



**PROJETO BÁSICO COM DETALHAMENTO CONSTRUTIVO DOS MOLHES DE  
FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ, MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ (SC)**

**RESPOSTAS AOS QUESTIONAMENTOS DO OFÍCIO N° 2582/2011**

**SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE ACESSO DA OBRA**

## ÍNDICE GERAL

<b>1. SOLUÇÕES ALTERNATIVAS PARA ACESSO À OBRA .....</b>	<b>5</b>
<b>2. SOLUÇÃO ALTERNATIVA – PONTE .....</b>	<b>6</b>
<b>3. METODOLOGIA DE CÁLCULO DE VAZÕES .....</b>	<b>7</b>
3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	7
3.2 MOMENTOS ESTATÍSTICOS.....	7
3.3 MODELOS ESTATÍSTICOS .....	8
3.3.1 DISTRIBUIÇÃO GUMBEL.....	8
3.3.2 DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL .....	9
3.3.3 DISTRIBUIÇÃO PEARSON TIPO III .....	10
3.4 ESTACIONARIEDADE.....	10
3.5 CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA .....	12
3.6 REGIONALIZAÇÃO .....	13
<b>4. DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES.....</b>	<b>14</b>
<b>5. SIMULAÇÃO DAS ALTERNATIVAS PARA TRANSPOSIÇÃO DO RIO.....</b>	<b>16</b>
5.1 PONTE de acesso ao molhe norte .....	17
5.1.1 ALTERNATIVA A – PONTE DE ACESSO (100 metros).....	17
5.1.2 ALTERNATIVA B – PONTE DE ACESSO (80 metros) .....	23
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>28</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>29</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção Transversal do Rio, Alternativa A - Ponte de 100 metros.....	19
Figura 2 - Perfil - Alternativa A - Tr = 2 anos.....	21
Figura 3 - Perfil - Alternativa A - Tr = 4 anos.....	21
Figura 4 - Perfil - Alternativa A - Tr = 5 anos.....	22
Figura 5 - Perfil - Alternativa A - Tr = 10 anos.....	22
Figura 6 - Seção Transversal do Rio, Alternativa B - Ponte de 80 metros. ....	24
Figura 7 - Perfil - Alternativa B - Tr = 2 anos.....	25
Figura 8 - Perfil - Alternativa B - Tr = 4 anos.....	26
Figura 9 - Perfil - Alternativa B - Tr = 5 anos.....	26
Figura 10 - Perfil - Alternativa B - Tr = 10 anos.....	27



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estações Utilizadas na Regionalização.....	14
Tabela 2 - Análise de Proporcionalidade. ....	14
Tabela 3 - Correlação Estatística.....	15
Tabela 4 - Vazões Máximas Taquaruçu.....	15
Tabela 5 - Vazões Máximas Regionalizadas.....	16
Tabela 6 - Resultados Simulação para Alternativa A.....	20
Tabela 7 - Resultados Simulação para Alternativa B.....	23

## 1. SOLUÇÕES ALTERNATIVAS PARA ACESSO À OBRA

As soluções estruturais apresentadas no projeto levaram em conta as condicionantes ambientais e foram definidas visando os menores custos da obra e menores impactos ambientais.

O plano de execução da obra deve considerar um tempo mínimo de exposição da obra aos eventos de cheias, ou seja, conforme o cronograma da obra, o máximo de esforços de construção deve ser executado fora do período de enchentes. O período de início das obras deve ser definido levando em conta o comportamento sazonal do regime fluvial, evitando a sobreposição de períodos de cheias e o início da utilização do acesso ao molhe norte.

O critério adotado para a solução proposta foi o de menor impacto ambiental e menor custo. Se dimensionado e construído conforme especificado no "Produto XIII - Plano Construção QuantMetodCrono", o acesso provisório permitirá a passagem do fluxo de água e/ou um galgamento para eventos hidrológicos maiores. No projeto, está recomendado um dimensionamento para um evento de precipitação com tempo de retorno de no mínimo 2 vezes o tempo de obra. A montagem e remoção é prática e pode ser feita com as mesmas rochas e equipamentos que serão utilizadas na obra. Não há risco ao uso do canal após a remoção do acesso provisório.

Outras soluções existem, mas implicariam em outros impactos ambientais e custos. Essas alternativas foram avaliadas ao longo do desenvolvimento do projeto e identificadas como não adequadas aos critérios.

Abaixo são elencadas três alternativas consideradas durante o desenvolvimento do projeto e um resumo de suas vantagens e desvantagens.

- Barcaça – implicações na logística desde o canteiro de carregamento até a obra; gerando redução de produtividade e aumento de custo. Os principais impactos estão relacionados à diminuição de produtividade e consequente aumento do prazo de execução estimado em 2,5 vezes. O aumento no prazo de execução causaria um consequente aumento no custo da obra estimado em 70%. Ressalta-se que estas estimativas foram feitas com base na experiência da SHAW-CPE em projetos similares. Além disso, estruturas de embarque e desembarque nas margens teriam que ser construídas para permitir a operação.
- Ponte – aumentos de custo por exigir uma estrutura robusta em função da carga a qual

será submetida. Seria necessário o dimensionamento de uma ponte rodoviária, pois os caminhões da obra (fora de estrada) carregariam rochas de 2 t a 6 t mais o peso próprio, totalizando em torno de 40 t. Exigiria uma estrutura com características de permanente e um custo para sua demolição após a obra. Poderia causar impactos à segurança da navegação se não for completamente removida a base da ponte, pois a mesma ficaria submersa e sobre o leito do rio.

- Mudança de rota entre canteiro e obra – essa alternativa se apresenta como a mais complicada do ponto de vista ambiental. Geraria uma mudança no percurso dos caminhões entre o canteiro e a obra. Seria necessária uma área intermediária de carregamento e o acesso seria feito pela outra margem do rio passando pelo Morro dos Conventos. Como implicaria uma passagem de caminhões sobre dunas, não seria adequada para o meio ambiente. Além disso, geraria também maior custo pelo maior tempo de viagem dos caminhões.

Qualquer que seja escolhida a solução alternativa, haverá necessidade de revisão de diferentes pontos do projeto em função dos impactos causados pela nova solução - plano de execução, produtividade, cronograma e custo - antes da licitação da obra.

Por solicitação da Prefeitura de Araranguá, será adotada como solução alternativa a construção de uma ponte para acesso à frente de obra. A Prefeitura de Araranguá está disposta a arcar com os custos adicionais decorrentes da ponte e, após a obra, dará um novo uso à ponte, pois a mesma será uma estrutura fixa. O novo uso seria acesso de pedestres ao molhe norte à praia.

A ponte atenderia a necessidade de manter uma condição de navegação para embarcações pesqueiras e daria condições de escoamento do rio.

## **2. SOLUÇÃO ALTERNATIVA – PONTE**

A ponte avaliada para acesso à frente de obra estará sujeita à ação de correntes de maré e fluviais em condições médias e extremas de descarga, assim como o segmento do molhe que será executado sobre o rio. No estudo apresentado são analisadas, portanto, as consequências da implantação dessa estrutura no fluxo de passagem de água, à montante e à jusante do empreendimento.

### 3. METODOLOGIA DE CÁLCULO DE VAZÕES

#### 3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para realizar as simulações apresentadas neste material alguns procedimentos foram utilizados. Para a análise dos dados fluviométricos foram utilizados momentos estatísticos, modelos probabilísticos, análise de correlação entre as estações e análise de estacionariedade na série temporal de cada estação. Tal procedimento subsidia a aplicação do método de regionalização.

A análise estatística das variáveis hidrológicas auxilia a entender o grau de variabilidade e homogeneidade temporal e espacial destas variáveis. Além disso, é uma ferramenta útil para estimar o risco de ocorrência de eventos de uma dada magnitude.

