



ARBOR PROJETOS E OBRAS LTDA

ESTUDO HIDROLÓGICO

OBJETO: PROGRAMA DE SUBSTITUIÇÃO DE PONTES DE MADEIRA

OBRA: SUBSTITUIÇÃO DE PONTES DE MADEIRA

MUNICÍPIO: CACHOEIRA DO SUL / RS

LOCAL / DATA: CACHOEIRA DO SUL – RS / OUTUBRO / 2024



ARBOR PROJETOS E OBRAS LTDA

INFORMAÇÕES GERAIS

Pretendente/Consumidor: **Prefeitura Municipal de Cachoeira do Sul.**

Obra: **SUBSTITUIÇÃO DE PONTES DE MADEIRA**

Localidade: **Cachoeira do Sul / RS**

Data.....: **Outubro / 2024**

Descrição do Estudo: **O presente estudo tem por objetivo expor as variáveis hidrológicas para a SUBSTITUIÇÃO DE PONTES DE MADEIRA, localizadas em estradas municipais no município de Cachoeira do Sul/RS.**

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente estudo estabelece as condições técnicas mínimas a serem obedecidas para obtenção de elementos hidrológicos fundamentais no dimensionamento de obra de artes especiais, atendendo os parâmetros mínimos a serem atendidos, seguindo o Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem (DNIT,2005).



1. INTRODUÇÃO

O Município de Cachoeira do Sul está localizado na região central do Estado do Rio Grande do Sul, possui cerca de 3 736,158 km² de área, representando 1,38% do estado. Neste município, existem pontes de madeira que necessitarão serem substituídas por obras de concreto armado.

Neste presente estudo, será apresentado 1 ponto para análise e dimensionamento de uma destas obras de arte.

O Estudo Hidrológico possui como objetivo estabelecer o regime pluviométrico para a região, de modo a fornecer subsídios para determinação das vazões de dimensionamento da obra de arte.

O Estudo desenvolveu-se, basicamente, nas seguintes fases:

- Coleta e análise dos dados.
- Os dados brutos de pluviometria foram obtidos pela Agencia Nacional de Águas (ANA).
- Dados cartográficos, aerofotogramétricos e topográficos:
 - Sistema de informações geográficas (SIG).
 - Imagens de satélite.
 - Cartas topográficas – (Exército Brasileiro)
- Determinação das descargas de projeto, descritos a seguir em síntese.

2. PLUVIOMETRIA

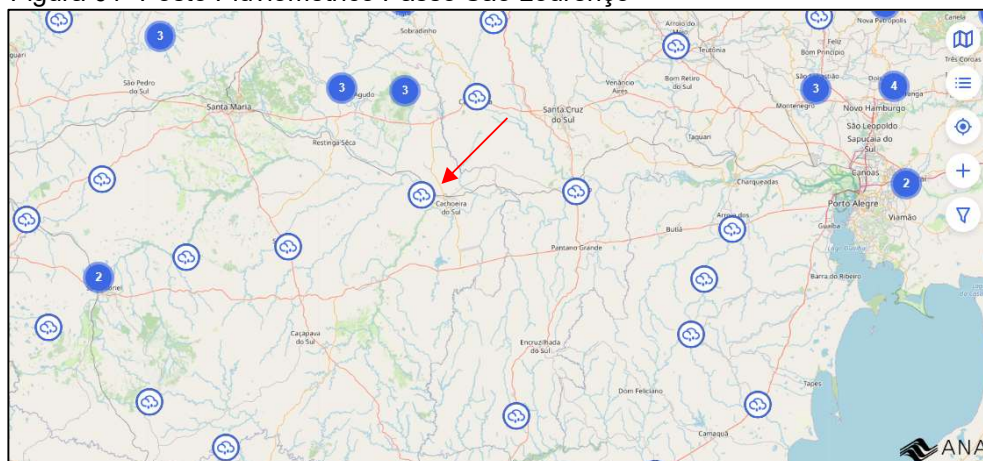
A) DEFINIÇÃO DO POSTO PLUVIOMÉTRICO

Passo São Lourenço 02953037 e Estação Rio Pardo 02952059, sendo a Estação 02953037, a mais próxima região, observando que estação teria 38 anos de dados consistidos para o estudo. A seguir (figura 01), são apresentados os dados da estação selecionada.



