

GOVERNO DO ESTADO



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH**

**PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM**  
**ITAPEBUSSU - MARANGUAPE CE**

**VOLUME II - MEMÓRIA DE CÁLCULO**

**ANB**  
Água do Nordeste do Brasil LTDA

**FORTALEZA- CE**  
**NOVEMBRO DE 1998**

**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARA**



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH

**PROJETO EXECUTIVO DA  
BARRAGEM ITAPEBUSSU**

**VOLUME 2 - MEMÓRIA DE CÁLCULO**

Lote 02391 - Proj. X Seç. ( ) Index ( )  
Projeto Nº 230/02/B  
Volume \_\_\_\_\_  
Qtd. A4 \_\_\_\_\_ Qtd. A3 \_\_\_\_\_  
Qtd. A2 \_\_\_\_\_ Qtd. A1 \_\_\_\_\_  
Qtd. A0 \_\_\_\_\_ Outros \_\_\_\_\_



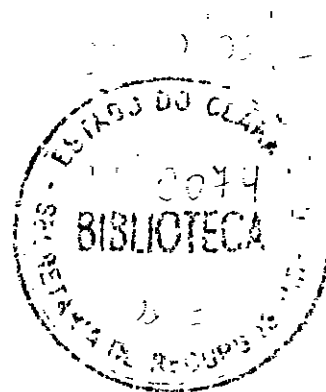
Av. Santos Dumont, 1687 - Sala 210, Aldeota  
CEP 60150-180 - Fortaleza - Ceará Fone/Fax (085) 264 3741  
CGC(MF) 00 647 338/0001-30 - INSC MUNICIPAL 125 364-6  
E-MAIL [anb@secret.com.br](mailto:anb@secret.com.br)

**FORTALEZA  
NOVEMBRO/98**

## ÍNDICE

<b>1 – SANGRADOURO.....</b>	<b>6</b>
1.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	6
1.2 – DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO .....	6
<b>1.2.1 – Dados de projeto.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.2 – Cálculo da largura do sangradouro (L).....</b>	<b>7</b>
<b>2 – DIMENSIONAMENTO DO MACIÇO.....</b>	<b>9</b>
2.1 - CÁLCULO DA FOLGA DA BARRAGEM.....	9
2.2 - CÁLCULO DA REVANCHE DA BARRAGEM.....	10
2.3 - CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO DA BARRAGEM.....	10
2.4 - CÁLCULO DA ALTURA MÁXIMA DA BARRAGEM .....	11
2.5 - CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO DA BARRAGEM.....	11
2.6 - PROTEÇÃO DO COROAMENTO DA BARRAGEM .....	11
2.7 - DETERMINAÇÃO DOS TALUDES DA BARRAGEM.....	12
2.8 – PROTEÇÃO DOS TALUDES DA BARRAGEM .....	12
2.9 – TALUDES DE MONTANTE.....	12
2.10 – TALUDE DE JUSANTE .....	15
2.11 – DRENAGEM INTERNA DA BARRAGEM.....	15
<b>2.11.1 - Cálculo da espessura do filtro vertical.....</b>	<b>16</b>
2.12 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE DOS TALUDES .....	17
<b>2.12.1 – Parâmetros dos materiais empregados na construção do maciço.....</b>	<b>17</b>
<b>2.12.2 – Resultados do cálculo das estabilidade dos taludes .....</b>	<b>19</b>
<b>3 – TOMADA D’ÁGUA E ESTRUTURA DA DISSIPAÇÃO.....</b>	<b>21</b>
3.1 – LOCALIZAÇÃO.....	21
3.2 – CÁLCULO DO DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO .....	21
3.3 – DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA LINEAR ( $H_{FL}$ ) .....	21
3.4 – PERDA DE CARGA LOCALIZADA ( $H_{FL}$ ) .....	23

