



	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>		PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>2/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>DADOS .....</b>	<b>5</b>
4.1	CARACTERÍSTICAS LOCAIS E PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS.....	5
4.1.1	<u>Padrões de Maré e Correntes.....</u>	<u>5</u>
4.1.2	<u>Ondas.....</u>	<u>6</u>
4.1.2.1	Ondas ao Largo.....	6
4.1.2.2	Ondas em Águas Rasas.....	6
4.1.3	<u>Taxa de <i>Overtopping</i> .....</u>	<u>7</u>
4.2	BATIMETRIA .....	8
4.3	FUNDAÇÕES .....	9
<b>5</b>	<b>CONCEPÇÃO DOS MOLHES.....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>SOLUÇÃO EM BERMA .....</b>	<b>9</b>
6.1	HISTÓRICO DE MOLHES EM BERMA .....	9
6.2	LARGURA DA BERMA.....	10
6.3	COTA DA BERMA .....	15
6.4	COTA DO COROAMENTO .....	16
6.5	TAXA DE <i>OVERTOPPING</i> E COROAMENTO .....	16
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>19</b>
<b>9</b>	<b>ANEXO A – CÁLCULO DA TAXA DE <i>OVERTOPPING</i> PELA FERRAMENTA <i>NEURALNETWORK</i>.....</b>	<b>20</b>

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>		PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>3/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Prefeitura de Araranguá tem o objetivo de viabilizar a implantação de dois molhes na Barra do Rio Araranguá, visando o melhor escoamento do rio em direção ao mar e aliviando as condições em caso de enchentes.

Para tal, a então Coastal Planning & Engineering do Brasil, empresa hoje pertencente à CB&I, foi contratada em 2009 para desenvolver um projeto conceitual de alternativas para a definição da melhor localização dos molhes, projeto básico estrutural destes, de dragagem, simulação de inundação, salinidade e outros.

No presente momento, a CB&I foi requisitada a revisar o projeto básico de engenharia, com os molhes localizados em frente à comunidade de Ilhas, buscando o não assoreamento do Rio Araranguá em frente à esta comunidade.

Dessa forma, os produtos abaixo serão revisados:

- Projeto do quebra-mar;
- Projeto de dragagem;
- Estudos de Transpasse de sedimentos;
- Plano de Construção;
- Orçamento.

A implantação do projeto (e por consequência o Orçamento) serão divididos em duas etapas de construção, denominadas Etapa 1 e Etapa 2. Os estudos restantes contemplam a solução completa.

## 2 OBJETIVO

Este documento tem por objetivo apresentar os procedimentos de cálculo do projeto estrutural do quebra-mar (molhes norte e molhe sul) do projeto de relocação dos molhes de fixação da barra do Rio Araranguá, localizado na região de Araranguá, SC, cuja finalidade é o melhor escoamento do rio em direção ao mar e aliviando as condições em caso de enchentes.

A figura a seguir mostra a localização dos estudos:

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>		PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>4/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

