ESTUDO GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO
DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO
PONTE TROMBUDO

CLIENTE: MUNICÍPIO DE DONA FRANCISCA

OBJETO: Estudo Geotécnico e Hidrológico e Dimensionamento Hidráulico da micro bacia da Localidade Trombudo.

LOCAL: LINHA VENDRUSCOLO, LOCALIDADE TROMBUDO, MUNICÍPIO DE DONA FRANCISCA/RS.

Dona Francisca/RS, agosto de 2026.

1. APRESENTAÇÃO

O presente estudo tem como objetivo fornecer subsídios técnicos para o planejamento, dimensionamento e implantação de uma ponte na localidade de Trombudo, zona rural do município de Dona Francisca, Estado do Rio Grande do Sul, situada nas coordenadas geográficas 29°32’12.87” S e 53°22’4.37” O.

O empreendimento contempla a construção de uma ponte em concreto pré-moldado, destinada a substituir a atual travessia executada por meio de galeria celular. A infraestrutura existente tem se mostrado insuficiente para atender às vazões do curso d'água, especialmente em eventos de precipitação intensa, ocasionando o extravasamento da água sobre a pista, interrupções no tráfego e dificuldades de acesso às propriedades rurais da região.

Os eventos hidrológicos extremos registrados no Estado do Rio Grande do Sul nos últimos anos, em especial durante os anos de 2024 e 2025, evidenciaram a necessidade de adequação das obras de arte correntes às novas condições hidrológicas da bacia. Nesse contexto, a substituição da galeria por uma ponte constitui uma solução técnica mais segura e resiliente, proporcionando maior capacidade hidráulica, redução do risco de obstruções por materiais transportados pela correnteza e maior segurança para os usuários da via, além de assegurar a continuidade do tráfego mesmo durante períodos de cheias.

O município de Dona Francisca localiza-se na região central do Estado do Rio Grande do Sul, possuindo área territorial aproximada de 114 km² e população estimada em 3.070 habitantes, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). Inserido na região fisiográfica da Depressão Central, o município apresenta relevo caracterizado por transição entre áreas de várzea associadas ao Rio Jacuí e terrenos mais elevados pertencentes ao rebordo do Planalto Meridional, com altitudes variando aproximadamente entre 35 m e 515 m acima do nível do mar.

As características geomorfológicas e climáticas da região favorecem a ocorrência de escoamentos superficiais significativos durante eventos pluviométricos intensos, resultando em elevação rápida dos níveis dos cursos d'água e aumento das solicitações hidráulicas sobre as estruturas de travessia. Dessa forma, torna-se indispensável a realização de estudos hidrológicos e hidráulicos que permitam o

adequado dimensionamento da nova ponte, garantindo níveis satisfatórios de segurança estrutural, desempenho hidráulico e durabilidade da obra.

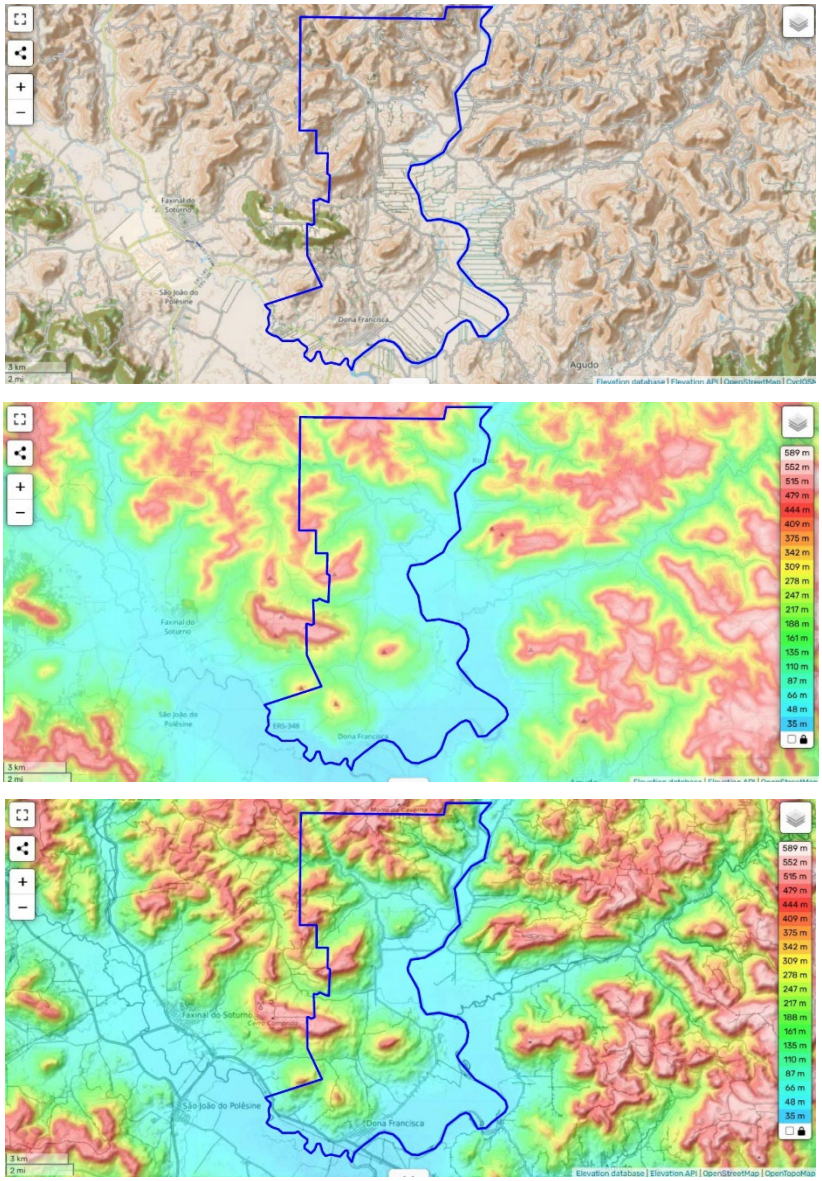
O presente estudo integra as etapas preliminares de concepção do empreendimento, fornecendo os parâmetros técnicos necessários ao dimensionamento da estrutura, à definição das condições de implantação e à avaliação da capacidade hidráulica do curso d'água, contribuindo para uma solução compatível com as condições locais e com os critérios técnicos adotados para obras de infraestrutura viária.

2. ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO

2.1 Relevo

A região do município de Dona Francisca apresenta acentuada variação altimétrica, característica que exerce influência direta sobre a dinâmica hidrológica das microbacias hidrográficas locais. O relevo é típico do rebordo do Planalto Meridional e das encostas da Serra Geral, sendo caracterizado por transições abruptas entre áreas de elevadas declividades e vales encaixados, conforme ilustrado na Figura 01.

Figura 01 - Mapa topográfico do município de Dona Francisca – RS.



