



Universidade do Vale do Paraíba

UNIVAP – UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA
FEAU – Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo
Curso de Engenharia Civil

CÁLCULO DE VAZÃO DE BACIA
HIDROGRÁFICA VISANDO A
CONSTRUÇÃO DE UMA OBRA DE ARTE

Aluno: Carlos José Torres Gouvêa
Matrícula: 01320001
Orientador: Prof. Dr. José Geraldo Querido

São José dos Campos
2015

“Caminha e seu caminho se abrirá”

Gassho

RESUMO

A urbanização acarreta a diminuição da cobertura vegetal e a impermeabilização do solo, direcionando grande parcela das águas pluviais a um escoamento superficial e diminuindo a recarga de aquíferos, além de diminuir a capacidade de amortecimento natural das bacias hidrográficas. A região considerada é extremamente propícia ao acontecimento de grandes catástrofes como a ocorrida em 1967, que causou mais de 200 mortes e incontáveis danos materiais. Desta forma torna-se fundamental o estudo aprofundado da bacia hidrográfica, nas áreas urbanizadas e não urbanizadas, tendo por objetivo a obtenção de dados corretos que permitam a construção de uma obra de arte sobre o Rio Santo Antonio sem que esta prejudique o escoamento adequado de suas águas, mesmo quando se tratar de sua vazão máxima para um tempo de retorno de 100 anos. Foi utilizado neste estudo o método de I-PAI-WU, indicado como o mais adequado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo para áreas de 2 a 200 km². Após a obtenção da vazão máxima de projeto e calculando a área mínima necessária ao escoamento do volume de água que passará abaixo da ponte, foram fornecidos os dados adequados ao calculista para a elaboração de um projeto que obtenha a outorga do DAEE e atenda às necessidades da população do entorno quanto ao fim das enchentes.

Palavras-chave: bacia hidrográfica; método de I-PAI-WU; ponte em concreto armado.

ABSTRACT

Urbanization results in a decrease of vegetal coating and soil sealing, heading a large portion of rainwater to a shallow outflow and reducing aquifer reload, in addition to reduce the natural buffer capacity of watersheds. The considered region is extremely favorable to the event of major disasters like the one which happened in 1967 and that caused more than 200 deaths and countless property damage. This way, it is essential to deepen the study of the watershed in urbanized areas and not urbanized ones, aiming to obtain accurate data that allow the construction of the work of art without harming the proper outflow of its waters, even in the case of maximum flow for a return period of 100 years. In this study, it was used the method I-PAI-WU, indicated as the most suitable by the Department of Water and Power of São Paulo to areas from 2 to 100 km². After obtaining the maximum flow project and calculating the minimum area necessary to the overflow of water volume that will run under the bridge, proper data were provided to the responsible to make the calculation to elaborate a project that obtains the grant of DAEE and meets the needs of the surrounding population in relation to the end of the floods.

Key words: watershed; I-PAI-WU method; reinforced concrete bridge

INTRODUÇÃO

No Brasil verificamos que as grandes catástrofes ocorrem, muitas vezes, por falta de planejamento adequado e de estudos aprofundados para obtenção de parâmetros que proporcionem um projeto executivo bem elaborado e confiável.

Qualquer obra a ser realizada no litoral norte do Estado de São Paulo, principalmente quando da execução de obras de arte (pontes) e canais, necessita que sejam elaborados projetos executivos de altíssima precisão, considerando a proximidade da serra do mar que forma verdadeiras muralhas (Imagem 1) no entorno de suas cidades e o nível extremamente baixo das edificações existentes em relação ao nível do mar, fatores estes que proporcionam facilidades na ocorrência de grandes catástrofes.



Imagem 1 - Imagem de Caraguatatuba vista da Serra do Mar

Fonte: O autor

A cidade de Caraguatatuba, como a maioria das cidades do Litoral Norte do Estado de São Paulo e do Brasil, vem sofrendo com a ocupação desordenada das áreas ribeirinhas, o que torna a área em estudo que é exatamente o ponto do projeto (Imagens 2 e 3) ainda mais preocupante visto que as margens do Rio Santo Antonio já são áreas densamente habitadas, porém, devido à criação do Parque Estadual da Serra do Mar haverá cada vez menos chance de crescimento, tendendo a se estabilizar em pouquíssimo espaço de tempo.



Imagem 2 - Imagem do ponto de projeto olhando na direção do Oceano Atlântico

Fonte: Google



Imagem 3 - Imagem do ponto de projeto olhando na direção da serra do Mar

Fonte: O autor

O entendimento do processo hidrológico da bacia do Rio Santo Antonio é fundamental para que se consiga fornecer dados corretos para auxiliar na definição do vão livre e da altura da ponte em questão proporcionando a realização de um projeto executivo que atenda às expectativas da Prefeitura e da população.

A determinação de elementos hidrológicos por meio de cálculos baseados no estudo topográfico, e nas características apresentadas pela bacia hidrográfica, utilizando modelos matemáticos probabilísticos encontrados em literatura específica, é de grande importância evitando os impactos negativos trazidos pelas vazões de enchente, tais como: colapso da estrutura, perdas econômicas, ou até mesmo a perda de vidas humanas.

O elemento hidrológico de maior importância na elaboração do projeto de uma ponte trata-se da determinação da vazão máxima do canal, pois é através desse parâmetro que se determina o gabarito mínimo da ponte e as solicitações máximas de empuxo de água aos quais os pilares estarão sujeitos.

A grande dificuldade na determinação da vazão máxima em uma pequena bacia está na obtenção de dados confiáveis, visto que raramente se dispõe de séries históricas de vazão, ou chuvas intensas, ou até mesmos dados topográficos. Devido à escassez de dados sobre vazão, torna-se necessário lançar mão de métodos baseados em dados de precipitação para se chegar à vazão desejada, tais dados disponibilizados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo - DAEE, em convênio com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, serão utilizados considerando a equação de chuvas intensas registradas na estação de Ubatuba, a mais próxima da região em estudo.

OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é atender as solicitações do DAEE e requerer a outorga para construção de travessia sobre o Rio Santo Antonio, levantar dados e utilizar métodos adequados para estudo da bacia hidrográfica da região, auxiliando na elaboração de projeto estrutural de uma ponte cujo vão livre permita a passagem de água para uma vazão máxima que atenda um período de retorno de no mínimo 100 anos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho se dará levantando toda a bacia hidrográfica envolvida, através de mapas do IBGE, programas de geoprocessamento e mapas do município, utilizando o Autocad será definido o entorno da bacia, calculada sua área e localizado e medido seu maior talvegue, aplicar-se-á então, conforme especificações do DAEE, o método mais adequado para mensurar a vazão máxima no ponto do projeto.

Com a obtenção da vazão máxima no ponto de projeto será definido o vão mínimo necessário abaixo da obra de arte para que a mesma não interfira no escoamento de água por um período de retorno de pelo menos 100 anos.