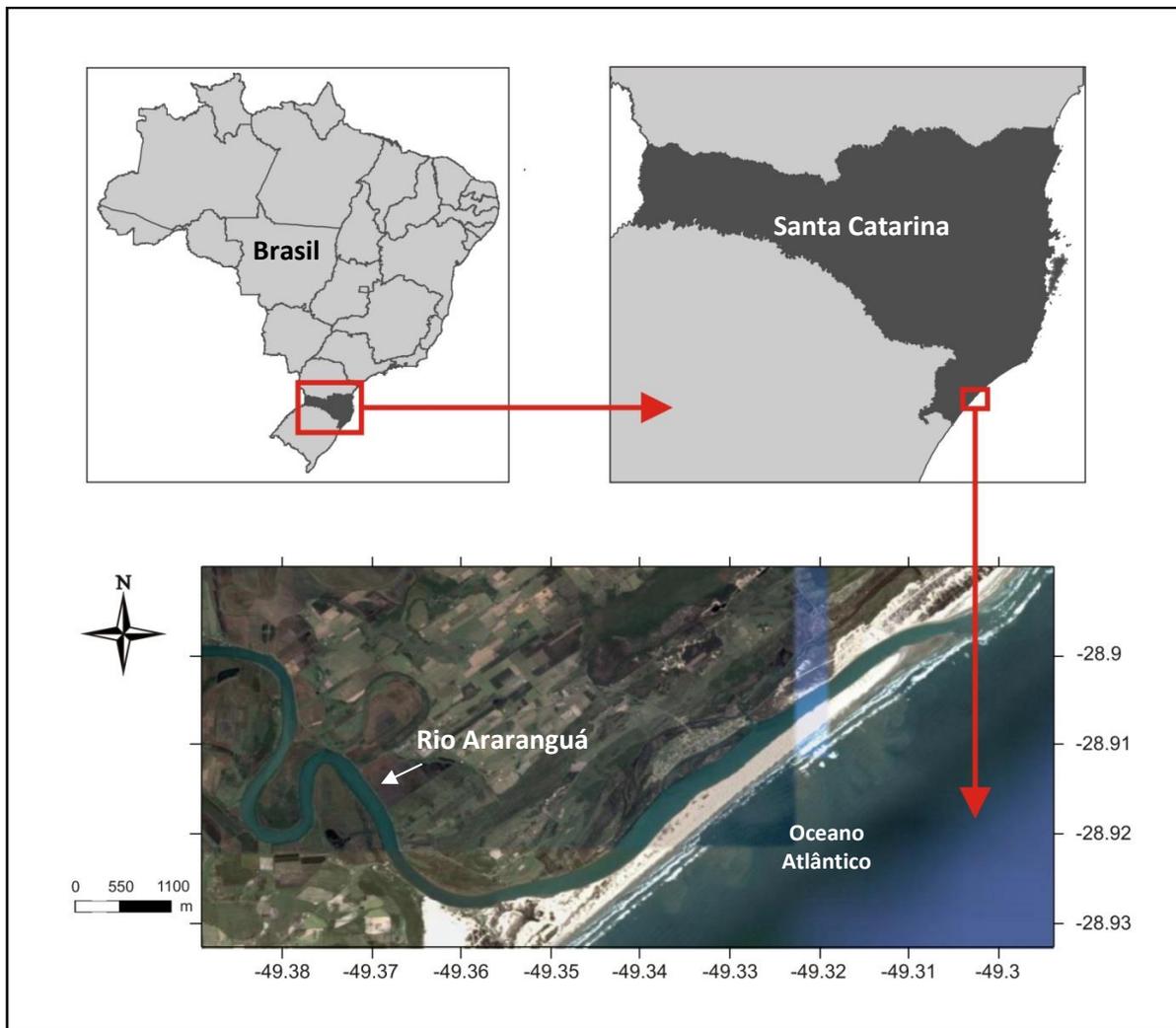


Figura 1: Localização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá apresenta escoamento em direção ao mar, assumindo uma direção oeste-leste (W-E). A bacia hidrográfica abrange uma área de 3.020 km<sup>2</sup>, sendo formada pela confluência dos rios Itoupava e Mãe Luzia, recebendo mais um tributário próximo à desembocadura, o Rio dos Porcos. Nos últimos 7 km do rio, o curso está voltado para a direção nordeste e paralelo à linha de costa, com seu canal cruzando uma barreira arenosa. A profundidade média no canal é de 3 m, podendo chegar a até 8,5 m, sendo que a desembocadura é mais rasa (entre 1 m e 3 m).

### 3 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Os documentos abaixo, emitidos no projeto anterior, serão utilizados na elaboração dos estudos.

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>	 ARARANGUÁ GOVERNO DO MUNICÍPIO	PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>5/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

5270089-PRJ-D-DCD-00001	CRITÉRIOS DE PROJETO
5270089-PRJ-D-DWG-00008	PLANTA CHAVE & SEÇÕES
5270089-PRJ-D-DWG-00009	ARRANJO GERAL DOS MOLHES – ETAPA 1
5270089-PRJ-D-DWG-00010	ARRANJO GERAL DOS MOLHES – ETAPA 2
5270089-PRJ-D-DWG-00011	SEÇÕES TRANSVERSAIS - MOLHE NORTE
5270089-PRJ-D-DWG-00012	SEÇÕES TRANSVERSAIS - MOLHE SUL
CPE_PrefArarangua_ProdutoI IV	INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS – SONDAÇÃO EM MAR ABERTO POR <i>JET PROBE</i>
CPE_PrefArarangua_ProdutoI X	DIMENSIONAMENTO E CONCEPÇÃO DA OBRA - PROJETO ESTRUTURAL DA ALTERNATIVA SELECIONADA

#### **4 DADOS**

Os dados a seguir são oriundos do documento 5270089-PRJ-D-DCD-00001, CRITÉRIOS DE PROJETO, e são essenciais ao dimensionamento estrutural do quebra-mar.

##### **4.1 CARACTERÍSTICAS LOCAIS E PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS**

###### **4.1.1 Padrões de Maré e Correntes**

Os níveis de marés em relação ao IBGE são os seguintes:

- Média das preamares superiores (MHHW): 0,12 m (NR-IBGE)
- Média das preamares inferiores (MLHW): -0,06 m (NR-IBGE)
- Nível médio de maré (MSL): -0,11 m (NR-IBGE)
- Média das baixa-mares superiores (MHLW): -0,18 m (NR-IBGE)
- Média das baixa-mares superiores (MLLW): -0,32 m (NR-IBGE)

De acordo com os dados apresentados pela IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), os valores no ano de 2060 sofrerão uma variação entre 0,05 m e 0,5 m. Adotou-se um aumento de 25 cm no nível de maré para os próximos 50 anos, valor conservativo, quando avaliados os dados apresentados pela IPCC.

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>		PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>6/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

Assim, para o projeto básico dos molhes foi assumido um nível de maré máximo de 0,37 m IBGE.

#### 4.1.2 Ondas

##### 4.1.2.1 Ondas ao Largo

De um modo geral, a agitação ao largo de Araranguá, é típica da região Sul do Brasil, com um clima de ondas relativamente severo. Os resultados são os seguintes:

- As maiores alturas significativas ao largo são provenientes dos setores SE ao SW;
- Altura significativa igual ou superior a 2,0 m ocorrem com uma frequência de 47,13%;
- As ondas mais frequentes têm períodos entre 6 s e 10 s com 63,03% do tempo;
- Períodos das ondas entre 10 s e 14 s ocorrem com uma frequência de 22,24% do tempo;
- Períodos de ondas superiores a 14 s ocorrem com uma frequência de 0,74% do tempo.

##### 4.1.2.2 Ondas em Águas Rasas

Um estudo de modelagem matemática de transformação de ondas disponíveis em águas profundas para a zona costeira foi realizado para estimar as alturas de ondas de água rasa. O gradiente de origem das ondas encontrado se restringiu somente aos setores E ao SSE. As ondas de projeto do relatório são apresentadas na Tabela 1.

PERÍODO DE RETORNO	Hs (m) – MOLHE SUL	Hs (m) – MOLHE NORTE
2	3,37	2,31
5	3,59	2,56
10	3,77	2,74
25	3,98	2,99
50	4,15	3,18
<b>100</b>	<b>4,32</b>	<b>3,36</b>
200	4,48	3,55

Tabela 1: Valores de Hs no ponto de análise para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anos, para a série reconstruída em águas rasas.