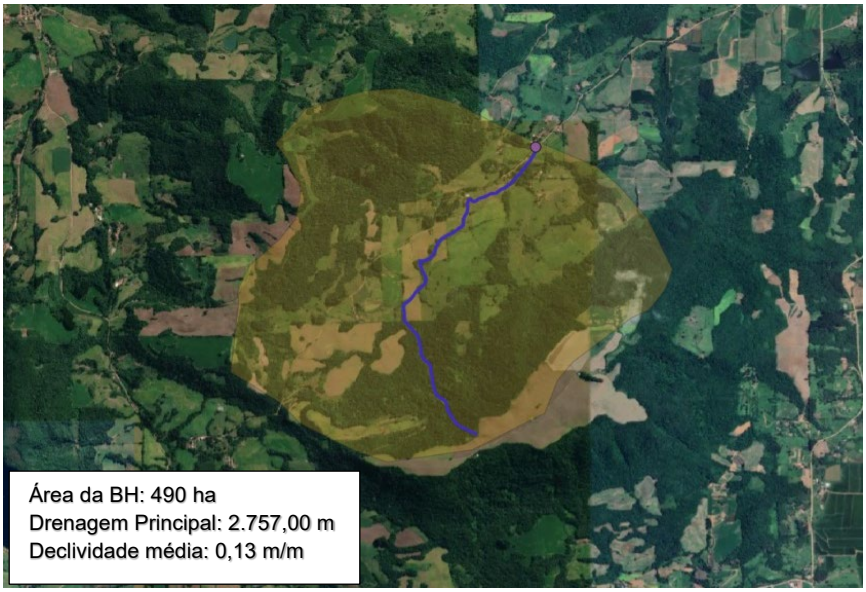
Fonte: https://pt-br.topographic-map.com/map-mgkf14/Dona-Francisca/

O presente estudo concentra-se na Localidade de Trombudo, no ponto de interesse da obra da ponte, localizado nas coordenadas geográficas 29°32’12.87” S e 53°22’4.37” O, onde se encontra a travessia objeto deste projeto. O exutório da microbacia apresenta altitude aproximada de 130,0 m, enquanto a cota máxima da bacia atinge aproximadamente 504,0 m, constituindo o principal divisor de águas da região.

A microbacia contribuinte possui área de drenagem de aproximadamente 490 ha, comprimento do talvegue principal de 2.757,00 m e declividade média de 0,13 m/m, conforme apresentado na Figura 02. Os parâmetros geomorfológicos indicam uma bacia de com elevada energia de relevo, favorecendo a rápida concentração do escoamento superficial durante eventos de precipitação intensa.

O relevo íngreme é evidenciado pelo adensamento das curvas de nível, refletindo elevadas declividades e reduzido tempo de concentração da bacia. Essas características promovem velocidades elevadas de escoamento superficial, intensificando os processos erosivos e aumentando significativamente as vazões de pico que atingem o curso d'água localizado no exutório da bacia.

Figura 02 – Mapa da microbacia do Trombudo.



Fonte: Autor.

Os escoamentos gerados nas porções mais elevadas convergem em direção ao exutório, afluente do Rio Jacuí, concentrando grandes volumes de água no ponto onde atualmente existe a travessia por galeria. Durante eventos pluviométricos de maior

intensidade, essa condição favorece o aumento expressivo do nível d'água, ocasionando extravasamentos sobre a pista, obstrução da passagem por sedimentos e materiais vegetais, processos erosivos nas cabeceiras, solapamento das estruturas existentes e danos à infraestrutura viária.

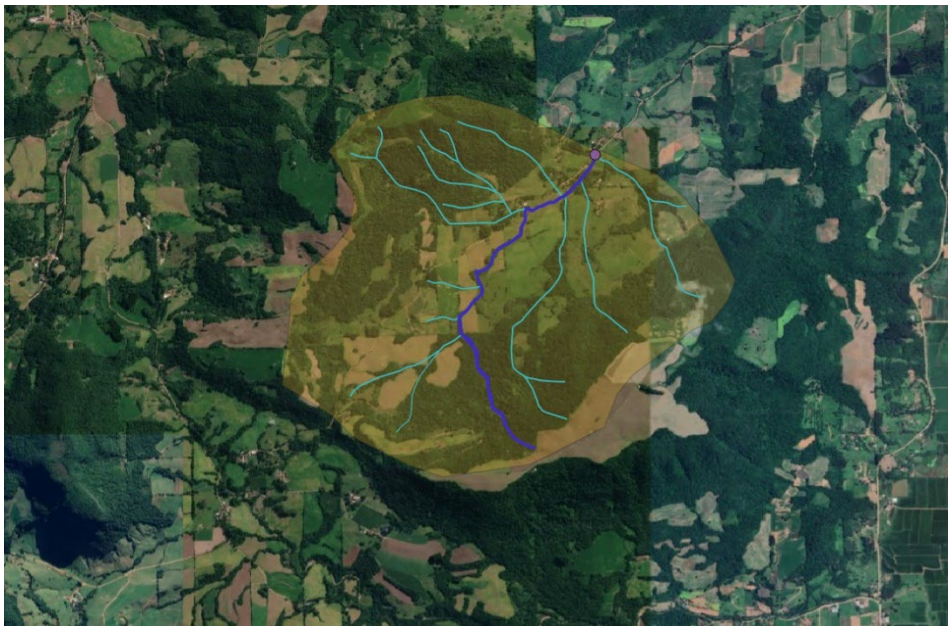
Devido às características topográficas do terreno, o escoamento superficial gerado pelas precipitações tende a convergir naturalmente para as regiões de menor cota, formando uma rede de drenagem direcionada ao exutório da microbacia do Trombudo, conforme apresentado na Figura 03. Além do curso de drenagem principal, observa-se a presença de diversos canais e linhas de drenagem secundárias que recebem as contribuições das vertentes e as conduzem progressivamente em direção ao canal principal, promovendo a concentração dos escoamentos no ponto de saída da microbacia, conforme ilustrado na Figura 04.

Figura 03 – Mapa tridimensional da microbacia do Trombudo.



Fonte: Autor.

Figura 04 – Malha de drenagem da microbacia do Trombudo.



Fonte: Autor.

Durante a ocorrência de precipitações intensas, especialmente nas regiões de cabeceira, o elevado aporte de água e a concentração dos escoamentos provenientes das diferentes vertentes podem provocar aumento significativo e relativamente rápido da vazão no canal principal. Esse fenômeno pode resultar em elevação do nível d'água e aumento da velocidade e da capacidade erosiva do escoamento, principalmente nas regiões de maior declividade e nas proximidades do exutório.

Em eventos hidrológicos de maior magnitude, essa concentração pode produzir escoamentos com elevada energia, capazes de provocar erosão das margens e do leito, transporte de sedimentos e materiais, alterações localizadas na geometria do canal e danos às estruturas e infraestruturas existentes. Tais condições podem ainda comprometer as travessias e os acessos viários, ocasionando interrupções temporárias ou até o isolamento das comunidades atendidas. Por esse motivo, a análise das características topográficas, da rede de drenagem e da resposta hidrológica da microbacia do Trombudo constitui etapa fundamental para a determinação das vazões de projeto e para o adequado dimensionamento hidráulico da ponte prevista no local.

Os eventos hidrológicos extremos registrados recentemente no Estado do Rio Grande do Sul evidenciaram a vulnerabilidade da travessia existente, reforçando a necessidade da implantação de uma ponte com capacidade hidráulica compatível com

as características da bacia contribuinte. A nova estrutura permitirá maior eficiência na passagem das vazões de projeto, reduzindo os riscos de interrupção do tráfego, minimizando processos erosivos e proporcionando maior segurança operacional à via.

Além da importância técnica da obra, a travessia desempenha papel fundamental na mobilidade da população rural da Localidade de Trombudo. A via constitui o principal acesso utilizado pelos moradores para o deslocamento diário, transporte escolar, atendimento de serviços de emergência, escoamento da produção agropecuária e abastecimento das propriedades rurais. Dessa forma, garantir a trafegabilidade permanente da estrada representa uma medida essencial para assegurar o direito de ir e vir da população, promover o desenvolvimento econômico local e preservar a integração entre as comunidades do interior do município.