ARBOR PROJETOS E OBRAS LTDA

Figura 01- Posto Pluviométrico Passo São Lourenço



Fonte: ANA (2024)

B) Estação pluviométrica

Figura 02- Dados da Estação Passo São Lourenço

Dados da Estação	
Código	02953037
Nome	PASSO SÃO LOURENÇO
Município	CACHOEIRA DO SUL
Bacia	8 - Atlântico
Sub-bacia	85 – Rio Jacuí
Estado	RIO GRANDE DO SUL
Responsável	ANA
Operadora	SGB-CPRM
Latitude	-30.0089
Longitude	-53.015

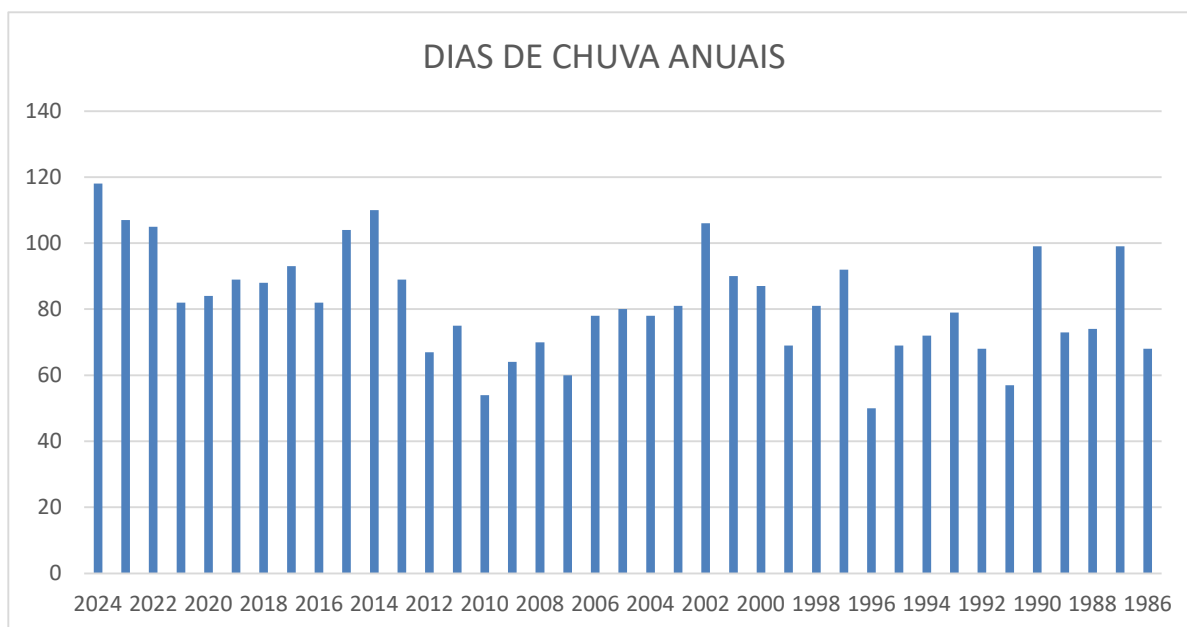
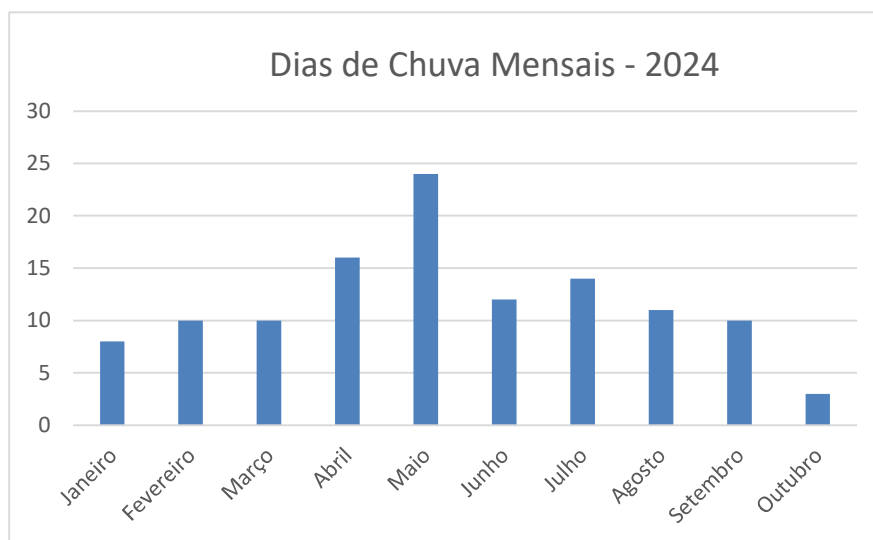
(Fonte: ANA)



3. PROCESSAMENTO DE DADOS COLETADOS

Os dados coletados foram processados de modo a se obter os elementos de definição do regime climático da região do projeto.