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>		PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>7/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

#### 4.1.3 Taxa de Overtopping

Foram considerados os critérios de *overtopping* internacionalmente aceitos, CIRIA-CUR (1991), Manual de Engenharia Costeira (USACE, 2005) e EUROTOP (2007). Estes critérios estão sintetizados na Tabela 2 para o presente projeto.

TIPO DE RISCO	OVERTOPPING UNITÁRIO $q$ (l/s/m)	NOTAS
<b>Condição Operacional – Pedestres</b>		
Pessoal treinado, bem protegido	1 – 10	
Pedestres cientes	0,1	
Pedestres sem conhecimento	0,03	Definido como uma condição excepcional
<b>Condição Operacional – Veículos</b>		
Dirigindo devagar	10 – 50	
Dirigindo em uma velocidade moderada ou alta + rua imediatamente atrás do coroamento	0,01 – 0,05	Definido como uma condição pessimista
<b>Condição Extrema – Proteção costeira/ Quebra-mar</b>		
Nenhum dano se o coroamento e submanto forem bem protegidos	50 – 200	

Tabela 2: Taxas de *overtopping* EUROTOP 2007.

#### Critérios de estabilidade para condições extremas:

- $q < 20$  a 50 l/s/m (CEM);
- $q < 20$  a 60 l/s/m (CIRIA-CUR);
- $q < 50$  a 200 l/s/m (Euro Top).

#### Critérios operacionais (veículos e pedestres):

- $q < 0,02$  a 0,05 l/s/m (CEM e CIRIA-CUR);
- $q < 0,1$  a 1 l/s/m (Euro Top).

No caso deste projeto, como não existe nenhuma estrutura de atracação adjacente aos molhes, o fluxo de *overtopping* deverá ser retido para minimizar o nível de agitação na entrada do canal e evitar danos ao manto interno e crista dos molhes.

Para este estudo preliminar serão adotados valores já utilizados em outros projetos similares. Dessa forma, os critérios de estabilidade aplicam-se às condições extremas (100 anos), enquanto os critérios operacionais aplicam-se para a onda anual. Foram utilizados os valores da Tabela 3.

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>		PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>8/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

PERÍODO DE RETORNO	$q_{max}$ (l/s/m)
1	1
100	20

Tabela 3: Taxas de *overtopping* consideradas para o projeto, segundo o EUROTOP 2007.

## 4.2 BATIMETRIA

A área de coleta do levantamento batimétrico de detalhe realizado em 2011 não contempla a atual área de projeção dos molhes norte e sul, locados próximos à desembocadura do Rio Araranguá. Desta forma, os dados da coleta anterior (Figura 2) foram utilizados e extrapolados para a área de interesse.

Os dados batimétricos foram identificados como planos na vizinhança dos futuros molhes. Nas proximidades destes, a declividade de fundo marinho adotada foi de aproximadamente 1,0%.

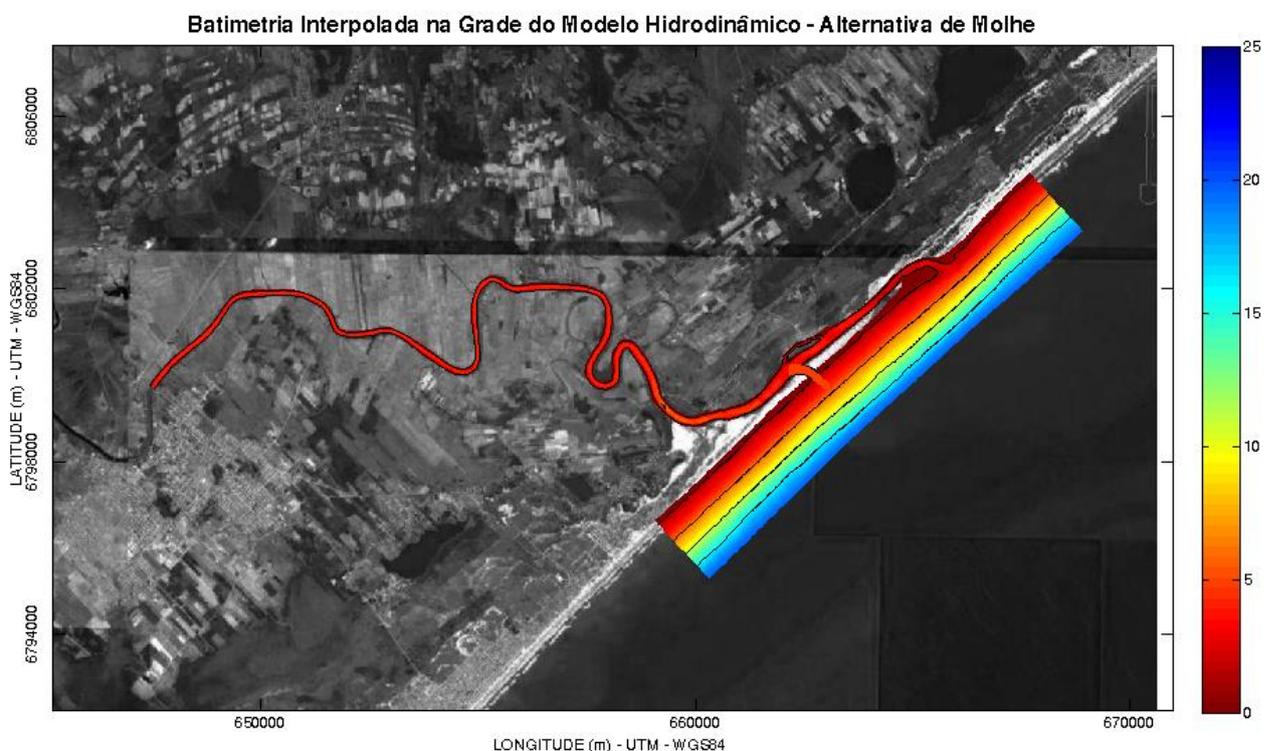


Figura 2. Batimetria interpolada na grade numérica do modelo hidrodinâmico-morfológico utilizada nas simulações. Batimetria do cenário com a presença de molhes próximos a comunidade de Ilhas.