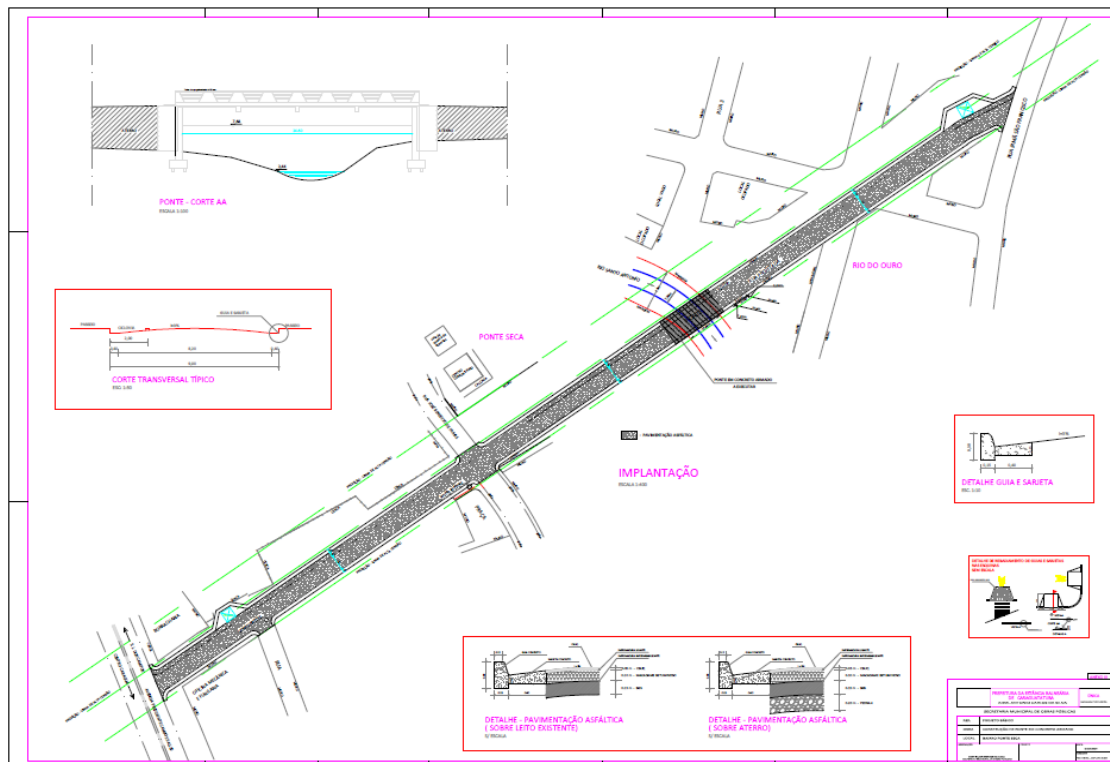


Imagem 6 - Projeto básico / Localização no Município

Fonte: O Autor

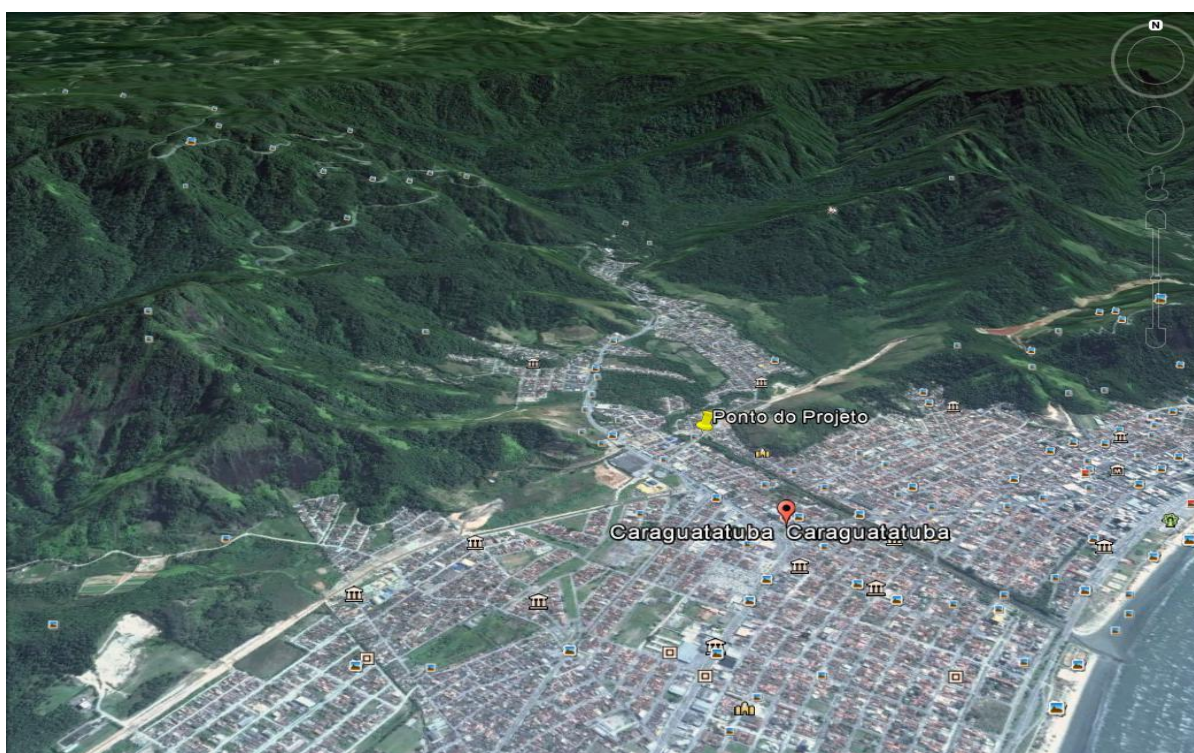


Imagem 7 - Vista do ponto do projeto e da bacia em estudo

Fonte: Google Earth



Imagem 8 - Obras de contenção próximas ao ponto do projeto

Fonte: O autor

Consultou-se então o DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica que é o órgão gestor dos recursos hídricos do Estado de São Paulo, pois cabe a ele a outorga de direito de uso ou interferência de recursos hídricos, mediante a qual o Poder Público autoriza a construção da travessia, pois ela pode, caso seja executada sem planejamento e estudos adequados, alterar o regime de escoamento do curso d'água afetado.

Tomou-se conhecimento dos dados que deveriam ser levantados e dos cálculos que deveriam ser realizados para o correto preenchimento do Requerimento de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos (imagens 9 e 10), fornecido pelo DAEE.

Requerimento de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos
Ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE
Tipo: Travessia

1 - DADOS CADASTRAIS DO USUÁRIO/REQUERENTE

ANEXO XIII

Nome/Razão Social _____		
Nome de Fantasia _____		
CGC: _____	CPF: _____	RG: _____
CGC (unidade local): _____ Atividade: _____		
Endereço p/ correspondência: _____		
Bairro: _____	Município: _____	CEP: _____
Caixa Postal: _____	Fone: _____	Fax: _____

2 - CARACTERÍSTICAS DA OBRA

☐ Nova ☐ Regularização ☐ Desativação

2.1 - Localização do empreendimento:	
Endereço: _____	
Bairro/Distrito: _____	Município: _____
Nome da Propriedade _____	
2.2 - Dados da travessia:	
Curso d'água: _____	
Bacia _____	UGRHI _____
Coordenadas UTM do ponto de cruzamento do eixo da travessia com o ponto localizado a meia distância entre margens do curso d'água ou reservatório: _____ Km N; _____ Km E; MC: _____	
2.3 - Características Técnicas:	
Tipo de travessia: <input type="checkbox"/> aérea <input type="checkbox"/> subterrânea <input type="checkbox"/> Intermediária	
Finalidade: _____	
Período de Execução: _____ dias: de ____/____/____ a ____/____/____	
2.3.1 - Para travessias aéreas e intermediárias:	
Área de drenagem: _____ Km ²	Vazão de cheia: _____ m ³ /s
Período de retorno: T= _____ anos <input type="checkbox"/> chuva <input type="checkbox"/> cheia	
Cota (arbitrária) do nível d'água normal do escoamento para a vazão de cheia, antes da execução da obra: _____ m	
Sobreelevação do nível d'água normal devido a execução da obra, para a vazão de cheia: _____ m	
Velocidade da água na seção da travessia: _____ m/s	
Tipo de proteção contra erosão adotado(especificar): _____	
2.3.2 - Para travessias subterrâneas:	
Profundidade mínima (entre geratriz superior da travessia e fundo do curso d'água): _____ m	
Metodologia e equipamento de escavação/construção da travessia: _____	

