



PREFEITURA MUNICIPAL DE VISTA ALEGRE DO PRATA/RS



ESTUDO HIDROLÓGICO

Passo Fundo/RS, 22 de setembro de 2025

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
1.1. Caracterização básica da área de estudo	4
1.1.1. Delimitação da área de contribuição	5
1.1.2. Extensão, declividade média e índices morfométricos	5
1.1.3. Tempo de duração da chuva e concentração da bacia	6
1.1.4. Características do uso do solo dentro da área de contribuição	7
1.1.5. Tempo de retorno adotado.....	8
1.2. Pluviometria da Região.....	8
1.2.1. Características gerais do clima da região.....	8
1.2.2. Equações de chuvas intensas e precipitações máximas	9
1.3. Vazão de Projeto.....	11
1.3.1. Correção da vazão pelos critérios definidos pelo IPH.....	14
1.4. Verificação do canal de escoamento.....	15
1.4.1. Metodologia de cálculo e parâmetros	15
1.4.2. Seção de escoamento.....	16
1.5. Conclusão	18
1.6. Referência bibliográfica.....	19

1. INTRODUÇÃO

Este estudo hidrológico de Obras de Arte Especiais para a execução de projeto de engenharia para implantação de ponte sobre o Rio Arroio Barra Fria, trecho localizado na ERS 441, entre as cidades de Nova Prata e Vista Alegre do Prata região da Serra do estado do Rio Grande do Sul. Este estudo hidrológico foi desenvolvido com base nas informações disponibilizadas pela contratante, bem como em referências bibliográficas.

De acordo com os dados da Secretária do Meio Ambiente do RS, a área de interesse deste projeto fica inserida dentro da bacia hidrográfica G040 – Taquari Antas, na qual se inserem os municípios em questão.

Mais especificamente, a região de interesse fica inserida dentro da sub-bacia conhecida como Baixo Rio Carreiro, sendo que o ponto onde é prevista a execução da obra está próximo de um dos divisores de água desta sub-bacia, próxima região de cabeceira. O ponto corresponde uma ponte sobre a ERS-441, que liga dos dois municípios em questão, tendo coordenadas médias, em UTM WGS84 $X=431.561$ e $Y=6.813.444$ (Z-22S), estando localizada sobre o córrego conhecido como Arroio Barra Fria, imagem a seguir.

