

ESTUDOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS - TRAVESSIA

Requerente: PREFEITURA MUNICIPAL DA ESTÂNCIA DE PARAGUAÇU PAULISTA

CNPJ: 44.547.305/0001-93.

Empreendimento: Estudo hidrológico e hidráulico de travessia.

Localização: Estrada Vicinal PGP - 161 - Ponte sobre o rio Capivara - Distrito da Roseta – Paraguaçu Paulista / SP.

Bacia Hidrográfica: Médio Paranapanema– UGRHI 17 – Paraguaçu Paulista / SP – rio Capivara.

Data: 28/03/2022

João Gabriel da Costa Bertoli

Engenheiro Ambiental

CREA – 5069338863 SP

Av. Siqueira Campos, 46 – Centro – Paraguaçu Paulista/SP

(18) 99787.6728 – contato@bertoliengenharia.com

Página 1 de 27

1. APRESENTAÇÃO

Requerente: PREFEITURA MUNICIPAL DA ESTÂNCIA DE PARAGUAÇU PAULISTA

CNPJ: 44.547.305/0001-93

Telefone: 18 3361-9100 / 18 99787-6728

Endereço de Correspondência: Av. Siqueira Campos, 1430 – Centro – Praça Jornalista Mário Pacheco

CEP.: 19.700-000

Nome da Propriedade Rural: Ponte sobre o rio Capivara

Endereço: Estrada Vicinal PGP - 161 - Ponte sobre o rio Capivara - Distrito da Roseta

Município: Paraguaçu Paulista / SP

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

2.1 OBJETIVO

O Relatório de Estudos Hidrológicos trata-se de caracterizar a seção transversal e longitudinal de uma travessia aérea que será demolida e reconstruída de forma a ampliar a sua capacidade no rio Capivara e determinar a cota máxima para uma vazão de cheia de projeto nos pontos dos empreendimentos verificando se o nível da água tende a comprometer a estrutura instalada.

Esta travessia terá 11,68 m X 30,00 m de dimensão, com pavimentação feita com asfalto. Sua seção será formada por concreto, conforme projeto a seguir.

O empreendimento é de responsabilidade da requerente Prefeitura Municipal da Estância de Paraguaçu Paulista.

Realizou-se a pedido da Defesa Civil um novo cálculo hidráulico e hidrológico da referida travessia agora para uma taxa de retorno para 100 anos.

2.2 PONTO DE INTERESSE

Curso d'água: rio Capivara

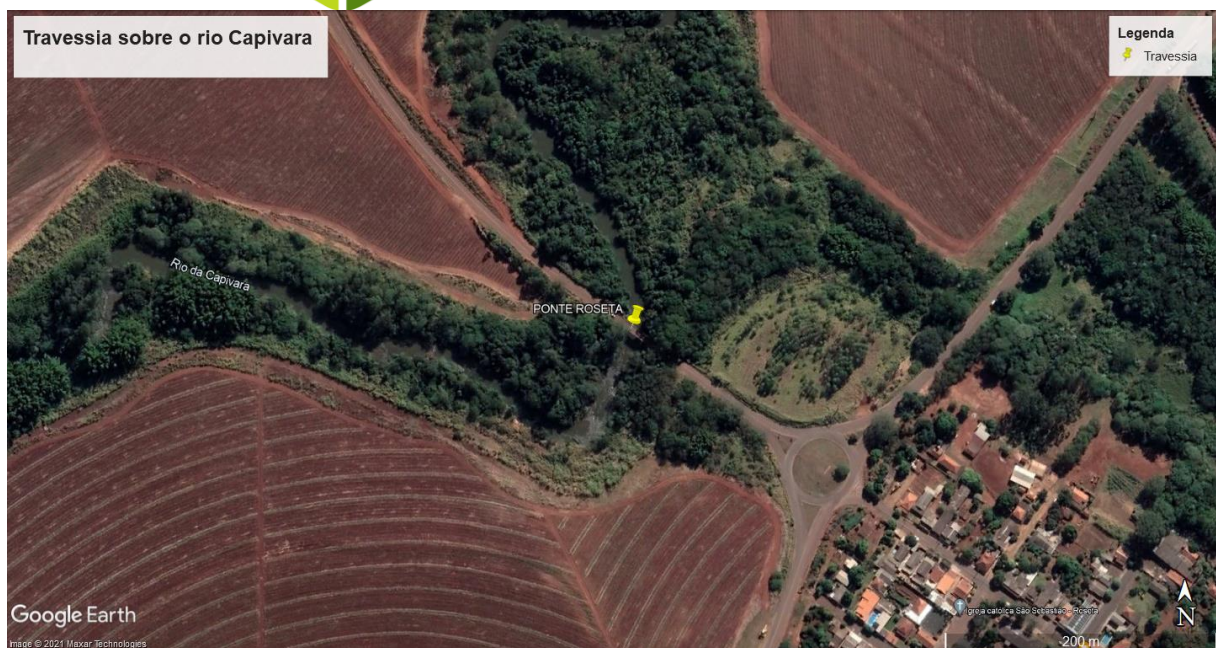
Coordenadas do ponto de interesse: Lat.: 22°32'28.38"S / Long.: 50°36'2.10"O, MC 51° - SIRGAS 2000

Figura 1 – Local da travessia na sua configuração atual.

Av. Siqueira Campos, 46 – Centro – Paraguaçu Paulista/SP

(18) 99787.6728 – contato@bertoliengenharia.com

Página 2 de 27



Fonte: Google Earth, 2021.

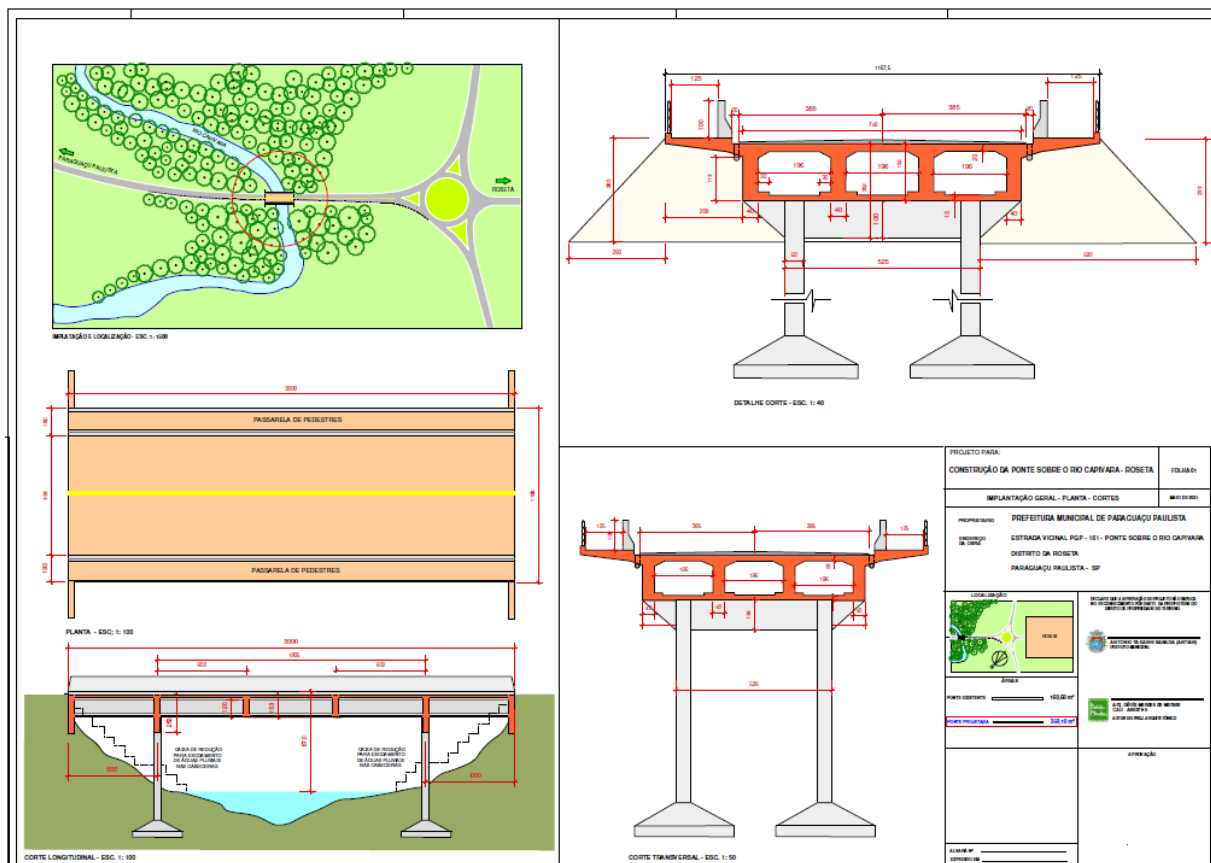
Figura 2 – Travessia Aérea na sua configuração atual.