3.5 – CÁLCULO DA PERDA DE CARGA TOTAL . . . . .	24
3.6 – COTA DE ASSENTAMENTO DA GALERIA E OS NÍVEIS OPERACIONAIS . . . . .	25
3.7 – CURVA DE DESCARGA EM FUNÇÃO DO NÍVEL A MONTANTE (N <sub>AM</sub> ) . . . . .	26
3.8 – DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE DISSIPACÃO . . . . .	26
3.9 – VERTEDOR DE JUSANTE DA TOMADA D'ÁGUA . . . . .	27
<b>4 - ANEXOS</b>	
4.1 – CÁLCULOS DA ESTABILIDADE DA BARRAGEM	
4.2 – PLANILHAS DE CUBAÇÃO DOS MATERIAIS DAS OBRAS	
4.3 – CÁLCULO ESTRUTURAL DA GALERIA E CAIXAS DE MONTANTE E JUSANTE DA TOMADA D'ÁGUA E MUROS DO SANGRADOURO	
<b>5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	



## **MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS OBRAS PARA IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM ITAPEBUSSU**

A presente memória trata do dimensionamento das obras para a implantação da Barragem Itapebussu, localizada no distrito homônimo, no município de Maranguape - Ce, quais sejam:

- 1. Sangradouro**
- 2. Barragem**
- 3. Tomada d' água**
- 4. Anexos**

**1 - SANGRADOURO**

© ANB\_trab\PROJETOS\Espelusi\BARRAGEM\Volume 2 - MEMORIA DE CALCULO (Espelusi).doc

900006

5

## 1 – SANGRADOURO

### 1.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para o sangradouro de serviço do Açude Itapebussu formado pela Barragem do mesmo nome será dimensionado em canal escavado com um cordão de fixação, com o objetivo de encaminhar as águas de sangria de volta ao curso natural do Rio São Gonçalo.

### 1.2 – DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO

O vertedouro de serviço da Barragem Itapebussu, tipo canal escavado em rocha, será dimensionado através da equação.

$$Q = C_o L H^{3/2}$$

Onde.

Q = descarga através do sangradouro

C<sub>o</sub> = coeficiente de descarga devido o tipo de vertedouro

L = largura do sangradouro

H<sub>o</sub> = lâmina máxima de sangria

#### 1.2.1 – Dados de projeto

No cálculo serão considerados os seguintes dados:

- Descarga milenar amortecida de projeto: .....  $Q_{1.000} = 226,6 \text{ m}^3/\text{s}$
- Descarga decamilenar amortecida de projeto.  $Q_{10.000} = 292,2 \text{ m}^3/\text{s}$
- Lâmina máxima adotada: .....  $H_o = 1,30\text{m}$
- Cota da soleira do vertedouro . ....  $C_s = 115,50$

### 1.2.2 - Cálculo da largura do sangradouro (L)

$$Q = C_o L H^{3/2}$$

Para vertedouro tipo soleira espessa  $C_o = 1,77$ , logo:

$$L = \frac{Q}{C_o H^{3/2}}$$

$$L = \frac{226,6}{1,77 \times 1,30^{3/2}}$$

$$L = 86,37 \text{ m}$$

Para o caso de ocorrer a descarga decamilenar, a lâmina atingirá a seguinte altura, para a largura dimensionada:

$$H_{10.000} = \left( \frac{Q_{10.000}}{C_o L} \right)^{2/3} = \left( \frac{292,2}{1,77 \times 86,37} \right)^{2/3}$$

$$H_{10.000} = 1,54 \text{ m}$$

Sendo a revanche da Barragem igual a 2,50m, a largura calculada satisfaz às condições de projeto.

Adota-se para o sangradouro uma largura de

$$L = 90,00 \text{ m}$$



## 2 – DIMENSIONAMENTO DO MACIÇO

C:\ANB\_trab\PROJETOS\Itapubá\BARRAGEM\Volume 2 - MEMÓRIA DE CÁLCULO (Itapubá).doc

000009

8

## 2 - DIMENSIONAMENTO DO MACIÇO

### 2.1 - CÁLCULO DA FOLGA DA BARRAGEM

A folga da barragem é dimensionada em função da ação dos ventos sobre a superfície da água, influenciando na velocidade e altura das ondas que se formam no lago.