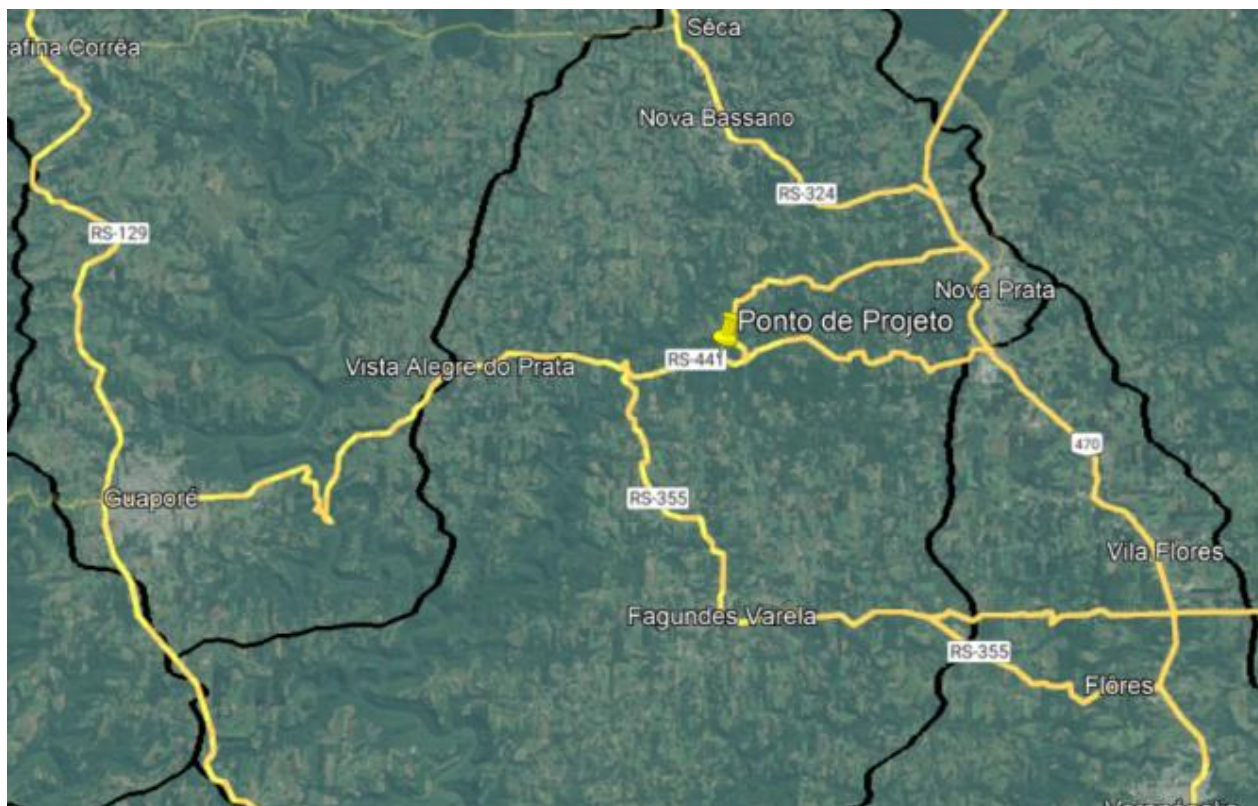


Figura 1 - Ponto de projeto e limites das bacias de contribuição.

Aqui serão apresentadas as metodologias e cálculos hidrológicos e hidráulicos que são a base para o desenvolvimento deste estudo.

1.1. Caracterização básica da área de estudo

Para a elaboração desta caracterização foram utilizados os dados disponibilizados na plataforma do órgão de gerenciamento dos recursos hídricos estaduais e federais, onde estão disponíveis informações referentes a hidrografia da região bem como a divisão das bacias e o uso do solo, todas informações disponíveis em ambiente SIG, o que permite a coleta de informação precisa da região alvo de estudo.

1.1.1. Delimitação da área de contribuição

Utilizando os dados disponíveis e as ferramentas de processamento de dados foi possível estimar a área de contribuição que alimenta o curso de água até o ponto desejado, que é estimada em 32,46 km², bacia relativamente pequena. Abaixo é apresentada uma imagem de satélite que mostra a localização da bacia de estudo dentro da bacia G40, permitindo a localização do ponto de interesse.

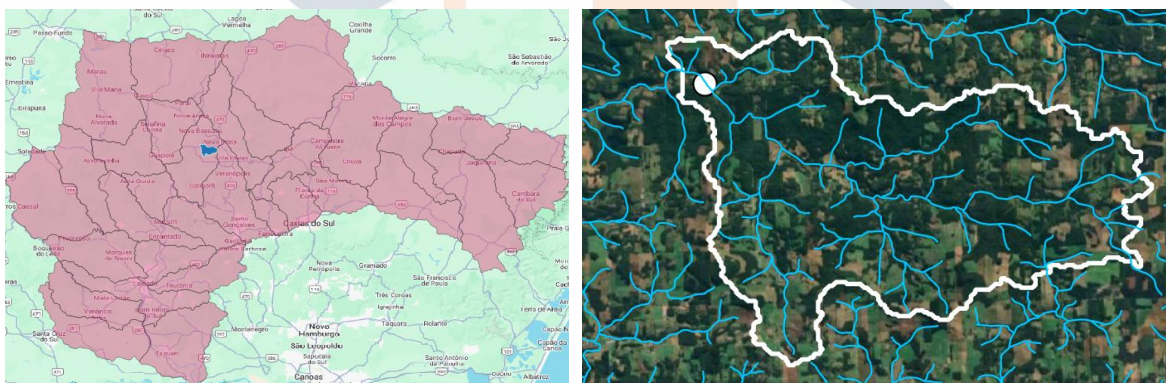


Figura 2 - Delimitação da bacia de contribuição do ponto - imagem do Google Earth

1.1.2. Extensão, declividade média e índices morfométricos

O curso principal tem cerca de 11,05 km de extensão, tendo elevação de montante de 685 metros, região mais próxima da cidade Nova Prata, e cota mínima de 441 metros na região onde será posicionada a ponte.

Esta condição faz um desnível de 244 metros, e uma declividade média da ordem de 2,2%, uma declividade suave, sendo todo em uma região serrana.

Os fatores de forma da bacia hidrográfica são usados para caracterizar a forma da bacia, sua propensão a gerar escoamento superficial e o comportamento hidrológico em eventos de chuva. Eles relacionam área, perímetro, comprimento e largura da bacia e servem para inferir se a bacia é mais alongada ou mais circular, estando estes indicados a seguir.

Fator	Fórmula	Valor
Coefficiente de Compacidade (Kc)	$K_c = 0,28 P / \sqrt{A}$	2,01
Fator de Forma (Kf)	$K_f = A / L^2$	0,266
Índice de Circularidade (Ic)	$I_c = 4\pi A / P^2$	0,243

Com base nestes parâmetros o comportamento hidrológico esperado:

- Menor tendência a picos de cheia muito elevados e maior tempo de concentração (escoamento mais distribuído no tempo), típico de bacias alongadas.
- O relevo médio (~22 m/km) indica declividade/moderação do gradiente, o que pode acelerar o escoamento no canal principal, parcialmente compensando o efeito da forma alongada.