Fonte: Bertoli Eng., 2021.

Figura 3 – Outra visão da travessia aérea na sua configuração atual.

Figura 4 – Projeto base para a nova travessia.



Av. Siqueira Campos, 46 – Centro – Paraguaçu Paulista/SP
(18) 99787.6728 – contato@bertoliengenharia.com
Página 4 de 27

3. METODOLOGIA

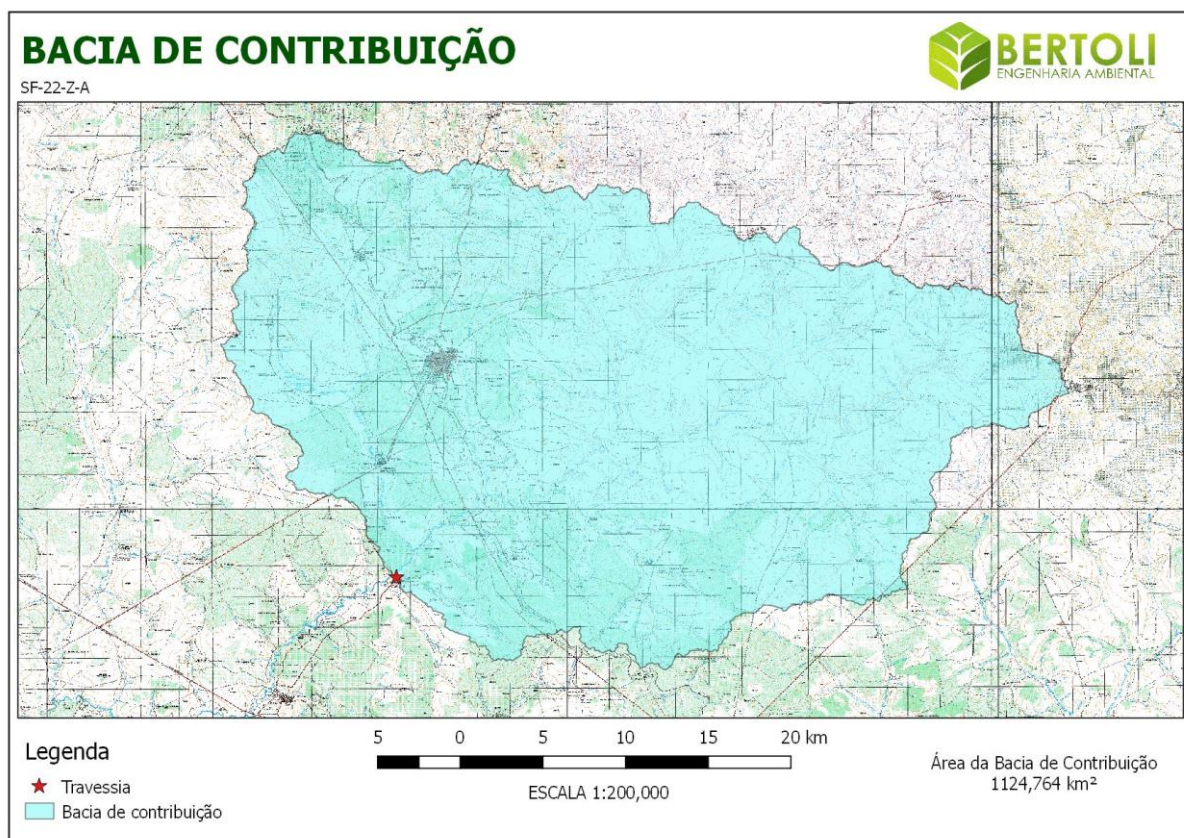
Para comprovação da vazão de cheia em uma possível chuva intensa foi utilizado o método Snyder (1938) juntamente com Huff e para a estrutura hidráulica foram adotadas as convenções do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE-SP).

4. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Área da Bacia de Contribuição

Utilizando a Carta Topográfica 1:50.000 do IBGE, delimitou-se a área da bacia de contribuição do ponto de interesse.

Figura 2 - Bacia Hidrográfica.



Fonte: Carta Topográfica 1:50.000 IBGE.

Ponto da Travessia = 762076.00 m E / 7524793.00 m S UTM 22 S, MC 51° -
SIRGAS 2000

Área da Bacia de Contribuição = 1124,764 Km²

Discriminação e justificativa quanto à metodologia empregada

Baseado no tamanho da área da bacia de contribuição, o método utilizado será o método de Snyder (1938). O método de acordo com Tomaz (2014) deve ser empregado quando a bacia de contribuição varia de 30 a 30.000 km²

O método de S.C.S. com o uso do C.N. foi utilizado para a obtenção da vazão de projeto.

A situação mais frequente, na prática, é o da inexistência de dados históricos. Neste caso é necessário utilizar um hidrograma unitário sintético, ou um hidrograma unitário obtido a partir da análise do relevo, denominado hidrograma unitário geomorfológico a partir do método de Snyder (1938).

Perfil do talvegue desde o divisor de águas até a seção de projeto: tabela e gráfico

Utilizando a carta topográfica 1:50.000 do IBGE apresentada acima, obtivemos o seguinte resultado na análise do perfil do talvegue onde o ponto mais alto está na cota 709 m e no ponto onde encontra-se a travessia é na cota 388 m, totalizando uma diferença 321 m.

Determinação do tempo de concentração (tc) relativo à bacia de constribuição

Tempo de concentração é o tempo em que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial na seção estudada. (Tomaz, 2019). Dessa forma é decidido utilizar a fórmula de Kirpich II, recomendada pelo DAEE para cálculos de tempo de concentração.

$$tc = 57 (L^3/H)^{0,385}$$

Onde:

tc: Tempo de concentração (min)

L: Comprimento do talvegue (Km): 61,38 km

H: Maior diferença de nível no talvegue (m): 321 m

Assim:

$$t_c = 57 (61,38^3 / 321)^{0,385}$$

$t_c = 717,863$ min ou $11,96$ horas ou $43.017,77$ segundos

Determinação do período de retorno

O período de retorno escolhido foi determinado analisando os prejuízos tangíveis e intangíveis que possam vir a ser causados por eventos críticos como enchentes. Tendo analisado isso e levando em consideração a recomendação da Instrução Técnica DPO nº 11, item 2.1.2., foi utilizado um **período de retorno de 100 anos.**

Determinação da vazão de projeto

Para o cálculo da intensidade de chuva do projeto foram utilizadas as equações de chuvas intensas do estado de São Paulo elaborado pelo DAEE. Para fornecimento de dados foi utilizada a estação de Lutécia (D7-007) que possui 29 anos de dados.

$$i_{t,T} = 41,64 * (t + 30)^{-0,8906} + 37,99 * (t + 50)^{-1,035} * [-0,4824 - 0,8972 \ln \ln * (T/T - 1)]$$

Para $T = 100$ anos

Para $t_c = 717,863$ min ou $11,96$ horas

$$i_{100, 717,863} = 41,64 * (717,863 + 30)^{-0,8906} + 37,99(717,863 + 50)^{-1,035} * [-0,4824 - 0,8972 \ln \ln * (100 / 100 - 1)]$$

$$i_{100, 717,863} = 0,258 \text{ mm/min}$$

$$i_{100, 717,863} = 15,465 \text{ mm/hora}$$

Duração da chuva (t_r)

O tempo de contribuição com já dito refere-se ao tempo para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial na seção estudada. (Tomaz, 2019). Dessa forma o tempo de duração da chuva deve ser maior que o tempo de contribuição, pois caso contrário o ponto focal deste estudo poderá não receber o escoamento superficial da bacia de contribuição.

De acordo com Tomaz (2019) o tempo da duração da chuva deve ser 30% maior que o tempo de contribuição, assim utilizaremos:

$$t_r = t_c * 1,3$$

$$t_r = 11,96 * 1,3 = 15,55 \text{ horas} = 16,00 \text{ horas}$$

Para este caso utilizaremos a distribuição de Huff para o 3º Quartil, pois a duração da chuva ficou menor que 24 horas.