#### 3.2 MOMENTOS ESTATÍSTICOS

Estas relações matemáticas caracterizam a estatística básica e são utilizadas para determinar informações complementares para análises mais complexas. Os momentos estatísticos são as condições de contorno e parâmetros de ajuste dos modelos estatísticos. Os momentos estatísticos são descritos segundo as relações:

$$M = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$V^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - M)^2}{n - 1} \therefore \sigma = \sqrt{V^2}$$

$$g_{ass} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - M)^3}{(n - 1) \cdot (n - 2) \cdot \sigma^3}$$

$$CV = \frac{\sigma}{M}$$

onde:

M - média;

X - variável aleatória;

n - tamanho do vetor;

V - variância;

$\sigma$  - desvio-padrão;

$g_{ass}$  - coeficiente de assimetria;

CV - coeficiente de variação.

As três primeiras equações representam, respectivamente, momento 1, momento 2 e momento 3. Tais momentos são úteis para estimar parâmetros em modelos de distribuições e na análise de dispersão dos dados.

### 3.3 MODELOS ESTATÍSTICOS

A aplicação dos modelos probabilísticos foi auxiliada pela utilização do programa SisCAH (Sistema Computacional para Análises Hidrológicas) disponibilizado gratuitamente pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais. Tal programa é destinado para dar suporte em análises estatísticas de dados fluviométricos permitindo importar o banco de dados no site da ANA (Agência Nacional de Águas). Os modelos probabilísticos utilizados no presente estudo são utilizados no SisCAH, tais como: Distribuição Gumbel, Distribuição Log-Normal tipo II, Distribuição Log-Normal tipo III e Distribuição Pearson tipo III. A utilização de cada modelo estatístico depende da magnitude do erro padrão. Onde o erro padrão pode ser calculado segundo a relação:

$$E = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

#### 3.3.1 DISTRIBUIÇÃO GUMBEL

Esta distribuição tem sido amplamente utilizada na descrição de máximos na hidrologia, tanto para vazão quanto para precipitação. As relações funcionais desta distribuição seguem como:

$$x = \mu + \frac{\sigma_x}{\sigma_n} (b - y_n)$$

$$b = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{Tr}\right)\right)$$

onde:

x - magnitude do evento desejado;

b - variável reduzida;



$y_n$  - média da variável reduzida;

$T_r$  - período de retorno.

### 3.3.2 DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL

As distribuições Log-Normal, segundo Brutsaert (2005), são aplicadas em análises de vazões máximas anuais. Isto porque apresentam boa capacidade de descrever o comportamento de variáveis que apresentem assimetria positiva, como é o caso da variável vazão para diferentes escalas temporais. Segundo o autor, as distribuições Log-Normal podem variar e serem classificadas de diferentes tipos, de acordo com introdução de novos parâmetros na sua função de densidade de probabilidades. A distribuição Log-Normal tipo II possui as seguintes relações:

$$K = \frac{\left( e^{\sqrt{\ln(z^2+1)}t} - \frac{\ln(z^2+1)}{2} \right) - 1}{z}$$
$$z = \frac{\sigma}{\mu}$$

onde:

$t$  - período de retorno, anos.

A distribuição Log-Normal tipo III é dada pelas relações:

$$K = \frac{\left( e^{\sqrt{\ln(z^2+1)}t} - \frac{\ln(z^2+1)}{2} \right) - 1}{W}$$
$$W = \frac{1 - \omega^{\frac{2}{3}}}{\omega^{\frac{1}{3}}}$$
$$\omega = \frac{-\gamma + \sqrt{\gamma^2 + 4}}{2}$$

$$\gamma = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_i \left[ \frac{(x_i - \mu)^3}{\sigma^3} \right]$$

onde:

$x$  - evento da amostra;

- t - período de retorno;
- $\sigma_x$  - desvio-padrão amostral dos eventos;
- $\mu$  - média amostral dos eventos;
- n - número de eventos;
- $\gamma$  - assimetria da série temporal.

### 3.3.3 DISTRIBUIÇÃO PEARSON TIPO III

Também conhecida como distribuição Gamma, Brutsaert (2005) coloca que esta distribuição é aplicada para descrição de eventos de máxima vazão e eventos de mínima vazão (estiagem). No entanto, seu uso em eventos de grande magnitude é mais comum sendo reportada sua aplicação em diferentes partes do mundo, tais como: Rússia e Estados Unidos da América. As relações funcionais da distribuição seguem:

$$K = D + (D^2 - 1) \frac{\gamma}{6} + \frac{1}{3} (D - 6D) \left(\frac{\gamma}{6}\right)^2 - (D^2 - 1) \left(\frac{\gamma}{6}\right)^3 + D \left(\frac{\gamma}{6}\right)^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma}{6}\right)^5$$

$$D = t - \frac{2,30753 + 0,2706t}{1 + 0,99229t + 0,04481t^2}$$

$$\gamma = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_i \left[ \frac{(x_i - \mu)^3}{\sigma^3} \right]$$

onde:

- D - desvio-padrão amostral padronizado;
- $\gamma$  - assimetria da amostra;
- t - período de retorno;
- n - número de eventos da amostra;
- x - evento da amostra.

### 3.4 ESTACIONARIEDADE

Esta análise é aplicada para verificar a variabilidade da média e do desvio-padrão de dois subperíodos distintos da mesma série temporal. Segundo Sousa et al. (2009), a

estacionariedade é verificada aplicando os testes de Student e Fisher, onde Tucci (2001) coloca que a série deve se ajustar à distribuição normal. Assim, esta análise depende dos graus de liberdade impostos pelo hidrólogo, os quais podem ser rigorosos ou não. O presente estudo adotou uma postura conservadora com o uso de um nível de significância de 1% ou 99% de confiança estatística.

O procedimento adotado no presente estudo segue as relações:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

onde:

F - teste Fisher;

S<sub>1</sub> - variância maior;

S<sub>2</sub> - variância menor.

No caso da igualdade das variâncias não ser rejeitada, o teste de Student de homogeneidade das médias é calculado segundo a relação:

$$t = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{s \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

onde:

μ<sub>1</sub> - média da amostra anterior;

μ<sub>2</sub> - média da amostra posterior;

s - estimativa do desvio-padrão em todo o período de dados;

n<sub>1</sub> - número de eventos na amostra anterior;

n<sub>2</sub> - número de eventos da amostra posterior.

O desvio-padrão nestas condições é calculado pela relação:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \mu_1)^2 + \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \mu_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Entretanto, se as variâncias não se igualarem, então a homogeneidade das médias é verificada de acordo com a relação:

$$t = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\left(\frac{s_1}{n_1} + \frac{s_2}{n_2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Sendo os graus de liberdade determinados pela relação:

$$GL = \frac{1}{\frac{k^2}{n_1 - 1} + \frac{(1 - K^2)}{n_2 - 1}}$$

Onde K é calculado por:

$$K = \frac{n_2 s_1^2}{n_2 s_1^2 + n_1 s_2^2}$$

Sousa et. al (2009) colocam que a hipótese de homogeneidade é aceita quando o módulo de t estimado é menor do que valores de t tabelados, para graus de liberdade iguais a GL e dentro do nível de significância especificado.

### 3.5 CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA

A correlação estatística é utilizada para determinar o quão similar são as respostas entre duas séries temporais. Este procedimento estatístico ajuda na definição do grau de homogeneidade de reposta da bacia hidrográfica temporalmente e espacialmente. Assim, se a correlação é fortemente linear é possível aplicar modelos de regressão linear para estabelecer uma relação funcional entre as séries temporais.

A formulação da correlação estatística é tida como:

$$r_{x,y} = \frac{cov(x,y)}{\sqrt{\sigma_x \sigma_y}}$$

onde:

$r_{x,y}$  - coeficiente de correlação estatística;

$cov(x,y)$  - covariância entre as séries temporais.