1.1.3. Tempo de duração da chuva e concentração da bacia

Para garantir que a vazão de pico seja obtida nas análises é necessário adotar um tempo de duração de chuva compatível com o tempo de concentração da bacia. Durações pequenas de chuva tendem a levar a vazões de pico menores do que as máximas, pois não há tempo para que toda a bacia contribua na seção, enquanto tempos longos de duração tendem a reduzir a intensidade formando patamares no hidrograma.

Para calcular o tempo de concentração foram consideradas as equações apresentadas no manual do DNIT, utilizando apenas as equações recomendadas para grandes e médias bacias. A seguir, é indicada uma tabela com as equações utilizadas e as estimativas de tempo de concentração.

Tabela 1 - Tempos de concentração - Equações manual do DNIT

Equação	Tc estimado
Kirpich Modificada	2,76 horas
George Ribeiro	3,07 horas

1.1.4. Características do uso do solo dentro da área de contribuição

As características do uso do solo e ocupação do terreno dentro de uma bacia hidrográfica exercem uma grande influência na resposta de escoamento superficial em decorrência de uma dada precipitação, pois estas características afetam diretamente o parâmetro de escoamento superficial, o coeficiente CN.

Este coeficiente é adimensional e expressa a taxa de precipitação que é convertida em escoamento superficial, função da permeabilidade do terreno. Logo é importante definir as características do uso do solo na região da bacia hidrográfica para que sejam definidos os valores de CN respectivos a cada região.

Os coeficientes CN são definidos pelo método utilizado neste estudo, do Soil Conservation Service (SCS), para cada tipo de ocupação da bacia, sendo para o local são definidas 4 classes de uso de solo i) Uso agrícola Misto; ii) Zona de vegetação natural; iii) Zona de floresta com ação antrópica; IV) Silvicultura. Estas classes foram definidas com base no mapa de uso e cobertura dos solos do estado do Rio Grande do Sul, informação disponibilizada gratuitamente.

É importante descrever que a bacia em questão é uma bacia rural/natural, e que ainda região de floresta nativa das zonas escarpadas foi adotada um CN um pouco acima do usual para estas coberturas, tendo como justificativa a forte inclinação. Trechos de declividade acentuada tendem a gerar um maior escoamento superficial, e esta condição foi computada adotando o CN da região nativa igual ao da região com de floresta antropizada. Com base nas referências da metodologia foram definidos os coeficientes listados na Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficientes CN considerados no estudo (TUCCI 1993).

Mata com até 30% Antrópico	73
Mata Nativa	70
Uso Agrícola Misto	80
Silvicultura	73

Para definir as características do uso de solo dentro da bacia foi considerada a classificação apresentada junto anteprojeto, sendo indicada abaixo. A seguir, a Tabela 3 apresenta a taxa de ocupação e CN característico de projeto.

Tabela 3 - Distribuição do uso de solo e CN característico.

Tipo de ocupação	Área (km²)	% do total	CN
Mata com até 30% Antrópico	3.23	9.95%	7.27
Mata Nativa	7.53	23.20%	16.24
Uso Agrícola Misto	20.03	61.72%	49.37
Silvicultura	1.67	5.13%	3.75
CN Equivalente			77

1.1.5. Tempo de retorno adotado

Para dimensionamento de obras de arte especial e sua verificação hidráulica, é preciso estabelecer as vazões hidrológicas máximas para determinado período de retorno, sendo que o mesmo foi definido com base nas recomendações das instruções de serviço IS-121/21 do DAER. Para pontes o TR recomendado é de 100 anos, conforme a importância da ponte. No caso do projeto em questão a ponte é um importante via de ligação, logo foi considerado o período de retorno de 100 anos.

1.2. Pluviometria da Região

1.2.1. Características gerais do clima da região

A região em questão se enquadra na categoria de clima subtropical, tendo temperaturas mínimas 7°C no inverno e 28°C no verão, com volume precipitação médio anual de 1.926 mm, sendo uma chuva bem distribuída, com médias mensais que superam os 100 mm ao longo de todo o ano. O destaque da chuva fica para meses de inverno/primavera, com os maiores volumes médios mensais.