Desta forma a precipitação total para esta bacia ficou em 247,44 mm. Todavia por se tratar de uma bacia de grandes proporções utilizou-se da equação de Paulus de forma a uniformizar esta precipitação.

Equação de Paulus (K)

$$P_{\text{área}} = P_{\text{ponto}} * K$$

$$K = 1,0 - [0,1 * \log(A/A_o)]$$

Onde:

$P_{\text{área}}$ = precipitação na área (mm)

P_{ponto} – Precipitação ponto (mm) = 15,465 mm/h * 16 h = 247,44 mm

A_o = 25 km²

A = Área da bacia (Km²)

Assim,

$$P_{\text{área}} = 247,44 * 1,0 - [0,1 * \log(1124,76 / 25)]$$

$$P_{\text{área}} = 274,44 * 0,835$$

$$\mathbf{P_{\text{área}} = 206,61 \text{ mm}}$$

Esta será a precipitação utilizada neste estudo.

Tempo do centro de massa da chuva excedente até o pico da hidrógrafa
(t_L)

O cálculo do tempo do centro de massa da chuva excedente até o pico da hidrógrafa se dá pela seguinte equação:

$$t_L = 0,75 * Ct * (L * L_{CA})^{0,3}$$

Onde:

t_L = tempo do centro de massa da chuva excedente até o pico da hidrografia;

C_t = coeficiente empírico de armazenamento na bacia que varia de 1,8 a 2,2 com média 2,0.

L = comprimento do talvegue (km)

L_{CA} = comprimento do centro da bacia no ponto perto do talvegue até a seção de controle (km)

$$t_L = 0,75 * 2 * (61,38 * 30,67)^{0,3}$$

$$t_L = 14,4 \text{ horas}$$

Duração padrão da chuva (t_d)

O cálculo da duração padrão da chuva se dá pela seguinte equação:

$$t_d = t_L / 5,5$$

$$t_d = 14,4 / 5,5$$

$$t_d = 2,6 \text{ horas}$$

Tempo do centro de massa da chuva excedente até o pico da hidrógrafa ajustado (t_{La})

O cálculo do tempo do centro de massa da chuva excedente até o pico da hidrógrafa ajustado se dá pela seguinte equação:

$$t_{La} = t_L + 0,25 * (t_{da} - t_d)$$

Onde:

t_L = tempo do centro de massa da chuva excedente até o pico da hidrografia;

t_{da} = duração alternativa do hidrograma unitário ($h = 1$)

t_d = duração padrão da chuva

Assim:

$$t_{La} = 14,4 + 0,25 * (1 - 2,6)$$

$$t_{La} = 14,00 \text{ horas ou } 0,583 \text{ dia}$$

Vazão de pico do hidrograma unitário

O cálculo de vazão de pico do hidrograma unitário se dá pela seguinte equação:

$$Q_p = 2,75 * C_p * A / t_{La}$$

Onde:

Q_p = vazão de pico ($m^3/s/cm$)

A = área da bacia (km^2)

t_{La} = valor ajustado (h)

C_p = coeficiente empírico entre 0,56 a 0,69 conforme Ponce, 1989. Para bacias rurais em São Paulo adota-se $C_p=0,67$.

$$Q_p = 2,75 * 0,67 * 1124,76 / 14$$

$$Q_p = 148,00 \text{ m}^3/s/cm$$

Para a construção do hidrograma unitário utiliza-se sete pontos básicos chamados de W75 e W50. Onde para o W50 ocorre nos tempos (h) em 50% de Q_p e W75 em 75% de Q_p .

$$W50 = 2,14 * (A / Q_p)^{1,08}$$

$$W50 = 2,14 * (1124,76 / 148)^{1,08}$$

$$W50 = 18,95 \text{ h}$$

$$W75 = 1,22 * (A / Q_p)^{1,08}$$

$$W75 = 1,22 * (1124,76 / 148)^{1,08}$$

$$W75 = 10,90 \text{ h}$$

Tempo de base

$$t_b = 11,2 * A / Q_p - W75 - 1,5 * W50$$

$$t_b = 11,2 * 1124,76 / 148 - 10,90 - 1,5 * 18,90$$

Av. Siqueira Campos, 46 – Centro – Paraguaçu Paulista/SP

(18) 99787.6728 – contato@bertoliengenharia.com

Página 10 de 27

$t_b = 45,80$ horas

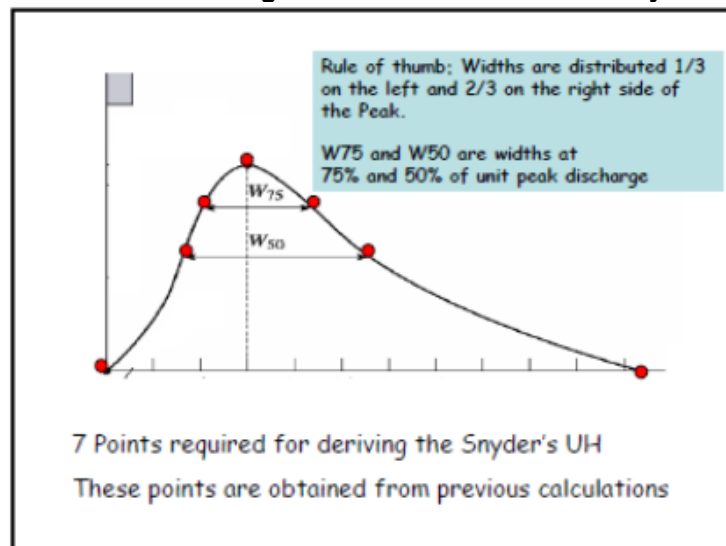
Para a confecção do hidrograma unitário sintético de Snyder da bacia deve-se seguir as seguintes equações para formar os pontos básicos:

Quadro 02 – Dados do hidrograma unitário sintético de Snyder da bacia.

Ponto básicos	Tempo (h)	Q (m³ / s / cm)
1	0,0	0,0
2	$t_{La} - 1/3 * W_{50}$	$0,5 * Q_p$
3	$t_{La} - 1/3 * W_{75}$	$0,75 * Q_p$
4	t_{La}	Q_p
5	$t_{La} + 1/3 * W_{75}$	$0,5 * Q_p$
6	$t_{La} + 1/3 * W_{50}$	$0,75 * Q_p$
7	t_b	0,0

Fonte: Tomaz, 2014.

Gráfico 1 – Hidrograma Unitário Sintético de Snyder



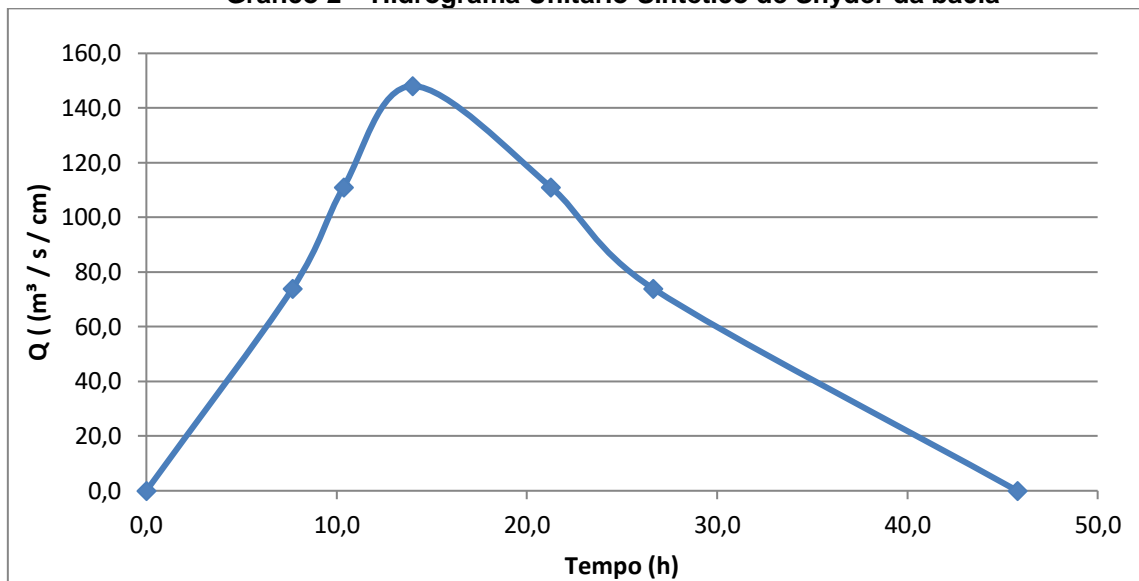
Fonte: Tomaz, 2014.