Volume de material escavado: _____ m ³	
Destino do material escavado:	
<input type="checkbox"/> reaterro _____ % <input type="checkbox"/> botafora _____ % <input type="checkbox"/> outro _____ %: especificar: _____	

<p>Características do bota-fora em casos de travessias subterrâneas (descrever os procedimentos/serviços):</p> <p>transporte do material ao bota-fora: _____</p> <p>_____</p> <p>preparo preliminar da área de bota-fora: _____</p> <p>_____</p> <p>compactação do material: _____</p> <p>_____</p> <p>proteção da área contra erosão: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>distância mínima, da área de bota-fora, de cursos d'água: _____ m</p> <p>coordenadas UTM da área de bota-fora: (centro da área) _____ Km N; _____ Km E ; MC: _____</p>
--

Responsabilizo-me, solidariamente ao requerente, pelas informações no Quadro 2 deste requerimento.

Assinatura do Responsável Técnico

Nome: _____

CREA Nº _____

ART Nº _____

Requeiro por este instrumento a outorga de direito de recursos hídricos, conforme descrito neste requerimento, de acordo com o que estabelece a Lei Estadual 7663, de 30/12/91 e seu regulamento

Termos em que,

P. Deferimento

_____, ____ de _____ de _____

Assinatura do Proprietário/Requerente

Prefeito Municipal

R.G: _____

<p>DOCUMENTOS ANEXOS A ESTE REQUERIMENTO:</p> <p>OBS: Preenchimento exclusivo do DAEE</p> <p><input type="checkbox"/> Cópia do pedido, ou do ARF, emitido pelo DEPRN</p> <p><input type="checkbox"/> Planta de locação da travessia (duas vias)</p> <p><input type="checkbox"/> Perfil pelo eixo da travessia, indicando a seção do curso d'água/reservatório (duas vias)</p> <p><input type="checkbox"/> Cópia da ART do Responsável Técnico</p> <p><input type="checkbox"/> Documento de posse ou cessão de uso da área da travessia</p> <p><input type="checkbox"/> Cópia do CPF e do RG (para pessoa física), ou cartão do CGC (para pessoa jurídica).</p> <p><input type="checkbox"/> Comprovante de pagamento da taxa de Travessia.</p>
<p>ATENÇÃO: Este documento deve ser impresso frente e verso.</p>

Iniciaram-se então os trabalhos de levantamento e coleta de dados, bem como de definição dos métodos que deveriam ser utilizados para obtê-los.

Optou-se por utilizar o programa SPRING, que é um SIG - Sistema de Informações Geográficas, um banco de dados geográficos de 2ª geração, desenvolvido pelo INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, disponível para consulta e utilização na Prefeitura Municipal da Estância Balneária de Caraguatatuba.

O programa se mostrou muito útil para a demarcação da bacia hidrográfica que influi no ponto do projeto, saber a sua área e localizar o seu maior talvegue, que é a linha por onde correm as águas no fundo de um vale, definida pela intersecção dos planos das vertentes.

O desenho obtido através do SPRING foi transformado para o programa AutoCAD da Autodesk e assim foram determinadas as coordenadas UTM do ponto de projeto, traçadas as linhas necessárias para a definição do entorno da bacia hidrográfica e a marcados os talvegues, ainda utilizando os recursos do Autocad pode-se obter a área da bacia hidrográfica em estudo e o comprimento do maior talvegue.

As coordenadas UTM obtidas, considerando o ponto de cruzamento do eixo da travessia com o ponto localizado a meia distância entre margens do curso d'água, foram: 7387919,00 Km N; 456523,00 Km E.

A bacia hidrográfica cuja contribuição atinge o ponto de projeto foi demarcada e medida, atingindo a área de 37,4 km² e o comprimento de seu maior talvegue é 11,2 km (imagem 11), determinadas através de recursos do programa Autocad 2010.

