chuva efetiva - incremento (mm)
15,00	0,00	0,00
30,00	0,00	0,00
45,00	0,00	0,00
60,00	0,00	0,00
75,00	1,46	1,46
90,00	16,13	14,67
105,00	21,72	5,58
120,00	25,29	3,57
135,00	27,99	2,70
150,00	30,21	2,21

Fonte: RENNOVARE (2025).

O hietograma dos valores incrementais reorganizados pelo método dos blocos alternados, tanto da chuva de projeto total como da precipitação efetiva, é apresentado na Figura 13, onde observa-se que até o instante 60 minutos não acontece escoamento superficial, ocorrendo a infiltração total da precipitação.

Figura 13 – Hietograma dos valores incrementais da chuva de projeto e chuva efetiva da bacia de drenagem



Fonte: RENNOVARE (2025).

Por fim, os resultados do hidrograma de projeto, realizado através da convolução, são apresentados na Tabela 9.

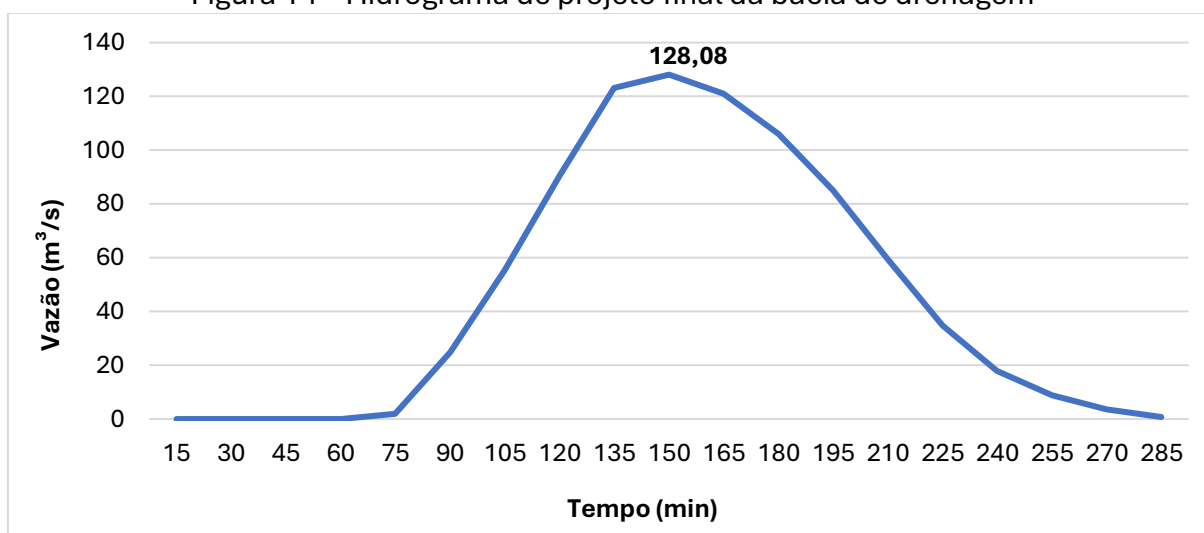
Tabela 9 – Resultado do cálculo do hidrograma de projeto final da bacia de drenagem

Tempo (min)	Vazão Total (m ³ /s)	Tempo (min)	Vazão Total (m ³ /s)
15	0,00	150	128,08
30	0,00	165	120,90
45	0,00	180	105,90
60	0,00	195	84,93
75	2,06	210	59,49
90	24,75	225	34,79
105	55,29	240	17,94
120	90,51	255	8,90
135	123,18	270	3,54
150	128,08	285	0,75

Fonte: RENNOVARE (2025).

O mesmo conteúdo é apresentado graficamente na Figura 14.

Figura 14 – Hidrograma de projeto final da bacia de drenagem



Fonte: RENNOVARE (2025).

Verifica-se, que a **vazão máxima de projeto** a ser considerada para o projeto da contenção resultou em **128,08 m³/s**.

Para fins de comparação, calculou-se a vazão de pico também pelo Método Racional, que resultou em uma Q_{máx} de 119,74 m³/s, validando os cálculos pela proximidade dos valores.