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>		PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>9/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

#### 4.3 FUNDAÇÕES

De acordo com as sondagens realizadas na região das dunas, existe uma camada inicial de areia, de aproximadamente 7 a 9 m, bastante compacta. Os resultados das sondagens em mar, realizadas com o método *Jet Probe*, mostraram a presença de areia fina até 6 m de penetração.

Portanto, para esta fase do projeto foi considerado que o fundo marinho tem capacidade de suporte para a estrutura dos molhes. Durante o projeto executivo deve ser verificada a estabilidade geotécnica dos molhes quanto à ruptura e ao recalque.

### 5 CONCEPÇÃO DOS MOLHES

A concepção dos molhes foi feita considerando-se os fatores acima, conjugados com a solução em berma. Nos tópicos abaixo serão apresentados uma introdução à solução em berma e em seguida os cálculos para dimensionamento dos molhes.

### 6 SOLUÇÃO EM BERMA

#### 6.1 HISTÓRICO DE MOLHES EM BERMA

Um molhe em berma é uma estrutura de enrocamentos que inclui uma berma porosa de rocha para dissipar a energia das ondas. Hoje em dia, existem variações e diferentes compreensões de molhes em berma.

O conceito geral de um molhe em berma tem um passado que data do século XIX, como os molhes de Cherbourg e Plymouth. Contudo, a introdução formal do conceito do molhe em berma na engenharia costeira ocorreu na década de 1980, com o projeto do primeiro molhe em berma de Keflavik, na Islândia, (Baird and Hall, 1984) e as extensas pesquisas realizadas por van der Meer (1988). Após o sucesso do molhe de Keflavik, vários outros foram construídos na Islândia, Noruega, Canadá, Estados Unidos e Brasil.

Os projetos de molhes em berma permitem variados graus de movimento dos blocos de rocha e reforma (*reshapping*) do perfil externo da berma. Molhes em berma, estaticamente estáveis, são projetados para permitir um mínimo de movimento dos blocos e, portanto, pequena alteração no perfil da berma. Os molhes em berma dinamicamente estáveis são projetados para permitir um significativo movimento dos blocos da berma e reformar o perfil da berma, segundo as condições de projeto.

Como em qualquer projeto de berma, a qualidade das rochas e a durabilidade são fatores críticos; esse aspecto é particularmente importante para os molhes dinamicamente

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>		PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>10/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

estáveis (significativo *reshapping*), visto que o movimento dos blocos resulta em impactos que podem fraturar os mesmos.

Hoje em dia, a tendência é no sentido de se reduzir os movimentos dos blocos de rocha, ou o impacto dos blocos e o perfil da berma, por efeito da ação das ondas. Desconhecendo a qualidade de rocha das pedreiras próximas da obra, esta seção foi projetada como estaticamente estável.

O arranjo geral dos molhes pode ser observado no documento 5270089-PRJ-D-DWG-00011 (ARRANJO GERAL DOS MOLHES).

## 6.2 LARGURA DA BERMA

Os cálculos de estabilidade dos molhes de abrigo em berma foram realizados de acordo com as normas internacionais e, neste caso, foi utilizada a fórmula de Hall e Kao. O cálculo mais importante é o da largura da berma, calculado da seguinte maneira:

$$B_b = D_{50} \left[ -10,4 + 0,51 \left( \frac{H_s}{\Delta_a D_{50}} \right)^{2,5} + 7,5 \left( \frac{D_{85}}{D_{15}} \right) - 1,1 \left( \frac{D_{85}}{D_{15}} \right)^2 + 6,1 * P_r \right]$$

onde:

$B_b$  = largura da berma (m);

$H_s$  = altura significativa de onda (m), ver item 4.1.2;

$D_{50}$  = diâmetro nominal das rochas com 50% dos diâmetros abaixo de  $D_{50}$ ;

$D_{85}$  = 85% das rochas na graduação da berma possuem um diâmetro menor que  $D_{85}$ ;

$D_{15}$  = 15% das rochas na graduação da berma possuem um diâmetro menor que  $D_{15}$ ;

$P_r$  = porcentagem do número de rochas arredondadas.

Neste caso, foram utilizados molhes de abrigo com as seguintes categorias de enrocamentos na berma:

- Molhe Sul: 500-2.000 kg, 1.000-4.000 kg e 2.000-6.000 kg.
- Molhe Norte: 500-2.000 kg e 1.000-4.000 kg.

As curvas de graduação, mostradas na Figura 3, idealizadas de acordo com o método de Rosin-Rammler, foram traçadas para as três categorias citadas acima.