Quadro 03 – Dados do hidrograma unitário sintético de Snyder da bacia.

Ponto básicos	Tempo (h)	Q (m³ / s / cm)
1	0,0	0,0
2	7,7	74,0
3	10,4	111,0
4	14,0	148,0
5	21,3	111,0
6	26,6	74,0
7	45,8	0,0

Fonte: Bertoli Eng., 2022.

Gráfico 2 – Hidrograma Unitário Sintético de Snyder da bacia



Fonte: Bertoli Eng., 2022.

Hietograma de projeto

Yogi (2018) afirma que para a determinação da vazão de projeto através do método SCS devemos utilizar parâmetros hidrogeológicos e de uso e ocupação do solo na bacia de contribuição para transformar a precipitação máxima, calculada no anteriormente, em uma precipitação excedente conforme cobertura vegetal e ocupação do solo na região em análise.

O método correlaciona o hidrograma unitário da bacia à capacidade máxima de infiltração no solo e consequentemente ao escoamento superficial através de um coeficiente de deflúvio CN.

Ainda segundo Yogi, o CN em uma mesma bacia pode variar conforme as classes de uso e ocupação do solo, e para efeitos de cálculo pode ser realizado uma média algébrica dessas áreas respeitando a proporcionalidade de forma a chegar em um CN médio.

Tabela 1 - CN para Bacias Rurais (Tucci et al., 1998)

Uso do solo	Superfície	Tipo de Solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terra ceada em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terra ceada em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes Ou cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terra ceada em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas , em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras, estradas de Terra	Normais	56	75	86	91
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

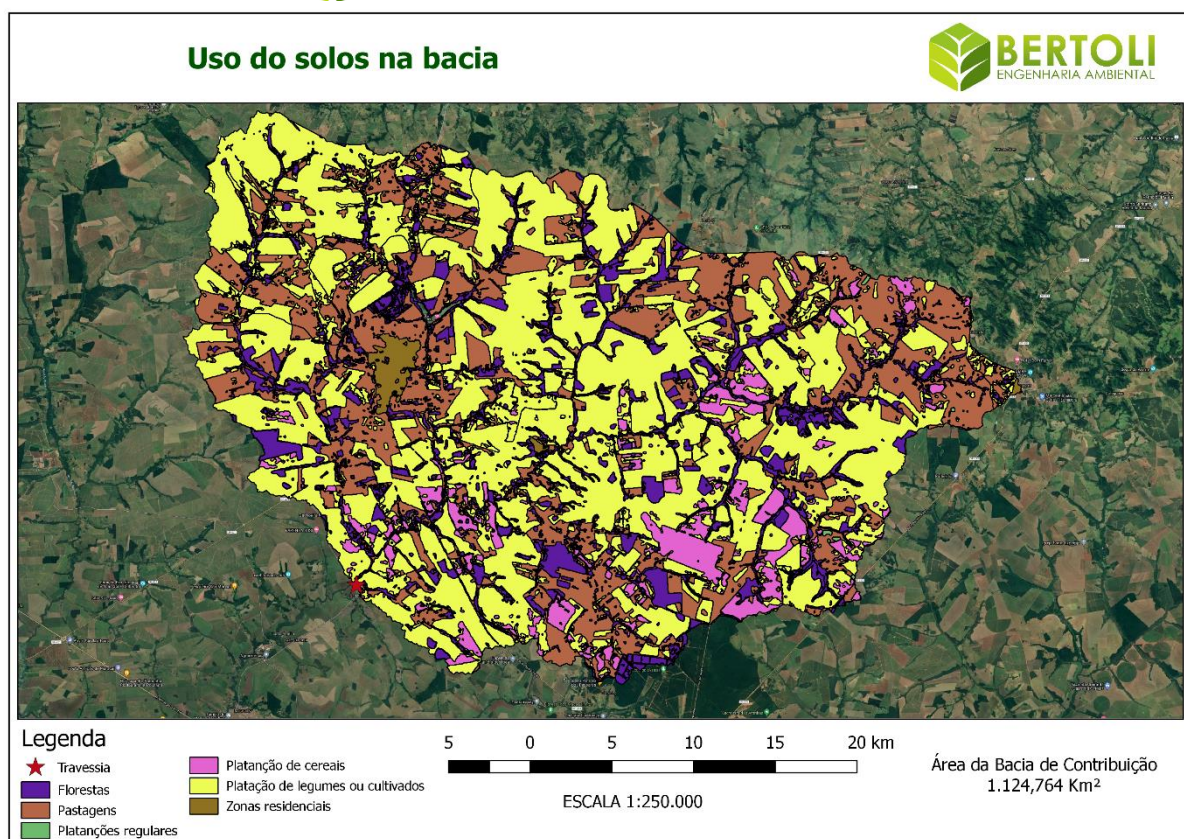
Fonte: Tucci (1998)

Tabela 2 - CN para Bacias Urbanas e Suburbanas (Tucci et al., 1998)

Utilização ou cobertura do solo	Tipo de Solo			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação de solo	72	81	88	91
Com conservação de solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim	45	66	77	83
Florestais: cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições	39	61	74	80
Com relevo em mais de 75% da área	49	69	79	84
Com relevo de 50 a 75% da área				
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais Lotes de (m2) % média impermeável ≤	77	85	90	92
500 : 65	61	75	83	87
1000 : 38	57	72	81	86
1300 : 30	54	70	80	85
2000 : 25	51	68	79	84
4000 : 20				
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
Arruamentos e estradas	98	98	98	98
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	76	85	89	91
Paralelepípedos Terra	72	82	87	89

Fonte: Tucci (1998)

Assim, classificamos nossa bacia de contribuição levando em consideração a tabela 1 e 2 resultou-se no seguinte mapa, a seguir.



Fonte: Bertoli Eng., 2022.

Para a realização da caracterização dos solos na área da bacia utilizou-se o que Sartori et al. (2005) descreve no seu artigo intitulado *Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: classificação*. Nele os autores classificam os solos em grupos onde cada um deles está inserido os seguintes tipos de solo:

Grupo A:

LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade;

LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.

Grupo B:

LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa;

LATOSSOLO BRUNO; NITOSSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMARELO de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.

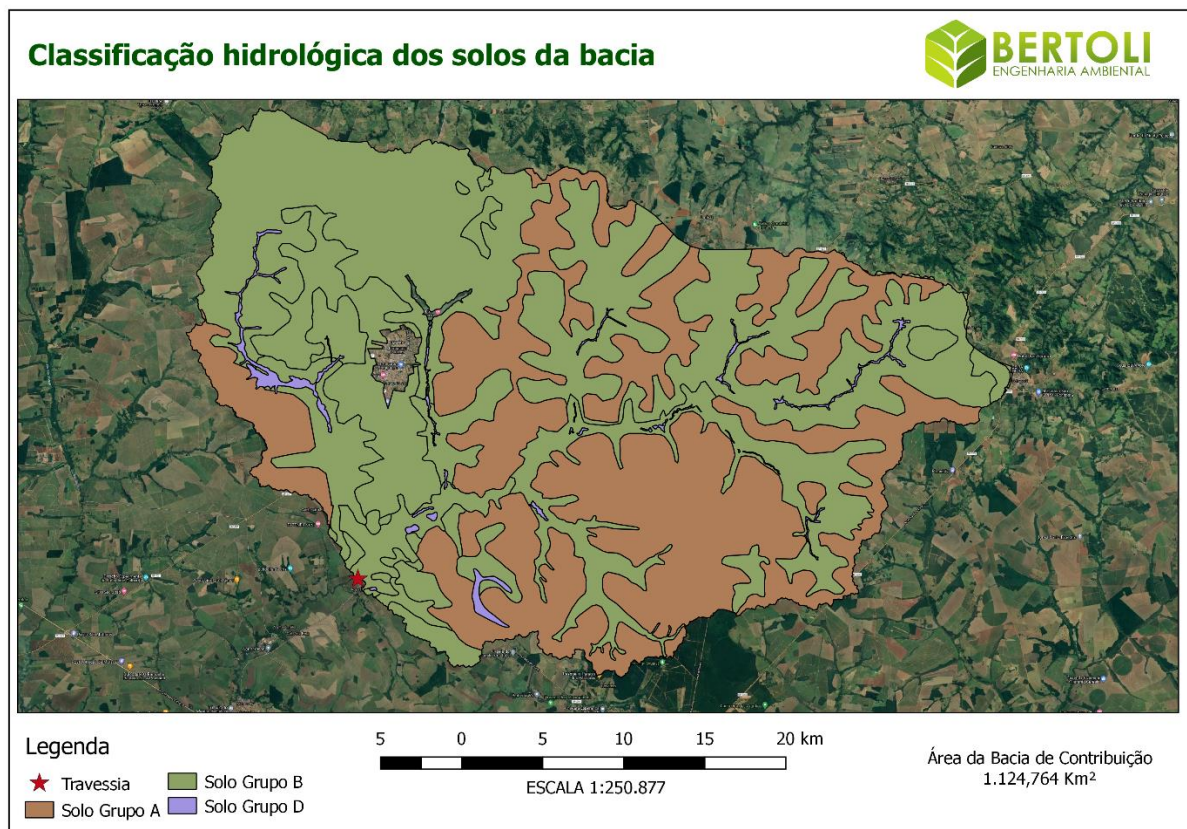
Grupo D:

NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO;

VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA;

Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C;

ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.



Fonte: Bertoli Eng., 2022.

Av. Siqueira Campos, 46 – Centro – Paraguaçu Paulista/SP
(18) 99787.6728 – contato@bertoliengenharia.com
Página 16 de 27

Tabela 1 – Percentual de uso do solo na bacia de contribuição

USO DO SOLO	GRUPO A		GRUPO B		GRUPO D	
	Área (km²)	CN	Área (km²)	CN	Área (km²)	CN
Florestas	34.741	36	93.03	60	10.721	76
Pastagens	93.273	25	219.33	59	3.549	83
Plantações Regulares	0,431	64	0,328	76	0	0
Plantação de Cereais	42.02	60	21.296	71	0,037	82
Plantação de legumes ou cultivados	258.574	49	316.373	69	1.943	94
Zona Residencial	0,144	61	9.257	75	0	0
KM² - SUBTOTAL	429.183		659.614		16.25	
TOTAL GERAL	1105,047 km²					

Com todos estes dados apresentados deve-se aplicar uma média ponderada para conhecer qual é o CN médio desta bacia. Retirou-se dos cálculos as áreas onde continham lagos e rios.

$$CN = (\sum .CN * \text{Área}) / \text{Área total geral.}$$

$$CN = (34741 * 36 + 93.03 * 60 + 10721 * 76 + 93273 * 25 + 219.33 * 59 + 3549 * 83 + 0.431 * 64 + 0,328 * 76 + 42.02 * 60 + 21296 * 71 + 0,037 * 82 + 258574 * 49 + 316373 * 69 + 1943 * 94 + 0.144 * 61 + 9257 * 75) / 1105,047$$

$$CN = 57 - \text{Adotamos um CN de 60.}$$

Tendo definido o nosso *Curve Number* podemos calcular a máxima infiltração potencial no solo a partir do que é proposto por Canholi (2014):

$$S \text{ (mm)} = 25,4 * ((1000/CN) - 10)$$

Onde:

CN: Número da curva

S: Capacidade máxima de infiltração no solo (mm)

Assim:

$$S \text{ (mm)} = 169,33 \text{ mm}$$

A partir disso podemos calcular a infiltração inicial (Ia) da bacia.

$$Ia = 0,20 * S$$

$$Ia = 33,867 \text{ mm}$$

Isso significa que somente haverá escoamento quanto a precipitação acumulada na bacia quando ela for maior que o I_a , caso seja menor que o I_a deve-se considera-la como zero, sem excedente de precipitação.

Quando isso ocorrer deve-se calcular as taxas de armazenamento no terreno, geralmente subdividas em interceptação na vegetação, retenção em depressões além de infiltração subsuperficial e evaporação. Essa transformação pode ser definida por:

$$Pe = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \rightarrow Pe = \frac{(P - 0,2 \times S)^2}{P + 0,8 \times S}$$

Onde:

Pe: Precipitação efetiva (mm)

P: Precipitação total [Intensidade x Tc] (mm)

I_a : Infiltração inicial (mm)

S: Infiltração potencial (mm)

Assim apresenta-se a tabela de precipitações da bacia.

Tabela 4 – Precipitações da bacia

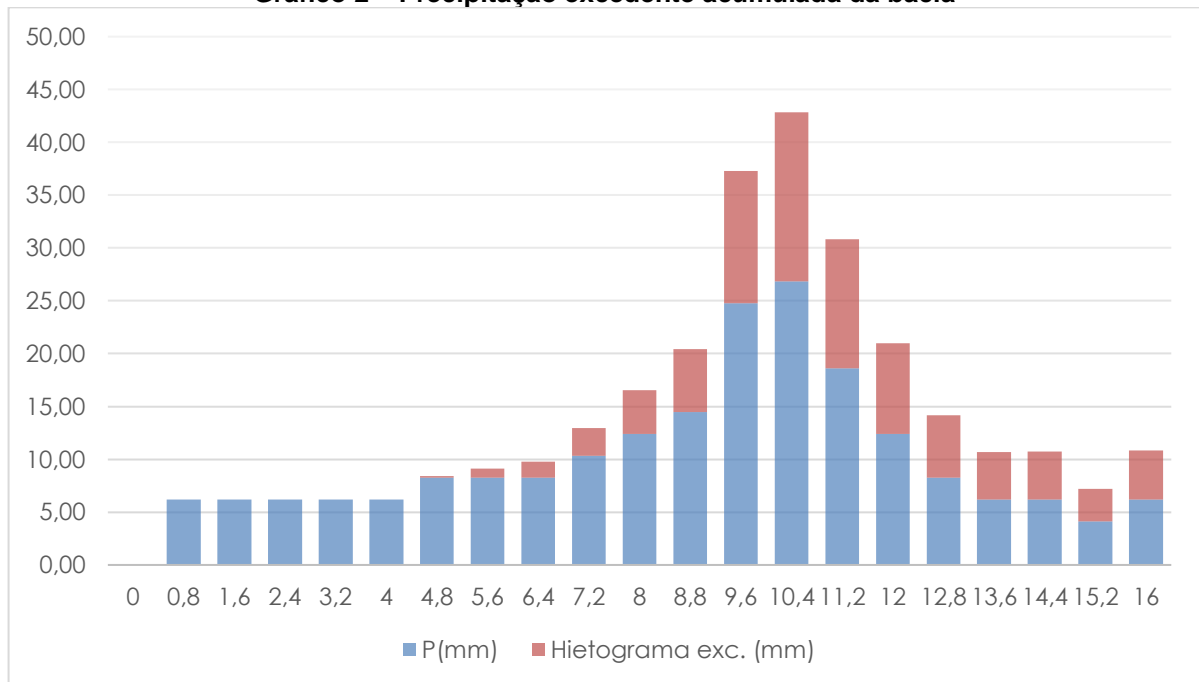
T (h)	P (mm)	P. Acum. (mm)	P. exc. Acum. (mm)	Hietograma exc. (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
0,8	6,20	6,20	0,00	0,00
1,6	6,20	12,40	0,00	0,00
2,4	6,20	18,60	0,00	0,00
3,2	6,20	24,79	0,00	0,00
4	6,20	30,99	0,00	0,00
4,8	8,26	39,26	0,17	0,17
5,6	8,26	47,52	1,02	0,85
6,4	8,26	55,79	2,51	1,49
7,2	10,33	66,12	5,16	2,65
8	12,40	78,51	9,32	4,16
8,8	14,46	92,98	15,29	5,98
9,6	24,79	117,77	27,80	12,50
10,4	26,86	144,63	43,80	16,00
11,2	18,60	163,22	56,02	12,22
12	12,40	175,62	64,59	8,57
12,8	8,26	183,89	70,47	5,88
13,6	6,20	190,08	74,96	4,49
14,4	6,20	196,28	79,51	4,55
15,2	4,13	200,41	82,58	3,07
16	6,20	206,61	87,23	4,65

Dados: P = precipitação

Fonte: Bertoli Eng., 2022.

A partir disso podemos forma o gráfico de precipitação excedente acumulada da bacia.