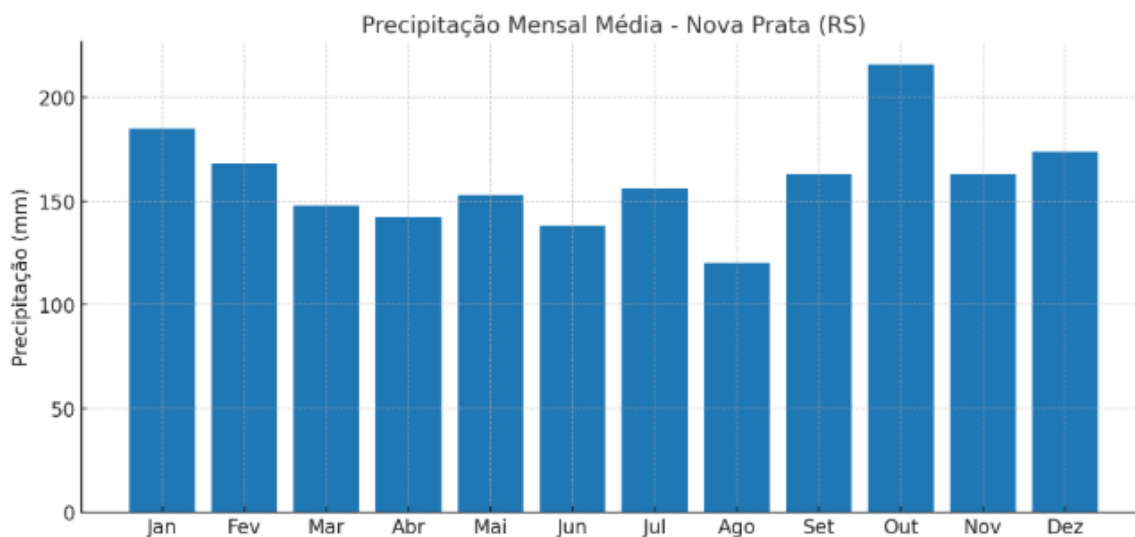


Figura 3 - Chuvas mensais médias do local.

1.2.2. Equações de chuvas intensas e precipitações máximas

Devido a indisponibilidade de um conjunto robusto de dados hidrológicos da região, principalmente no registro contínuo de dados pluviométricos e fluviométricos do córrego de interesse, optou-se pela metodologia que prevê equações de chuvas intensas e a desagregação da chuva para definir a resposta da bacia frente ao evento de precipitação crítico.

A intensidade de precipitação adotada no projeto foi obtida a partir das equações de intensidade-duração-frequência (IDF). A curva IDF foi definida com base no trabalho Rodrigues et al 2023, Coeficientes de equações IDF para o RS. No trabalho é apresentado um mapa que indica os coeficientes da equação em ambiente SIG, sendo possível definir os parâmetros para as coordenadas específicas do local de projeto. Abaixo é indicada a equação IDF utilizada para o local em questão.

$$I = \frac{771,956 \times Tr^{0,1698}}{(t + 9,79)^{0,7294}}$$

Sendo:

- T_r = tempo de retorno (neste caso, 20,25, 50 e 100 anos);
- t = tempo de duração da chuva (minutos);
- I = intensidade da chuva (mm.h^{-1});

Com esta equação foram construídas definidas as intensidades de precipitação para diferentes tempos de retorno e com duração entre 5 minuto e 24 horas, conforme a tabela indicada abaixo.

Tabela 4 - Intensidade de precipitação na região de projeto (mm/h).

Duração (min)	Tempo de Retorno (anos)					
	2	5	10	25	50	100
5	121.71	142.20	159.96	186.89	210.23	236.49
10	98.42	114.98	129.35	151.12	170.00	191.23
15	83.50	97.56	109.75	128.23	144.24	162.26
20	73.03	85.33	95.99	112.14	126.15	141.91
25	65.22	76.20	85.71	100.15	112.65	126.73
30	59.13	69.09	77.72	90.80	102.14	114.90
60	39.25	45.86	51.59	60.27	67.80	76.27
120	24.96	29.17	32.81	38.33	43.12	48.51
240	15.49	18.09	20.35	23.78	26.75	30.09
360	11.63	13.59	15.29	17.86	20.09	22.60
480	9.48	11.07	12.45	14.55	16.37	18.41
600	8.08	9.44	10.61	12.40	13.95	15.69
720	5.76	6.73	7.57	8.84	9.95	11.19
1440	4.29	5.02	5.64	6.59	7.42	8.34

Partindo destes dados foi verificada qual a precipitação máxima acumulada para cada duração nos períodos de retorno, listadas abaixo na tabela.