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>		PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>11/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

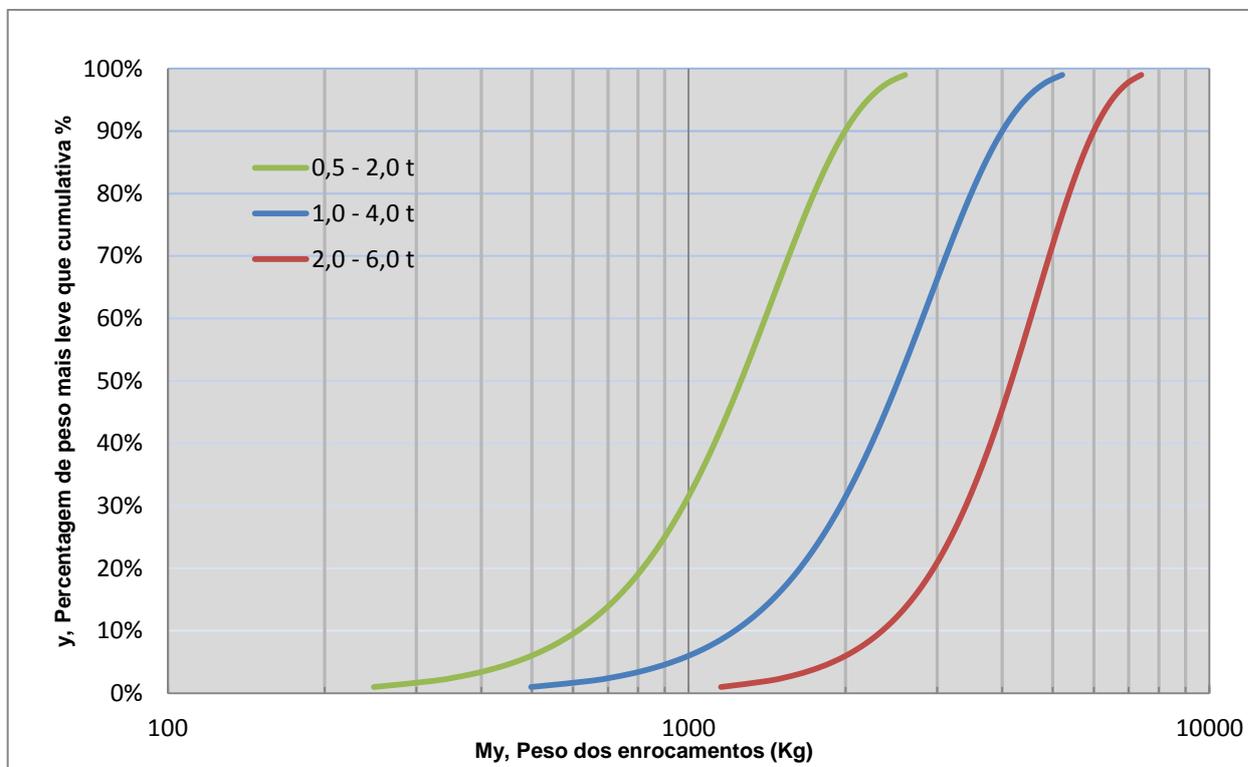


Figura 3: Curvas idealizadas de *Rosin-Rammler* para as categorias de rocha dos molhes sul e norte.

Conforme as curvas da Figura 3, é mostrada na Tabela 4, a distribuição das massas para as diferentes categorias.

CATEGORIAS (kg)	M15 (kg)	M50 (kg)	M85 (kg)
500 -2.000	725	1.260	1.855
1.000 – 4.000	1.450	2.525	3.715
2.000 – 6.000	2.685	4.170	5.655

Tabela 4: Distribuição das massas para cada categoria.

Levando em consideração uma porcentagem do número de pedras arredondadas em torno de 90%, o cálculo resulta, aproximadamente, em valores de berma conforme apresentado no resumo da Tabela 10. Entre a Tabela 5 e a Tabela 9 é possível verificar o cálculo realizado para obtenção destes valores.

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>		PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>12/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

<b>PARÂMETROS DE ENTRADA</b>		
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UN</b>
Altura de Onda, $H_s$	3,36	m
Massa de bloco para a qual 15% da massa total da amostra é de blocos mais leves, $M_{15}$	1.450	kg
Massa de bloco para a qual 50% da massa total da amostra é de blocos mais leves, $M_{50}$	2.525	kg
Massa de bloco para a qual 85% da massa total da amostra é de blocos mais leves, $M_{85}$	3.715	kg
Massa específica da água, $\rho_a$	1.025	kg/m <sup>3</sup>
Massa específica da rocha, $\rho_r$	2.600	kg/m <sup>3</sup>
Porcentagem de rochas arredondadas, $Pr$	90	%

<b>DADOS CALCULADOS</b>		
$Dn_{15}$	0,82	m
$Dn_{50}$	0,99	m
$Dn_{85}$	1,13	m
Largura da Berma, $B_b$	6,9	m

Tabela 5: Cálculo da largura de berma da seção B-B do molhe norte.

<b>PARÂMETROS DE ENTRADA</b>		
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UN</b>
Altura de Onda, $H_s$	2,1	m
Massa de bloco para a qual 15% da massa total da amostra é de blocos mais leves, $M_{15}$	725	kg
Massa de bloco para a qual 50% da massa total da amostra é de blocos mais leves, $M_{50}$	1.260	kg
Massa de bloco para a qual 85% da massa total da amostra é de blocos mais leves, $M_{85}$	1.850	kg
Massa específica da água, $\rho_a$	1.025	kg/m <sup>3</sup>
Massa específica da rocha, $\rho_r$	2.600	kg/m <sup>3</sup>
Porcentagem de rochas arredondadas, $Pr$	90	%
<b>DADOS CALCULADOS</b>		
$Dn_{15}$	0,65	m
$Dn_{50}$	0,79	m
$Dn_{85}$	0,89	m
Largura da Berma, $B_b$	4,2	m

Tabela 6: Cálculo da largura de berma da seção C-C do molhe norte.