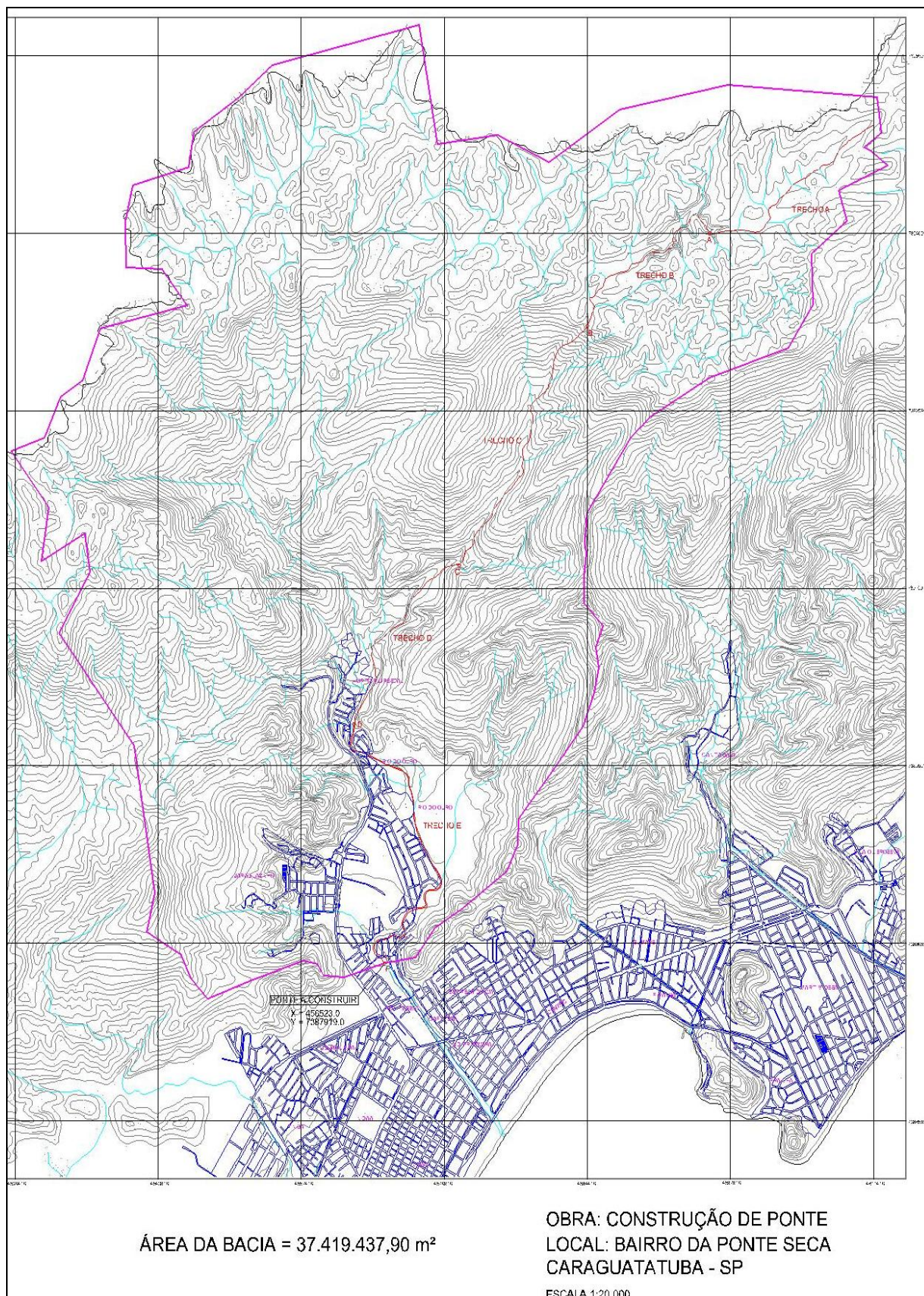


Imagem 11 - Área da bacia = 37,4 km² / Definição do maior talvegue = 11,2 km

Fonte: O Autor

Devido à caracterização física da bacia do Rio Santo Antonio, o método recomendado pelo DAEE - departamento de Águas e Energia do Estado de São Paulo é o Método I-PAI-WU (imagem 12), que é um aprimoramento do Método Racional, aplicável para bacias com até 200 Km².

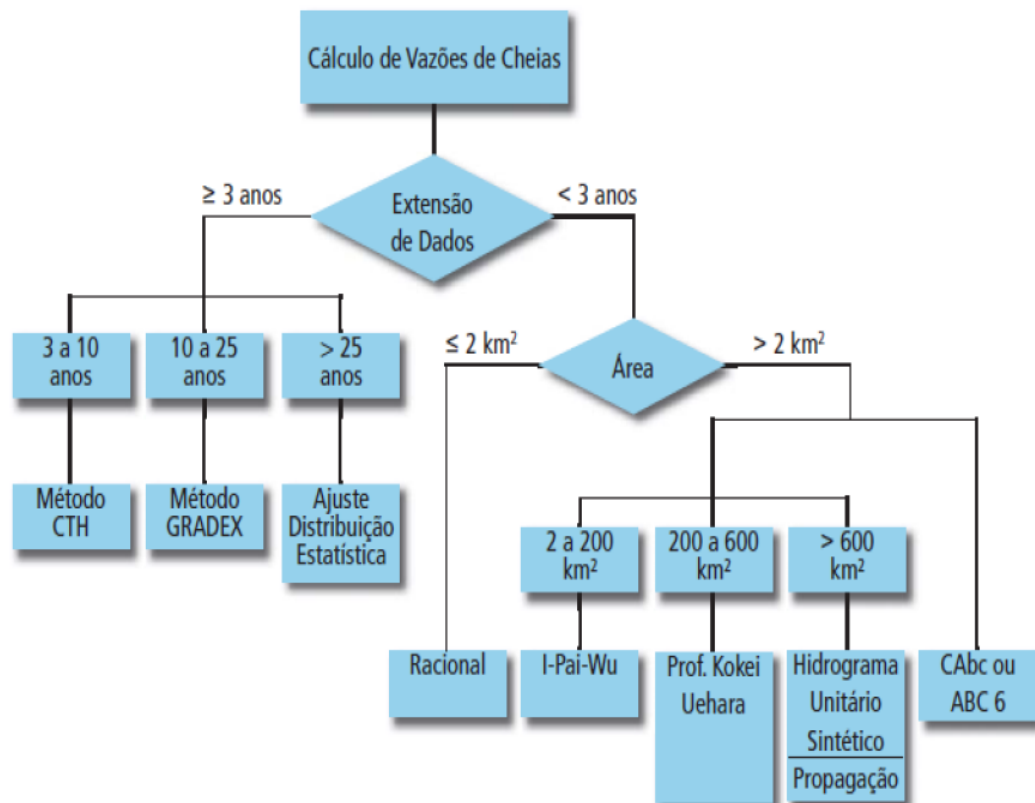


Imagem 12 – Diagrama das metodologias para estimativa de vazões de enchente.

Fonte: DAEE

A equação básica do Método I-PAI-WU provém do Método Racional:

$$Q = 0,278 * C * i * Área^{0,9} * K$$

Onde:

I= intensidade de chuva (mm/h)

C= coeficiente de escoamento superficial (adimensional)

A= área da bacia (km²) ≤ 200km²

K= coeficiente de distribuição espacial da chuva (adimensional)

A vazão de pico é um fator essencial para que possamos calcular e informar ao calculista o vão necessário abaixo da ponte para a passagem de água prevista para uma chuva com período de retorno de 100 anos.

Para a obtenção da vazão de pico será realizado o roteiro de cálculo descrito a seguir:

Cálculo da Declividade Equivalente (S), expressa pela fórmula:

$$S = \left[\frac{\sum L}{\frac{L_1}{\sqrt{J_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{J_2}} + \dots + \frac{L_n}{\sqrt{J_n}}} \right]^2$$

Onde:

S = declividade equivalente (m/m)

L = comprimento do talvegue (km) (trechos definidos na imagem 6)

J = declividade média do curso d'água (m/m) (trechos definidos na imagem 6)

Para o cálculo da declividade equivalente obteve-se o perfil longitudinal do talvegue, desde o ponto mais distante até a seção de estudo, sendo as informações levantadas referentes às distâncias horizontais e o desnível. Assim, calculou-se o desnível para cada trecho da bacia, conforme metodologia sugerida pelo DAEE.

Considerando que o talvegue maior possui 11,2 km de extensão e foi dividido em cinco trechos, L1, L2, L3, L4 e L5, considerando as variações de declividade e também o grau de

impermeabilidade do terreno, após os cálculos chegou-se ao valor de $S = 0,04 \text{ m/m} = 40\text{m/km}$.

Cálculo do Fator de Forma (F), expresso pela equação:

$$F = \frac{L}{2 * \left(\frac{A}{\pi} \right)^{0,5}}$$

Onde:

F=Fator de Forma da Bacia

A= área da bacia de contribuição em (Km²)

L = comprimento do talvegue (Km)

Após os cálculos chegamos ao valor de $F = 1,62$.

O Fator de Forma mede a taxa de alongamento da bacia, como $F > 1$ a bacia foge da forma circular para elíptica e o seu dreno principal está na longitudinal da área.

Cálculo do Tempo de Concentração (Tc), expresso pela equação:

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

Onde:

T_c = Tempo de Concentração (minutos)

S = Declividade equivalente (m/Km)

L = Comprimento do Talvegue (Km)

O Tempo de Concentração refere-se ao tempo necessário para a água ir do ponto mais distante da bacia até o ponto de projeto, sua estimativa é baseada na velocidade média do escoamento superficial, que é função do espaço a ser percorrido e da declividade equivalente, é o tempo a partir do qual toda a bacia estará contribuindo com a vazão e, portanto, esta deverá ser máxima.

Após os cálculos obteve-se o valor $T_c = 70 \text{ min} = 1,17 \text{ h}$.