E o modelo de regressão linear aplicado como suporte na análise dos dados fluviométricos é

dado por:

$$Y = \beta_0 + X\beta_1$$

onde:

Y - variável independente;

X - variável dependente;

$\beta_0$  e  $\beta_1$  - parâmetros de ajuste da regressão.

Dingman (2002) coloca que uma correlação entre variáveis é dita fortemente linear quando supera 0,73 para uma amostra maior do que 25 itens.

Através da análise estatística realizada com o auxílio do programa SisCAH, foi desenvolvida a regionalização para determinação da vazão de contribuição na bacia hidrográfica do Rio Araranguá. A regionalização é um procedimento utilizado para determinação de informações hidrológicas para áreas sem informações disponíveis. Desta forma, a regionalização busca estimar a vazões em seções sem medições fluviométricas. Segundo Novaes et.al (2007), o método mais aplicado no Brasil foi definido pela Eletrobras (1985), onde sua premissa está fundamentada na identificação de áreas hidrologicamente homogêneas. Este método é conhecido como método tradicional, o qual foi aplicado no presente estudo.

### 3.6 REGIONALIZAÇÃO

Segundo Sousa (2009), o procedimento normalmente empregado na utilização do Método Tradicional envolve a definição prévia das regiões hidrologicamente homogêneas e, em um segundo momento, a obtenção das equações que permitem associar a vazão com variáveis topológicas e climáticas.

A análise de regressão investiga como as variações em uma ou mais variáveis independentes afetam a variação da variável dependente. A função matemática que relaciona as variáveis é da forma:

$$Q = F(C1, C2, C3, C4, \dots, Cn)$$

onde:

Q - vazão estimada;

C - variável independente;

n - número de variáveis independentes.

Onde a variável independente é tida como a área das bacias de interesse.

#### 4. DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES

No presente relatório foi aplicado o Método Tradicional na determinação da vazão contribuinte no exutório da bacia hidrográfica do Rio Araranguá. A área de estudo apresentou alto grau de homogeneidade no regime fluviométrico. Na regionalização foi empregada a estação Taquaruçu (ANA). Das três estações fluviométricas aplicadas no estudo, uma foi aplicada na regionalização e duas serviram de suporte para análise de correlação e estacionariedade. Logo, na Tabela 1 há as descrições adicionais das estações utilizadas na regionalização.

**Tabela 1 - Estações Utilizadas na Regionalização.**

<b>Estação</b>	<b>Nome da Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
84820000	Forquilha	-28,7487	-49,4849	523
84850000	Maleiro	-28,8391	-49,6338	344
84950000	Taquaruçu	-28,9579	-49,6033	970

Segundo Novaes et.al (2007), deve haver uma razão de proporcionalidade em torno de 3 para as área de contribuição aplicadas na regionalização. Na Tabela 2 estão os resultados da análise de proporcionalidade.

**Tabela 2 - Análise de Proporcionalidade.**

<b>Área da Bacia</b>	<b>Área de Contribuição de Taquaruçu</b>	<b>Razão</b>
3020 km <sup>2</sup>	970 km <sup>2</sup>	3,11

De acordo com os resultados da Tabela 2, o quesito da proporcionalidade é atendido. Assim, Tucci (2001) coloca que a adequação desta razão diminui a propagação de erros na regionalização de vazões ou outras variáveis hidrológicas. Para embasar o emprego da técnica de regionalização no presente estudo, análises de correlação estatística foram feitas para as estações disponíveis na bacia do Rio Araranguá. Na Tabela 3 são apresentados os resultados de correlações para as estações fluviométricas.

**Tabela 3 - Correlação Estatística.**

<b>Código</b>	<b>84950000</b>	<b>84850000</b>	<b>84820000</b>
<b>84950000</b>	1,00	0,84	0,89
<b>84850000</b>	0,84	1,00	0,78
<b>84820000</b>	0,89	0,78	1,00

Os resultados, de correlações para as estações em cada rio e para as estações da regionalização, mostraram linearidade de resposta do regime de vazões na região. As séries temporais analisadas compreendem os períodos de 1945 a 1985 e de 1990 até 2004. O período entre 1986 até 1989 demonstrou discrepâncias de consistência através da análise de estacionariedade. Assim, 55 anos de dados diários válidos foram empregados na caracterização dos extremos de vazão no exutório da bacia hidrográfica do Rio Araranguá.

Para a estação aplicada na regionalização da vazão contribuinte no exutório da bacia do Rio Araranguá, as vazões para diferentes períodos de retorno foram calculadas, segundo os modelos probabilísticos supracitados. Na Tabela 4 estão resumidos os valores da análise de máximos para a estação de referência (Taquaruçu) do presente estudo.

**Tabela 4 - Vazões Máximas Taquaruçu.**

<b>Tr (anos)</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>
<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	490	629	664	763	815	851

A Tabela 5 traz os resultados da regionalização para as vazões máximas para área de contribuição da bacia hidrográfica do Rio Araranguá.

**Tabela 5 - Vazões Máximas Regionalizadas.**

Tr (anos)	2	4	5	10	15	20
Q (m <sup>3</sup> /s)	1526	1958	2067	2376	2537	2650

## **5. SIMULAÇÃO DAS ALTERNATIVAS PARA TRANSPOSIÇÃO DO RIO**

A diminuição do nível d'água na cidade de Araranguá, durante eventos extremos de vazão fluvial, através da fixação da desembocadura a montante da posição atual é um dos principais motivos para o desenvolvimento dos molhes norte e sul. Ainda, a sua execução vai possibilitar a navegação franca de embarcações pesqueiras, esportivas e comerciais de pequeno porte.

O primeiro trecho da obra do molhe norte está assentado no Rio Araranguá, a uma cota de, aproximadamente, 4,0 m (IBGE), mantendo uma passagem de 87 m de largura contados a partir do centro do cabeço até a margem esquerda do rio. Esta passagem deverá ser transpassada para a execução do projeto.

Duas alternativas de uma ponte conectando os dois pontos foram avaliadas.

As alternativas foram simuladas através do software HEC-RAS (HEC, 2008). O modelo caracteriza-se por ser um modelo unidimensional, de fundo fixo, capaz de efetuar os cálculos dos perfis de superfície da água em escoamento permanente e não permanente, em canais com superfície livre. Esses perfis podem ser calculados em regimes subcríticos, supercrítico, e misto, onde poderão ocorrer mudanças do regime supercrítico para o regime subcrítico ou vice-versa. O procedimento de cálculo baseia-se na solução da equação de Navier-Stokes unidimensional. Assim, é possível analisar situações hidráulicas, tais como: ressaltos hidráulicos, obstruções (expansões e contrações do fluxo) confluências de rios e estuários. Permite, ainda, a avaliação do efeito de estruturas hidráulicas – pontes, bueiros, galerias, etc., na alteração das planícies de inundação, bem como mudanças nos perfis de superfície da água devido à construção de canais e dique. Desta forma, os principais dados de entrada são: a geometria do canal, condições de contorno, contribuição do fluxo lateral e valores de rugosidade para o coeficiente “n” de Manning. O nível d'água considerado foi de 0,12 m



(IBGE), que é a média das preamares superiores para o local, e a cota de chegada da alternativa de acesso igual à cota da berma do cabeço interno do molhe norte (0,8 m – IBGE).

As análises foram baseadas em eventos com diferentes períodos de retorno, limitando-se a um evento com 10 anos de período de retorno. Este evento causaria um mínimo risco aceitável de exposição da obra em função do seu tempo de execução (20%).