Sendo a diferença entre a cota do coroamento e a cota do nível máximo das águas no lago, a folga é uma altura determinada pela seguinte equação empírica.

$$F = 0,75h_o + \frac{v_o^2}{2g}$$

Onde:  $h_o$  = altura das ondas (m), dada pela fórmula.

$$h_o = 0,75 + 0,34 \sqrt{f} - 0,26 \sqrt[4]{f}$$

com  $f$  = fetch do açude = 2,9km

$$h_o = 0,75 + 0,34 \sqrt{2,9} - 0,26 \sqrt[4]{2,9}$$

$$h_o = 0,99\text{m}$$

$v_o$  = velocidade das ondas (m/s), dada por

$$v_o = 1,5 + 2h_o$$

$$v_o = 1,5 + 2 \times 0,99$$

$$v_o = 3,48 \text{ m/s}$$

Então:

$$F = 0,75 \times 0,99 + 0,607$$

$$F = 1,35\text{m}$$

## 2.2 - CÁLCULO DA REVANCHE DA BARRAGEM

A revanche é determinada pela soma da lâmina máxima de sangria com a folga da barragem:

$$R = H_o + F$$

Sendo:

$H_o = 1,30\text{m}$  (lâmina máxima de sangria para descarga milenar amortecida =  $226,6 \text{ m}^3 / \text{s}$ , para um sangradouro com  $90,0 \text{ m}$  de largura. Foi verificado a lâmina máxima de sangria para descarga decamilenar amortecida =  $292,2 \text{ m}^3/\text{s}$  para o sangradouro com a mesma largura, obtendo-se  $H_o = 1,54\text{m}$ )

$$F = 1,35 \text{ m}$$

$$R = 1,30 + 1,35 = 2,65 \text{ m}$$

Então:

$$\mathbf{R = 2,65\text{m}}$$

## 2.3 - CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO DA BARRAGEM

A cota do coroamento é obtida, somando-se à cota da soleira do sangradouro o valor da revanche:

$$C_c = C_s + R$$

$$C_c = 115,50 + 2,65$$

$$C_c = 118,15$$

Adotou-se:

$$\mathbf{C_c = 118,00}$$

## 2.4 - CÁLCULO DA ALTURA MÁXIMA DA BARRAGEM

A altura máxima da barragem é dada pela seguinte expressão:

$$H_b = C_c - C_t$$

Onde.

$$C_c = \text{Cota do coroamento } 118,00$$

$$C_t = \text{Cota do talvegue do rio na seção barrada: } 104,60$$

$$H_b = 118,00 - 104,60$$

$$H_b = 13,40$$

## 2.5 - CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO DA BARRAGEM

Para o cálculo da largura da barragem, foi utilizada a fórmula de Preece:

$$B = 1,1 \sqrt{H_B} + 0,9$$

$$B = 4,92 \text{ m}$$

Adotou-se no projeto, uma largura de 6,00m para o coroamento

$$B = 6,00 \text{ m}$$

## 2.6 - PROTEÇÃO DO COROAMENTO DA BARRAGEM

O coroamento da barragem será projetado por uma camada de material GC, podendo ser utilizado o material de granulometria fina proveniente da exploração da pedreira, com 0,30m de espessura e receberá meios-fios laterais em concreto simples, no traço 1:3:6 (em volume)

Para facilitar o escoamento das águas pluviais, o coroamento deverá receber uma inclinação de 2% para montante e jusante, sendo previsto a cada 30,00m, saídas interrompendo o meio fio. Este recurso fará com que as águas pluviais que incidirem sobre a crista da barragem escoem tanto para montante como para o talude de jusante, eliminando a necessidade de calhas de descida.

## 2.7 - DETERMINAÇÃO DOS TALUDES DA BARRAGEM

Para a barragem, foram adotados os seguintes taludes:

### a) Talude de montante

- Cota 118,00 ao terreno natural - 2,5 (h) : 1 (v)

### b) Talude de jusante

- Cota 118,00 à cota 107,00 2,0 (h) : 1,0 (v)
- Cota 107,00 berma com 2,00m formando o rock-fill com talude de 1,5 (h) : 1,0 (v) até o terreno natural

## 2.8 - PROTEÇÃO DOS TALUDES DA BARRAGEM

Os taludes deverão ser protegidos contra erosões, causadas principalmente, no de montante, pela ação das ondas que se formam no lago e, no de jusante, pelas águas pluviais.

## 2.9 - TALUDES DE MONTANTE

O talude de montante será protegido por um rip-rap de pedras jogadas sobre uma camada de transição, ou seja, de um material de granulometria menor com diâmetro máximo < 0,10m podendo ser proveniente da escavação do sangradouro, ou caso esse material não for suficiente, usar da exploração da pedreira.