Cálculo da Intensidade de Chuva Crítica (i)

A intensidade de chuva crítica em mm/h para o tempo de retorno $T = 100$ anos, e tempo de duração da chuva $10 > t < 1440 \text{ min}$, foi determinada utilizando dados do posto meteorológico localizado no município de Ubatuba que é o mais próximo de Caraguatatuba sendo expressa pela equação:

$$i_{t,T} = 28,4495 (t+40)^{-0,7564} + 17,2878 (t+70)^{-0,8236} \cdot [-0,4700 - 0,8637 \ln \ln(T/T-1)]$$

Onde:

i = Intensidade de chuva (mm/h)

t = Tempo de duração da chuva (min)

T = Tempo de retorno da chuva (ano)

Após os cálculos obteve-se o valor de $i = 1,85 \text{ mm/min} = 110,82 \text{ mm/h}$

Cálculo do Coeficiente de Escoamento Superficial (C)

O coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente runoff, ou coeficiente de deflúvio é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o

volume de água precipitado. Este coeficiente pode ser relativo a uma chuva isolada ou a um intervalo de tempo onde várias chuvas ocorreram.

Quanto menor a possibilidade de a água precipitada infiltrar-se no solo, maior será o escoamento superficial direto, resultando em um valor mais elevado para o coeficiente C.

O Coeficiente de Escoamento Superficial é aplicado em função do grau de impermeabilidade da superfície e, segundo o DAEE, podemos adotar valores de C de 0,20 a 0,35 para grau baixo de impermeabilização, 0,35 a 0,50 para grau médio e 0,50 a 1,00 para grau alto (imagem 13).

USO DO SOLO OU GRAU DE URBANIZAÇÃO	VALORES DE C	
	MÍNIMOS	MÁXIMOS
Área totalmente urbanizada	0,50	1,00
Área parcialmente urbanizada	0,35	0,50
Área predominantemente de plantações, pastos etc.	0,20	0,35

Imagem 13 - Valores recomendados pelo DAEE para o coeficiente C

Fonte: DAEE

Para obter o valor do coeficiente de escoamento da bacia do Rio Santo Antonio utilizou-se a metodologia sugerida pelo DAEE, que utiliza o Coeficiente de Forma (C1) e o Coeficiente Volumétrico de Escoamento (C2) obtidos através das seguintes fórmulas:

Cálculo do Coeficiente de Forma (C1)

$$C1 = \left(\frac{4}{2 + Ff} \right)$$

Onde: Ff = Fator de forma.

Após os cálculos obteve-se o valor de $C1 = 1,10$

Cálculo do Coeficiente Volumétrico de Escoamento (C2)

O coeficiente C2 é obtido pela ponderação dos coeficientes das áreas parciais, coeficientes estes classificados pelo grau de impermeabilização, sempre que a bacia apresentar diferentes tipos de uso do solo deve-se utilizar esta ponderação.

$$C2 = \frac{C2_1 \times A_1 + C2_2 \times A_2 + + C2_n \times A_n}{\sum A_i}$$

Onde:

C2n = Coeficientes das áreas parciais;

An = Áreas parciais;

Ai = Área da bacia de contribuição.

Após os cálculos obteve-se o valor de $C2 = 0,37$

Tendo em mãos os valores de C1 e C2 pode-se obter o Coeficiente de Escoamento Superficial (C).

$$C = \left(\frac{2}{1 + Ff} \right) \times \left(\frac{C2}{C1} \right)$$

Onde:

C = Coeficientes de escoamento;
C1 = Coeficiente de forma;
C2 = Coeficiente volumétrico de escoamento;
Ff = Fator de forma.

Após os cálculos obteve-se o valor de $C = 0,26$

Cálculo do Volume do Escoamento do Hidrograma (V)

O hidrograma consiste na representação gráfica das vazões escoadas ao longo do tempo em um curso d'água na bacia considerada. O volume de água escoado na bacia é expresso pela Equação:

$$V = (0,278 * C_2 * i \times tc * 3600 * A^{0,9} * K) * 1,5$$

Onde:

V= volume de escoamento (m³)

C₂= coeficiente volumétrico de escoamento (adimensional)

i= intensidade de chuva crítica (mm/h)

tc= tempo de concentração (h)

A= área da bacia em Km²

k= coeficiente de distribuição espacial da chuva (adimensional)

Para obter o volume do hidrograma é necessário ainda, utilizando um ábaco (imagem 14), identificar o Coeficiente de Distribuição Espacial da Chuva (K).

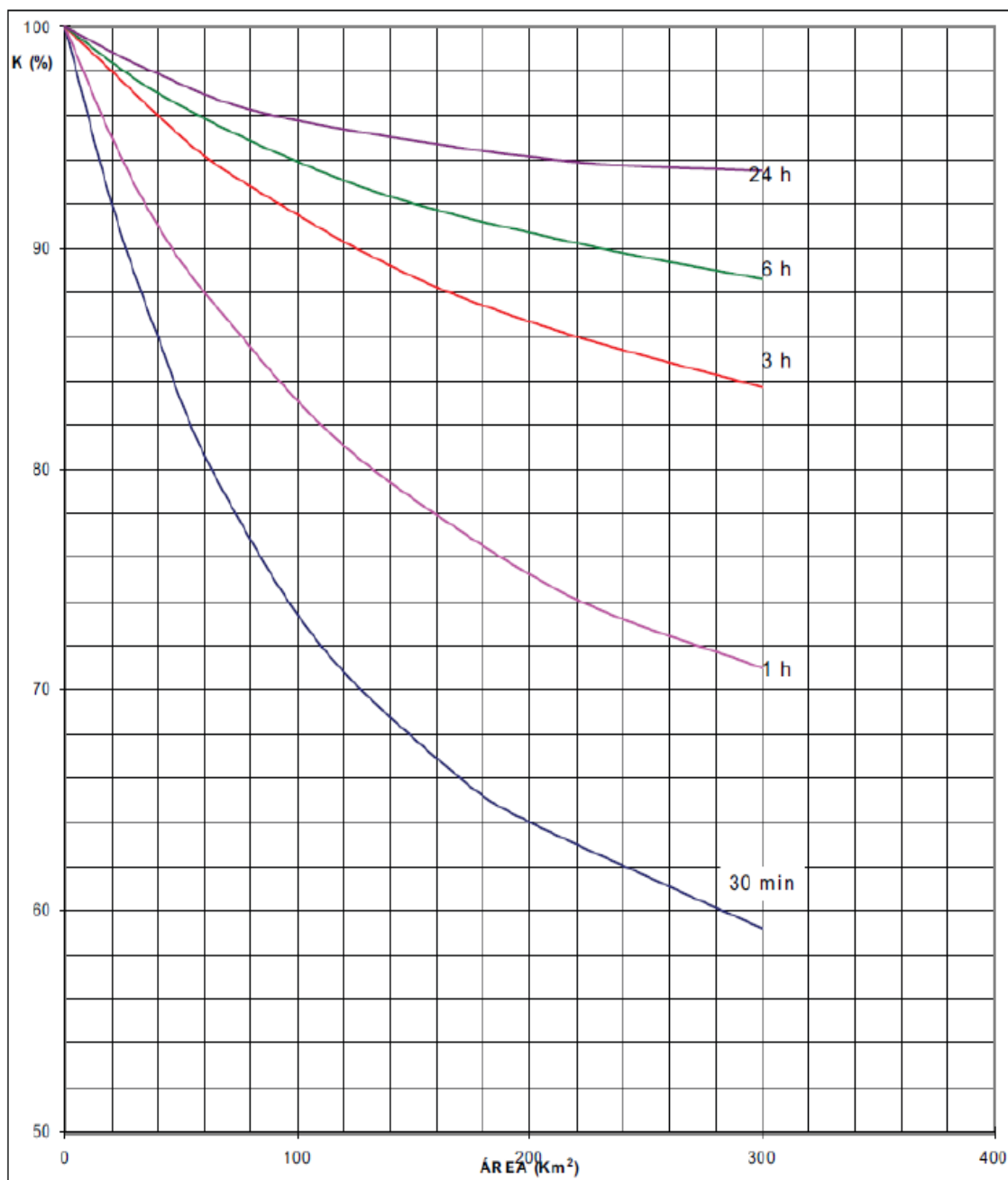


Imagem 14 – Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K). Fonte: DAEE

Após a utilização do ábaco obteve-se $K = 92\%$, e realizando os cálculos para a intensidade da chuva crítica obteve-se como resultado $V = 1.755.109,06 \text{ m}^3$.