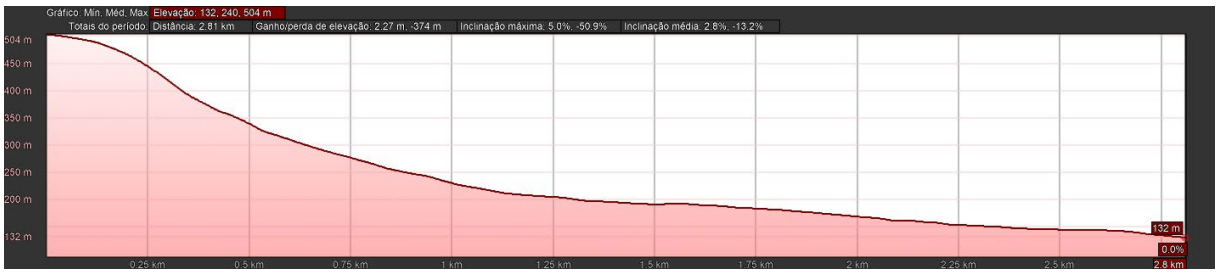
2.1.1 Declividades e Direções de Escoamento

A análise das declividades revela um padrão heterogêneo que influencia diretamente as características do escoamento superficial:

- Altas declividades (>20%): Concentram-se próximas a encosta e em áreas situadas. Estas áreas, evidenciadas pelo forte adensamento das curvas de nível, caracterizam-se por elevada velocidade de escoamento superficial e reduzido tempo de concentração, contribuindo para picos de vazão elevados durante eventos pluviométricos intensos.
- Declividades médias (8–20%): Ocorrem nas áreas de transição entre a encosta e o perímetro urbano, constituindo zonas de desaceleração gradual do escoamento. Estas áreas funcionam como corredores preferenciais de drenagem natural, canalizando os fluxos das encostas em direção ao vale.
- Declividades baixas (<8%): Predominam no vale e no setor urbano central, especialmente próximo às vias principais como a ERS-348 e ao rio Jacuí. Estas áreas de baixa declividade, apresentam menor capacidade de escoamento natural, favorecendo o acúmulo de águas pluviais.

Conforme pode ser observado na Figura 05, por meio do perfil longitudinal da microbacia estudada, verifica-se que o terreno apresenta declividade média de 13%, caracterizando um relevo moderadamente íngreme. Essa condição favorece o aumento da velocidade do escoamento superficial e reduz o tempo de concentração da bacia, fazendo com que as águas pluviais alcancem rapidamente o exutório.

Figura 05 – Perfil longitudinal da microbacia localidade Trombudo.

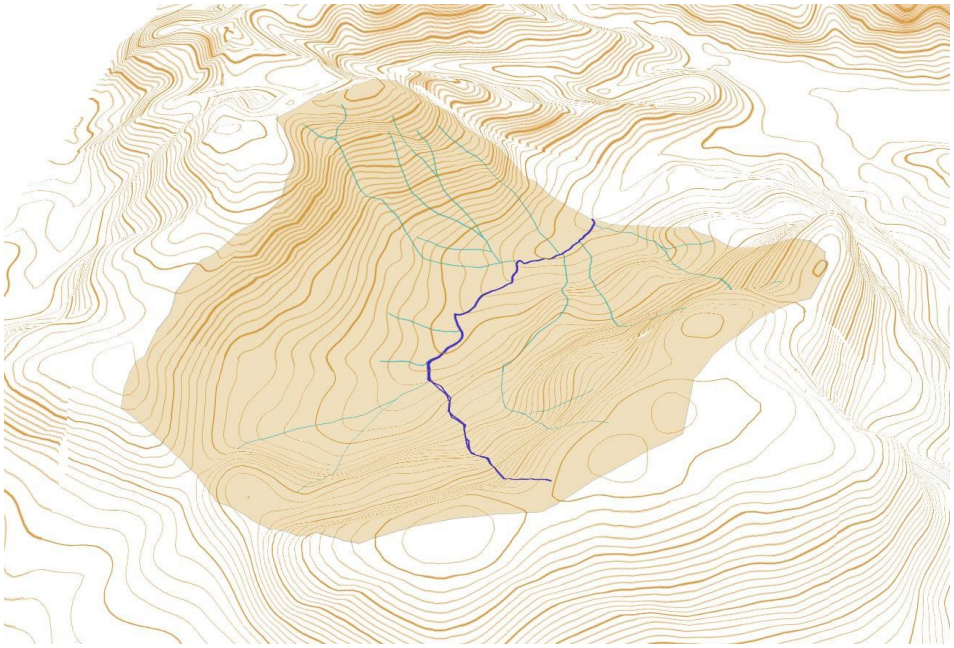


Fonte: Autor

A associação entre a elevada amplitude altimétrica da bacia e a declividade média de 9% intensifica a concentração das vazões durante eventos de precipitação intensa, resultando em picos de cheia mais elevados e em maior capacidade de transporte de sedimentos, troncos e outros detritos. Essas características aumentam significativamente as solicitações hidráulicas sobre a estrutura de travessia existente.

O padrão de drenagem natural da microbacia é condicionado pela configuração do relevo, seguindo as linhas de maior declividade definidas pelo gradiente topográfico e pelas curvas de nível, conforme apresentado na Figura 06. A distribuição altimétrica da área determina os caminhos preferenciais do escoamento superficial, conduzindo as águas das porções mais elevadas da bacia em direção ao exutório.

Figura 06 – Curvas de nível da microbacia da Localidade Trombudo.



Fonte: Autor.

A análise das curvas de nível evidencia a convergência natural do escoamento superficial para o ponto de travessia, local previsto para a implantação da nova ponte. As águas pluviais provenientes das áreas mais elevadas da encosta escoam predominantemente em direção ao vale, sendo coletadas por pequenos canais naturais e tributários que integram a rede de drenagem da microbacia, até desaguarem no arroio que chega no ponto do exutório, posteriormente, no Rio Jacuí.

O padrão de drenagem observado é predominantemente dendrítico, típico de áreas com litologia relativamente homogênea e relevo controlado pela declividade natural do terreno. Essa configuração favorece a concentração gradual dos diversos escoamentos superficiais em um único canal principal, aumentando significativamente as vazões afluentes ao exutório durante eventos de precipitação intensa.

Associada à elevada amplitude altimétrica e à declividade média da bacia, essa configuração geomorfológica reduz o tempo de concentração e proporciona respostas hidrológicas rápidas, resultando em picos de vazão elevados e maior capacidade de transporte de sedimentos, materiais vegetais e detritos. Esses fatores potencializam a ocorrência de processos erosivos, solapamento das margens e extravasamento da calha do arroio, especialmente quando a capacidade hidráulica da estrutura de travessia é insuficiente.

Dessa forma, a configuração geomorfológica da microbacia evidencia a necessidade de implantação de uma obra de arte especial com capacidade hidráulica compatível com as vazões de projeto, garantindo maior segurança, redução dos riscos de galgamento da via, minimização dos processos erosivos e manutenção da trafegabilidade durante eventos hidrológicos extremos.