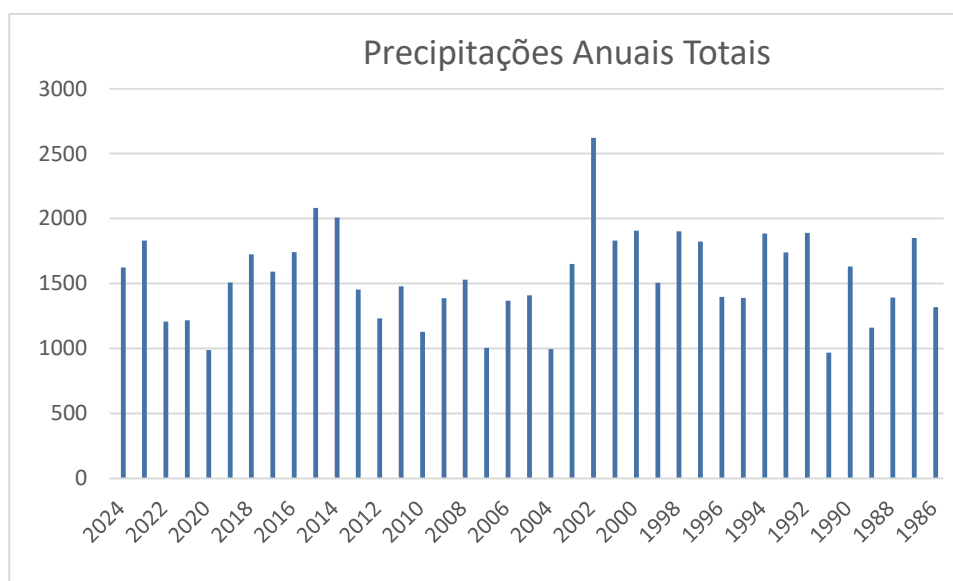
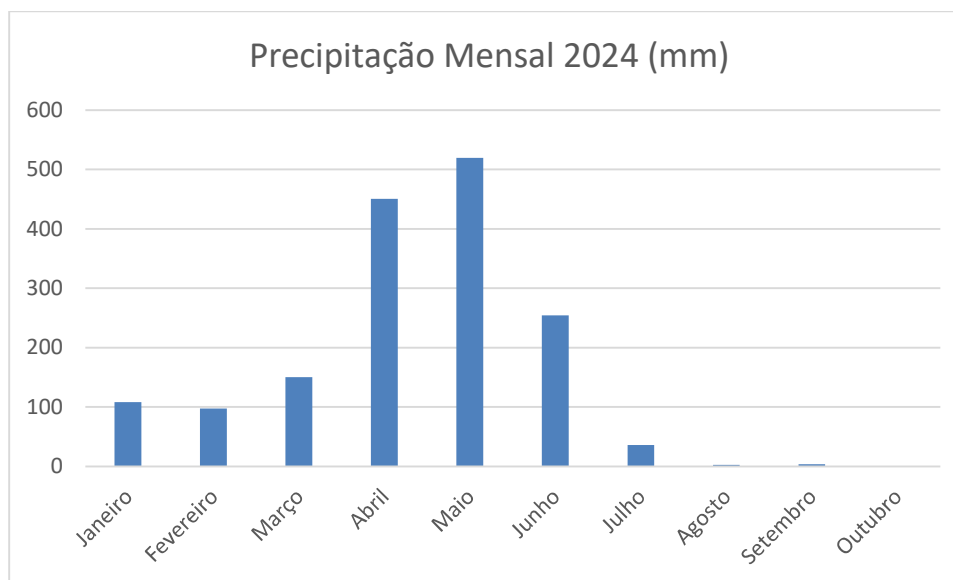
a) Histograma de dias de chuva





MÉDIA DE NÚMERO DE DIAS DE CHUVA POR ANO = 82 dias/ano.

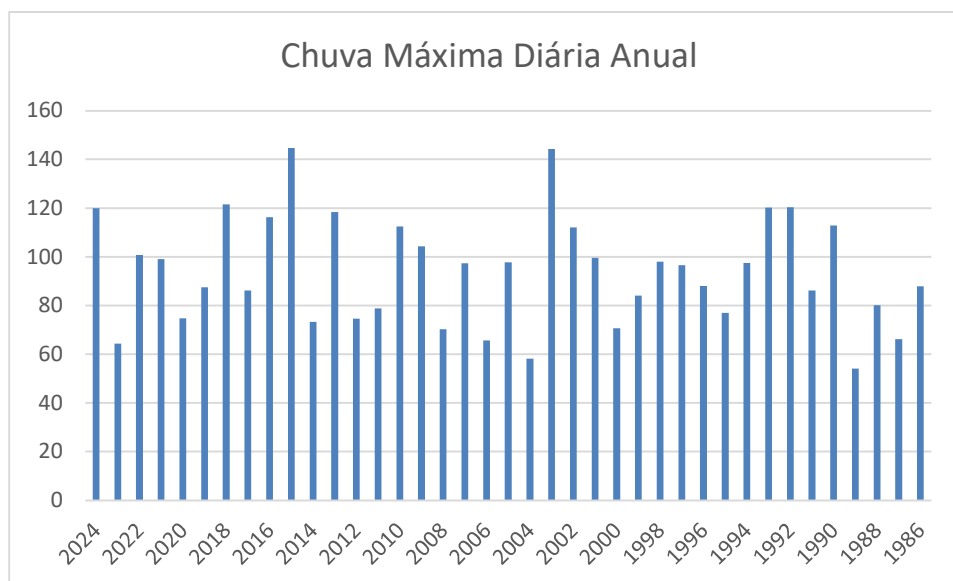
b) Histograma de totais mensais de chuva



Índice médio pluviométrico anual = 1547,90 mm/ano



c) Histograma de Máxima Chuva Diária Anual



Máxima registrada = 144,7 mm/dia

4. DETERMINAÇÃO DAS DESCARGAS DE PROJETO

De acordo com a IS-203, os métodos de cálculo das vazões de projeto são função da área da bacia de contribuição, devendo ser adotados os limites constantes descrito abaixo:

Área da Bacia	Método de Cálculo
Até 4 Km ²	Racional
4 Km ² a 10 Km ²	Racional com Coeficiente de Retardo
Acima de 10 Km ²	Hidrograma Unitário Triangular

5. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração foi determinado pela Fórmula de KIRPICH MODIFICADA, conforme indicação das “Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Instruções para acompanhamento e Análise - DNIT” (2010).