## **5.1 PONTE DE ACESSO AO MOLHE NORTE**

A alternativa que compreende a implantação de uma ponte conectando a margem esquerda do rio com o ponto de construção do cabeço interno do molhe norte permite a navegação sob a estrutura, e, além de apresentar custos elevados devido ao dimensionamento ao qual será submetida, será uma estrutura definitiva.

Dois cenários foram simulados para esta alternativa, o primeiro com uma ponte de 100 metros de comprimento e o segundo com 80 metros.

### **5.1.1 ALTERNATIVA A – PONTE DE ACESSO (100 METROS)**

Para esta simulação a estrutura da ponte considerada possui um vão de 100 metros e uma largura de 6 metros. Uma vez que a distância da margem esquerda do rio até o cabeço interno do molhe norte é de 87 metros, 13 metros da ponte avançam a margem esquerda do rio, estando, portanto, sobre a superfície do terreno. Esse fator faz com que, na simulação, a área contida entre a ponte e o terreno seja sumarizada nas áreas por onde a água deve percorrer quando houver acréscimos no nível d'água.

Com o intuito de aumentar a área navegável sob a ponte, esta foi considerada com uma inclinação ao longo do seu comprimento de 4,5%, como se pode visualizar na Figura 1. A folga para navegação verificada foi de 2,2 metros a partir da cota de 0,8 metros (IBGE), valor este o da cota das bermas de equilíbrio do molhe norte, no trecho em questão. Isto representa aproximadamente 3,32 m acima do nível médio de maré mínima.

Os 13 metros de ponte localizados sobre a superfície do terreno, fazem com que o resultado seja favorável quando se analisa o escoamento da água, entretanto gera custos maiores para sua construção. Os custos também devem ser elevados devido ao dimensionamento da estrutura, que deverá ser dimensionada como uma ponte rodoviária em função da carga a qual será submetida, tal dimensionamento, ao menos, não precisará, necessariamente, levar em consideração o galgamento de água, que não foi verificado até uma vazão com período de



retorno de 10 anos, como mostrado na Tabela 6 - Resultados Simulação para Alternativa A. Tabela 6. Após o término das obras de execução dos molhes a estrutura da ponte, o fluxo preferencial do rio será entre os molhes.

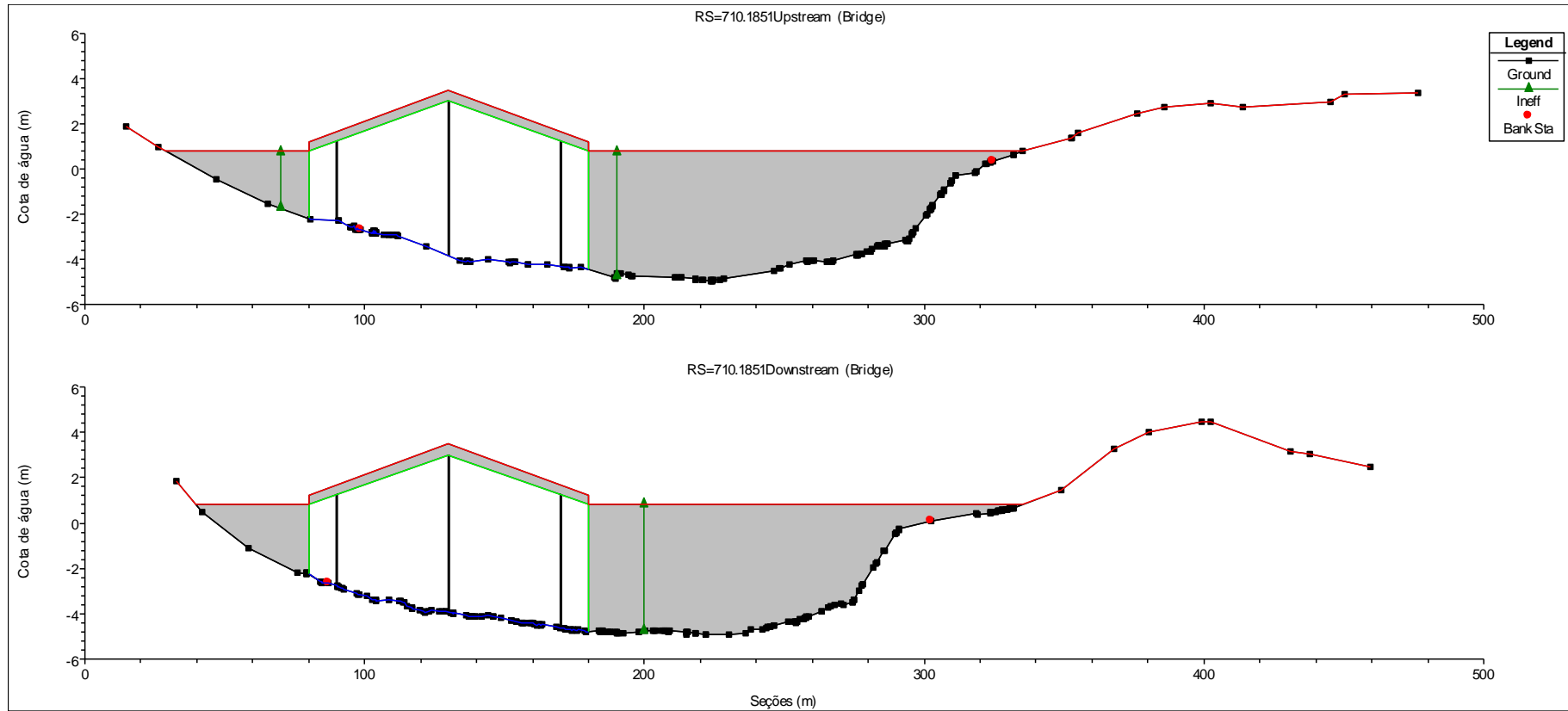


Figura 1 - Seção Transversal do Rio, Alternativa A - Ponte de 100 metros.

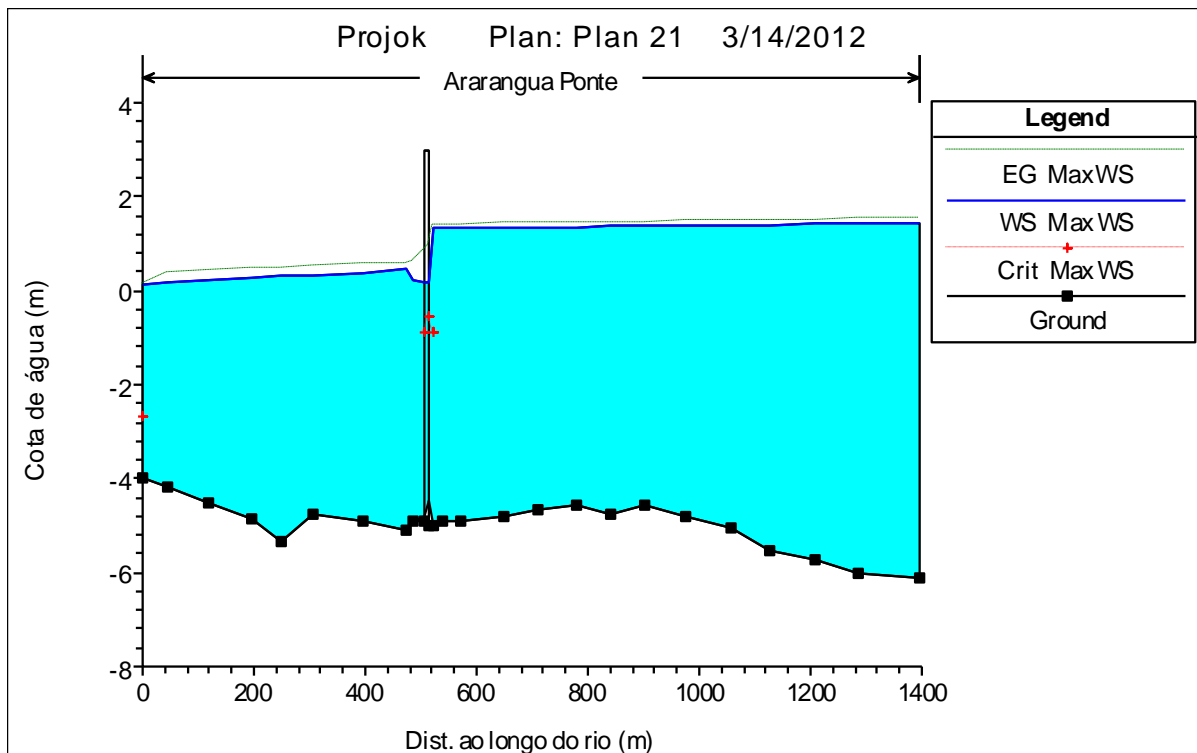
**Tabela 6 - Resultados Simulação para Alternativa A.**