Com o intuito considerar algum critério hidrológico de adaptação às mudanças climáticas para aplicações em projetos de infraestrutura, bem como possíveis mudanças no uso e ocupação do solo (aumento da urbanização), utilizou-se um fator correção de 20%, conforme indicado pelo IPH/UFRGS (2024). Sendo assim, a **vazão máxima de projeto** a ser considerada é:

$$Q_p = 128,08 \times 1,2$$

$$Q_p = 153,70 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.3 DETERMINAÇÃO DA COTA DE PROJETO

A Figura 15 apresenta a ortofoto da situação do local do estudo, onde é possível observar o relevo do terreno, as condições do leito e do entorno do Arroio Jacaré, bem como as cotas utilizadas para determinação da declividade. A contenção está demarcada em preto, com dimensões aproximadas de 50 m de comprimento e 7,5 m de altura.

Figura 15 – Ortofoto do Arroio Jacaré



Fonte: GB TOPOGRAFIA (2025).

A Tabela 10 apresenta os parâmetros para determinação da cota de projeto, onde considerou-se a vazão de cheia determinada anteriormente para um tempo de retorno de 100 anos, com largura média do canal de 10 m no trecho da obra, além da profundidade do canal que melhor atendeu o regime de escoamento.

Tabela 10 – Parâmetros para determinação da cota de projeto

Parâmetro	Valor	Unidade de medida
Vazão de Cheia (Q_{máx})	153,70	m³/s
Tipo de canal	Retangular	
b (largura do canal)	10,0	m
y_n (profundidade do canal)	4,7	m
Coef. de rugosidade (n)	0,055	
Área Molhada	47,0	m ²
Perímetro molhado	19,4	m
Raio Hidráulico	2,42	m
Cota inicial (120m)	351	m
Cota final (20m)	352	m
Cota da obra	351,50	m
i (declividade)	0,01	m/m
Extensão entre as cotas	100	m

Fonte: RENNOVARE (2025).

Dessa forma, foi possível obter a vazão e a velocidade média na seção onde irá se instalar a contenção:

$$\text{Vazão} = Q = \frac{1}{0,055} \times 47,0 \times 2,42^{\frac{2}{3}} \times 0,01^{\frac{1}{2}}$$

$$\mathbf{Q = 154,15 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$\text{Velocidade} = V = \frac{154,15}{47,0}$$

$$\mathbf{V = 3,28 \text{ m/s}}$$

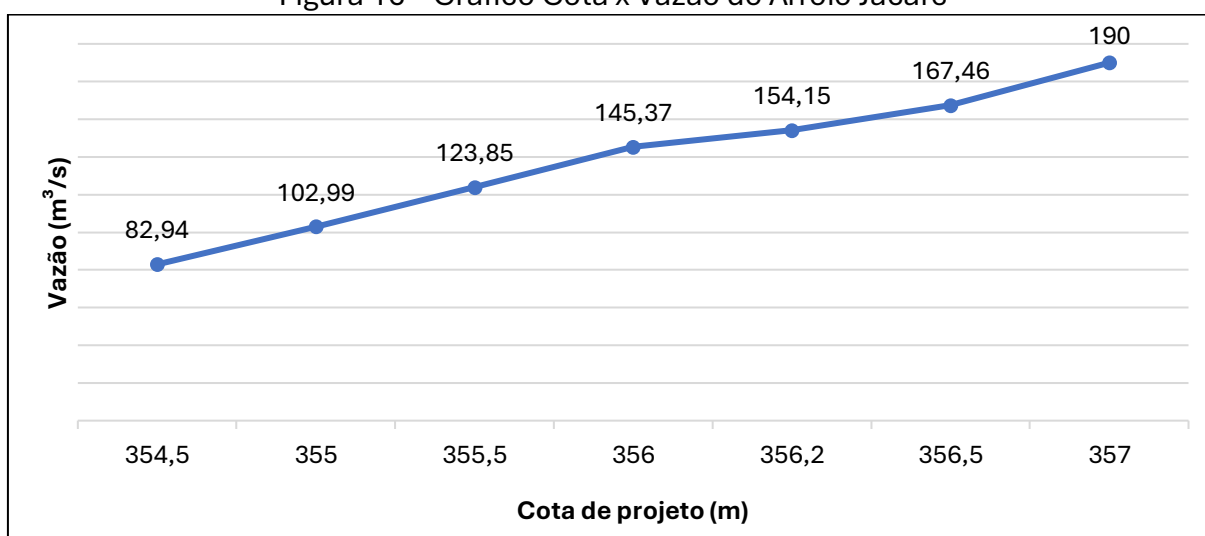
A partir desses dados, pode-se fazer simulações para obter a cota de projeto variando a profundidade do canal (y_n), conforme Tabela 11 e as Figuras 16 e 17, que apresentam os gráficos de Cota x Vazão e Cota x Velocidade, respectivamente.