A espessura do rip-rap é dada pela seguinte equação, recomendada pelo "Tennessee Valley Authority" :

$$e = C v_o^2$$

onde,

$v_o$  = velocidade das ondas no lago = 3,48 m/s ( vide cálculo da folga)

C = coeficiente que depende da inclinação dos taludes e peso específico da rocha utilizada no rip-rap. No caso específico, como é mostrado na tabela abaixo, considerando-se talude 1 : 2,5 e  $\delta$  rocha = 2,50, tem-se C = 0,028;

TALUDE	C		
	$\delta = 2,50t/m^3$	$\delta = 2,65t/m^3$	$\delta = 2,80t/m^3$
12 : 1	0,024	0,022	0,020
4 : 1	0,027	0,024	0,022
3 : 1	0,028	0,025	0,022
2 : 1	0,031	0,028	0,023
1,5 : 1	0,036	0,032	0,026
1 : 1	0,047	0,041	0,038

Sendo:

Talude de montante - 2,5 : 1

$$\delta = 2,50 t/m^3$$

$$C = 0,031$$

Segundo Gaillard a velocidade da onda é obtida pela expressão

$$v = 1,5 + 2H$$

onde; H - altura da onda em (m)

v - velocidade da onda em (m/s)

Stevenson sugere para um "fetch" menor que 18,00 km,

$$H = 0,75 + 0,34 \sqrt{F} - 0,26 \sqrt[3]{F}$$

Assim para um "fetch " de 2,9km, tem-se H = 0,99 m

$$\text{Logo, } V = 3,48 \text{ m/s}$$

$$\text{Então, } e = 0,031 \times (3,48)^2$$

$$e = 0,375 \text{ m}$$

O "Army Corps Engineers" indica valores em forma de quadro, conforme mostrado a seguir

ALTURA DA ONDA (m)	ESPESSURA MÍNIMA DO ENROCAMENTO (m)
0,60 a 1,20	0,45

Segundo o "U.S. Bureau of Reclamation" para pequenas barragens a espessura mínima do enrocamento e o diâmetro dos blocos constituídos de pedras angulosas, varia de acordo com a dimensão do "fetch"

FETCH	ESPESSURA	PORCENTAGEM DOS BLOCOS em peso (ton.)			
		D máx (m)	D 25 (m)	D45 a 75 (m)	D25
1,5	0,45	0,50	0,15	0,05 - 0,15	0,05
3,0 a 4,0	0,60	0,75	0,30	0,15 - 0,30	0,15
8,0 a 10,0	0,75	1,25	0,50	0,25 - 0,50	0,25
15,0	0,90	2,50	1,00	0,50 - 1,00	0,50

**D<sub>n</sub> - Diâmetro do bloco correspondente a n% distribuição granulométrica da pedra utilizada.**

Adotaremos a indicação do "Bureau of Reclamation" para as dimensões do "Rip-Rap" Portanto, a espessura adotada será  $e = 0,70m$ , admitindo como valor intermediário.

A espessura adotada para transição deverá obedecer a seguinte relação

$$e_t \leq \frac{e_{np-rip}}{2}$$

Logo, a espessura da transição será:

$$e_t \leq 0,350 m$$

Adotaremos a  $e_t = 0,20m$

A dimensão máxima dos blocos do "Rip-Rap" deve ser  $\leq 0,70m$  As demais características granulométricas da transição com espessura mínima de 0,20m deverá apresentar a composição granulométrica a seguir:

FAIXA GRANULOMÉTRICA PARA A TRANSIÇÃO		
Peneira	Diâmetro (mm)	Faixa granulométrica (% que passa)
-	100	100
3"	76.2	87 - 100
2"	50.8	58 - 98
1 ½"	38.1	47 - 84
1"	25.4	38 - 59
¾ "	19.05	34 - 51
3/8 "	9.53	27 - 41
4	4.76	22 - 35
10	2	16 - 26
20	0.84	10 - 21
40	0.42	5 - 17
60	0.25	02 - 13
100	0.149	00 - 10
200	0.074	00 - 5

## 2.10 – TALUDE DE JUSANTE

Para a proteção do talude de jusante, foi previsto o uso do material proveniente da escavação do sangradouro colocado de forma graduado, ou seja, o material mais fino gradando para o mais grosso na face externa do talude. O diâmetro desse material está detalhado no Desenho da Seção Tipo, apresentado no volume dos desenhos.