ARBOR PROJETOS E OBRAS LTDA

A fórmula de KIRPICH MODIFICADA:

$$T_c = \left(\frac{0,294 L}{\sqrt{i}} \right)^{0,77}$$

onde:

Tc = tempo de concentração, em horas;

L = comprimento do talvegue, em km;

i = declividade do talvegue em %

6. DEFINIÇÃO DOS TEMPOS DE RECORRÊNCIA

Os tempos de recorrência foi adotado TR=100 anos

7. CÁLCULO DA VAZÃO DAS PEQUENAS BACIAS

Para estas bacias com áreas de até a 4,00 km², utilizar-se-á o método racional, cuja fórmula é:

$$Q = 0,0028 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Onde:

Q = descarga de projeto; em m³/s;

A = área da bacia drenada, em ha;

I = intensidade de precipitação, em mm/h, obtida na curva de frequência-intensidade-duração. O tempo de duração foi tomado igual ao tempo de concentração da bacia;

C = coeficiente de deflúvio do R. Peltier – J.L Bonnenfant - coeficiente adimensional variável com a natureza da bacia (solo, vegetação, forma, declividade, etc.). Para isto analisaram-se fotografias aéreas, cartas de região, relatórios de análise geológica, observações locais sobre o uso da terra e uma idéia aproximada da permeabilidade do solo.



TIPO DE SOLO, PERMEABILIDADE E COBERTURA VEGETAL	COEF. DEFLÚVIO
1• Solo rochoso, de baixa permeabilidade, com vegetação rala	0,70 a 0,85
2• Solo rochoso, de baixa permeabilidade, com vegetação densa	0,65 a 0,80
3• Solo rochoso, de média permeabilidade, com vegetação rala	0,60 a 0,75
4• Solo rochoso, de média permeabilidade, com vegetação densa	0,55 a 0,70
5• Solo argiloso, de baixa permeabilidade, com vegetação rala	0,50 a 0,65
6• Solo argiloso, de baixa permeabilidade, com vegetação densa	0,45 a 0,60
7• Solo argiloso, de baixa permeabilidade, com floresta	0,40 a 0,55
8• Solo argiloso-arenoso, de média permeabilidade, com vegetação rala	0,35 a 0,50
9• Solo argiloso-arenoso, de média permeabilidade, com vegetação densa	0,30 a 0,45
10• Solo argiloso-arenoso, de média permeabilidade, com floresta	0,25 a 0,40
11• Solo argiloso-arenoso, de alta permeabilidade, com vegetação rala	0,20 a 0,35
12• Solo argiloso-arenoso, de alta permeabilidade, com vegetação densa	0,15 a 0,30
13• Solo argiloso-arenoso, de alta permeabilidade, com floresta	0,10 a 0,25

Fonte: Jabôr,2019



8. CÁLCULO DA VAZÃO DAS GRANDES BACIAS

Para bacias com áreas entre 4 a 10 Km², utiliza-se o Método Racional com coeficiente de retardo.

$$Q = 0,28 \times C \times I \times A \times \phi$$

Q = Vazão (m³/s);

C = coeficiente de deflúvio de Burkli - Ziegler;

I = Intensidade de precipitação (mm/h);

A = Área da bacia (ha);

Ø = Coeficiente de retardo;

A expressão para o coeficiente de retardo é

$$\phi = \frac{1}{(100 A)^{1/n}}$$

. *Para A em km²

n = 4, pequenas declividades, inferiores a 0.5 % (Burkli Ziegler)

n = 5, médias declividades, entre 0.5 e 1 % (MC MATH)

n = 6, fortes declividades, superiores a 1 % (BRIX)

BURKLI- ZIEGLER	C
• Áreas densamente construídas	0.70 a 0.75
• Zonas residenciais comuns	0.55 a 0.65
• Zonas urbanas (região montanhosa)	0.30 a 0.45
• Campos de cultura (região plana)	0.20 a 0.30
• Parques, jardins (plana com alagadiço)	0.15 a 0.25

Fonte: Jabôr, 2019

Para bacias com áreas acima de 10 Km², utiliza-se o Método do Hidrograma Triangular Sintético.

$$Q = \frac{0,20836 \times A \times qm}{0,6Tc + \sqrt{Tc}}$$

Onde:

Q = vazão (m³/s);

A = área da bacia em km²;

Tc = tempo de concentração de Kirpich;

qm = precipitação efetiva (acumulada).

$$qm = \frac{(P - 5,08x S)^2}{P + 20,32 x S}$$



Onde:

P = Altura acumulada de precipitação, a contar do início da chuva, em mm, em função do tempo de concentração da bacia;

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

CN = Curva correspondente ao complexo solo/vegetação.