Tabela 11 – Simulações para determinação da cota de projeto

Profundidade do canal (m)	Cota de projeto (m)	Vazão (m ³ /s)	Velocidade (m/s)
3	354,5	82,94	2,76
3,5	355	102,99	2,94
4	355,5	123,85	3,1
4,5	356	145,37	3,23
4,7	356,2	154,15	3,27
5	356,5	167,46	3,35
5,5	357	190	3,45

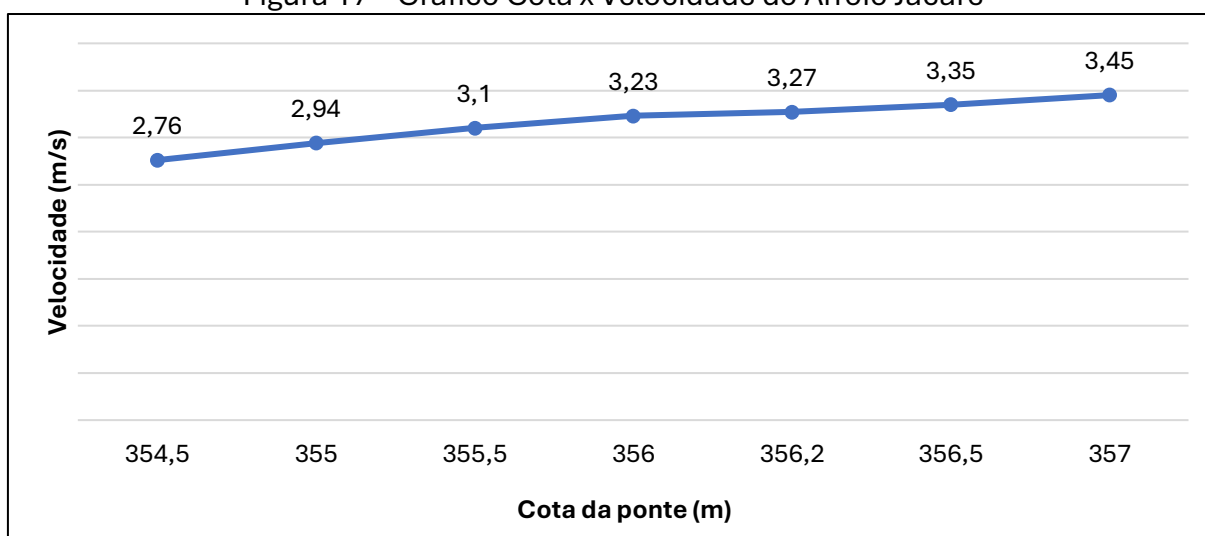
Fonte: RENNOVARE (2025).

Figura 16 – Gráfico Cota x Vazão do Arroio Jacaré



Fonte: RENNOVARE (2025).

Figura 17 – Gráfico Cota x Velocidade do Arroio Jacaré



Fonte: RENNOVARE (2025).

Observa-se que na cota 356,20 m, relativa a uma altura dos taludes (margens) de 4,7 m, a vazão de cheia é atendida para que a água não extravase, apresentando uma velocidade média de 3,27 m/s, considerado um regime subcrítico (fluvial).

No entanto, há alguns fatores a serem considerados no momento da definição final da cota do projeto, que é relativa à altura das margens (taludes) do rio, pois na visita in loco observou-se que:

- a) O arroio passou por processo de desassoreamento recente (jun-jul/25), fazendo com que as margens não fossem totalmente restituídas e deixando o solo exposto, fato que afeta a morfologia e as características naturais do curso hídrico;
- b) Os efeitos do evento extremo de maio de 2024 ainda são visíveis no local, sendo possível estimar que o nível da água chegou em cerca de 8 metros de altura (cota 360 m), porém o tempo de retorno do evento foi muito superior ao utilizado nesse estudo;
- c) As margens ao sul, foram as mais afetadas pela cheia de 2024, sofrendo perdas totais da vegetação e alteração nos taludes, sendo que atualmente possuem cerca de 3 metros de altura;
- d) Logo à jusante da contenção, há uma ponte que pode causar estrangulamento do canal em momentos de cheias por conta das suas dimensões, além de um galpão muito próximo ao arroio que pode ser afetado com alagamentos/inundações.