Tabela 5 - Altura de precipitação na região de projeto (mm)

Duração	Tempo de Retorno (anos)					
	2	5	10	25	50	100
5 min	10.14	11.85	13.33	15.57	17.52	19.71
10 min	16.40	19.16	21.56	25.19	28.33	31.87
15 min	20.88	24.39	27.44	32.06	36.06	40.57
20 min	24.34	28.44	32.00	37.38	42.05	47.30
25 min	27.17	31.75	35.71	41.73	46.94	52.80
30 min	29.57	34.54	38.86	45.40	51.07	57.45
1 Hora	39.25	45.86	51.59	60.27	67.80	76.27
2 Horas	49.93	58.33	65.62	76.67	86.24	97.02
4 Horas	61.94	72.37	81.41	95.11	106.99	120.36
6 Horas	69.79	81.54	91.72	107.17	120.55	135.61
8 Horas	75.81	88.57	99.63	116.40	130.95	147.30
10 Horas	80.76	94.36	106.14	124.01	139.50	156.93
12 Horas	92.12	107.63	121.07	141.45	159.12	179.00
24 Horas	103.05	120.40	135.44	158.25	178.01	200.25

Considerando uma chuva com duração igual ao tempo de concentração da bacia, 3,00 horas, e para o período de retorno de 100 anos, se verifica uma precipitação com intensidade de 36,80 mm/h e altura de chuva de 110,30 mm, a ser considerada no projeto.

1.3. Vazão de Projeto

Para determinar a vazão de projeto esperada na seção de interesse foi adotada a metodologia SCS – US Soil Conservation Service – conforme as recomendações do DNIT, definindo um hidrograma unitário triangular adimensional para a bacia o HUT. Esta abordagem é recomendada quando não se dispõe de dados observacionais da região de estudo. representado abaixo.

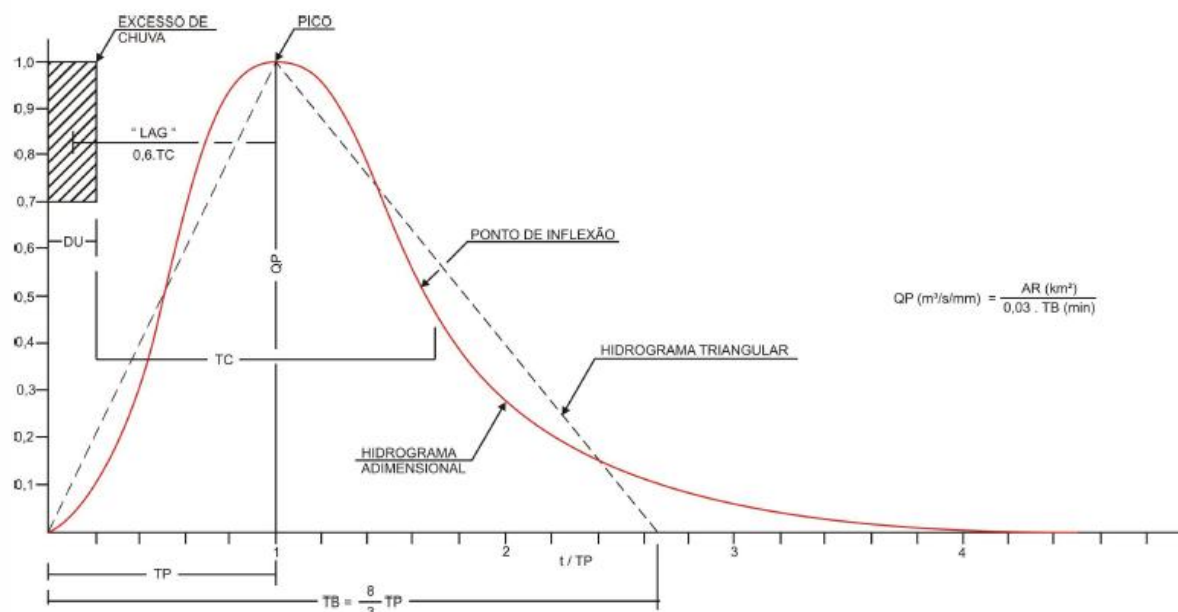


Figura 4 - Chuvvas mensais médias do local.

No eixo das abscissas é representado o tempo transcorrido, enquanto no eixo das ordenadas são plotadas as vazões na região de interesse, função das propriedades físicas da bacia e da precipitação. Como se verifica na figura a vazão real do córrego é representada no HUT através de uma distribuição triangular que tem um trecho ascendente da curva até a vazão de pico, e o trecho descendente quando ocorre o escoamento do volume. Os principais parâmetros necessários a serem determinados para a construção o gráfico são:

Du: Duração da chuva (horas)

$$Du = \frac{Tc}{7,5}$$

Tp: Tempo de pico até ocorrência da vazão de pico (horas)

$$Tp = \frac{Du}{2} + 0,6 * Tc$$

Tb: Tempo base, que corresponde ao tempo necessário para regularizar a vazão (horas)

$$Tb = 8. \frac{Tp}{3}$$

Estes parâmetros são correlacionados com o tempo de concentração da bacia hidrográfica em análise, e é indicado que estes sejam os inteiros múltiplos de 5,00 ou 7,5 minutos.