Cálculo da Vazão de Cheia (Q), expressa pela equação:

$$Q = 0,278 * C * i * Área^{0,9} * K$$

Onde:

I= intensidade de chuva (mm/h)

C= coeficiente de escoamento superficial (adimensional)

A= área da bacia (km²)

K= coeficiente de distribuição espacial da chuva (adimensional)

Após os cálculos obteve-se o valor de $Q = 191,87 \text{ m}^3/\text{s}$

Cálculo da Vazão Máxima de Projeto (Qp)

Para determinar a vazão máxima de projeto com período de retorno de 100 anos, acrescenta-se uma vazão de base, na ordem de 10,00 % da vazão de cheia, expressa pela equação:

$$Q_p = Q \times 1,1$$

Após os cálculos obteve-se o valor de $Q_p = 211,06 \text{ m}^3/\text{s}$

Com o resultado da vazão máxima de projeto pode-se calcular o vão necessário para atender à demanda e posteriormente compará-lo com o estipulado no projeto básico (imagem 15) elaborado pela Prefeitura.

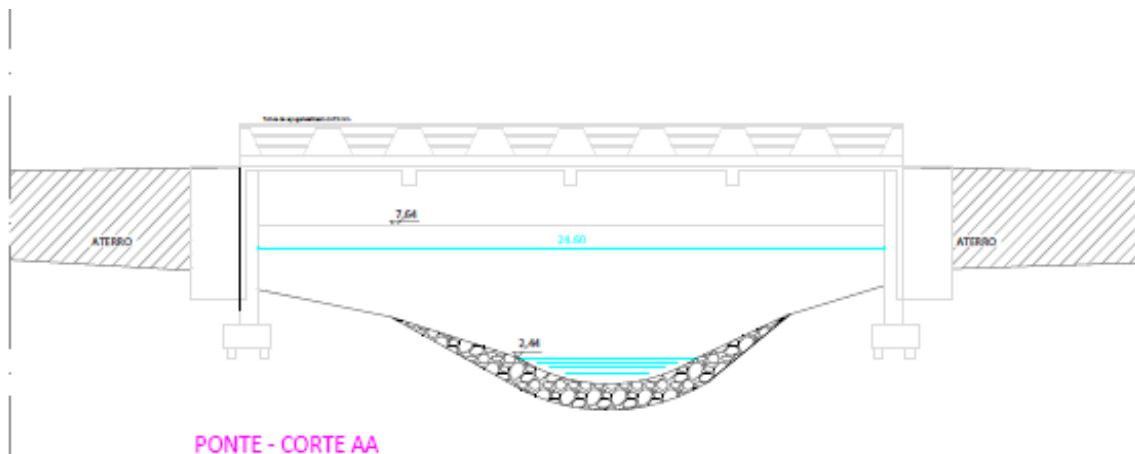


Imagem 15 – Corte AA - Projeto Básico

Fonte: O autor

Cálculo da Velocidade Média (V) utilizando a Equação de Manning:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

Onde:

V= velocidade média (m/s);

n = coeficiente de rugosidade de Manning;

RH = raio hidráulico (m);

i = declividade média (m/m).

O raio hidráulico é definido pelo quociente da área molhada pelo perímetro molhado da seção de escoamento

$$R_H = A_m / P_m$$

Onde:

A_m = área molhada (m^2);

P_m = perímetro molhado (m);

R_H = raio hidráulico (m).

Cálculo da vazão, Equação da Continuidade:

$$Q = V \cdot A_m$$

Onde:

Q = vazão (m^3);

V = velocidade média (m/s);

A_m = área molhada (m^2).

Das Equações de Manning e da Continuidade, resulta:

$$Q = \frac{1}{n} R_H^{2/3} A \sqrt{i}$$

Onde:

Q = vazão (m^3/s);

n = coeficiente de rugosidade de Manning;

R_H = raio hidráulico (m);

i = declividade média (m/m).

A = área molhada (m²)

Verifica-se o coeficiente de rugosidade de Manning (imagem 16) mais adequado à situação encontrada na região da execução da obra.

REVESTIMENTO	n
Terra	0,035
Rachão	0,035
Gabião	0,028
Pedra argamassada	0,025
Aço corrugado	0,024
Concreto ⁶	0,018

Valores sugeridos pelo DAEE.

Imagem 16 - Coeficientes de rugosidade de Manning

Fonte: DAEE

Após a observação do fundo e das margens do Rio Santo Antonio adotou-se como mais apropriado o valor $n = 0,035$ para o canal, por se tratar de um canal com margens em terra e fundo em rocha.

Para evitar qualquer tipo de sobrelevação ficou decidido pela construção da ponte sem pilares intermediários.

Ficou estabelecida uma borda livre (imagem 17) de 1,00 m entre o ponto mais baixo das vigas da superestrutura da ponte ao ponto mais alto do nível d'água, quando aplicado o valor da Vazão Máxima de Projeto para o período de retorno de 100 anos.

PONTE

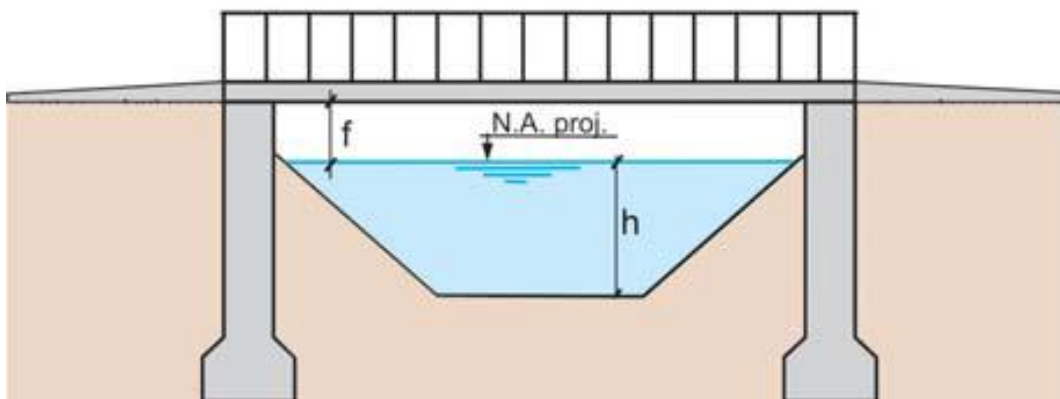


Imagem 17 - Borda livre (f) de 1,00 m

Fonte: DAEE

Na região de implantação da ponte estabeleceu-se que as fundações seriam executadas bem antes das margens do rio, com cortinas de concreto armado tanto a jusante quanto a montante, visando proteger os pilares e os blocos de fundação da alta velocidade que as águas do rio podem atingir no caso de cheias.

Foram obtidos os seguintes resultados: $V = 3,86 \text{ m/s}$ e $A = 55,09 \text{ m}^2$.