Tabela de CN - Jabôr

$$CN = CN_1 \times CN_2 \times CN_3$$

A ≤ 30 Km²

i (%)	CN ₁
≤ 0,5	68
1,0	70
1,5	72
2,0	74
3,0	76
4,0	78
5,0	80
6,0	82
7,0	84
8,0	86
9,0	88
≥ 10,0	90

30 km² < A < 60 km²

i (%)	CN ₁
0,25	62
0,50	64
0,75	66
1,0	68
1,5	71
2,0	77
3,0	81
4,0	84
5,0	88
≥ 6,0	90

A ≥ 60 km²

i (%)	CN ₁
≤ 0,125	56
0,25	58
0,5	60
1,0	65
1,5	70
2,0	80
3,0	85
≥ 4,0	90

Onde:

i = declividade efetiva do talvegue em %

A = área da bacia em Km²

CN₂

Região Montanhosa c/ Rocha	= 1,1
Região Montanhosa	= 1,0
Região Ondulada	= 0,9
Região Plana	= 0,8

Precipitação(mm)

Precipitação(mm)	CN ₃
≥ 177,8	0,6
177,8	0,7
152,4	0,8
127,0	0,9
101,6	1,0
76,2	1,1
50,8	1,2
25,4	1,3
≤ 25,4	1,4

Obs:

CN₁ = Obtém-se a partir da Área da bacia e da sua declividade efetiva

CN₂ = É função da Geomorfologia da Área em estudo

CN₃ = Está relacionada com a Pluviometria obtida pelo cálculo do Tempo de Concentração.



9. DELIMITAÇÃO E ANÁLISE DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

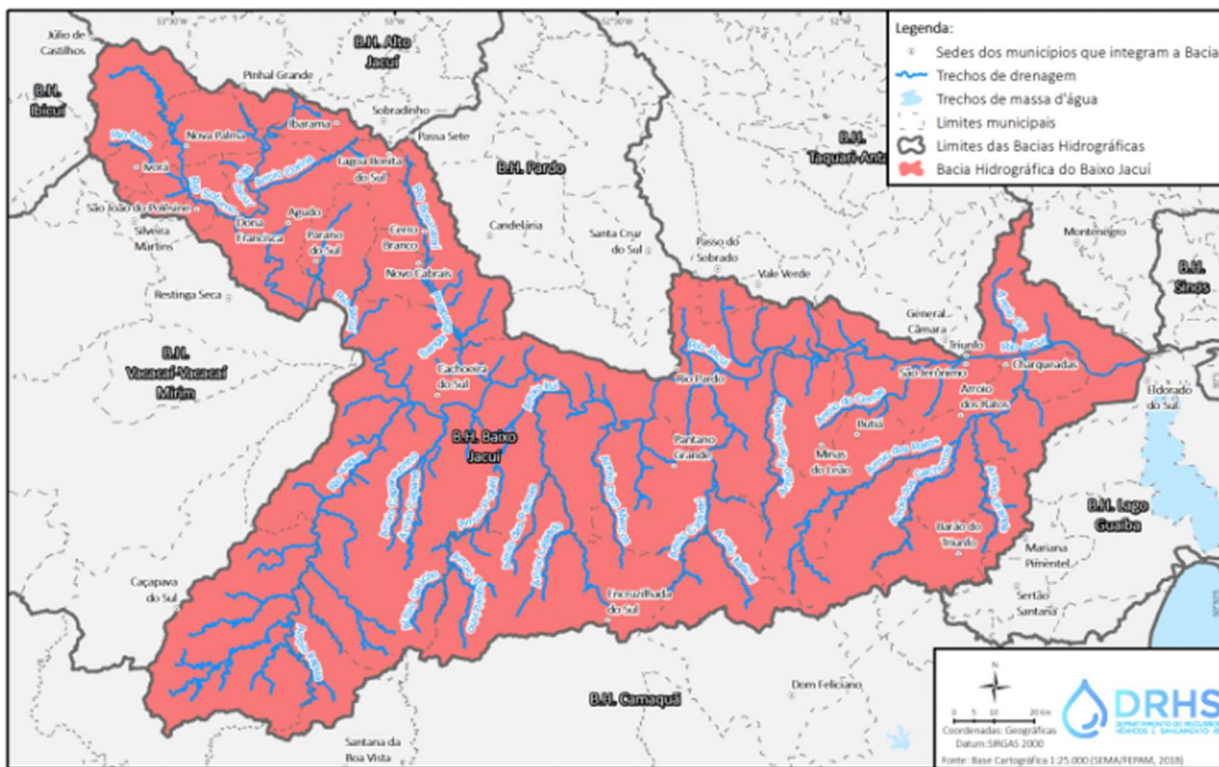
A bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso de água ou por um sistema conectado de cursos d'água, tal que toda a vazão afluente é descarregada no exutório ou saída, e constitui um sistema que coleta a chuva e a transforma em vazão.