2.2 Delimitação

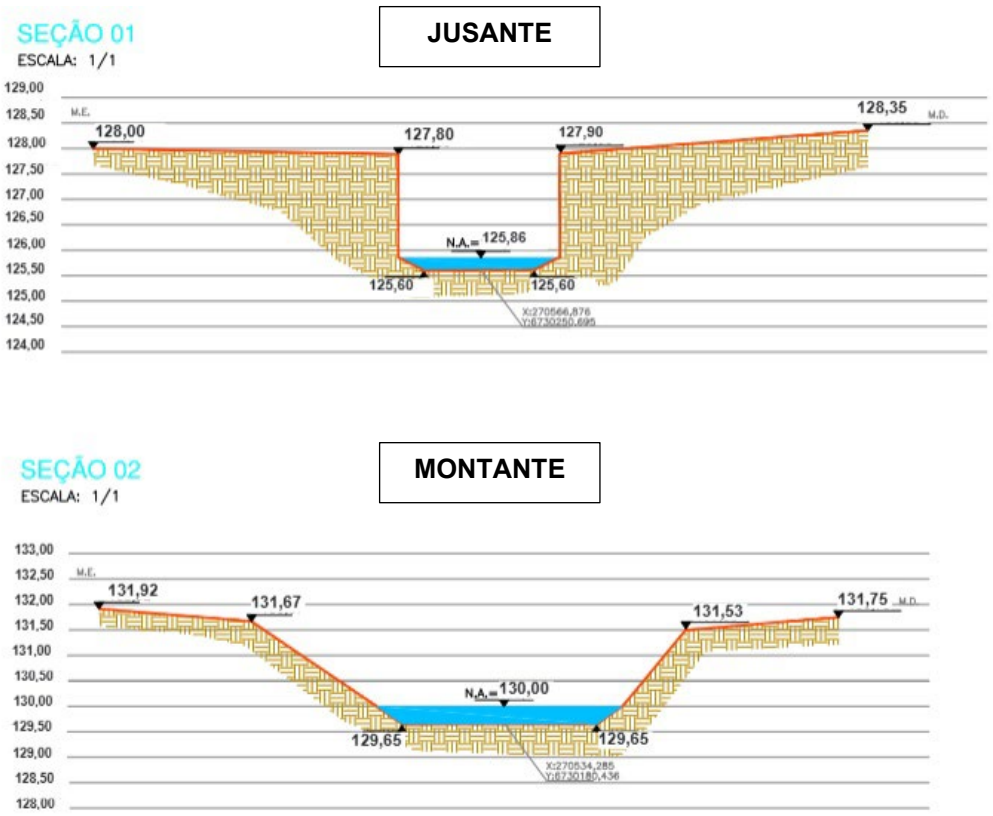
A delimitação da micro bacia hidrográfica de contribuição foi realizada por meio de análise topográfica, com levantamento a campo e com base em dados de Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 30 metros, oriundos Da plataforma USGS (https://earthexplorer.usgs.gov), sendo MDE SRTM com 1 segundo de arco global. O processamento foi efetuado no software QGIS, versão 3.40.12-Bratislava, com o auxílio do plugin *WhiteboxTools*.

Foram empregados os algoritmos *D8Pointer*, *FlowAccumulation* e *ExtractStreams* para a modelagem do fluxo superficial, possibilitando a identificação

precisa da área total de contribuição com o algoritmo *Watershed*, dos principais cursos d'água, das cotas altimétricas e dos pontos de escoamento concentrado.

A fim de subsidiar a estimativa das vazões de contribuição associadas aos picos hidrológicos, foi realizado levantamento topobatimétrico na região do exutório da microbacia, permitindo a caracterização geométrica da seção de escoamento e a obtenção do perfil transversal do canal, apresentado na Figura 07.

Figura 07 – Perfil transversal do canal próximo ao exutório.



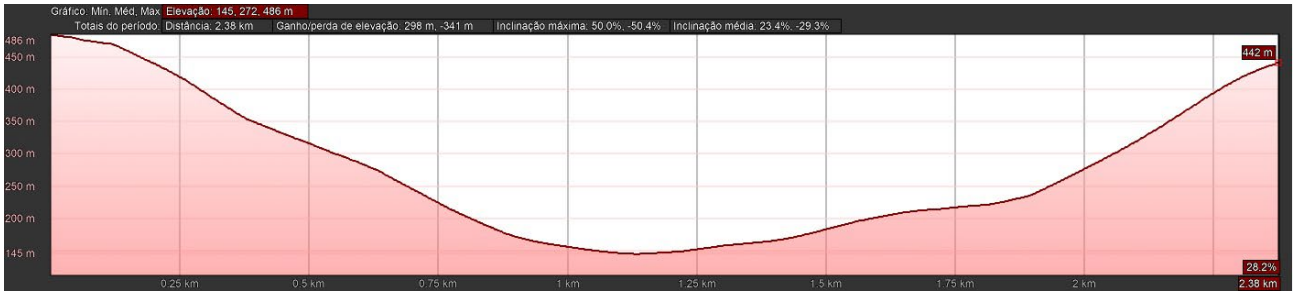
Fonte: Autor.

Complementarmente aos levantamentos realizados em campo com equipamentos topográficos de precisão, procedeu-se à análise do Modelo Digital de Elevação (MDE), processado em ambiente computacional, com o objetivo de representar as características altimétricas e morfológicas do terreno e compreender a configuração do relevo ao longo da microbacia do arroio Trombudo.

A partir do MDE, foram definidos três perfis transversais representativos da microbacia, distribuídos ao longo do sentido principal de drenagem. O primeiro perfil,

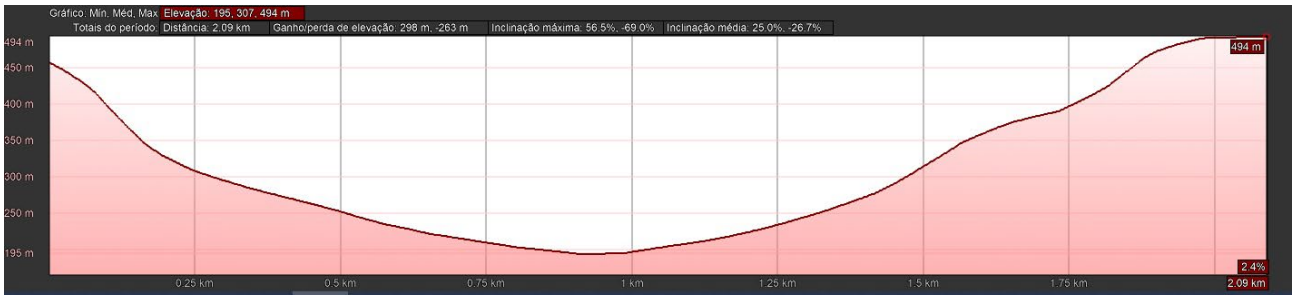
apresentado na Figura 08, está localizado próximo ao exutório; o segundo, apresentado na Figura 09, situa-se na porção intermediária da microbacia; e o terceiro, apresentado na Figura 10, encontra-se próximo à região de nascente da drenagem principal.

Figura 08 – Perfil transversal da microbacia próximo ao exutório.



Fonte: Autor.

Figura 09 – Perfil transversal no centro da microbacia.



Fonte: Autor.

Figura 10 – Perfil transversal próximo a nascente da drenagem principal.



Fonte: Autor.