Gráfico 2 – Precipitação excedente acumulada da bacia



Fonte: Bertoli Eng., 2022.

Para a obtenção da vazão de projeto realizou-se uma regressão linear de todo o hidrograma unitário, quadro 3, de forma a conhecer todas as vazões que ocorrem em seu tempo de base.

Considerando que a bacia hidrográfica funciona como um sistema linear e invariante é possível determinar a vazão em um dado ponto da bacia como um somatório de diversos hidrogramas de vazões causados por precipitações individuais que formam o hietograma.

A partir disso procedeu-se a realização de uma convolução. A convolução é um operador matemático que fornece a resposta de um sistema linear, bacia hidrográfica, sujeito a um impulso, precipitações. Na hidrologia ele fornece o hidrograma Q em função de um hietograma P dado h, ou seja, a partir do hidrograma unitário sintético.

A equação da convolução é:

$$Q(t) = \int_0^t P(t - \tau) * h(\tau) * d\tau$$

De forma geral os hidrogramas são apresentados de forma discreta e não de forma continua, pois tipicamente os dados apurados são dados por hora.

Assim a convolução de forma discreta é dada da seguinte forma:

Para $t < k$

$$Q_t = \sum_{i=1}^{\tau} P_i * h(t-i+1)$$

Para $t \geq k$

$$Q_t = \sum_{i=t-k+1}^{\tau} P_i * h(t-i+1)$$

Assim, por exemplo: $Q_1 = P_1 * h_1$

$$Q_2 = P_1 * h_2 + P_2 * h_1$$

$$Q_3 = P_1 * h_3 + P_2 * h_2 + P_3 * h_1$$

Tabela 01 – Convolução discreta da precipitação excedente acumulada da bacia hidrográfica.

P (mm)	t(h)	q (m³/s * cm)	Q (m³/s * mm)	t= 0	t= 1	t= 2	t= 3	t= 4	t= 5	t= 6	t= 7	t= 8	t= 9	t= 10	t= 11	t=12	t= 13	t= 14	t= 15	t= 16	Σ (m³/s)
0,00	0	0,00	0,00	0,00																	0,00
0,00	1	9,63	0,96	0,00	0,00																0,00
0,00	2	19,25	1,93	0,00	0,00	0,00															0,00
0,00	3	28,88	2,89	0,00	0,00	0,00	0,00														0,00
0,09	4	38,51	3,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00													0,00
0,31	5	48,14	4,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00												0,08
1,17	6	57,76	5,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,30	0,00											0,47
2,36	7	67,39	6,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,61	1,13	0,00										1,98
4,16	8	78,33	7,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,91	2,25	2,27	0,00									5,76
7,61	9	92,12	9,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	1,21	3,38	4,54	4,00	0,00								13,55
14,25	10	105,92	10,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	1,51	4,51	6,82	8,01	7,33	0,00							28,66
13,17	11	117,43	11,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57	1,82	5,63	9,09	12,01	14,65	13,72	0,00						57,50
8,57	12	127,61	12,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	2,12	6,76	11,36	16,02	21,98	27,44	12,67	0,00					99,02
5,53	13	137,79	13,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,78	2,46	7,88	13,63	20,02	29,31	41,16	25,35	8,25	0,00				148,85
4,52	14	147,97	14,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	2,90	9,16	15,90	24,03	36,63	54,88	38,02	16,50	5,33	0,00			204,25
3,44	15	142,92	14,29	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	3,33	10,78	18,49	28,03	43,96	68,59	50,70	24,75	10,65	4,35	0,00		264,63
4,67	16	137,83	13,78	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	3,69	12,39	21,74	32,58	51,28	82,31	63,37	33,00	15,98	8,70	3,31	0,00	329,46
	17	132,74	13,27	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17	4,01	13,74	25,00	38,32	59,61	96,03	76,05	41,25	21,31	13,05	6,62	4,50	400,66
	18	127,65	12,77	0,00	0,00	0,00	0,00	1,26	4,33	14,93	27,71	44,06	70,11	111,62	88,72	49,50	26,63	17,41	9,94	8,99	475,21
	19	122,56	12,26	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21	4,65	16,12	30,12	48,85	80,61	131,28	103,12	57,75	31,96	21,76	13,25	13,49	554,16
	20	117,48	11,75	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17	4,49	17,31	32,52	53,09	89,36	150,94	121,28	67,13	37,28	26,11	16,56	17,98	635,23
	21	112,39	11,24	0,00	0,00	0,00	0,00	1,13	4,33	16,72	34,92	57,32	97,11	167,34	139,45	78,95	43,33	30,46	19,87	22,48	713,42
	22	105,98	10,60	0,00	0,00	0,00	0,00	1,09	4,17	16,13	33,73	61,55	104,86	181,84	154,60	90,77	50,97	35,40	23,18	26,98	785,27
	23	99,08	9,91	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	4,01	15,53	32,53	59,46	112,60	196,35	168,00	100,64	58,60	41,64	26,94	31,47	848,81
	24	92,18	9,22	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	3,85	14,94	31,33	57,34	108,76	210,85	181,40	109,36	64,97	47,88	31,69	36,58	899,94
	25	85,29	8,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	3,69	14,34	30,13	55,22	104,89	203,66	194,80	118,08	70,60	53,08	36,44	43,02	928,91
	26	78,39	7,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	3,53	13,74	28,93	53,10	101,02	196,41	188,16	126,81	76,23	57,68	40,40	49,47	936,37
	27	72,59	7,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	3,33	13,15	27,72	50,99	97,14	189,16	181,46	122,48	81,86	62,28	43,90	54,84	929,16
	28	68,73	6,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,78	3,12	12,40	26,52	48,87	93,27	181,91	174,76	118,12	79,07	66,88	47,40	59,59	912,69
	29	64,87	6,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	2,90	11,59	25,01	46,75	89,40	174,65	168,06	113,76	76,26	64,60	50,90	64,35	888,96
	30	61,00	6,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	2,68	10,79	23,38	44,09	85,53	167,40	161,36	109,40	73,44	62,30	49,16	69,10	859,30
	31	57,14	5,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	2,47	9,98	21,76	41,22	80,65	160,15	154,66	105,04	70,62	60,00	47,41	66,74	821,32
	32	53,27	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	2,28	9,17	20,13	38,35	75,40	151,02	147,96	100,68	67,81	57,70	45,66	64,37	781,12
	33	49,41	4,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	2,16	8,49	18,50	35,48	70,15	141,19	139,53	96,32	64,99	55,40	43,91	61,99	738,67

Av. Siqueira Campos, 46 – Centro – Paraguaçu Paulista/SP

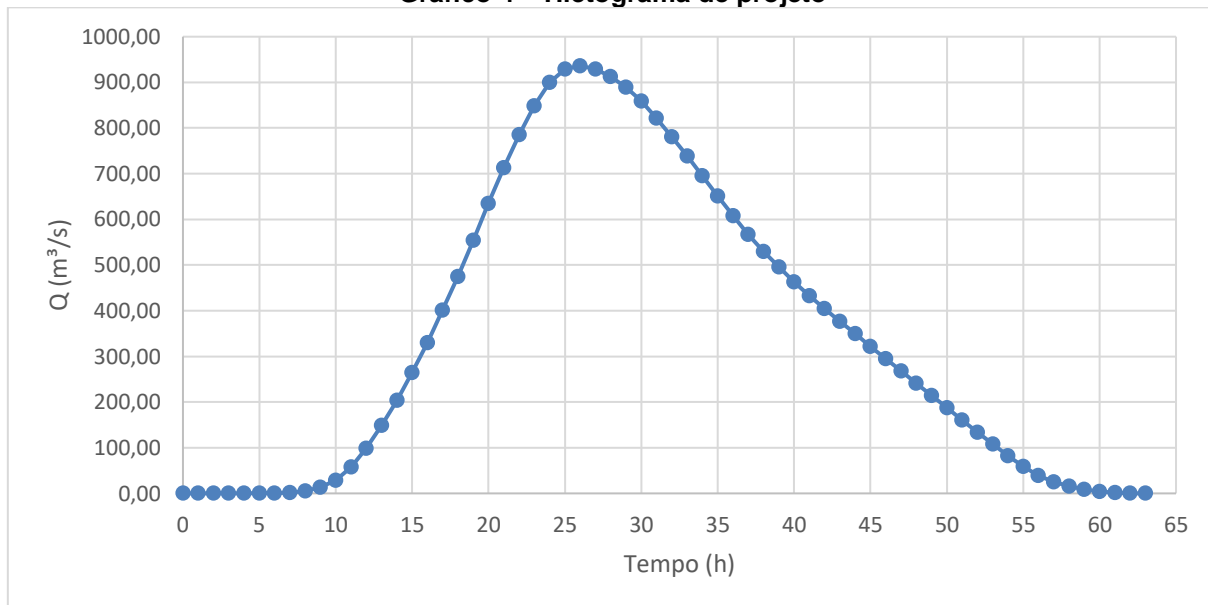
(18) 99787.6728 – contato@bertoliengenharia.com