Considerando isso, é importante que ocorra a **reestruturação dos taludes de ambos os lados do arroio**, para fins de segurança tanto de trafegabilidade pelas estradas que o margeiam, como para não ocorrer extravasamentos e, consequentes inundações em eventos de precipitação intensa.

Com base na análise realizada, recomenda-se a adoção de uma **margem de segurança de 10% na profundidade do canal, resultando em uma altura de contenção de 5,2 m (cota 356,7 m)**. Essa ação irá reduzir significativamente o risco de inundações e os custos com manutenções corretivas do arroio ao longo do tempo.

5.3.1 Quadro resumo do estudo hidrológico

O resumo do estudo hidrológico para o Arroio Jacaré está apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Quadro resumo do estudo hidrológico

Identificação do empreendimento	Contenção Arroio Jacaré - Relvado
Área da bacia de drenagem	25,665 km²
Comprimento do rio principal	8,10 km
Declividade do rio	3,60%
Tempo de Concentração	84,92 min
Vazão máxima	128,08 m³/s
Vazão máxima (20% segurança)	153,70 m³/s
Cotas de projeto	
Cenário 1 - Mínimo <ul style="list-style-type: none"> • Largura do Arroio: 10 m • Altura dos Taludes: 4,70 m 	Cota: 356,20 m Vazão: 154,15 m³/s Velocidade: 3,28 m/s
Cenário 2 – Ideal <ul style="list-style-type: none"> • Largura do Arroio: 10 m • Altura dos Taludes: 5,20 m 	Cota: 356,70 m Vazão: 176,43 m³/s Velocidade: 3,39 m/s

Fonte: Auoras (2025).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados refletem a metodologia indicada pelo DAER, o qual define diretrizes específicas para projetos de pontes. Os parâmetros utilizados para determinação da vazão máxima de projeto são resultados de dados precisos obtidos através de software de geoprocessamento (QGis) e de outras plataformas confiáveis e consolidadas como IBGE, MapBiomas e dados Geoespaciais da Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA RS), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do Exército Brasileiro (BDGEx).

De um modo geral, os resultados mostraram que a bacia hidrográfica apresenta probabilidade moderada para enchentes devido a suas características fisiográficas, declividade média, uso do solo e pedologia. Logo, a vazão máxima obtida reflete as particularidades da bacia delimitada.

Com base na análise realizada, recomenda-se a adoção do Cenário 2 no momento de definição da cota de projeto, por proporcionarem melhor desempenho hidráulico, aumentar a resiliência da estrutura e minimizar os riscos de submersão.

Ficamos à disposição para maiores esclarecimentos.

Cotiporã, 20 de agosto de 2025.

BIANCA BREDA
Eng. Ambiental – CREA RS257100
ART nº 13954709

REFERÊNCIAS

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Apostila, versão 8. IPF/UFRGS.2011.

DAER, Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. RT-SHD-02/18 - Recomendação Técnica para elaboração de estudos hidrológicos e/ou verificação hidráulica para determinação de altura e comprimento de pontes. DAER/RS. 2018.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem – IPR 715. Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR-DNIT). Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro. 2005.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pedologia: Rio Grande do Sul. IBGE. 2002. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia.html>. Acesso em: jun. 2025.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. TOPODATA. Brasil. INPE.2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: jun.2025.

NEGRI, R.; FILL, H. Caracterização física de 14 bacias hidrográficas brasileiras: proposição do indicador da declividade média dos rios e do coeficiente de suscetibilidade de enchentes. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. V. 28. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220220194>. 2023.

SEMA, Secretaria Estadual de Meio Ambiente. Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:25.000 – BCRS25. SEMA: Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM). Porto Alegre. 2018.

BRASIL. BDGEX - Banco de Dados Geográficos do Exército. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. 2025.

RODRIGUES, A. A.; SIQUEIRA, T. M.; BESKOW, T. L. C.; BESKOW, S; TIMM, L. C. Mapas dos Coeficientes da Equação Intensidade-Duração-Frequência de chuvas para o Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Pelotas, 2023, 1ª Edição. ISBN: 978-65-00-79691-9. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/hidrologiaemodelagemhidrologica/downloads/>. Acesso em: ago. 2025

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídrico**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 61-68, 2000.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 943 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; 4) ISBN 9788570259240.

UFRGS, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Nota Técnica: Critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática: Chuvas e cheias extremas na Região Sul do Brasil. Instituto de Pesquisas Hidráulicas: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS). 2024.

APÊNDICE A – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO

Figura 1 – Características atual do talude que irá receber a contenção



Fonte: PROGETTARE (2025).