## 2.11 – DRENAGEM INTERNA DA BARRAGEM

O sistema de drenagem interna da barragem será constituído por um enrocamento de rocha ou dreno-de-pé (rock-fill), situado na extremidade do talude de jusante, ligado a um filtro por um tapete drenante, assim como todo o material usado do desmonte do sangradouro desprovido de solos coesivos, empregado na execução do talude de jusante

O dreno-de-pé, formado por um prisma de rocha arrumadas, projetado à cota 107,00, tem a finalidade de baixar a linha freática aumentar a estabilidade do talude de jusante e facilitar a drenagem das águas freáticas e pluviais



Entre o dreno-de-pé e o maciço executado com material provindo da escavação do sangradouro isento de solo coesivo, é previsto um filtro de transição composto de duas camadas, sendo uma com 0,50m de espessura horizontal, de brita, com granulometria variável (tamanho 1 a 3) e a outra de 0,50m de espessura horizontal, de areia, com granulometria para filtro. Esta camada de areia é prolongada no tapete drenante até atingir o filtro vertical.

Para a areia utilizada deverão ser obedecidos os critérios de Terzaghi e Berthram, ou seja, critérios de proteção contra o carreamento das partículas mais finas e de garantia de permeabilidade, que são:

$$D_{15} \leq 0,4\text{mm}$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} < 20 \text{ (coeficiente de uniformidade)}$$

$$\frac{D_{15}(\text{Filtro})}{D_{15}(\text{Maciço})} = 5 \text{ a } 40$$

$$\frac{D_{15}(\text{Filtro})}{D_{85}(\text{Maciço})} \leq 5$$

As curvas granulométricas dos materiais de filtro deverão ser aproximadamente paralelas à curva do material do maciço

A posição do filtro vertical foi escolhida em função de garantir a coleta das águas de percolação, com o reservatório cheio, mesmo podendo ocorrer fissuras próximas ao coroamento da barragem. Seu topo foi fixado na cota 116,80 (lâmina máxima de projeto) .

#### 2.11.1 - Cálculo da espessura do filtro vertical

A espessura do filtro vertical capaz de dar vazão à descarga de projeto, será calculada através da equação de Darcy

$$Q_m = K_f \times l_f \times a_f$$

Onde:

$$K_f = \text{permeabilidade do filtro} = 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$l_f = 1,00$$

$$a_f = \text{área transversal do filtro} = e_f \times 1,00 \text{ (por metro linear)}$$

Então:

$$Q_m = 10^{-4} \times 1,00 \times e_f = 32,78 \times 10^{-9}$$

$$e_f = 32,78 \times 10^{-5} \text{ m, ou}$$

$$e_f = 0,0003278 \text{ m}$$

Tendo em vista aspectos construtivos, foi adotado no projeto, uma espessura igual a 1,00m.

$$e_f = 1,00 \text{ m}$$

## 2.12 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE DOS TALUDES

### 2.12.1 – Parâmetros dos materiais empregados na construção do maciço

#### a) Material Tipo 1 - Rip-Rap

Para a rocha, foram adotados os valores:

$$\text{Peso específico seco. } \gamma_s = 2,50 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Coesão: } C = 0,00 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{Ângulo de atrito interno: } \phi = 37^\circ$$

#### b) Material Tipo 2 - Material Argiloso (CL)

Ao parâmetros de resistência para o solo compactado foram obtidos a partir de um estudo de interpretação de um ensaio de cisalhamento direto, de uma amostra deformada proveniente da jazida n.º 5, para construção do maciço. O resultado obtido foi o seguinte.