Página 22 de 27

34	45,55	4,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	2,04	8,04	17,13	32,61	64,90	131,36	130,44	90,83	62,18	53,10	42,16	59,61	694,93
35	41,68	4,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	1,92	7,59	16,22	30,20	59,65	121,53	121,36	84,91	58,63	50,80	40,41	57,24	650,96
36	37,82	3,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	1,80	7,14	15,31	28,59	55,24	111,70	112,28	79,00	54,82	47,90	38,66	54,86	607,76
37	33,96	3,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	1,68	6,69	14,40	26,98	52,30	103,44	103,20	73,09	51,00	44,79	36,46	52,48	566,93
38	30,09	3,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	1,55	6,23	13,48	25,38	49,36	97,94	95,57	67,18	47,18	41,67	34,08	49,49	529,51
39	26,23	2,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	1,43	5,78	12,57	23,77	46,42	92,43	90,48	62,21	43,37	38,55	31,71	46,27	495,36
40	22,37	2,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	1,31	5,33	11,66	22,16	43,48	86,93	85,40	58,90	40,16	35,43	29,34	43,05	463,47
41	18,50	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	1,19	4,88	10,75	20,56	40,54	81,42	80,31	55,59	38,02	32,81	26,97	39,83	433,15
42	14,64	1,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	1,07	4,43	9,84	18,95	37,60	75,92	75,22	52,28	35,89	31,07	24,97	36,61	404,09
43	10,78	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,95	3,97	8,93	17,34	34,66	70,41	70,14	48,97	33,75	29,32	23,64	33,90	376,20
44	6,91	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,82	3,52	8,01	15,73	31,72	64,91	65,05	45,66	31,61	27,57	22,31	32,10	349,21
45	3,05	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,70	3,07	7,10	14,13	28,78	59,40	59,96	42,35	29,47	25,83	20,98	30,29	322,23
46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,58	2,62	6,19	12,52	25,84	53,89	54,88	39,03	27,34	24,08	19,66	28,49	295,24
47				0,00	0,00	0,00	0,09	0,46	2,16	5,28	10,91	22,90	48,39	49,79	35,72	25,20	22,33	18,33	26,68	268,26
48					0,00	0,00	0,06	0,34	1,71	4,37	9,30	19,96	42,88	44,70	32,41	23,06	20,59	17,00	24,88	241,27
49						0,00	0,03	0,22	1,26	3,45	7,70	17,02	37,38	39,62	29,10	20,92	18,84	15,67	23,08	214,28
50							0,00	0,10	0,81	2,54	6,09	14,08	31,87	34,53	25,79	18,79	17,09	14,34	21,27	187,30
51								0,00	0,36	1,63	4,48	11,14	26,37	29,45	22,48	16,65	15,35	13,01	19,47	160,38
52									0,00	0,72	2,88	8,20	20,86	24,36	19,17	14,51	13,60	11,68	17,66	133,64
53										0,00	1,27	5,26	15,36	19,27	15,86	12,37	11,86	10,35	15,86	107,45
54											0,00	2,32	9,85	14,19	12,55	10,24	10,11	9,02	14,05	82,33
55											0,00	0,00	4,34	9,10	9,23	8,10	8,36	7,69	12,25	59,09
56												0,00	0,00	4,01	5,92	5,96	6,62	6,37	10,45	39,33
57													0,00	0,00	2,61	3,82	4,87	5,04	8,64	24,98
58														0,00	0,00	1,69	3,12	3,71	6,84	15,35
59															0,00	0,00	1,38	2,38	5,03	8,79
60																0,00	0,00	1,05	3,23	4,28
61																	0,00	0,00	1,42	1,42
62																		0,00	0,00	0,00

Fonte: Bertoli Eng., 2022.

Gráfico 4 – Hietograma de projeto



Desta forma e a partir dos cálculos a vazão de projeto da bacia para este estudo é de **936,37 m³/s** que ocorre no tempo igual a 26 horas.

ESTUDOS HIDRÁULICOS

Determinação da seção transversal

A área da seção foi calculada pelo perfil transversal definido pelo GPS – utilizando método de posicionamento RTK, obtendo uma área de **207,58 m²**.

Verificação da velocidade em uma cheia de projeto

Segundo a Instrução Técnica DPO nº 11, DE 30/05/2017, item 2.2.3. a velocidade máxima admitida numa seção de terra é de 1,5 m/s.

Por se tratar de uma travessia livre, PONTE, sem qualquer alteração da calha do rio ou presença de bueiros ou manilhas, somente a sua sobre posição devido a presença da ponte a sua velocidade sem a presença de uma borda livre será a seguinte utilizando a equação da continuidade:

$$Q = V \cdot A$$

$$V = Q / A = 936,37 / 207,58$$

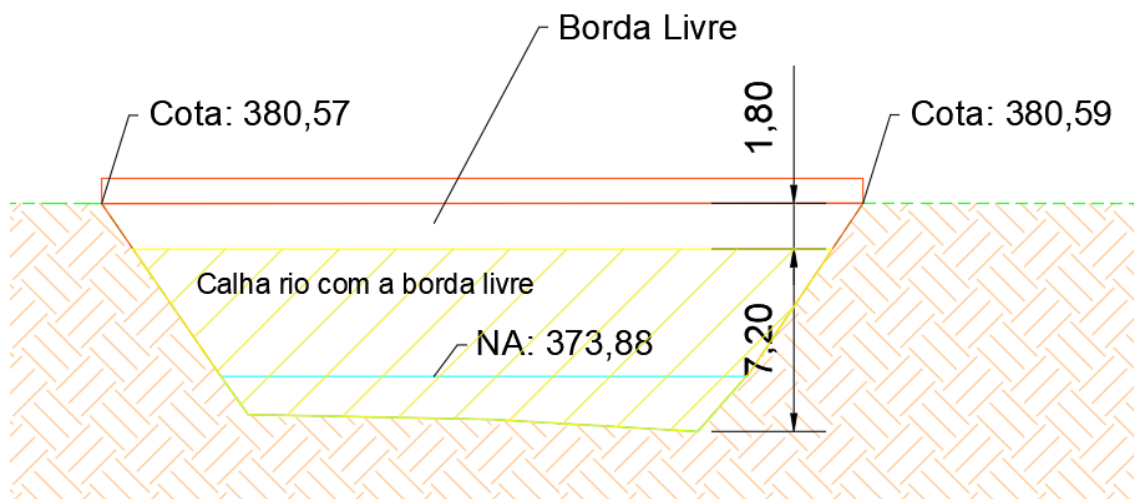
$$V = \mathbf{4,511 \text{ m/s}}$$

Av. Siqueira Campos, 46 – Centro – Paraguaçu Paulista/SP

(18) 99787.6728 – contato@bertoliengenharia.com

Página 24 de 27

Figura 7 – Corte transversal da ponte e calha do rio na sua situação atual.



Fonte: Bertoli Eng., 2022.

Velocidade do rio considerando a borda livre

Considerando a Instrução Técnica DPO nº11, de 30 de maio de 2017, item 2.2.1., Tabela 4 (Valores mínimos de folga sobre o dimensionamento (f)), onde define travessia aérea (ponte) sendo $f \geq 0,20 h_{TR}$; com $f \geq 0,40$ m:

(...)