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>	 <b>ARARANGUÁ</b> GOVERNO DO MUNICÍPIO	PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>13/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

<b>PARÂMETROS DE ENTRADA</b>		
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UN</b>
Altura de Onda, $H_s$	4,32	m
Massa de bloco para a qual 15% da massa total da amostra é de blocos mais leves, $M_{15}$	2.685	kg
Massa de bloco para a qual 50% da massa total da amostra é de blocos mais leves, $M_{50}$	4.170	kg
Massa de bloco para a qual 85% da massa total da amostra é de blocos mais leves, $M_{85}$	5.655	kg
Massa específica da água, $\rho_a$	1.025	kg/m <sup>3</sup>
Massa específica da rocha, $\rho_r$	2.600	kg/m <sup>3</sup>
Porcentagem de rochas arredondadas, $Pr$	90	%

<b>DADOS CALCULADOS</b>		
$Dn_{15}$	1,01	m
$Dn_{50}$	1,17	m
$Dn_{85}$	1,30	m
Largura da Berma, $B_b$	8,7	m

Tabela 7: Cálculo da largura de berma da seção B-B do molhe sul.

<b>PARÂMETROS DE ENTRADA</b>		
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UN</b>
Altura de Onda, $H_s$	2,85	m
Massa de bloco para a qual 15% da massa total da amostra é de blocos mais leves, $M_{15}$	1.450	kg
Massa de bloco para a qual 50% da massa total da amostra é de blocos mais leves, $M_{50}$	2.525	kg
Massa de bloco para a qual 85% da massa total da amostra é de blocos mais leves, $M_{85}$	3.715	kg
Massa específica da água, $\rho_a$	1.025	kg/m <sup>3</sup>
Massa específica da rocha, $\rho_r$	2.600	kg/m <sup>3</sup>
Porcentagem de rochas arredondadas, $Pr$	90	%

<b>DADOS CALCULADOS</b>		
$Dn_{15}$	0,82	m
$Dn_{50}$	0,99	m
$Dn_{85}$	1,13	m
Largura da Berma, $B_b$	5,7	m

Tabela 8: Cálculo da largura de berma da seção C-C do molhe sul.

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>	 ARARANGUÁ GOVERNO DO MUNICÍPIO	PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>14/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

PARÂMETROS DE ENTRADA		
DESCRIÇÃO	VALOR	UN
Altura de Onda, $H_s$	1,8	m
Massa de bloco para a qual 15% da massa total da amostra é de blocos mais leves, $M_{15}$	725	kg
Massa de bloco para a qual 50% da massa total da amostra é de blocos mais leves, $M_{50}$	1.260	kg
Massa de bloco para a qual 85% da massa total da amostra é de blocos mais leves, $M_{85}$	1.85	kg
Massa específica da água, $\rho_a$	1.025	kg/m <sup>3</sup>
Massa específica da rocha, $\rho_r$	2.600	kg/m <sup>3</sup>
Porcentagem de rochas arredondadas, $Pr$	90	%
DADOS CALCULADOS		
$Dn_{15}$	0,65	m
$Dn_{50}$	0,79	m
$Dn_{85}$	0,89	m
Largura da Berma, $B_b$	3,7	m

Tabela 9: Cálculo da largura de berma da seção D-D do molhe sul.

MOLHE NORTE			
Seção Tipo	Altura Significativa de Onda ( $H_s$ - m)	Cota de assentamento (m - IBGE)	Largura da berma (m)
A-A*	3,36	-4,5	10,0
B-B	3,36	-4,5 a -3,0	7,0
C-C	2,10	-3,0 a -1,0	4,5
D-D*	-	-3,80	4,5
MOLHE SUL			
Seção Tipo	Altura Significativa de Onda ( $H_s$ - m)	Cota de assentamento (m - IBGE)	Largura da berma (m)
A-A*	4,32	-6,5	12,0
B-B	4,32	-6,0 a -4,0	9,0
C-C	2,85	-4,0 a -2,0	6,0
D-D	1,80	-2,0 a -1,0	4,0
E-E*	-	-2,50	4,0

Tabela 10: Largura da berma para as diferentes seções tipo.

\*Estas seções tipo correspondem aos cabeços iniciais e finais de cada molhe, portanto uma cota média foi estimada.

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>	 <b>ARARANGUÁ</b> GOVERNO DO MUNICÍPIO	PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>15/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

As seções tipo são apresentadas nos desenhos 5270089-PRJ-D-DWG-00011 (ARRANJO GERAL DOS MOLHES).

### 6.3 COTA DA BERMA

Para este tipo de molhe, a cota da berma é calculada em função da onda de projeto ajustada ao nível de maré máxima. Neste caso, temos o seguinte:

$$a_a = 0,2 * H_s$$

onde:

$H_s$  = altura de onda significativa, m;

$a_a$  = distância entre o nível de maré máxima de construção e o coroamento da berma.

Assim, teremos as seguintes cotas de berma para as diversas seções, conforme mostrado na Tabela 11.

<b>MOLHE NORTE</b>		
<b>Seção Tipo</b>	<b>Altura Significativa de Onda (<math>H_s</math> - m)</b>	<b>Cota da berma (m IBGE)</b>
A-A	3,36	1,20
B-B	3,36	1,20
C-C	2,10	0,80
D-D*	-	0,80
<b>MOLHE SUL</b>		
<b>Seção Tipo</b>	<b>Altura Significativa de Onda (<math>H_s</math> - m)</b>	<b>Cota da berma (m IBGE)</b>
A-A	4,32	1,50
B-B	4,32	1,50
C-C	2,85	1,00
D-D	1,80	0,80
E-E*	-	0,80

Tabela 11: Cota da berma para as diferentes seções tipo.

\*Para os cabeços dentro do rio, foi mantida a mesma altura de berma da seção anterior, a fim de proporcionar uma transição mais fácil de ser executada entre o cabeço e o tronco durante a obra.