Em adição aos parâmetros de distribuição temporal da bacia é necessário computar os efeitos de infiltração de chuva no solo, que são função das características de umidade. Neste caso foi adotado o cenário mais conservador, com o terreno saturado. Para computar este efeito é definido o índice S que traduz a capacidade máxima de infiltração do solo, definido em função do número de curva previamente definido.

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

Com o parâmetro de saturação é então calculada a precipitação que efetivamente (Pef) é convertida em escoamento superficial, descontando do volume a parcela infiltrada no terreno buscando aproximar a simulação da condição real de campo através da equação abaixo.

$$P_{ef} = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8.S)} \text{ em mm}$$

A vazão de pico do HUT é calcula abaixo, onde Ab é a área da bacia em (km²), Tp o tempo de pico em horas e 0,208 fator de correção de unidades.

$$Q_p = 0,208 \cdot \frac{Ab}{T_p}$$

Qp é expresso em m³/s/mm de precipitação efetiva, sendo que para a vazão total basta multiplicar a Qp unitária pela precipitação efetiva. Abaixo são apresentados os parâmetros de cálculo tabelas.

Tabela 6 - Resumo dos parâmetros de cálculo.

Parâmetro	Valor
Área bacia	32,46 km ²
Comprimento (L)	11,05 km
Desnível (H)	224 m
Tc Tempo concentração	3,00 horas
Duração da chuva	3,00 horas
Tp Tempo de pico	3,14 horas
Tb Tempo base	8,38 horas
CN (curve number)	77 (adm)
S	75,90
Qp	2,15 m ³ /s/mm

A precipitação considerada foi a chuva de 100 anos para o período de duração igual a 3,00 horas, resultando em altura de chuva de $P=110,3$ mm, que equivale à uma precipitação efetiva de $P_{ef}=52,70$ mm, para o solo saturado.

Assim a vazão de pico estimada para o local é de $Q=113$ m³/s no local da ponte para o período de $TR=100$ anos.

1.3.1. Correção da vazão pelos critérios definidos pelo IPH.

Foram incluídas no projeto as recomendações da nota técnica do IPH sobre os critérios hidrológicos, emitida após os eventos extremos de chuva vivenciados no RS em 2024. A nota técnica indica que para áreas <1000 km² com tempo de retorno maior do que 10 anos a vazão calculada seja majorada em 20% ou que o tempo de retorno para a intensidade de chuva seja ajustado, de modo que o $TR=100$ anos passa a equivaler a 450 anos. A vazão de projeto deve ser adotada como o maior entre as duas verificações.

É indicado ainda que mesmo com a majoração, caso a chuva estimada seja menor do que o máximo histórico de fato observado, deve ser utilizado como parâmetro o máximo histórico do local.

Majorando a vazão pelo fator recomendado de 20% se obtém uma vazão de 135,6 m³/s. Corrigindo o TR para 450 pela recomendação da nota técnica, a

intensidade de precipitação é maior, passa para 142,4 mm/h, resultando assim em uma vazão de 171 m³/s.

Seguindo a recomendação do IPH, se observa que a chuva máxima estimada pela metodologia de cálculo é o maior entre os dois valores, de modo que a vazão do canal é Q=171 m³/s, estimativa que supera também os máximos observados, logo este é o parâmetro de projeto.

1.4. Verificação do canal de escoamento

1.4.1. Metodologia de cálculo e parâmetros

Para a determinar da capacidade de vazão da seção considerada, bem como a cota do nível de água para a diferentes tempos de retorno e a velocidade de escoamento, foi considerada a metodologia com o uso da fórmula de Manning indicada abaixo.

$$Q = [(A \cdot Rh^{2/3} \cdot I^{1/2})/n]$$

Onde Q é a vazão em m³/s, A é a área de escoamento para diferentes níveis de água (m²), Rh o raio hidráulico da seção (m), I é a inclinação do canal (m/m) e n é o coeficiente rugosidade do material.

O canal do Arroio Barra Fria tem revestimento natural, sendo esperada a ocorrência de uma grande quantidade de cascalho, sedimentos, trechos com afloramento rochoso e ainda vegetação na margem, uma condição variada. Se verifica ainda uma sinuosidade no canal, o que piora a sua capacidade de vazão, sendo que neste cenário o coeficiente pode variar de 0,025 até 0,080, conforme referência abaixo.

d) Canais naturais

.Reto, limpo, sem represamento	0,025	0,030	0,033
.Sinuoso, limpo, com pouco represamento	0,033	0,040	0,045
.Vagaroso, com vegetação rasteira	0,050	0,070	0,080
.Planície de inundação, pastagem	0,025	0,030	0,035
.Idem, com poucos arbustos e árvores	0,035	0,050	0,060

Figura 5 - Coeficientes de Manning para diferentes tipos de canais naturais.