<b>Tr (anos)</b>	<b>Cota da coluna de água (m)</b>	<b>Cota da Berma do Cabeço (m)</b>	<b>Galga- mento (m)</b>	<b>Efeito Hidráulico</b>	<b>Incremento na Coluna de Água a Montante (m)</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>
2	0,45	0,8	-	Remanso	0,87	2,92
4	0,65	0,8	-	Remanso	1,13	3,71
5	0,70	0,8	-	Remanso	1,18	3,90
10	0,87	0,8	-	Remanso	1,22	4,44

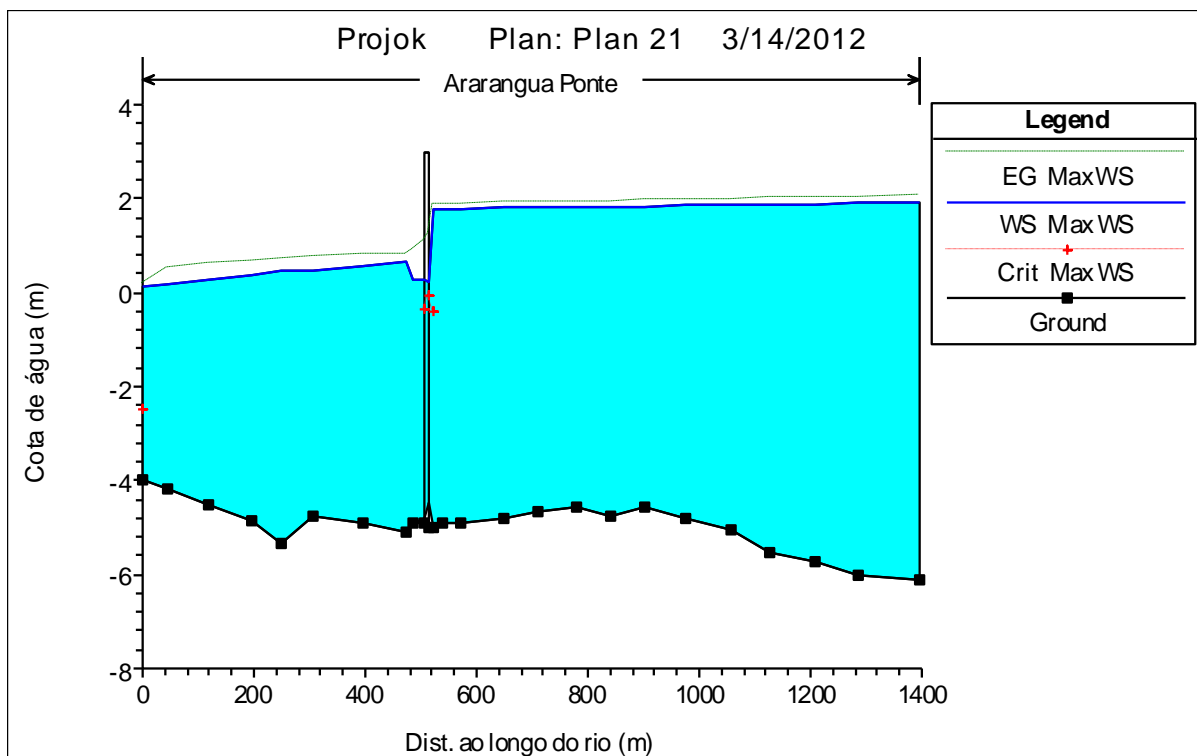
Esta alternativa também apresenta um efeito de remanso, causando um incremento na coluna de água à montante, entretanto os valores encontrados são aceitáveis.

Ainda, ressalta-se que a tensão de cisalhamento do fluxo no vão da ponte é elevada, produzindo a necessidade da consideração de uma erosão representativa nas fundações da ponte e um efeito abrasivo nas suas superfícies.

As figuras seguintes apresentam os perfis hidráulicos para os distintos tempos de retorno estudados



**Figura 2 - Perfil - Alternativa A - Tr = 2 anos.**



**Figura 3 - Perfil - Alternativa A - Tr = 4 anos.**

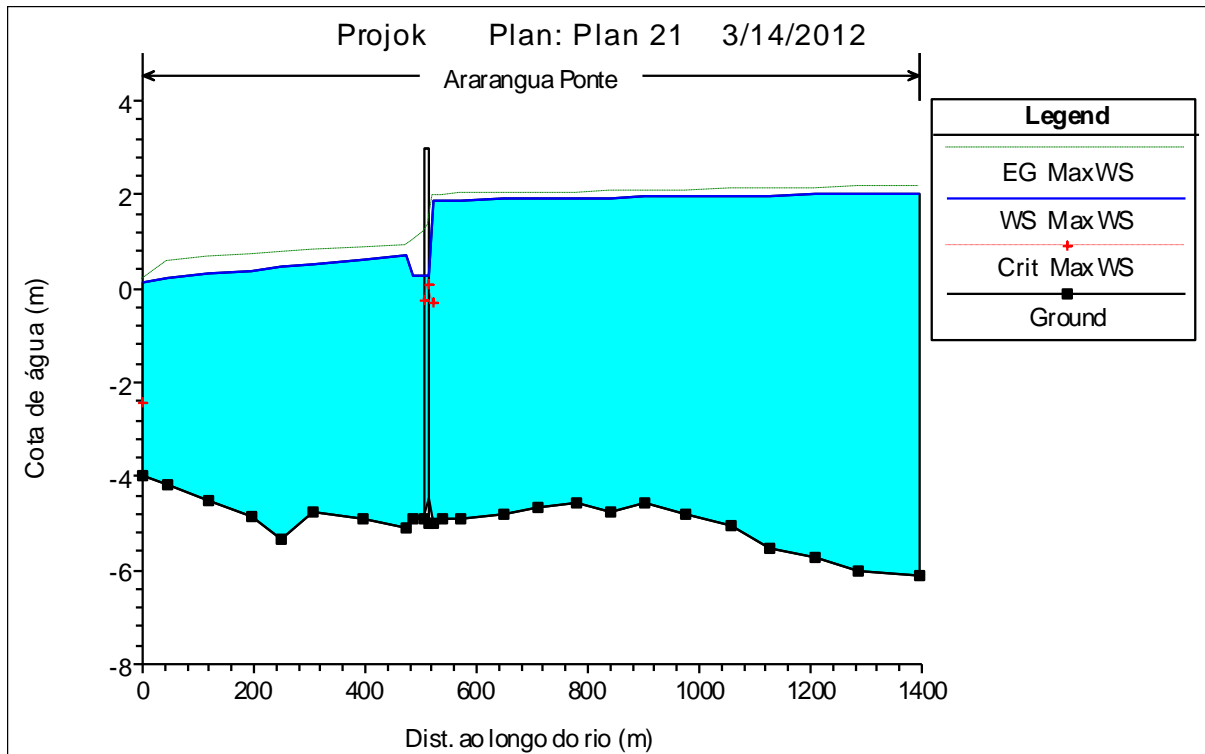


Figura 4 - Perfil - Alternativa A - Tr = 5 anos.