É possível definir características fisiográficas para as bacias, com finalidade de obter os resultados do comportamento hidrológico.

9.1 BACIA HIDROGRÁFICA DE CONTRIBUIÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, localizada na Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba, possui área de 17.359 km² e população estimada de 365.764 habitantes (2020), sendo 262.910 habitantes em áreas urbanas e 102.854 habitantes em áreas rurais (figura 03).

Figura 03- Bacia hidrográfica do Baixo Jacui

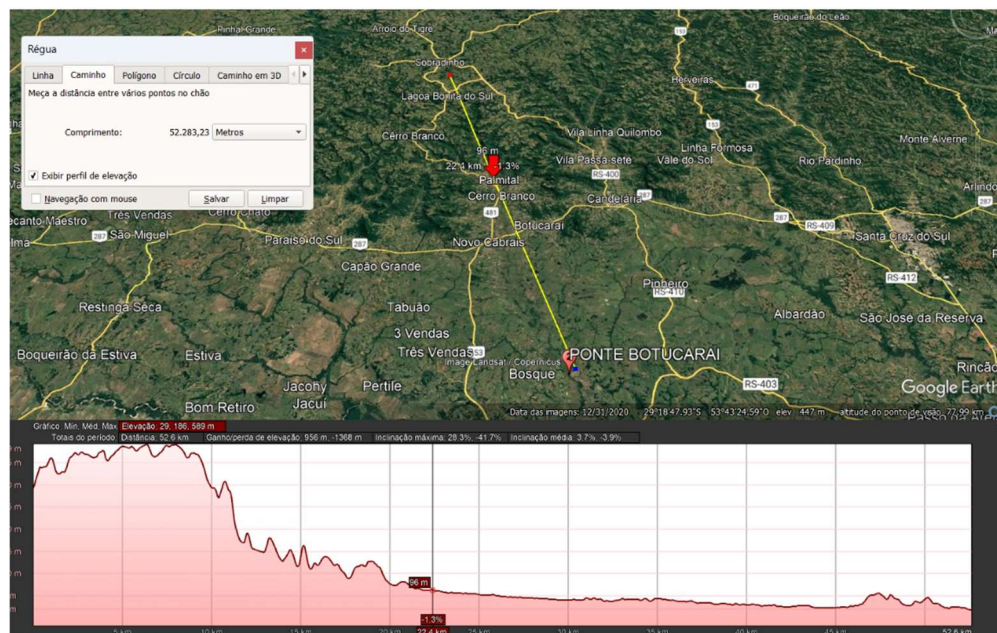


Fonte: SEMA (2024)

As cotas mais elevadas da bacia situam-se nos 589 metros, no Passa Sete. Por outro lado, junto a seção de estudo a cota é de 29 metros, fazendo com que a declividade do rio principal, desde a nascente até o ponto da ponte, seja de 2,65 %, gerando escoamentos com elevada energia (Figura 04).



Figura 04- Perfil de Elevação

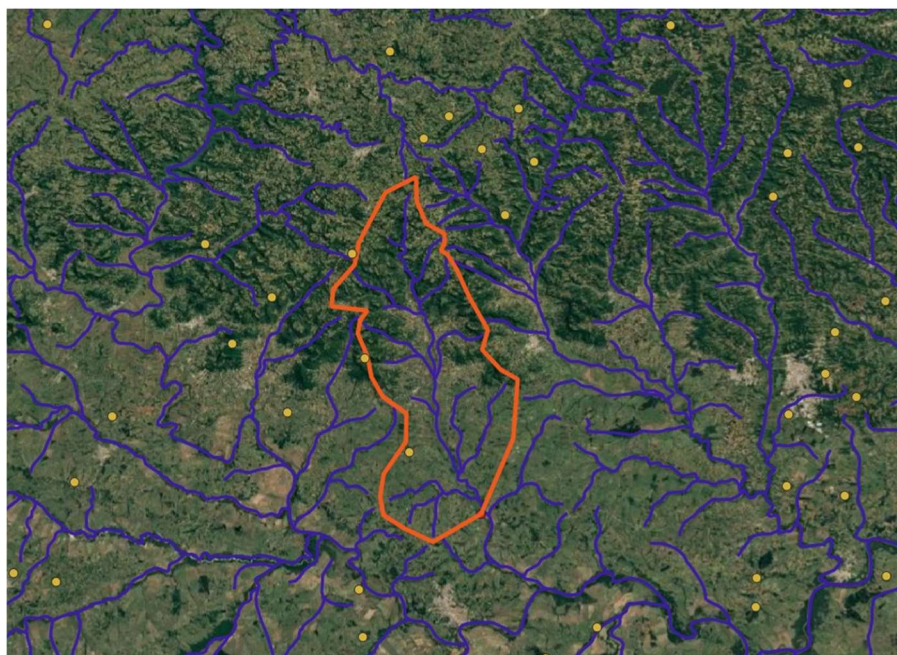


Fonte: Google Earth(2024)

O Rio Botucarai possui 54,18 km até a seção onde está sendo projetada a nova ponte, local em que a largura do canal é de 29,79 metros.