Figura 2 – Estrada São João, às margens do Arroio Jacaré



Fonte: PROGETTARE (2025).

Figura 3 – Vista do Arroio Jacaré, no trecho da contenção



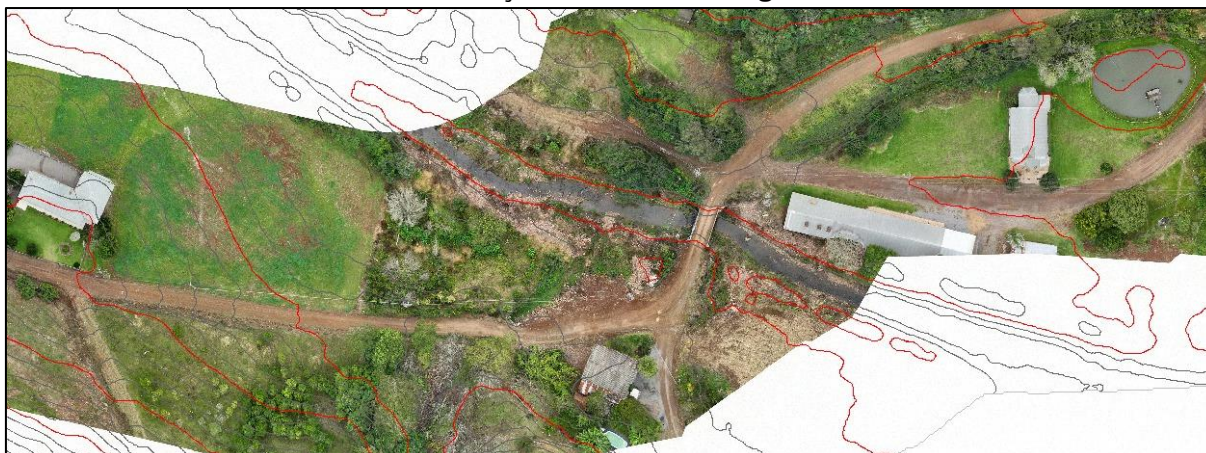
Fonte: PROGETTARE (2025).

Figura 4 – Detalhes do desassoreamento do Arroio Jacaré



Fonte: PROGETTARE (2025).

Figura 5 – Foto aérea do Arroio Jacaré nas proximidades da contenção, da ponte e das construções nas suas margens



Fonte: GB TOPOGRAFIA (2025).

ANEXO I – ANOTAÇÕES DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA (ART)



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

Contratado

Carteira: RS257100	Profissional: BIANCA BREDA	E-mail: bianca.breda@rennovare.eco.br
RNP: 2221119860	Título: Engenheira Ambiental	
Empresa: RENNOVARE SOLUÇÕES AMBIENTAIS LTDA		Nr.Reg.: 274503

Contratante

Nome: MUNICÍPIO DE RELVADO	E-mail: administracao@relvadors.com.br
Endereço: RUA DAS HORTÊNSIAS 57	Telefone: CPF/CNPJ: 92402510000103
Cidade: RELVADO	Bairro: CENTRO CEP: 95965000 UF: RS


Identificação da Obra/Serviço

Proprietário: MUNICÍPIO DE RELVADO		
Endereço da Obra/Serviço: Rua DAS HORTÊNSIAS 57	Bairro: CENTRO	CPF/CNPJ: 92402510000103
Cidade: RELVADO		CEP: 95965000 UF: RS
Finalidade: AMBIENTAL	Vlr Contrato(R\$): 4.200,00	Honorários(R\$): 4.200,00
Data Início: 20/08/2025	Prev.Fim: 18/08/2026	Ent.Classe:

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Laudo Técnico	Hidrologia - Dimensionamento de Vazões	1,00	UN
Elaboração de Relatório	Hidrografia e Hidrologia - Bacia Hidrográfica	1,00	UN
Observações	ESTUDO HIDROLÓGICO PARA CONTENÇÃO NO ARROIO JACARÉ	1,00	UN

ART registrada (paga) no CREA-RS em 20/08/2025

Documento assinado digitalmente

Local e Data	 BIANCA BREDA Data: 20/08/2025 14:31:19-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br	De acordo CARLOS LUIZ FRAPORTI:40061892068 Assinado de forma digital por CARLOS LUIZ FRAPORTI:40061892068 Dados: 2025.08.20 14:16:01 -03'00'
--------------	---	--

BIANCA BREDA

Profissional

Contratante

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