Dados obtidos utilizando o método de I-PAI-WU:

CARACTERÍSTICAS DA BACIA	UNIDADE	RESULTADO
ÁREA (A)	Km ²	37,4
COMPRIMENTO DO MAIOR TALVEGUE (L)	km	11,2
FATOR DE FORMA (F)	-	1,62
TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (tc)	minutos	70
DECLIVIDADE EQUIVALENTE (S)	m/m	0,04
COEFICIENTE DE FORMA (C1)	-	1,10
COEFICIENTE VOLUMÉTRICO DE ESCOAMENTO (C2)	-	0,37
COEFICIENTE DE DISTRIBUIÇÃO DA CHUVA (K)	%	92
COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (C)	-	0,26
INTENSIDADE DA CHUVA (i) PARA T = 100 ANOS	mm/h	110,82
VOLUME TOTAL DO HIDROGRAMA DA CHUVA (V)	m ³	1.755.109,06
VAZÃO DE CHEIA (Q)	m ³ /s	191,87
VAZÃO MÁXIMA DE PROJETO (QP)	m³/s	211,06
VELOCIDADE MÉDIA (V)	m/s	3,86
ÁREA LIVRE MÍNIMA ABAIXO DA PONTE	m ²	55,09

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Num procedimento inverso, por já estar definida a altura de construção da obra de arte em função do projeto básico da Prefeitura, verificou-se que a altura livre disponível é superior ao valor mínimo requerido.

Aplicando a Vazão Máxima de Projeto (Q_p) ao vão máximo estipulado no projeto que básico fornecido pela Prefeitura Municipal, que seria de 77,00 m², inclusive adotando uma borda livre de 1,00 m, foram obtidos resultados que garantem uma vazão muito superior à necessária para um período de retorno de 100 anos e a diminuição da velocidade da água na região da travessia.

Considerando que não haverá pilares intermediários que acarretem sobrelevação do nível d'água, que haverá acréscimo na área de escoamento existente devido ao método construtivo adotado, que serão executadas cortinas de concreto armado a 45° protegendo as fundações e os pilares da ponte e, ainda, que a dimensão da borda livre está bem acima do necessário, pode-se concluir que o projeto atende plenamente a uma Vazão Máxima de Projeto muito superior à obtida para um período de retorno de 100 anos.

Diante do exposto foi preenchido com segurança o requerimento de outorga junto ao DAEE - Departamento de águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo e solicitada a sua aprovação.

O calculista foi autorizado a elaborar os projetos executivos de fundação e superestrutura (imagens 18, 19, 20 e 21) mantendo as premissas do projeto básico apresentado.