Tabela 7 - Parâmetros hidráulicos da seção de cálculo.

Ponte Prevista							Cota da viga: ~ 460,76 Inclinação: 0,05%
Cota	Altura	A (m²)	Pm (m)	RH (m)	V (m/s)	Q (m³/s)	
454	0,569	10,242	19,138	0,5351656	0,421	4,3	
455	1,569	28,242	21,138	1,3360772	0,775	21,9	
456	2,569	46,242	23,138	1,9985306	1,014	46,9	
457	3,569	64,242	25,138	2,5555732	1,194	76,7	
458	4,569	82,242	27,138	3,0305107	1,338	110,0	
459	5,569	100,242	29,138	3,4402498	1,456	145,9	
460	6,569	118,242	31,138	3,7973537	1,555	183,9	

Baseado nestes dados foi plotada uma curva cota x vazão do rio, e ainda indicada as cotas de cheia para os diferentes períodos de retorno do local, estando estas informações apresentadas em um gráfico a seguir.

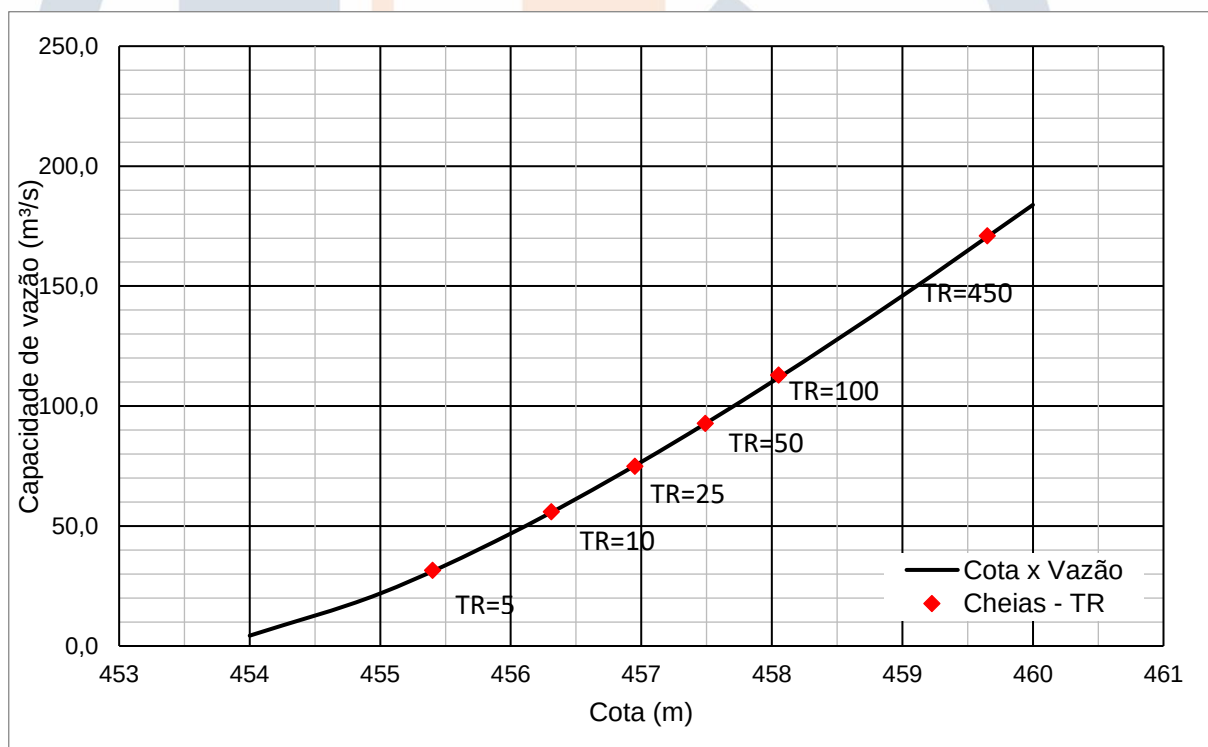


Figura 7 - Curva de capacidade hidráulica para diferentes períodos de retorno.