A figura 05 ilustra o contorno da bacia, tendo como ponto exutório a localização da ponte do Botucarai.

Figura 05- Contorno da Bacia



Fonte: Autores

O exutório desta bacia está localizado aproximadamente nas coordenadas $29^{\circ}54'9.54''S$ e



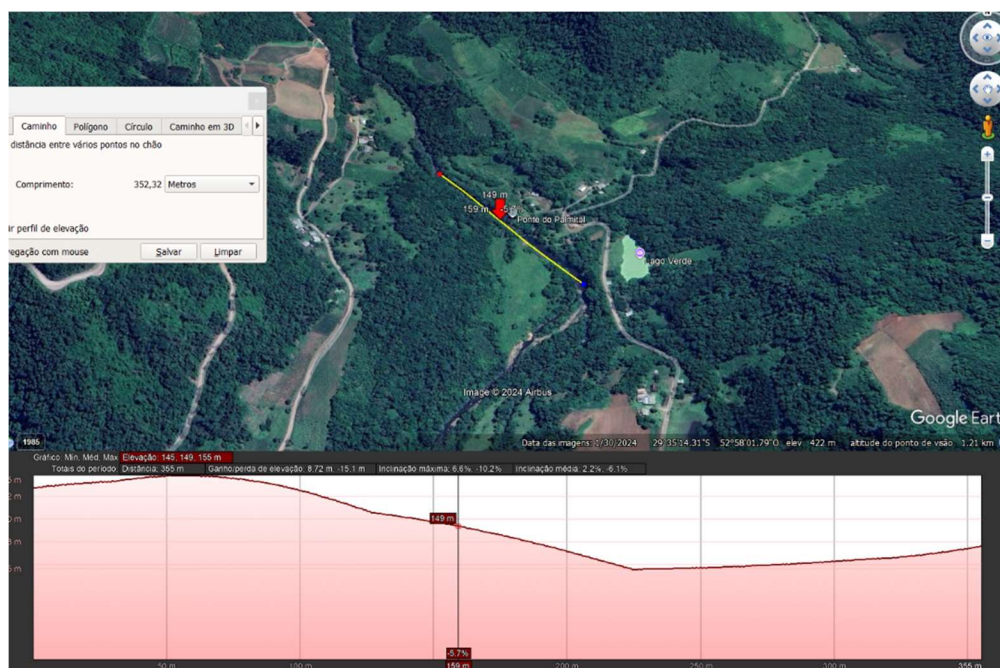
52°51'40.53"O, projeção UTM, Datum: SIRGAS 2000.

9.2 PREPOSIÇÕES DE PROJETO

Para a obtenção da vazão de projeto no local indicado no capítulo anterior foram consideradas as seguintes informações:

1. A área da bacia foi obtida através de geração de polígono com o auxílio de ferramenta de geoprocessamento e utilização de software de Sistema de Informação Geográfica (SIG);
2. A declividade da bacia foi obtida através de cálculo a partir das elevações de modelo digital de elevação.
3. O tempo de retorno (T_r) do estudo foi considerado de 100 anos;
4. Os dados da estação **Passo São Lourenço 02953037** foram utilizados para a determinação da vazão de projeto;
5. A vazão de projeto para um tempo de retorno de 100 anos foi obtida a partir **Método do Hidrograma Triangular Sintético**;
6. O coeficiente de rugosidade (n) de Manning para o canal apresentado foi considerado como 0,055 (apresentado na Tabela 4);
7. A partir dos levantamentos topográficos do entorno da seção em análise, identificou-se a declividade do canal no trecho onde está sendo projetada a ponte como 0,028383 m/m.

Figura 06- Determinação da Declividade



Fonte: Google Earth(2024)



Figura 07- Chuvas Históricas

n	Ano	Q (m ³ /s)	Chuva (mm)
1	2024	4918	1624,7
2	2023	4189,79	1830,1
3	2022	2397,75	1207
4	2021	1809,38	1216,8
5	2020	1507,57	987
6	2019	3472,62	1508,4
7	2018	2357,63	1723,6
8	2017	3459,45	1591,3
9	2016	3578,68	1741
10	2015	4317,66	2083,1
11	2014	3361,23	2006,9
12	2013	3193,48	1453,1
13	2012	2001,03	1231,7
14	2011	2602,08	1479,1
15	2010	1275,4989	1128,4
16	2009	3938,32	1387
17	2008	2886,04	1529,5
18	2007	1465,3538	1005,7
19	2006	1244,8041	1367
20	2005	2667,56	1410,1
21	2004	986,2331	995,2
22	2003	2145,9033	1650,8
23	2002	3719,66	2622,3
24	2001	2566,61	1831,6
25	2000	2380,52	1905,9
26	1999	2129,956	1505,8
27	1998	3276,96	1903,3
28	1997	3348,22	1822
29	1996	1670,89	1397,3
30	1995	2340,51	1388,2
31	1994	2763,88	1884,4
32	1993	2369,07	1739,4
33	1992	3848,94	1889,2
34	1991	1503,8794	968,9
35	1990	3199,87	1631,4
36	1989	2144,677	1161
37	1988	3638,85	1391,8
38	1987	3479,22	1851,1
39	1986	3387,32	1317,2
40	1985	3180,71	-
41	1984	3773,89	-



42	1983	3719,66	-
43	1982	3746,74	-
44	1981	1516,6835	-

Fonte: Autores

Figura 08 - Memória de cálculo para determinação das vazões na seção.