Tabela 4. Valores mínimos de folga sobre o dimensionamento (f)

Obra Hidráulica	Tipo / Características	Folga sobre dimensionamento (f)
Canalização	seção aberta	$f \geq 0,20 h_{TR}$
	seção em contorno fechado	$f \geq 0,20 H$
Travessia	aérea (pontes)	$f \geq 0,20 h_{TR}$; com $f \geq 0,4$ m
	intermediária (galerias)	$f \geq 0,20 H$
	bueiro	Previsto para trabalhar em carga
Barramento	qualquer tipo, exceto soleiras submersíveis	$f \geq 0,10 H_M$; com $f \geq 0,5$ m

Onde:

- “ h_{TR} ” - profundidade da lâmina d’água correspondente à vazão máxima de projeto, associada a um período de retorno (TR), em conformidade com o estabelecido na Tabela 1 (item 1.1.2);
- Canalizações em seção aberta – “f” é o desnível entre a linha d’água correspondente à máxima vazão possível de escoar sem extravasamento e a lâmina d’água correspondente à vazão máxima de projeto;
- Canalizações em contorno fechado: “H” é a altura máxima da seção transversal, medida internamente;
- Travessias aéreas: “f” é o desnível entre a face inferior da estrutura de sustentação do tabuleiro da ponte e a lâmina d’água correspondente à vazão máxima de projeto;
- “ H_M ” - maior altura do barramento (desnível entre a cota de coroamento do maciço e o talvegue na seção do barramento).

Borda livre = $7,20 \times 20\% = 1,80 \text{ m}$ (valor mínimo)

Av. Siqueira Campos, 46 – Centro – Paraguaçu Paulista/SP

(18) 99787.6728 – contato@bertoliengenharia.com

Página 25 de 27

Área da calha do rio considerando a borda livre: 155,64 m²

$$Q = V \cdot A$$

$$V = Q / A = 936,37 / 155,64$$

$$V = 6,016 \text{ m/s}$$

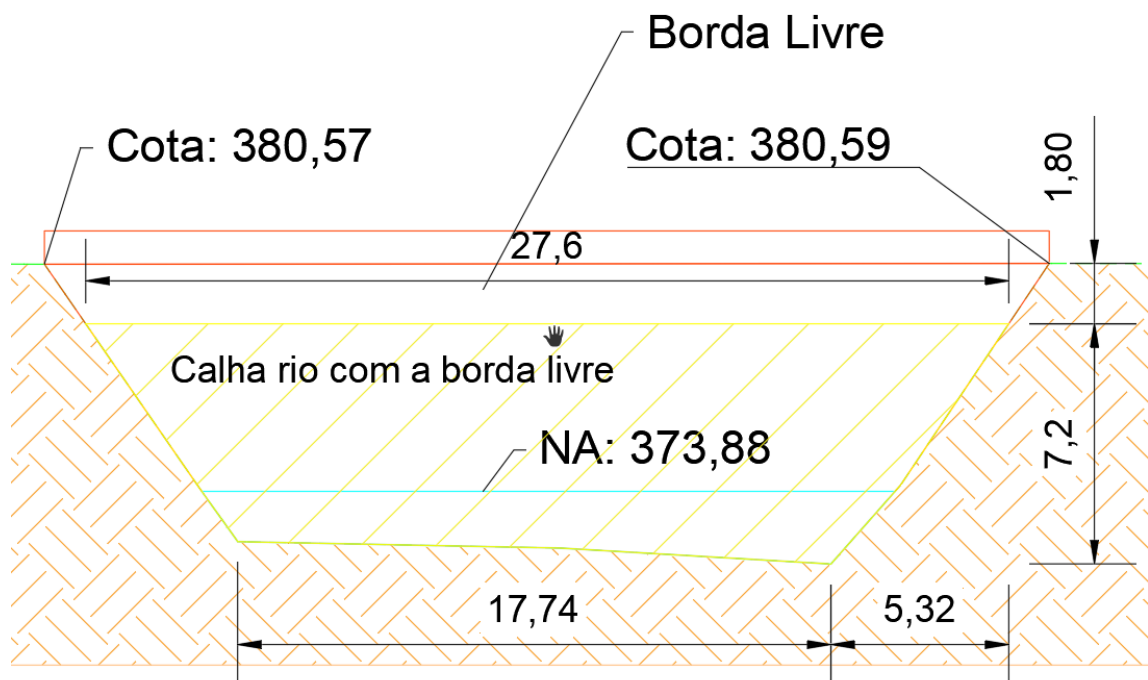
Dimensionamento Hidráulico da Calha da Bacia com Borda Livre

Para este dimensionamento utilizou-se as equações e regras propostas pelo Caderno de Hidrologia e Hidráulica, volume 2 do DAEE.

Geometria da calha

- Geometria: Trapezoidal
- Base maior (B) = 27,6 m
- Base menor (b) = 17,74 m
- Altura (h) = 7,20 m
- Talude (m) = 1:0,739 m
- Inclinação = 2,5 % ou 0,025 m/m
- Coeficiente de Rugosidade de Manning (n) = 0,035

Figura 9 – Corte transversal da ponte e calha do rio com duas dimensões.



Fonte: Bertoli Eng., 2022.

Av. Siqueira Campos, 46 – Centro – Paraguaçu Paulista/SP
(18) 99787.6728 – contato@bertoliengenharia.com
Página 26 de 27

$$\text{Área molhada (Am)} = (b + m * h) * h$$

$$Am = (17,74 + 0,739 * 6,5) * 7,2$$

$$Am = 166,038 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro molhado (Pm)} = b + 2 * h * (1+m^2)^{1/2}$$

$$Pm = 17,74 + 2 * 7,2 * (1 + 0,739^2)^{1/2}$$

$$Pm = 35,645 \text{ m}$$

$$\text{Raio hidráulico (Rh)} = Am / Pm$$

$$Rh = 166,038 / 35,645$$

$$Rh = 4,658 \text{ m}$$

Equação de Manning

Para utilização da equação de Manning a fórmula coeficiente de rugosidade elevado a sexta, vezes a raiz quadrada do raio hidráulico vezes a inclinação em m/m deve ser maior que $1,90 \times 10^{-13}$. Caso o resultado obtido foi maior que o proposto. Pode-se utilizar a equação de Manning para se conhecer a velocidade do fluido.

$$V = n^6 * (Rh * i)^{1/2} \geq 1,90 \times 10^{-13}$$

Assim,

$$V = 0,035^6 * (4,641 * 0,025)^{1/2} = 6,273 * 10^{-10}$$

O valor de V é maior do que $1,90 \times 10^{-13}$, assim podemos usar a equação de Manning.

$$V = 1/n * Rh^{2/3} * i^{1/2}$$

$$V = 1/0,035 * 6,273^{2/3} * 0,025^{1/2}$$

$$V = 12,60 \text{ m/s}$$

Desta forma a velocidade encontrada para a calha é muito superior a velocidade quando da ocorrência da vazão de projeto.

5. CONCLUSÃO

O presente laudo, contempla todas informações necessárias para uma compreensão dos estudos hidrológico e hidráulico do empreendimento em questão.

Através do estudo hidrológico apresentado é possível concluir que hidraulicamente a estrutura não causará impactos ambientais negativos ao curso d'água.

Paraguaçu Paulista, 28 de março de 2021.



João Gabriel da Costa Bertoli
Engenheiro Ambiental
CREA – 5069338863 SP

Prefeitura Municipal da Estância de
Paraguaçu Paulista
CNPJ: 44.547.305/0001-93

01. Estudos hidrológicos - TR100.pdf

Documento número 67242a7f-8c38-4385-b3e6-387a05735658



Assinaturas



JOÃO GABRIEL DA COSTA BERTOLI

Assinou

Pontos de autenticação:

Assinatura na tela

IP: 45.163.151.185

Dispositivo: Mozilla/5.0 (iPhone; CPU iPhone OS 15_3_1 like Mac OS X) AppleWebKit/605.1.15 (KHTML, like Gecko) Version/15.3 Mobile/15E148 Safari/604.1

Data e hora: 18 Abril 2022, 17:17:07

E-mail: joao@bertoliengenharia.com

Telefone: +5518997228814

Token: 662e639a-****-****-****-baf5ee75a8fe

Assinatura de JOÃO GABRIEL DA COSTA BERTOLI



Hash do documento original (SHA256):

881a52cc70237e7139d745f86e482e0346bb236d37f84e9fa9f63fc5a677cdfa

Verificador de Autenticidade:

<https://app.zapsign.com.br/verificar/autenticidade?doc=67242a7f-8c38-4385-b3e6-387a05735658>

Integridade do documento certificada digitalmente pela ZapSign (ICP-Brasil):

<https://zapsign.com.br/validacao-documento/>



Este Log é exclusivo ao, e deve ser considerado parte do, documento número 67242a7f-8c38-4385-b3e6-387a05735658, de acordo com os Termos de Uso da ZapSign disponível em zapsign.com.br