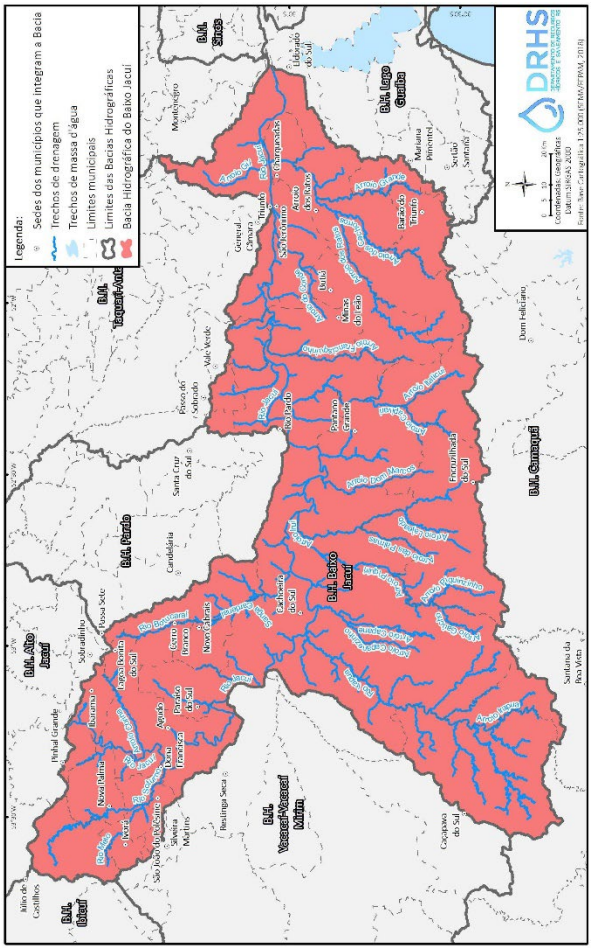
A análise conjunta desses perfis permite avaliar as variações da configuração topográfica ao longo da microbacia, identificando as regiões de maior concentração do escoamento superficial e fornecendo subsídios para a interpretação do comportamento hidrológico da área de contribuição.

3 ESTUDO HIDROLÓGICO

3.1 Características da Bacia Hidrográfica

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí (CBH-Baixo Jacuí), o município de Dona Francisca/RS está inserido na Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, abrangendo as sub-bacias do Rio Soturno e do Arroio Formoso (Figura 11). A área de estudo, localizada na Localidade de Trombudo, pertence à microbacia do Arroio Trombudo, afluente do Rio Jacuí, constituindo parte integrante da rede hidrográfica da bacia.

Figura 11 – Localização do município de Dona Francisca/RS na Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí.



Fonte: Adaptado da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e do Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí.

Segundo o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, a bacia localiza-se na porção centro-leste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas 29°26' e 30°47' de latitude Sul e 51°16' e 53°35' de longitude Oeste, abrangendo diferentes unidades geomorfológicas, como o Planalto Meridional, a Depressão Central, o Escudo Sul-Rio-Grandense e a Planície Costeira Interior. Essa diversidade geomorfológica resulta em distintos padrões de drenagem, variações de declividade e diferentes respostas hidrológicas entre as sub-bacias.

A rede hidrográfica da bacia é composta pelo Rio Jacuí e por importantes tributários, dentre eles os arroios Irapuã, Capané, Botucacaí, Capivari, do Conde, dos Ratos, dos Cachorros e Ibacurú, responsáveis pela drenagem de uma extensa área da região central do Estado. O Rio Jacuí constitui o principal eixo de drenagem da bacia e desempenha papel estratégico para o abastecimento público, irrigação agrícola, geração de energia, atividades industriais, dessedentação animal e conservação dos ecossistemas aquáticos.

Conforme o Plano de Bacia do Comitê, o regime hidrológico da região é fortemente influenciado pela distribuição sazonal das precipitações, característica do clima subtropical úmido do Rio Grande do Sul. Embora as chuvas ocorram durante todo o ano, eventos de elevada intensidade e longa duração podem provocar respostas hidrológicas rápidas nas microbacias de cabeceira, especialmente naquelas que apresentam pequenas áreas de contribuição, elevadas declividades e reduzido tempo de concentração, como ocorre na microbacia estudada.

O Comitê também destaca que a ocupação agrícola predominante na bacia, associada às características do relevo, pode intensificar os processos de escoamento superficial, erosão hídrica e transporte de sedimentos para os cursos d'água. Durante eventos extremos, esses materiais são carreados para as travessias, favorecendo o assoreamento, a obstrução de galerias e o aumento dos níveis d'água, reduzindo a eficiência hidráulica das estruturas existentes.

Na Localidade de Trombudo, essas condições são potencializadas pela expressiva amplitude altimétrica da microbacia e pela declividade média de aproximadamente 9%, fatores que promovem elevadas velocidades de escoamento superficial e rápida concentração das vazões no exutório. Como consequência, observa-se aumento significativo das vazões de pico durante precipitações intensas,

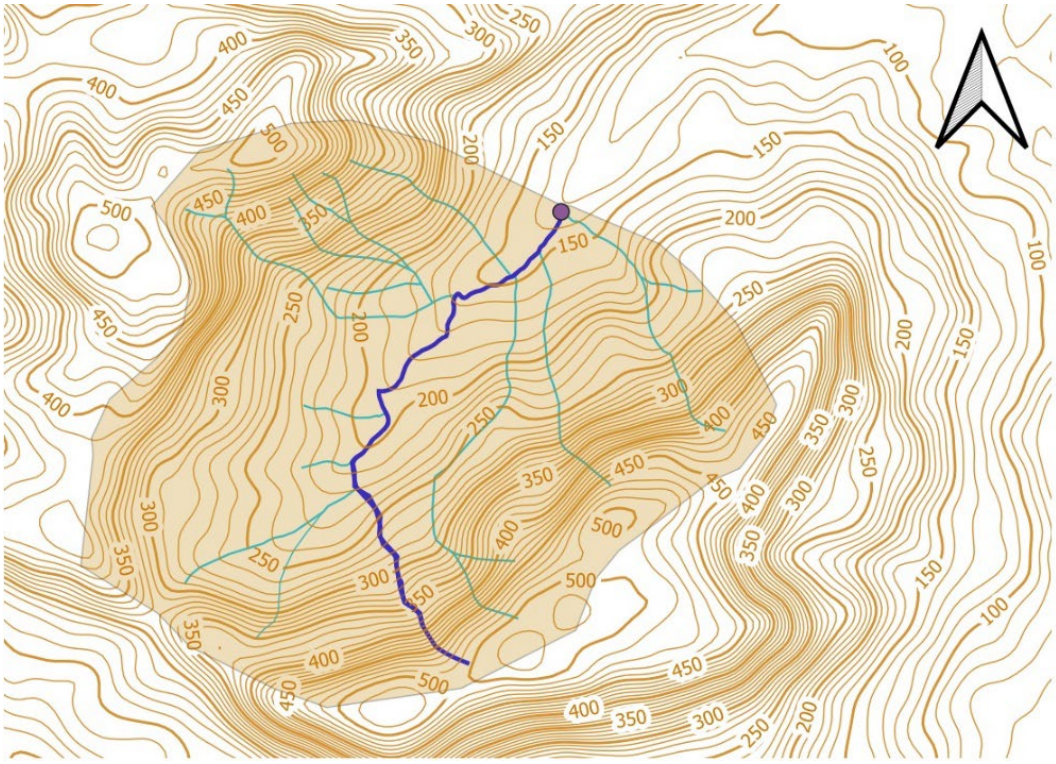
elevando os riscos de galgamento da via, processos erosivos, solapamento das margens e danos às estruturas de travessia.

Diante desse contexto hidrológico, a implantação de uma ponte em substituição à travessia existente mostra-se tecnicamente justificada, proporcionando maior capacidade hidráulica, menor suscetibilidade à obstrução por sedimentos e materiais vegetais e maior segurança operacional durante eventos de cheias, em conformidade com as diretrizes de gestão dos recursos hídricos estabelecidas pelo Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí.