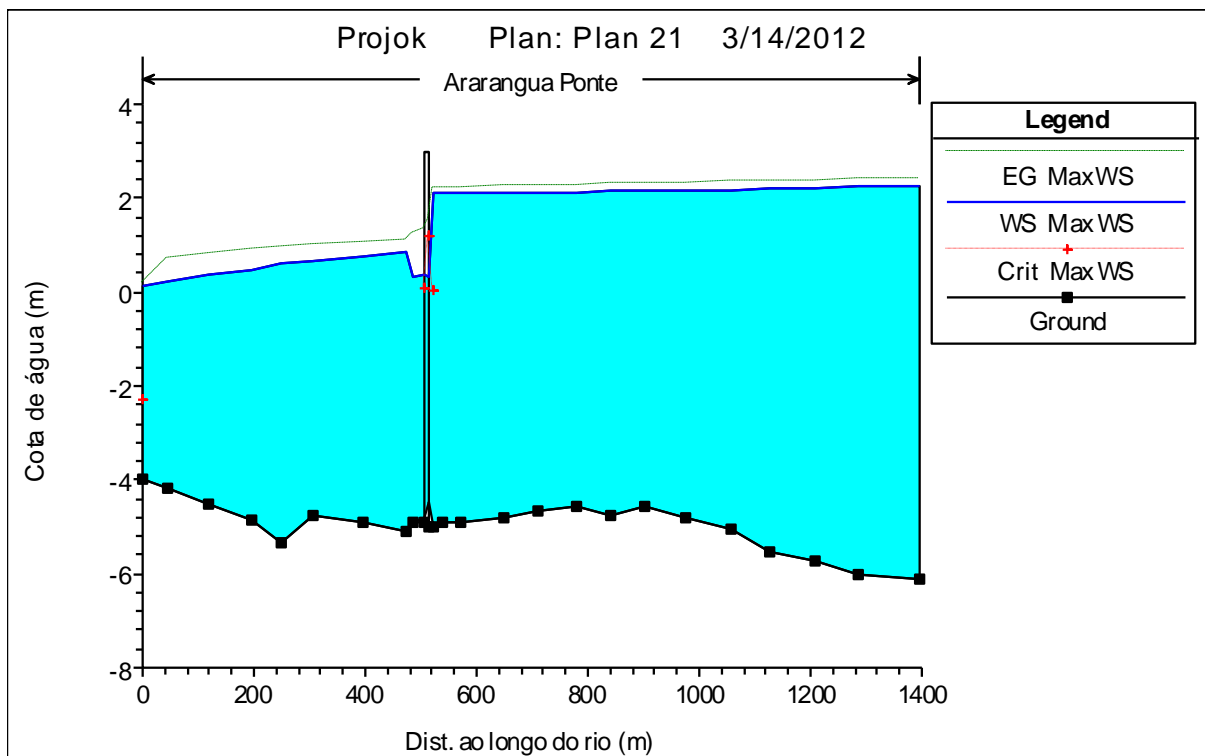


Figura 5 - Perfil - Alternativa A - Tr = 10 anos.

### 5.1.2 ALTERNATIVA B – PONTE DE ACESSO (80 METROS)

Para esta simulação a estrutura da ponte considerada possui um vão de 80 metros e uma largura de 6 metros. Sabendo que a distância da margem esquerda do rio até o cabeço interno do molhe norte é de 87 metros, se faz necessário um pequeno aterro para total transposição do rio.

Com o intuito de aumentar a área navegável sob a ponte, esta foi considerada com uma inclinação ao longo do seu comprimento de 6,0%, como se pode visualizar na Figura 6. O valor de 6,0% foi considerado como a inclinação limite adotável, uma vez que um valor maior poderia ser prejudicial ao trânsito dos caminhões e a sua carga. A folga para navegação verificada foi de 2,3 metros a partir da cota de 0,8 metros (IBGE).

Segundo os resultados encontrados na simulação desta alternativa, para eventos com período de retorno de 10 anos não há a ocorrência de galgamento

Como se verifica na Tabela 7, esta alternativa também apresenta um efeito de remanso, com incrementos na coluna de água à montante semelhantes aos da Alternativa A.

**Tabela 7 - Resultados Simulação para Alternativa B.**

<b>Tr (anos)</b>	<b>Cota da coluna de água (m)</b>	<b>Cota da Berma do Cabeço (m)</b>	<b>Galga- mento (m)</b>	<b>Efeito Hidráulico</b>	<b>Incremento na Coluna de Água a Montante (m)</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>
2	0,45	0,8	-	Remanso	1,14	3,00
4	0,65	0,8	-	Remanso	1,32	3,58
5	0,70	0,8	-	Remanso	1,37	3,78
10	0,87	0,8	-	Remanso	1,46	4,80

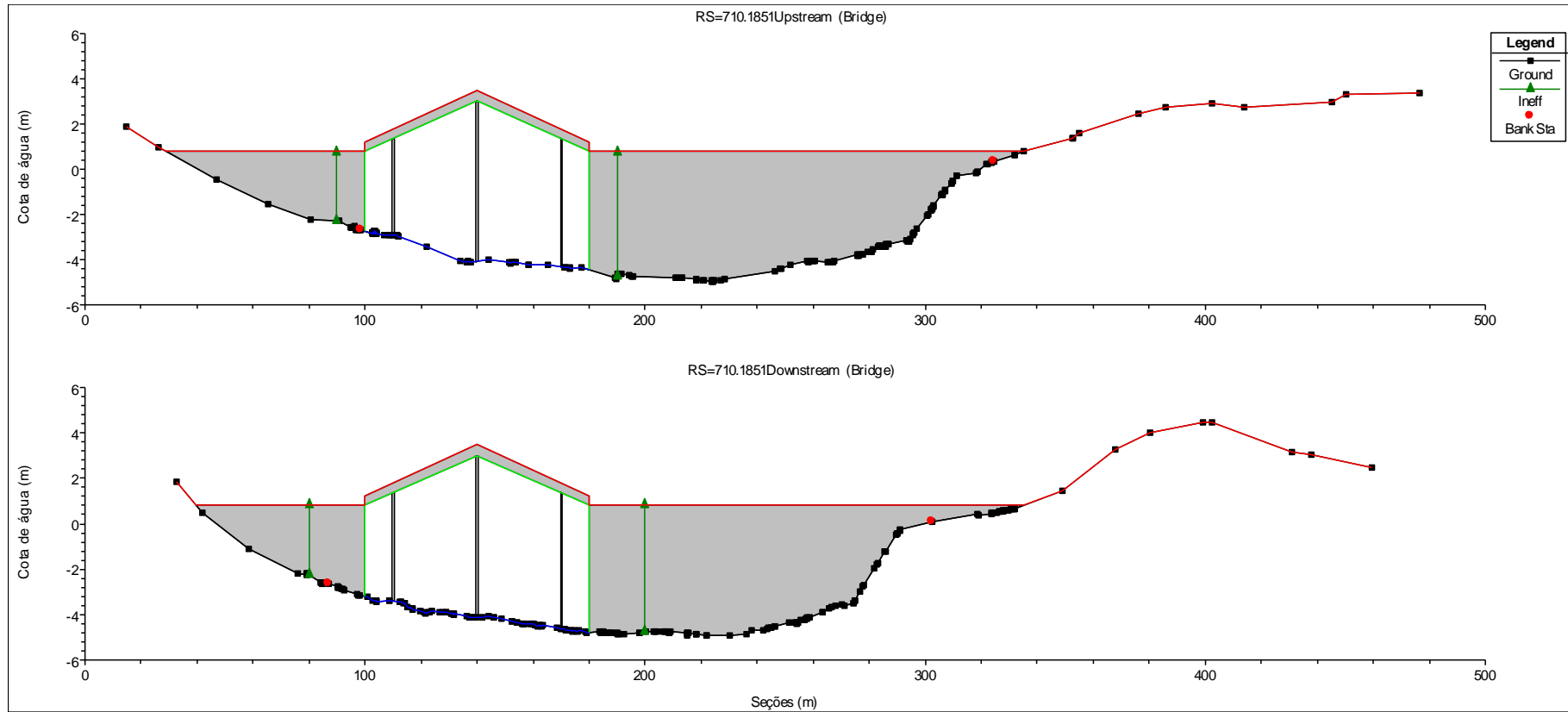


Figura 6 - Seção Transversal do Rio, Alternativa B - Ponte de 80 metros.