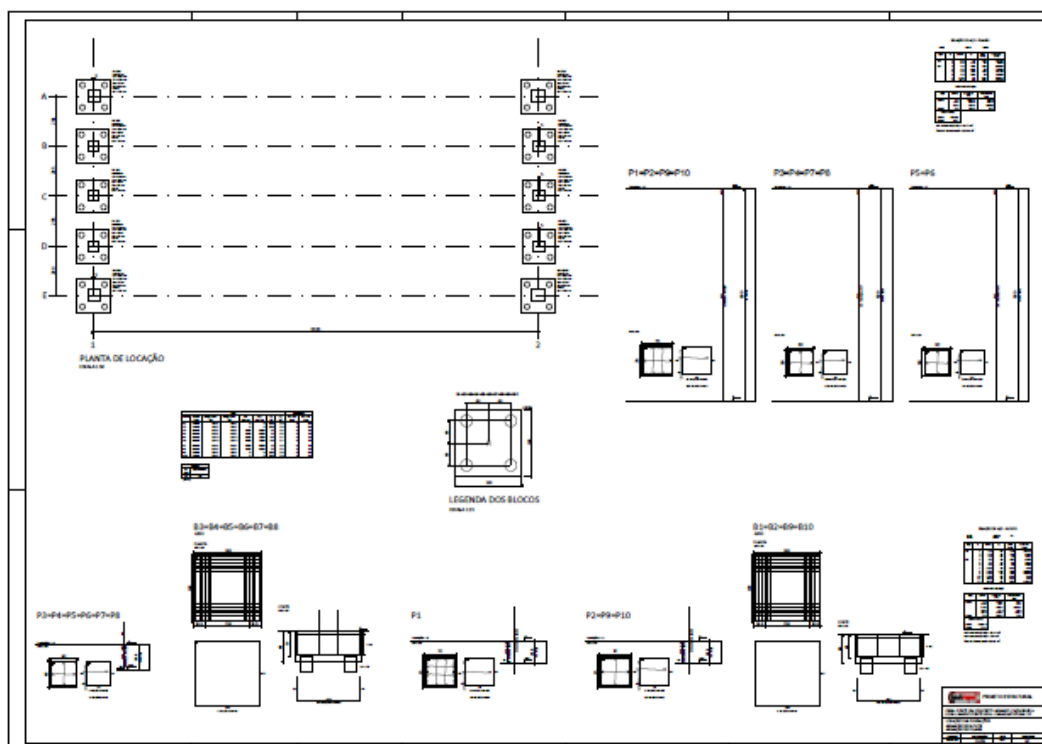


Imagem 18 - Projeto Estrutural / Fundações

Fonte: O autor

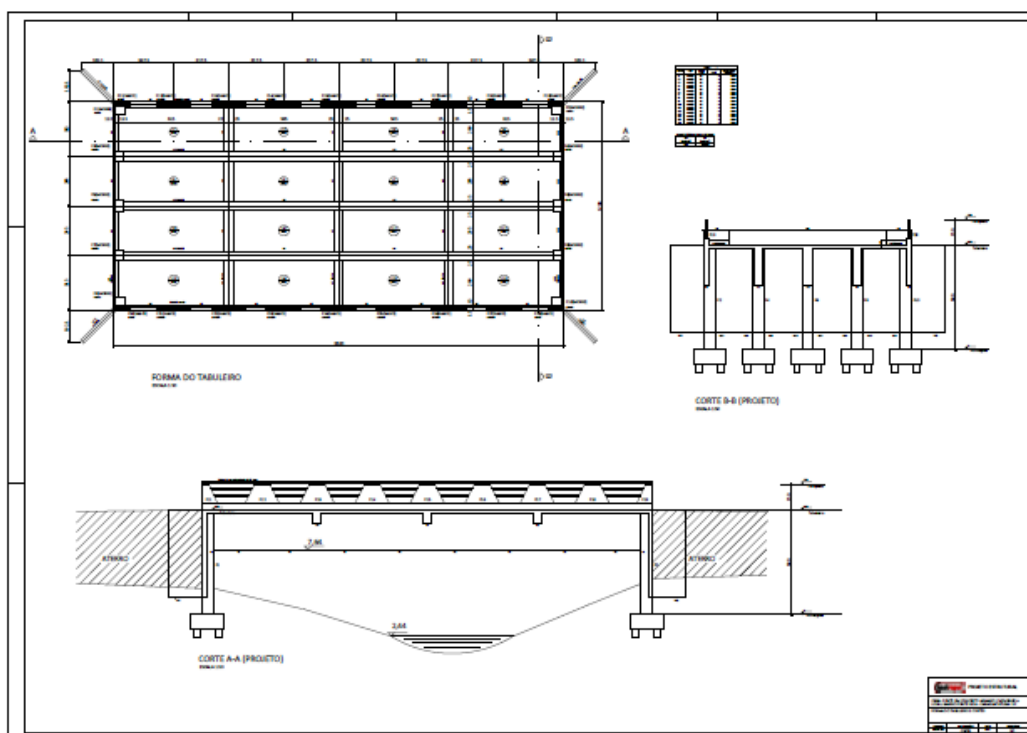


Imagem 19 - Projeto Estrutural / Forma e Cortes

Fonte: O autor

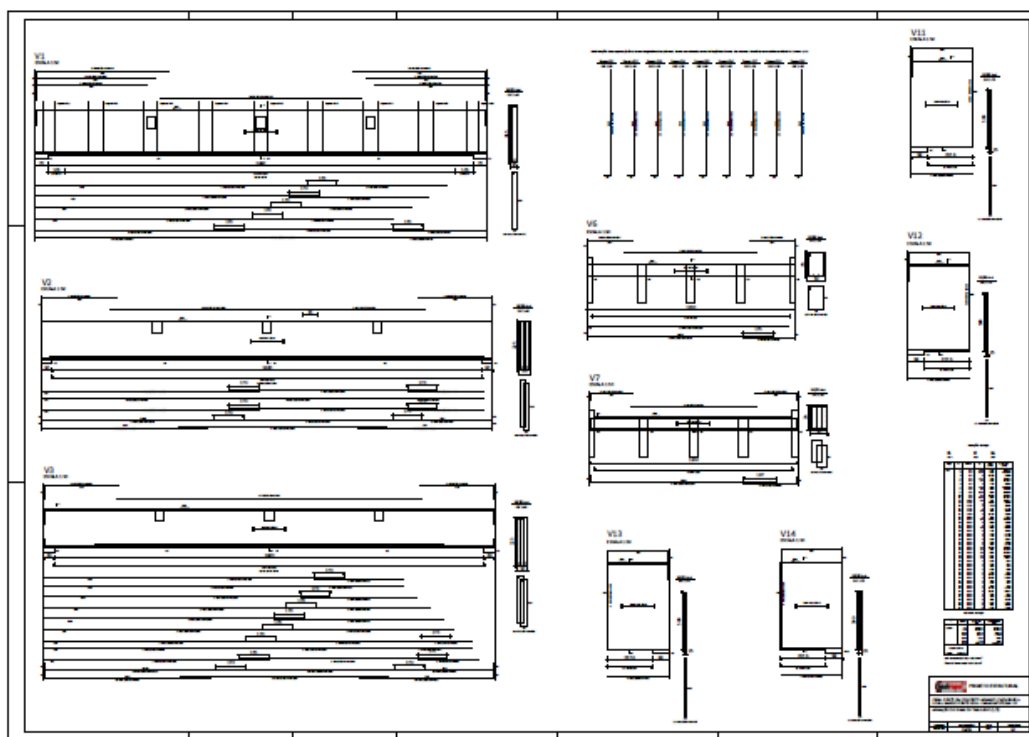


Imagem 20 - Projeto Estrutural / Armações

Fonte: O autor

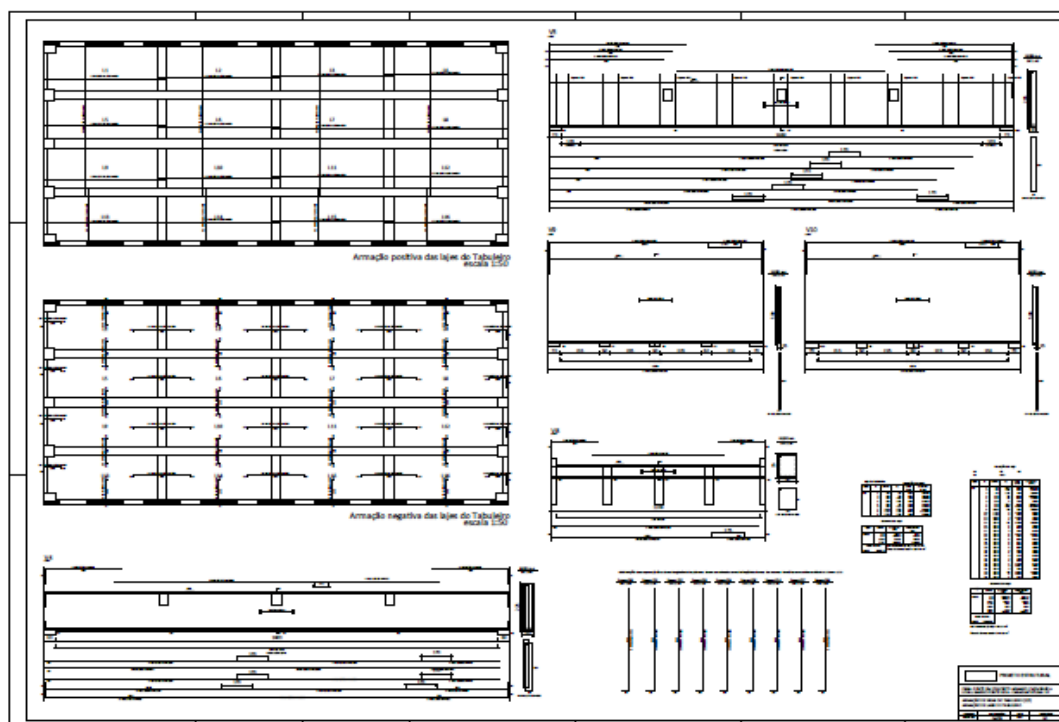


Imagem 21 - Projeto Estrutural / Armações

Fonte: O autor

CONCLUSÃO

O presente trabalho atendeu às solicitações do DAEE Departamento de águas e Energia do Estado de São Paulo e obteve a outorga para construção de travessia sobre o Rio Santo Antonio, os dados levantados e os métodos utilizados demonstraram ser adequados para o estudo da bacia hidrográfica do Rio Santo Antonio e auxiliaram na elaboração de um projeto estrutural que atenda aos anseios da Prefeitura Municipal.

Foi definido o vão mínimo necessário abaixo da obra de arte para que a mesma não interferisse no escoamento de água para uma Vazão Máxima de Projeto com um período de retorno de no mínimo 100 anos, tornando assim a construção mais segura e confiável, minimizando desta forma a chance da ocorrência de novas catástrofes para uma região já tão castigada e com histórico de muitas perdas materiais e humanas (imagem 22).



Imagem 22 - Ponte executada

Fonte: Google Earth

REFERÊNCIAS

- [1] DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – DAEE. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo. 2005. Disponível em: < <http://www.daee.sp.gov.br/outorgaefiscalizacao/guia/capitulo01.pdf> >
- [2] DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO - DAEE / CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – **Drenagem Urbana, Manual de Projeto**, 2ª ed. São Paulo. 1980.
- [3] DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO - DAEE/ESCOLA POLITÉCNICA DA USP. **Equações de chuvas intensas do Estado de São Paulo**. São Paulo. 1999. Disponível em: <www.daeebauru.org/EquaChuvasIntensas.doc>
- [4] SIG - Sistema de Informações Geográficas - "**SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**" Camara G, Souza RCM, FreitasUM, Garrido J Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.
- [5] AUTODESK. **Site oficial do desenvolvedor do software AutoCAD**, disponível em: <<http://usa.autodesk.com>>, acesso em 05 de julho de 2015.
- [6] Prefeitura Municipal da Estância Balneária de Caraguatatuba – PMEBC - SP. **Mapa do Município de Caraguatatuba**. Caraguatatuba, 2009, acesso em 2009
- [7] GOOGLE EARTH. **[Imagens do ponto do projeto]**: 7387919,00 Km N; 456523,00 Km E, acesso 06 de outubro de 2015.