3.2 Delimitação da Bacia Hidrográfica

A Figura 12 apresenta a delimitação da microbacia hidrográfica contribuinte ao local de implantação da ponte, bem como a hierarquia da rede de drenagem e a área de contribuição obtidas a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE). A delimitação da bacia foi realizada considerando as características topográficas do terreno, definindo o divisor de águas responsável pela captação do escoamento superficial em direção ao ponto de interesse.

Figura 12 – Mapa com delimitação da Bacia Trombudo.



Fonte: Autor.

O exutório da microbacia foi estabelecido no eixo da futura ponte, correspondendo ao ponto de concentração de todo o escoamento superficial proveniente da área de drenagem da Bacia Hidrográfica do Arroio Trombudo. Esse ponto foi adotado como seção de controle para a determinação da vazão de projeto, servindo como referência para o dimensionamento hidráulico da obra de arte especial.

A estrutura projetada consiste em uma ponte em concreto pré-moldado com dimensões de 5,00 m de largura por 25,00 m de comprimento, dimensionada para garantir a adequada capacidade hidráulica da travessia, permitindo a passagem das vazões de projeto com segurança, minimizando o risco de galgamento da via, processos erosivos e danos estruturais durante eventos hidrológicos extremos.

3.3 Tempo de Retorno para obra de reconstrução da Ponte

Para obras de arte definem-se tempos de recorrência de 50 a 100 anos, podendo chegar até 500 anos, conforme o tipo e importância da obra. Para a construção da ponte no Trombudo, o período de retorno a ser utilizado será de 100 anos.

3.4 Tempo de Concentração

A determinação do tempo de concentração foi realizada pela equação de Kirpich (1940):

$$Tc = 57 * (\frac{L^2}{S})^{0,385}$$

Onde:

Tc: minutos;

L: comprimento do Talvegue (rio principal) = 2.757 m;

S: declividade média da bacia = 0,135 (m/m) – desnível da bacia de 372m.

OBS: Dados retirados dos mapas vistos anteriormente.

Tabela 01 – Cálculo do Tempo de Concentração.

Tempo de concentração (min):	
L (Km)	2,757
S (m/m)	0,135
Tc (min)	**269,0498**

Fonte: Autor.

3.5 Intensidade máxima, média da precipitação (I)

Com base na necessidade de considerar os eventos extremos recentes, principalmente do ano de 2024, utilizou-se como premissa que o projeto seja dimensionado utilizando a formula Intensidade-Duração-Frequência (IDF) atualizada, que considere os dados recentes da série temporal.

A estimativa da intensidade máxima, média foi realizada pela equação IDF:

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

$$i = \frac{885{,}47271 \,.\, TR^{0{,}15862}}{(t + 7{,}59309)^{0{,}71713}}$$

Onde:

i: Intensidade (mm/h);

Tr: tempo de retorno = 100 anos;

Tc = t: tempo de concentração da chuva = 269,0498 min;

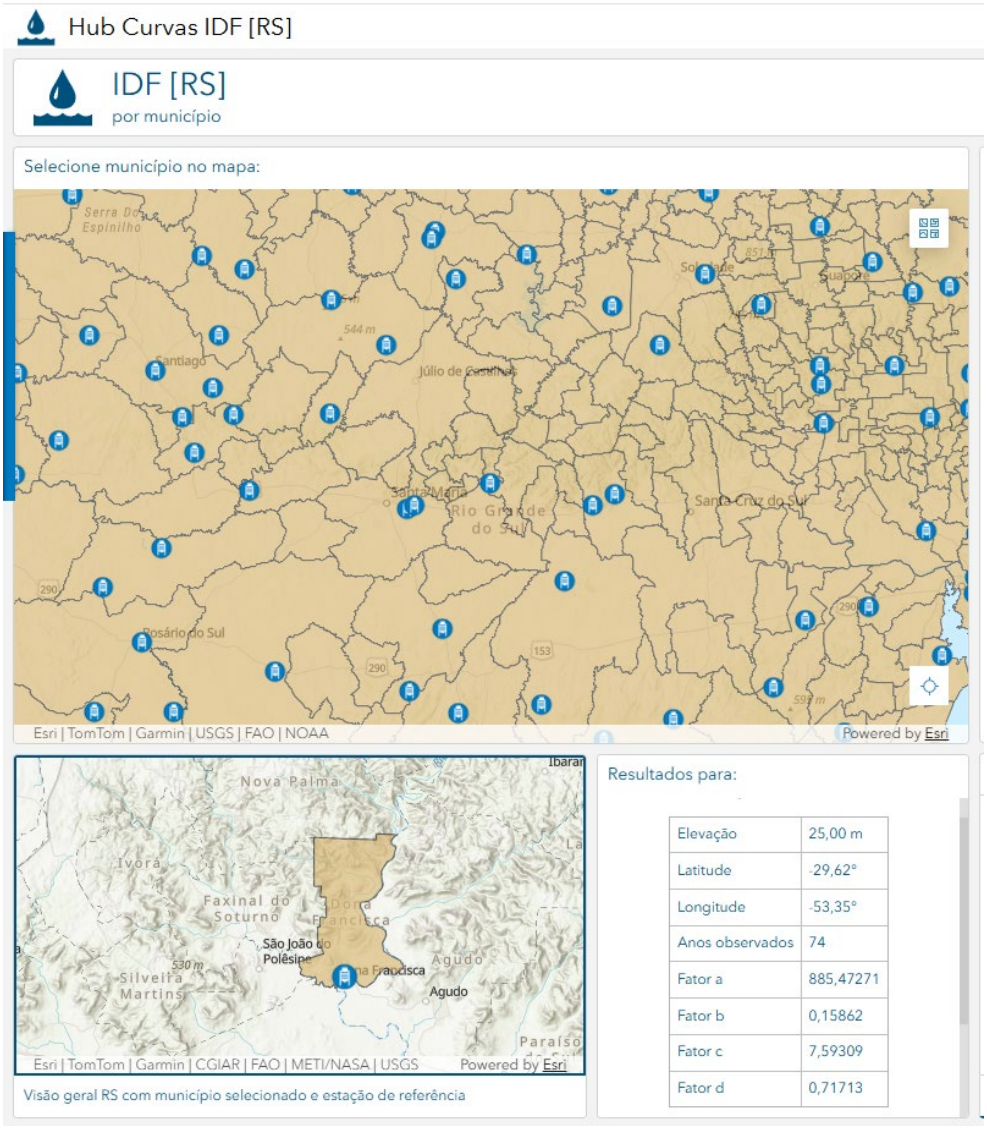
a, b, c, d são fatores locais retirados da estação pluviométrica mais próxima (Figura 13).

Tabela 02 – Valor de Intensidade Pluviométrica.

Intensidade (mm/h)	
a	885,47271
b	0,15862
c	7,59309
d	0,71713
Tr (anos)	100
Tc (min)	269,0498
I (mm/h)	**32,6018**

Fonte: Autor.

Figura 13 – Imagem com os fatores locais retirados da estação pluviométrica posto de referência 02953008.



Fonte: https://idf-rs-ufpb3f417c4037d6.opendata.arcgis.com/apps/ccf5fb9eea4e48db9460f8e3af433f0e/explore.

3.6 Vazão Máxima ou de (Qp)

De acordo com o Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem do DNIT, para bacias hidrográficas com áreas de drenagem compreendidas entre 1,0 e 10,0 km², a estimativa da vazão de projeto pode ser realizada por meio do Método Racional, empregando-se um coeficiente de distribuição espacial da precipitação, cuja finalidade é corrigir a precipitação pontual obtida a partir das curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF), adequando-a à precipitação média incidente sobre toda a área da bacia.