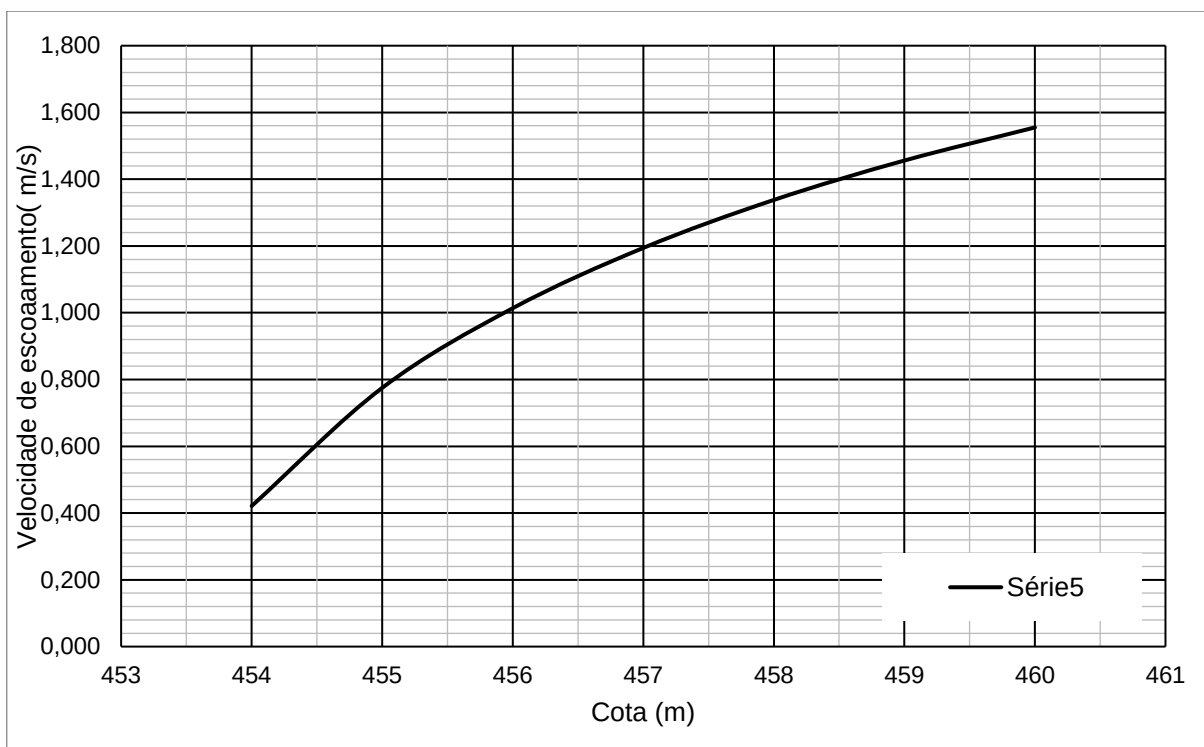


Figura 8 - Velocidade de escoamento na seção.

1.5. Conclusão

Para o TR=100 anos a vazão de cheia é de 113 m³/s, resultando em uma cota de cheia de 458,05 m. Como a nota técnica do IPH recomenda majorar a cheia, considerando um TR=450 anos quando a bacia tem menos de 1000 km², a vazão majorada é de 171,05 m³/s, resultando em uma cota de cheia de 459,65 pouco acima da cota de cheia máxima.

A diferença entre a cota de cheia máxima e a aqui estimada é devida a variação na geometria da seção original do canal, cuja condição pré-cheia não é conhecida, logo não é viável reproduzir a mesma para validação do modelo.

Seguindo as recomendações do DAER, é necessário um free-board mínimo neste tipo de obra de arte de pelo menos 1,00 metro, entre a cota de cheia e a cota de fundo das vigas da ponte esta indicada a seguir:

Tempo de Retorno	Cota de cheia	Cota mínima da viga de fundo da ponte
100 anos	458,05	459,05
450 anos (recomendação IPH)	459,65	460,65

1.6. Referência bibliográfica

CHOW, V. Te. **Open-channel hydraulics**. New York, USA: McGraw-Hill, 1959.

DAER, (Departamento autônomo de estradas de rodage,). **Instrução de serviço para elaboração de estudos hidrológicos e projetos de drenagem e de obras de arte correntes**. IS-121-/21. -2021

Embrapa. Uso da Terra do Rio Grande do Sul, 2017. Site acessado em 23/03/2024. <https://www.embrapa.br/documents/1355035/37050427/Uso+da+Terra+R+S+2017/cf29eb9a-ab73-beec-7bea-55069555ce23>

PAIVA, J. B. D de; PAIVA, E. M. C. D. de (org.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre/RS: ABRH, 2003.

Rodrigues, A.A; .Santos, F.S.; Beskow, T.L.C ; Siqueira, T.M; Beskow, S. **Coeficientes da equação IDF de chuvas para o estado do Rio Grande do Sul**. Versão 01 -2023 - Programa de recursos hídricos da UFPEL.

Passo Fundo/RS, 22 de setembro de 2025.

Atenciosamente,

Laudar Engenharia Ltda
CNPJ 32.046.324/0001-57
Responsável Legal e Responsável Técnico
Anderson J. Poltronieri
CREA RS174506