Ao detalhar a metodologia construtiva da ponte será necessário considerar os efeitos erosivos causados na fundação da estrutura, pela alta tensão de cisalhamento do fluxo.

As figuras seguintes apresentam os perfis hidráulicos para os distintos tempos de retorno estudados onde é possível verificar que as condições para a construção da ponte são bastante semelhantes quando comparado a Alternativa A.

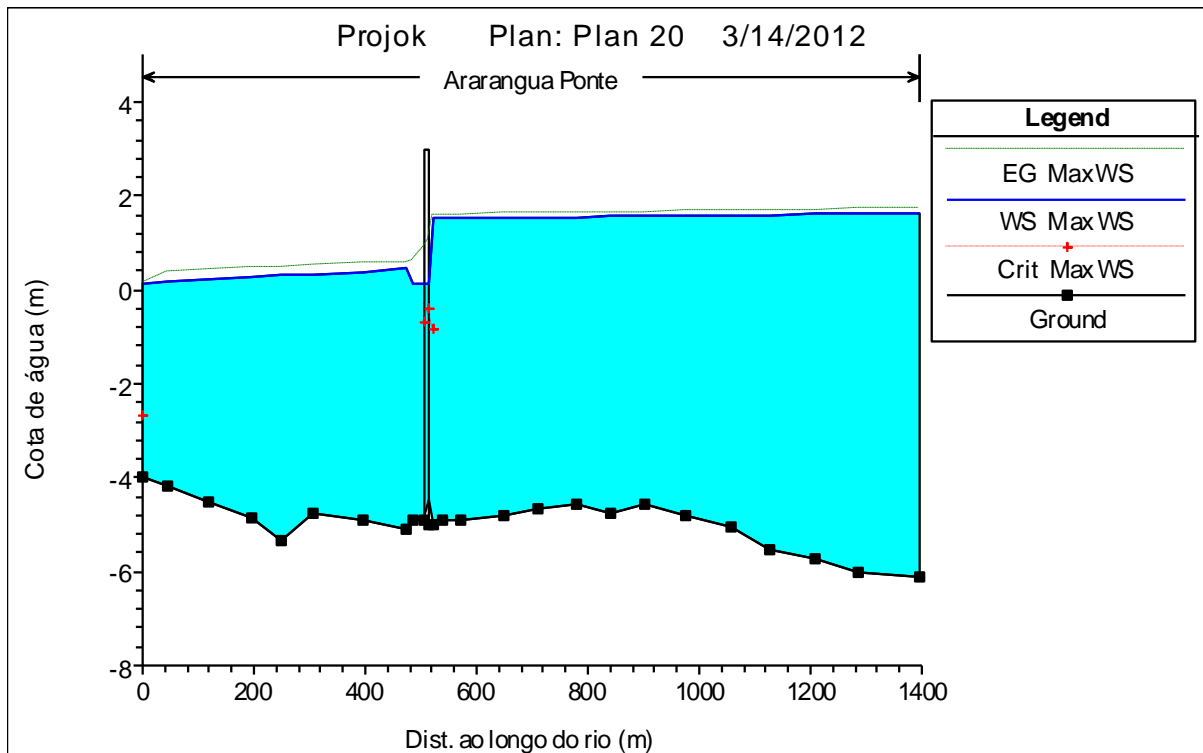


Figura 7 - Perfil - Alternativa B - Tr = 2 anos.

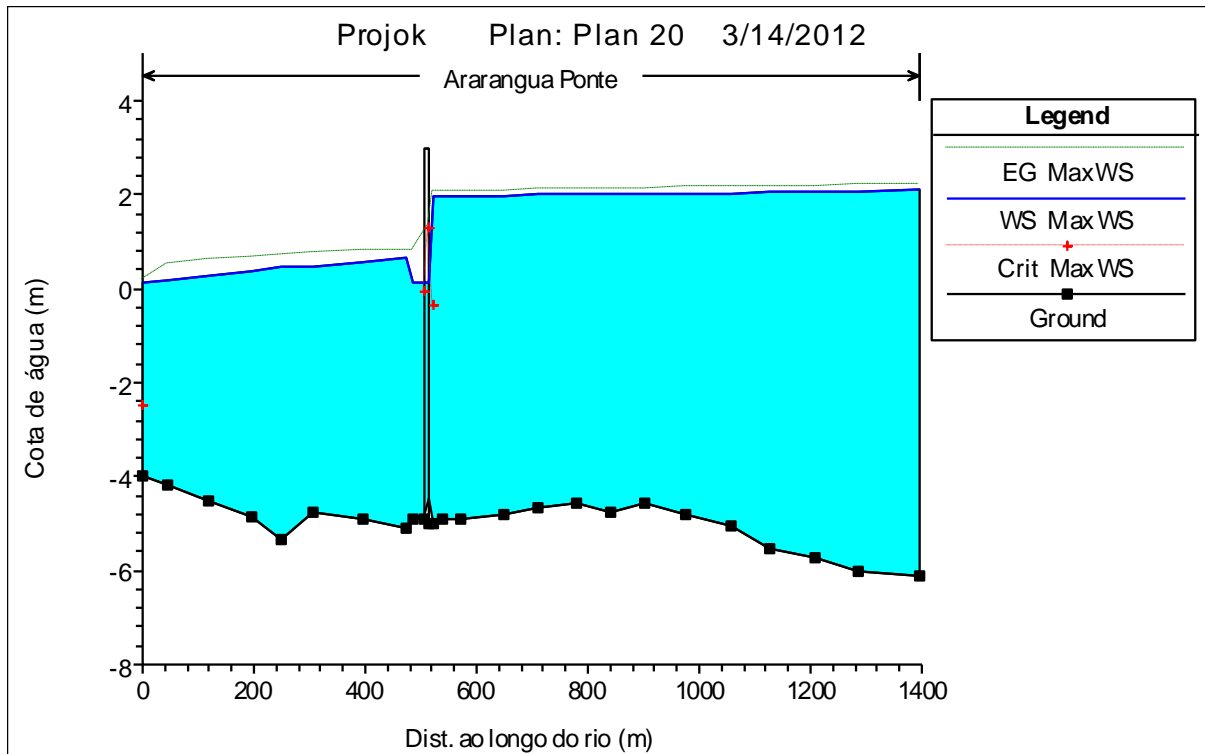


Figura 8 - Perfil - Alternativa B - Tr = 4 anos.