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>		PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>16/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

#### 6.4 COTA DO COROAMENTO

A cota do coroamento foi calculada em função das taxas de *overtopping*. O valor do bordo livre foi somado ao valor do nível de maré máximo do projeto de 0,37 metros. Portanto, têm-se neste caso, as alturas de coroamento mostradas na Tabela 7.

Nos desenhos 5270089-PRJ-D-DWG-00012 (SEÇÕES TRANSVERSAIS – MOLHE NORTE) e 5270089-PRJ-D-DWG-00013 (SEÇÕES TRANSVERSAIS – MOLHE SUL), são apresentadas as seções dos molhes Norte e Sul para esta solução em berma.

As seções tipo que passam pela praia (sem influência direta das ondas) podem ser otimizadas durante o projeto executivo, diminuindo, assim as quantidades desta solução em berma.

<b>MOLHE NORTE</b>		
<b>Seção Tipo</b>	<b>Altura Significativa de Onda (H<sub>s</sub> - m)</b>	<b>Cota do coroamento (m IBGE)</b>
A-A	3,36	5,00
B-B	3,36	5,00
C-C	2,10	3,00
D-D*	-	3,00
<b>MOLHE SUL</b>		
<b>Seção Tipo</b>	<b>Altura Significativa de Onda (H<sub>s</sub> - m)</b>	<b>Cota do coroamento (m IBGE)</b>
A-A	4,32	6,00
B-B	4,32	6,00
C-C	2,85	4,20
D-D	1,80	3,00
E-E*	-	3,00

Tabela 12: Cota do coroamento para as diferentes seções tipo.

#### 6.5 TAXA DE OVERTOPPING E COROAMENTO

A cota e largura do coroamento são determinadas em função da taxa de *overtopping* e da largura do núcleo, que foi projetado para construção via terrestre.

O cálculo de *overtopping* foi realizado de acordo com o manual da EurOtop “*Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures*” ([www.overtopping-manual.com](http://www.overtopping-manual.com)). Para efeitos comparativos o *overtopping* foi calculado com dois métodos:

1. *NeuralNetwork* – Uma ferramenta disponível na pagina web acima. Os resultados

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>		PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>17/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

desse cálculo estão no Anexo A.

2. A fórmula proposta por Van der Meer e Jansen (1995).

A fórmula proposta na segunda metodologia apresentada é a seguinte:

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{mo}^3}} = 0,2 * EXP\left(-2,3 \frac{R_c}{H_{mo} \gamma_f \gamma_\beta}\right)$$

onde:

q - taxa média de *overtopping*, m<sup>3</sup>/s/m;

H<sub>mo</sub> - altura significativa de onda, m;

R<sub>c</sub> - *freeboard*, m;

γ<sub>f</sub> - parâmetro de rugosidade;

γ<sub>β</sub> - parâmetro de obliquidade da onda = 1 (assumido que as ondas chegam perpendiculares aos molhes de abrigo);

g - constante gravitacional, m/s<sup>2</sup>

PARÂMETROS DE ENTRADA					
DESCRIÇÃO	UN	SEÇÃO A	SEÇÃO B	SEÇÃO C	SEÇÃO D
Altura significativa de onda, H <sub>s</sub>	m	3,36	3,36	2,10	2,10
<i>Freeboard</i> , R <sub>c</sub>	m	4,63	4,63	2,63	2,63
Parâmetro de rugosidade, γ <sub>f</sub>	-	0,40	0,40	0,40	0,40
Parâmetro de obliquidade de onda, γ <sub>β</sub>	-	1,00	1,00	1,00	1,00
Aceleração da gravidade, g	m <sup>3</sup> /s	9,81	9,81	9,81	9,81
DADOS CALCULADOS					
Taxa média de <i>overtopping</i> , q	m <sup>3</sup> /s/m	0,00140	0,00140	0,00142	0,00142

Tabela 13: Cálculo da taxa média de *overtopping* para as seções do molhe norte.

PARÂMETROS DE ENTRADA						
DESCRIÇÃO	UN	SEÇÃO A	SEÇÃO B	SEÇÃO C	SEÇÃO D	SEÇÃO E
Altura significativa de onda, H <sub>s</sub>	m	4,32	4,32	2,85	1,80	1,80
<i>Freeboard</i> , R <sub>c</sub>	m	5,63	5,63	3,83	2,63	2,63
Parâmetro de rugosidade, γ <sub>f</sub>	-	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Parâmetro de obliquidade de onda, γ <sub>β</sub>	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Aceleração da gravidade, g	m <sup>3</sup> /s	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
DADOS CALCULADOS						
Taxa média de <i>overtopping</i> , q	m <sup>3</sup> /s/m	0,00313	0,00313	0,00133	0,00034	0,00034

Tabela 14: Cálculo da taxa média de *overtopping* para as seções do molhe sul.

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>		PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>18/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.: <b>0</b>

Os resultados com os dois métodos são mostrados na Tabela 15.

Métodos	Seção Tipo	Molhe Norte	Molhe Sul
<b>Neural Network (l/s/m)</b>	A-A	2,10	2,40
	B-B	2,80	3,25
	C-C	7,65	4,00
	D-D	7,30	3,30
	E-E	-	3,30
<b>TAW 2002 (l/s/m)</b>	A-A	1,40	3,15
	B-B	1,40	3,15
	C-C	1,42	1,33
	D-D	1,42	0,35
	E-E	-	0,35

Tabela 15: Resultados dos cálculos de *overtopping* para a solução estudada.

Como se pode notar, os dois métodos derivam valores que respeitam os critérios de projeto mencionados no item 4.1.3 (TAXA DE *OVERTOPPING*) para os molhes.