A microbacia contribuinte ao local de implantação da ponte apresenta área de drenagem de aproximadamente 490 ha (4,90 km²), enquadrando-se na faixa de aplicação recomendada pelo DNIT para utilização do Método Racional. Dessa forma, o referido método foi adotado para a determinação da vazão máxima de projeto, considerando as características fisiográficas da bacia, como área de contribuição, declividade, uso e ocupação do solo e tempo de concentração.

Deste modo segue o cálculo para estimativa de vazão utilizando o Método Racional:

$$Qp = 0{,}278 * C * i * A$$

Onde:

Qp: vazão superficial máxima (m³/s);

C: coeficiente de deflúvio;

i: intensidade de chuva (mm/h) = 32,6018 mm/h (referente ao tempo tc calculado anteriormente);

a: área da bacia = 4,90 Km²;

Tabela 03 – Resultante da vazão máxima calculada.

Vazão Máxima	
C	0,1
I (mm/h)	32,6018
A (Km²)	4,9
Qp (m³/s)	**4,4410**

Fonte: Autor.

Figura 07 – Valores de Escoamento Superficial “C”

Tabela 14.7. Valor de C para áreas rurais (Williams, 1949)

Tipo de área	C'
1 Topografia	
terreno plano, declividade de 0,2-0,6 m/km	0,30
terreno, declividade de 3 - 4 m/km	0,20
morros, declividade de 30 -50 m/km	0,10
2 Solo	
argila impermeável	0,10
permeabilidade média	0,20
arenoso	0,40
3 Cobertura	
áreas cultivadas	0,10
árvores	0,20

Fonte: retirado da obra de Carlos E. M. Tucci.

4 DIMENCIONAMENTO HIDRÁULICO - DETERMINAÇÃO DA COTA MÁXIMA

A determinação da cota máxima da lâmina d'água foi realizada com o objetivo de definir a elevação mínima do tabuleiro da ponte, assegurando a capacidade hidráulica da travessia para a vazão de projeto adotada.

Para essa finalidade, foi efetuada a verificação hidráulica da seção transversal do curso d'água no local da implantação da obra, empregando-se a equação de Manning para escoamento em canais livres. A partir da vazão de projeto determinada no estudo hidrológico, procedeu-se ao dimensionamento da seção hidráulica por meio de processo iterativo, no qual foram avaliadas diferentes profundidades de escoamento até que a capacidade de descarga da seção fosse compatível com a vazão de projeto.

A profundidade de escoamento obtida foi somada à cota do fundo do leito, permitindo determinar a cota máxima da lâmina d'água correspondente ao período de retorno adotado para o dimensionamento da obra.

Como critério complementar de segurança, também foi considerada a cota máxima de inundação verificada durante a enchente extraordinária ocorrida no Estado do Rio Grande do Sul no ano de 2024. A definição da elevação do tabuleiro foi baseada na comparação entre a cota calculada por meio da análise hidráulica e a cota máxima observada em campo durante o referido evento, adotando-se como referência a condição mais desfavorável.

Além disso, foi prevista altura livre (freeboard) entre o nível máximo da água e a face inferior da superestrutura, destinada a possibilitar a passagem de materiais flutuantes, troncos, galhadas e demais detritos transportados pelo curso d'água durante eventos de cheia, reduzindo o risco de obstrução da seção hidráulica e de impactos sobre a estrutura.

Os critérios adotados visam garantir a adequada capacidade hidráulica da travessia, minimizando os riscos de galgamento da via, erosões localizadas e danos estruturais decorrentes da ocorrência das vazões de projeto.

4.1 Cálculo da máxima cheia utilizando a fórmula de Manning

Para a avaliação da capacidade hidráulica do curso d'água no local de implantação da ponte, adotou-se a equação de Manning, amplamente empregada na

hidráulica de canais livres para estimar a relação entre vazão, geometria da seção, rugosidade e declividade do canal.

A partir da vazão máxima de projeto, determinada no estudo hidrológico, procedeu-se ao dimensionamento hidráulico da seção por meio de um processo iterativo, no qual foram testadas diferentes profundidades de escoamento até que a capacidade hidráulica calculada pela equação de Manning fosse igual ou superior à vazão de projeto.

A profundidade de escoamento obtida corresponde ao nível d'água associado à vazão de projeto. Somando-se essa profundidade à cota do fundo do canal, determinou-se a cota da lâmina d'água de projeto, parâmetro fundamental para a definição da altura livre (freeboard) e do posicionamento do tabuleiro da ponte, garantindo a passagem segura das vazões de projeto e reduzindo os riscos de galgamento da estrutura durante eventos hidrológicos extremos.

Fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * R_H^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

V: velocidade média de escoamento (m/s);

n: rugosidade do canal – 0,040 para canal revestido com pedra;

R_H= A/P: raio hidráulico;

A: área da seção de escoamento (m²);

P: perímetro molhado (m);

I : Declividade do leito do rio, determinada entre dois pontos distantes no mínimo a 200m, sendo um a montante e outro a jusante do eixo da rodovia do qual devem distar 100m cada um = 0,03 m/m.

A vazão de escoamento é dada por:

$$Q = V * A \ (\frac{m^3}{s})$$

Na fórmula de Manning a área da seção de escoamento empregada é uma simplificação da seção real. A seguir encontra-se a tabela com o processo de cálculo,

onde pode se definir a altura crítica em função da vazão máxima anteriormente encontrada.

Tabela 04 – Resultante da velocidade e vazão para váriadas seções.

Cálculo da máxima cheia pela fórmula de Manning - PONTE TROMBUDO							
ALTURA (m)	**ÁREA (m²)**	**PERIMETRO (m)**	**RH (m)**	**I**	**n**	**V (m/s)**	**Q (m³/s)**
0,1	2,32	24,2	0,0958678	0,03	0,04	0,907018	2,104281
0,15	3,48	24,3	0,1432099	0,03	0,04	1,185266	4,124727
0,16	3,712	24,32	0,1526316	0,03	0,04	1,236698	4,590622
0,17	3,944	24,34	0,1620378	0,03	0,04	1,286999	5,075924

Fonte: Autor.

Considerando que a vazão máxima calculada é de 4,4410 m³/s, verifica-se a altura crítica:

Tabela 05 – Resultante da altura.

Interpolação		
	Q (m³/s)	**Altura (m)**
Lim Inf.	4,12	0,15
Lim Sup.	4,59	0,16
Vazão Máxima Real	4,4410	**0,16**

Fonte: Autor.

Conforme as recomendações do Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem do DNIT, além da altura correspondente à cheia máxima provável, deve-se adotar, como prática usual, uma folga mínima de 1,00 m. Essa margem de segurança tem por objetivo evitar que o nível da água atinja a superfície da via destinada ao tráfego de veículos, garantindo o pleno funcionamento e a segurança da estrutura.

Com isso, somada a altura crítica com a folga, a altura livre para o escoamento crítico calculado é de 1,16m.

4.2 Cota Máxima de Cheia

A determinação da cota máxima de cheia constitui uma etapa fundamental para o dimensionamento altimétrico da ponte, uma vez que estabelece as condições hidráulicas de referência para a definição da cota de implantação da superestrutura e da altura livre necessária à passagem segura do escoamento. Esse procedimento tem por finalidade assegurar a capacidade hidráulica da seção, reduzir os riscos de galgamento da via e minimizar a possibilidade de danos à estrutura durante eventos de cheia.