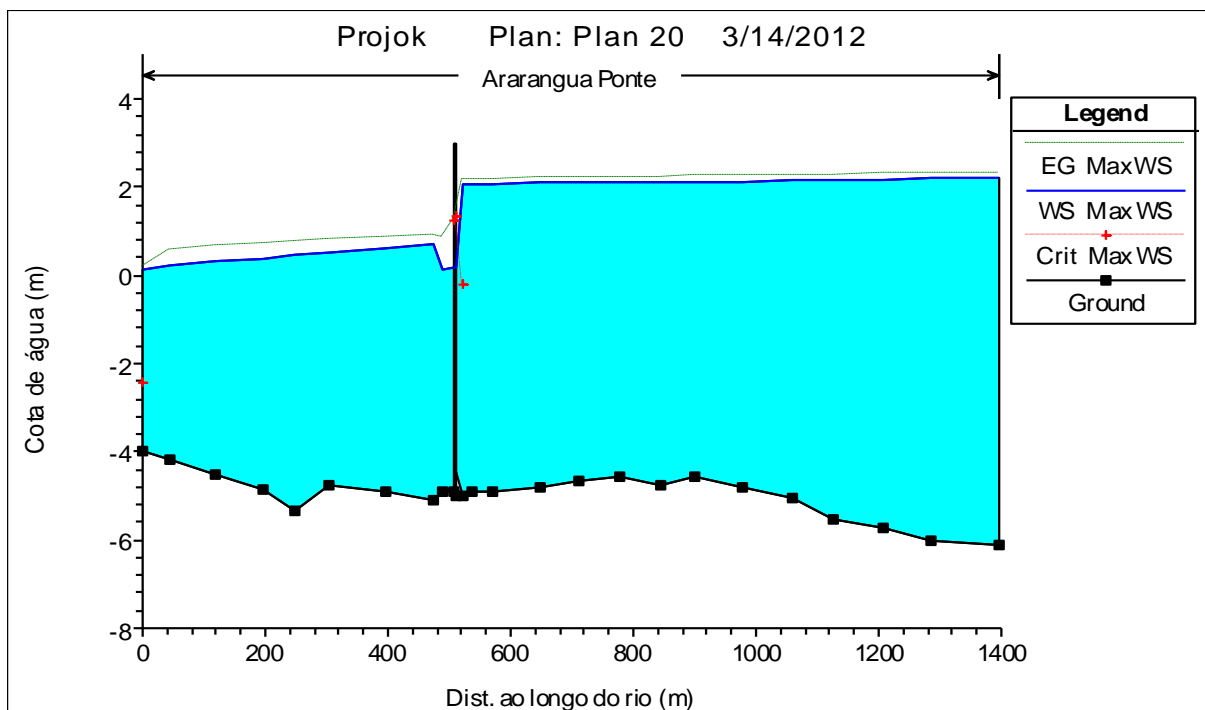


Figura 9 - Perfil - Alternativa B - Tr = 5 anos.

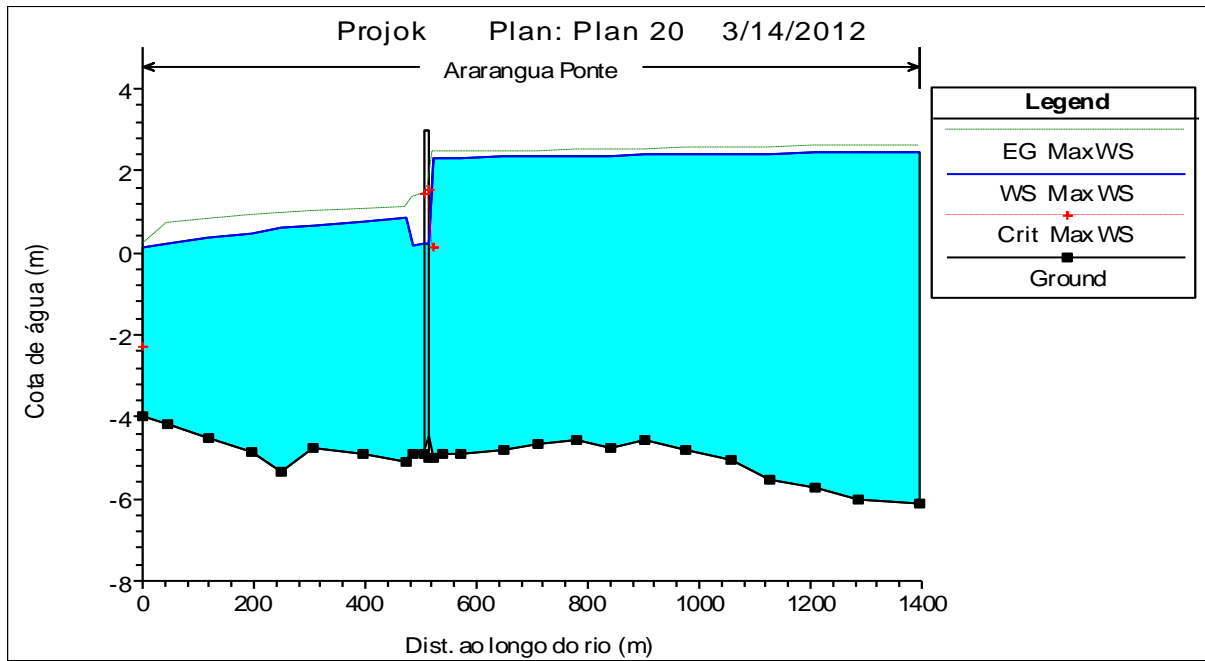


Figura 10 - Perfil - Alternativa B - Tr = 10 anos.

## 6. CONCLUSÕES

Este estudo avalia algumas alternativas para a transposição dos 87 metros entre a margem esquerda do Rio Araranguá e o cabeço interno do molhe norte a ser construído. Duas alternativas de pontes foram analisadas.

A ponte necessária para a transposição do canal exige uma estrutura robusta, em função da carga a qual será submetida. O dimensionamento da ponte deve suportar caminhões fora da estrada, que transitarão a mesma no período de obra. Após o término da obra, a estrutura não terá mais a mesma utilidade, se tornando apenas um meio de acesso ao molhe norte para pedestres.

Para o conceito da execução de uma ponte duas alternativas foram balizadas. A Alternativa A apresenta uma ponte de 100 metros de comprimento, com uma largura de 6 metros e inclinação de 4,5%. Já a alternativa B apresenta uma ponte de 80 metros de comprimento, de mesma largura e inclinação de 6%.

Os resultados para essas alternativas tiveram grandes similaridades e as duas opções se mostraram aceitáveis. A alternativa B, da ponte de 80 metros, se mostrou o limite mínimo para que os resultados, considerando as vazões calculadas, fossem aceitáveis para um período de retorno de 10 anos, e a alternativa A se mostrou mais conservadora.

É importante salientar que com a execução da ponte o cronograma de obra dos molhes terá a necessidade de revisão, sem, entretanto, exigir uma alteração em sua metodologia construtiva. O projeto da ponte deverá considerar o efeito erosivo causado pela alta tensão de cisalhamento do fluxo sob a estrutura.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRUTSAERT, W.; HOUGHTALEN, R. J. Hydrology: an introduction. New York: Cambridge University Press, 2005. 605p.

DINGMAN, S. L. Physical Hydrology. Waveland Press, Inc. Long Grove, Illinois, 2008, 646p.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Metodologia para regionalização de vazões. Rio de Janeiro. v. 1, 1985.

HEC - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Version 4.0. US Army Corps of Engineers, Davis, USA, 2008, 747p.

NOVAES, L. F.; PRUSKI, F. F.; QUEIROZ, D. O.; RODRIGUEZ, R. G.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Avaliação do desempenho de cinco metodologias de regionalização de vazões. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa.

SOUSA, H. T. Sistema computacional para regionalização de vazões. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2009. 86p.

SOUSA, H. T. Sistema computacional para Análises Hidrológicas. Brasília, DF: ANA; Viçosa, MG: UFV, 2009. 60p.

TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia – Ciência e Aplicação. 2.ed. 2. reimpr. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH. 2001, 943 p.