## 7 CONCLUSÕES

Os estudos preliminares apresentados neste relatório foram feitos de acordo com as normas internacionais para a concepção de molhes em mono capa. Alguns critérios de projeto foram assumidos de acordo com a experiência da equipe da CB&I Brasil em projetos similares. As principais recomendações para o projeto apresentado neste documento são descritas a seguir:

- Manter uma largura mínima do núcleo para facilitar a sua construção por via terrestre. Neste caso, a berma poderá funcionar como pista de rolamento;
- A solução adotada apresenta produtividade superior a outras metodologias construtivas, custos inferiores, quando comparado a soluções utilizando blocos de concreto e melhor aproveitamento da pedra.

Durante a fase elaboração do projeto executivo, deve ser verificada a estabilidade hidráulica e estrutural dos molhes. Recomenda-se o uso de modelos físicos bi-dimensional e tri-dimensional para as seguintes tarefas:

- No modelo bi-dimensional será verificada a taxa e volume de *overtopping*, estabilidade hidráulica e estrutural da armadura, pé de talude, manto interno e coroamento;

	NÚMERO CB&I BRASIL: <b>5270089-PRJ-D-CAL-00002</b>	 ARARANGUÁ GOVERNO DO MUNICÍPIO	PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>19/20</b>
RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ PROJETO BÁSICO MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES			REV.: <b>0</b>

- No modelo tri-dimensional será verificada a estabilidade hidráulica e estrutural do cabeço.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CIRIA, CUR, CETMEF (1991). **The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering** (2nd edition). C683, CIRIA, London.

USACE, 2005. **Coastal Engineering Manual**. U.S. Army Corps of Engineers.

D.H. Willis, W.F. Baird and O.T. Magoon (Editors), ASCE, Proc. **Berm Breakwaters: Unconventional Rubble-Mound Breakwaters**, Ottawa, Canada.

EUROTOP, 2007. **Wave Overtopping of Sea Defenses and Related Structures: Assesment Manual**.

Hall, K.R., Rauw, C.I., and Baird, W.F., 1983. **Wave Protection for an Offshore Runway Extension**, Alaska. Proceedings of Coastal Structures '83, ASCE.

Queens' University Coastal Engineering Laboratory (1991). **A Study of the Stability of Berm Breakwaters – Small Craft Harbours Branch Department of Fisheries and Oceans**.

SMITH, M.R. (ed.) 1999. Stone: **Building stone, rock fill and armourstone in constructions**. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 16.

Van der Meer, J.W., 1992. **Stability of the seaward slope of the berm breakwaters**. (Coastal Eng., 16 (1992) 205-234.

	NÚMERO CB&I BRASIL:		PÁGINA:
	NÚMERO CLIENTE:		<b>20/20</b>
<b>RELOCAÇÃO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ          PROJETO BÁSICO          MEMÓRIA DE CÁLCULO – PROJETO ESTRUTURAL DOS MOLHES</b>			REV.:  <b>0</b>

## 9 ANEXO A – CÁLCULO DA TAXA DE OVERTOPPING PELA FERRAMENTA NEURALNETWORK

### CÁLCULO USANDO NEURAL NETWORK – MOLHE NORTE

```

**
* Col 01          02          03          04          05          06          07          08
* q (m3/s/m)    q[ 2.50%]    q[ 5.00%]    q[25.00%]    q[50.00%]    q[75.00%]    q[95.00%]    q[97.50%]
0.1823E-02    0.1085E-03    0.1757E-03    0.7234E-03    0.1850E-02    0.4907E-02    0.1781E-01    0.2744E-01
a correction factor is applied: q = 0.2068E-02
0.2670E-02    0.2232E-03    0.3413E-03    0.1142E-02    0.2673E-02    0.6302E-02    0.1945E-01    0.2840E-01
a correction factor is applied: q = 0.2838E-02
0.7648E-02    0.4271E-03    0.7059E-03    0.3039E-02    0.7941E-02    0.1961E-01    0.6973E-01    0.1044
a correction factor is applied: q = 0.7652E-02
0.7318E-02    0.4216E-03    0.6676E-03    0.2955E-02    0.7686E-02    0.1839E-01    0.6871E-01    0.1062
a correction factor is applied: q = 0.7325E-02

```

### CÁLCULO USANDO NEURAL NETWORK – MOLHE SUL

```

**
* Col 01          02          03          04          05          06          07          08
* q (m3/s/m)    q[ 2.50%]    q[ 5.00%]    q[25.00%]    q[50.00%]    q[75.00%]    q[95.00%]    q[97.50%]
0.2215E-02    0.1741E-03    0.2506E-03    0.9448E-03    0.2164E-02    0.5277E-02    0.2061E-01    0.2965E-01
a correction factor is applied: q = 0.2422E-02
0.3108E-02    0.3208E-03    0.4186E-03    0.1439E-02    0.3124E-02    0.6476E-02    0.2056E-01    0.3492E-01
a correction factor is applied: q = 0.3243E-02
0.3975E-02    0.3212E-03    0.4439E-03    0.1748E-02    0.4074E-02    0.9579E-02    0.2936E-01    0.4296E-01
a correction factor is applied: q = 0.4060E-02
0.3205E-02    0.1784E-03    0.2711E-03    0.1283E-02    0.3449E-02    0.8532E-02    0.3032E-01    0.5646E-01
a correction factor is applied: q = 0.3334E-02
0.3198E-02    0.1952E-03    0.2724E-03    0.1279E-02    0.3416E-02    0.8172E-02    0.3166E-01    0.5229E-01
a correction factor is applied: q = 0.3327E-02

```