TR 100 anos	
Q(m³/s)	294,6790007
qm	11,06388662
S	18,73563218
TC	6,450791784
i	27,93711467

Fonte: Autores

Onde,

TR = tempo de retorno [anos];

Q= Vazão de projeto (m³/s)

Qm= precipitação efetiva (acumulada)

TC= Tempo de Contribuição

I= IDF

Como pode ser observado na Tabela 3, a vazão determinada pelo método para o tempo de retorno de 100 anos é de 294,679 m³/s.

9.3 DETERMINAÇÃO DA COTA DE PROJETO

Para a determinação da cota de projeto foi utilizada a fórmula de Manning (abaixo) para a vazão de projeto. A Tabela 5 identifica os parâmetros para a determinação da cota máxima que a vazão com tempo de retorno de 100 anos atinge o rio, enquanto que a Tabela 6 apresenta uma variação de vazões em função da cota.

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R h^{2/3} \times I^{1/2}$$

A perda de carga interna é similar para todos os fluidos viscosos ou para escoamentos turbulentos, a diferença está no atrito externo que as águas fluviais sofrem com o leito aluvionar ou não-aluvionar. As fórmulas de perda de carga relacionam a velocidade média do escoamento com as propriedades geométricas de uma seção, a natureza do material do leito e a declividade da linha de energia. Entre as fórmulas mais usadas está a do engenheiro Robert Manning. O maior desafio destas fórmulas é determinar o coeficiente de rugosidade do canal que, por sua vez, está atrelado a natureza do material do leito

O coeficiente de rugosidade na fórmula de Manning é conhecido como coeficiente de Manning ou simplesmente n. Para chegar até a determinação do n, foi:

Parâmetros	Variável	Obtenção	Unidade	Cachoeira do Sul
------------	----------	----------	---------	------------------



Área de drenagem da bacia	A	Qgis	Km²	819,42
Perímetro da bacia	P	Qgis	Km	140,64
Comprimento da bacia	Lb	Qgis	Km	55,38
Comprimento do Canal principal	Lcp	Qgis	Km	54,18
Altitude máxima	Hmáx	Earth	M	589
Altitude mínima	Hmin	Earth	M	29
Amplitude da Bacia	Ha	Hmáx-Hmin	M	560
Declividade da Bacia	D	$(Ha/(Lb*1000))*100$	%	1,01
Coef. De Manning	n	Netto,1998		0,055
Declividade do trecho	I	Earth	m/m	0,0265
Vazão de Projeto TR 100 anos	Qt	Distribuição Log-normal	m³/s	294,679

Parâmetros para determinação da cota máxima para TR=100 anos.

Parâmetros	Váriável	Unidade	Cachoeira do Sul
Vazão de Projeto	Q	M³/s	294,679
Coef de Manning	n		0,055
Declividade do trecho	I	m/m	0,0265
Cota	h	M	40
Área da seção transversal do canal	A	M²	193,97
Perímetro molhado	PM	M	68,43
Raio Hidráulico	RH	M	2,83

COTA	AM (M²)	PM (M)	RAIO HIDRÁULICO	Q (M³/S)
35	53,52	58,2608789	0,918626719	47,33718202
36	80,85	60,29665885	1,340870316	92,01630492
37	108,56	62,3324388	1,741629272	147,0846074
38	136,65	64,36821874	2,122942077	211,2655316
39	165,12	66,40399869	2,486597242	283,6592123
40	193,97	68,43977864	2,834170476	363,5901643
41	223,2	70,47555859	3,167055423	450,5312084
42	252,81	72,51133854	3,486489218	544,0598955

Q seção = Q TR100 anos
Cota da água na seção – 40 m



ARBOR PROJETOS E OBRAS LTDA

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos cálculos hidrológicos e hidráulicos, o perfil da seção possui condições hidráulicas de escoar uma vazão com tempo de retorno de 100 anos. O escoamento em um canal natural está condicionado às variáveis climáticas, à geomorfologia da bacia e o uso do seu solo e às características físicas do próprio canal.

Ponte atual na cota 39, considerando um TR de 100 anos, a nova estrutura deverá encontrar-se no mínimo na cota 41, considerando a segurança costuma-se adotar a folga mínima de 1,00m entre a vazão máxima de projeto.

MARIANE BOESCH LINO DE LIMA

Engenheira Civil – Especialista em Geotecnia
CREA RS 253.194

ANDRÉ LOPES

Engenheiro Civil – Resp. Técnico
CREA RS 167.103