A definição das condições máximas de cheia foi realizada com base no levantamento topográfico executado na área da travessia, complementado pela análise das marcas de inundação associadas ao evento hidrológico extremo ocorrido no Estado do Rio Grande do Sul em maio de 2024. A identificação e o levantamento altimétrico dessas marcas possibilitaram avaliar o nível máximo atingido pela água nas proximidades do local previsto para implantação da ponte, constituindo importante evidência de campo para a verificação das condições hidráulicas consideradas no projeto.

O levantamento topográfico demonstrou a existência de variação altimétrica significativa do leito ao longo do trecho analisado, decorrente da declividade longitudinal do curso d'água. Nas proximidades do galpão onde foram identificadas as marcas da enchente de 2024, a cota do leito é de aproximadamente 125,90 m, enquanto o nível máximo atingido pela água foi identificado na cota 128,35 m. Dessa forma, considerando-se a diferença entre o nível máximo observado e a cota do leito no mesmo local, obtém-se uma altura de cheia de aproximadamente 2,45 m:

$$H(cheia) = 128{,}35 - 125{,}90 = 2{,}45\,m$$

Na seção prevista para implantação da ponte, o levantamento topográfico indicou cota aproximada de 130,00 m para o leito do curso d'água, enquanto a plataforma da via existente, junto à atual galeria de drenagem, encontra-se na cota aproximada de 131,74 m. Assim, verifica-se uma diferença vertical de aproximadamente 1,74 m entre o leito e a plataforma atual:

$$\Delta H = 131{,}74 - 130{,}00 = 1{,}74\, m$$

Adicionalmente, verificou-se que, mesmo durante o evento hidrológico extremo ocorrido em maio de 2024, não houve galgamento da plataforma da via existente no ponto previsto para implantação da ponte. Essa condição constitui importante evidência de campo para a definição altimétrica da nova estrutura, uma vez que demonstra que a plataforma existente permaneceu acima dos níveis atingidos pelo escoamento durante o evento analisado. Tal comportamento está relacionado à configuração topográfica do local, pois, após a seção da galeria, a declividade do terreno favorece o direcionamento do escoamento para trechos de cotas mais baixas.

A diferença entre as cotas do leito e os níveis d'água observados ao longo do trecho está, portanto, relacionada à declividade longitudinal do terreno e do curso d'água, que promove a redução progressiva das cotas no sentido do escoamento. Dessa forma, a marca de inundação identificada na cota 128,35 m, junto ao galpão, não deve ser diretamente transferida para a seção da ponte, devendo ser analisada em conjunto com as respectivas cotas do leito e com o perfil longitudinal do curso d'água.

Como complemento às evidências de campo, procedeu-se à verificação hidráulica da seção transversal por meio da equação de Manning, considerando a geometria obtida pelo levantamento topobatimétrico, as características hidráulicas do canal e a vazão máxima de projeto determinada no estudo hidrológico. Essa análise possibilita estimar a profundidade e o nível da lâmina d'água correspondentes à vazão de projeto na seção da futura ponte, permitindo sua comparação com as condições verificadas em campo durante o evento extremo de 2024.

Para a definição altimétrica da nova ponte, adotou-se como referência a cota 131,74 m, correspondente à plataforma da via existente junto à atual galeria de drenagem. Considerando que essa elevação não foi ultrapassada pelas águas durante o evento extremo analisado e visando proporcionar uma margem adicional de segurança, definiu-se a implantação da nova estrutura 1,71 m acima da cota atual da via, no local da galeria (futuro local de implantação da obra), resultando na seguinte cota de referência:

$$Cota\ de\ referência = 131{,}74 + 1{,}71 = 133{,}45\, m$$

A definição da altura de implantação da estrutura considera, como referência, a elevação máxima da lâmina d'água observada durante a enchente de maio de 2024, correspondente a 2,45 m em relação ao leito do curso d'água, acrescida de uma margem adicional de segurança de 1,00 m. Esse critério visa conferir maior segurança hidráulica à travessia diante da ocorrência de eventos hidrológicos extremos.

Considerando a cota 130,00 m (imediatamente a montante do local de implantação) para o leito na seção da travessia, a cota de implantação de 133,45 m proporciona uma diferença vertical total de aproximadamente 3,45 m, correspondente ao desnível entre o leito do córrego, em condições normais, e a face inferior das longarinas da ponte:

$$H = 133{,}45 - 130{,}00 = 3{,}45\,m$$

Dessa forma, a definição altimétrica da ponte fundamenta-se na integração entre o estudo hidrológico, a verificação hidráulica da seção, o levantamento topobatimétrico e as evidências de campo associadas à enchente extraordinária de maio de 2024. A adoção da cota de implantação de 133,45 m, situada 1,71 m acima da plataforma existente, proporciona uma margem altimétrica adicional para a nova travessia.

Levando em conta a cota do leito do córrego logo após a estrada, no local de implantação da ponte, tem-se um desnível ainda maior, pois nesse ponto verificou-se a cota do leito igual a 129,65 m, deste modo, a jusante, a diferença será ainda maior:

$$H = 133{,}45 - 129{,}65 = 3{,}80\,m$$

A altura livre hidráulica efetivamente disponível será verificada a partir da cota inferior da superestrutura e do nível da travessia existente, o qual deverá ser devidamente demarcado antes de sua demolição para a construção da ponte. Dessa forma, preserva-se a referência altimétrica adotada no projeto e assegura-se que a solução proposta apresente condições adequadas de segurança hidráulica durante eventos de cheia.

5 CONCLUSÃO

Com base nos levantamentos topográficos, no estudo hidrológico, na verificação hidráulica e, principalmente, nas evidências de campo registradas durante a enchente extraordinária de maio de 2024, foram estabelecidos os parâmetros necessários para a definição altimétrica da nova ponte.

As marcas de inundação identificadas em campo indicaram uma altura máxima de cheia de aproximadamente 2,45 m em relação ao leito do curso d'água no ponto analisado. Considerando a magnitude do evento de 2024 e visando proporcionar maior segurança hidráulica à nova travessia, adotou-se essa altura como referência, acrescida de uma margem adicional de segurança de 1,00 m, resultando em uma altura de referência de 3,45 m.

Na seção imediatamente a montante da futura ponte, onde a cota do leito é de aproximadamente 130,00 m, foi estabelecida a cota 133,45 m para a face inferior das longarinas, proporcionando uma diferença vertical de 3,45 m em relação ao leito do curso d'água. Essa elevação corresponde ainda a aproximadamente 1,71 m acima da cota da plataforma da via existente, situada em 131,74 m.

A jusante da travessia, onde o levantamento indicou redução da cota do leito para aproximadamente 129,65 m, a diferença vertical disponível sob a estrutura torna-se ainda maior, atingindo aproximadamente 3,80 m entre o leito e a face inferior das longarinas.

Dessa forma, a solução adotada estabelece a cota 133,45 m como referência para a face inferior da superestrutura da ponte, definida a partir das condições topográficas e hidráulicas locais e das evidências do evento extremo de 2024. A adoção dessa elevação busca garantir uma seção adequada para a passagem do escoamento e proporcionar margem adicional de segurança frente à ocorrência de futuros eventos hidrológicos extremos.

MUNICÍPIO DE DONA FRANCISCA/RS
SAUL ANTONIO DAL FORNO RECK
Prefeito Municipal
CNPJ/MF: 87.488.938.0001-80

Documento assinado digitalmente
GABRIELA GRUTZMACHER MACHADO
Data: 09/09/2026 10:50:11-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

GABRIELA GRÜTZMACHER MACHADO
Engenheira Civil - CREA RS 215 695
Gama Engenharia e Construções LTDA

ANEXO I – IMAGENS OBTIDAS NO LEVANTAMENTO TOPOGRAFICO – PONTE TROMBUDO