$$\text{Peso específico seco máximo } \gamma_s = 1,84$$

$$\text{Umidade ótima: } h_{ótima} = 13,9\%$$

Classificação predominante: CL

$$\text{Coesão: } C = 0,22 \text{ kgf/cm}^2$$

Ângulo de atrito interno:  $\phi = 29,1^\circ$

O peso específico saturado,  $\gamma_{sat}$ , foi assim determinado:

$$\gamma_{sat} = \gamma_s (1 + h)$$

$$h = \frac{e}{\delta} \quad \text{onde:}$$

$e$  = índice de vazios

$\delta$  = peso específico das partículas de solo

Os parâmetros  $e$  e  $\delta$  foram estimados em função da classificação do solo (CL):

$$e = 0,57$$

$$\delta = 2,65 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Assim, } h = \frac{0,57}{2,65} = 0,22 \text{ (22\%)}$$

### c) Material Tipo 3 - Randon - material proveniente da escavação do sangradouro

Para o randon foram considerados os seguintes parâmetros:

Peso específico seco.  $\gamma_s = 2,00 \text{ t/m}^3$

Coesão:  $C = 0,00 \text{ kgf/cm}^2$

Ângulo de atrito interno:  $\phi = 30^\circ$

### d) Material Tipo 4 - Areia

Para a areia foram considerados os seguintes parâmetros

Peso específico seco:  $\gamma_s = 1,90 \text{ t/m}^3$

Coesão:  $C = 0,00 \text{ kgf/cm}^2$

Ângulo de atrito interno:  $\phi = 35,7^\circ$

$$\gamma_{sat} = \gamma_s (1 + h)$$

Para a areia, foram adotados os valores

$$e = 0,53 \text{ m}$$

$$\delta = 2,65 \text{ t/m}^3$$

$$h = \frac{0,53}{2,65} = 0,20$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,90 (1 + 0,20) = 2,28 \text{ t/m}^3$$

**e) Material Tipo 5 - Rock-Fill**

Peso específico seco:  $\gamma_s = 2,50 \text{ t/m}^3$

Coesão:  $C = 0,00 \text{ kgf/cm}^2$

Ângulo de atrito interno:  $\phi = 37^\circ$

**f) Material Tipo 6 - Fundação**

Peso específico seco:  $\gamma_s = 1,78 \text{ t/m}^3$

Coesão:  $C = 0,20 \text{ kgf/cm}^2$

Ângulo de atrito interno:  $\phi = 28^\circ$

**2.12.2 – Resultados do cálculo das estabilidade dos taludes**

Os resultados das análises de estabilidade obtidos para a condição de final de construção, os quais estão apresentados no anexo 1 deste volume foram:

Talude de montante F.S. = **1,61**

Talude de jusante F.S. = **1,51**

### 3 - TOMADA D'ÁGUA E ESTRUTURA DA DISSIPAÇÃO

C:\ANB\_trab\PROJETOS\Itapebus\BARRAGEM\Volume 2 - MEMORIA DE CALCULO (Itapebus).doc

000021

20

### 3 – TOMADA D'ÁGUA E ESTRUTURA DA DISSIPACÃO

#### 3.1 – LOCALIZAÇÃO

A tomada d'água acha-se localizada na Estaca 4 + 00 e está parcialmente assente em rocha do tipo granitóide, cuja diretriz faz um ângulo de 90° com o eixo da barragem, ficando o controle de vazão localizado no lado de jusante, através de registros de gaveta de ferro fundido.

#### 3.2 – CÁLCULO DO DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO

O cálculo do diâmetro será desenvolvido em função da vazão regularizada, utilizando-se a fórmula do diâmetro econômico, então desenvolvida por Lencastre (1983), que tem a seguinte expressão:

$$D = 0,95 \times Q^{0,43}$$

Onde

D = diâmetro em metro

Q = vazão em m³/s

Logo, para uma vazão regularizada,  $Q_{90\%} = 100$  l/s, tem-se

$$D = 0,95 \times 0,100^{0,43} \quad \therefore$$

$$D = 0,353\text{m}$$

Adotou-se o diâmetro **D = 400mm**

#### 3.3 – DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA LINEAR (H<sub>FD</sub>)

Empregando-se a expressão de Hazen-Williams, tem-se

$$J = \frac{1,49^2 Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,87}}, \text{ onde.}$$

J = perda de carga unitária em m/m;

$Q$  = vazão em  $m^3/s$ ;

No caso, serão consideradas as seguintes vazões.

- $Q_{90\%} = 100l/s$  ( $0,100m^3/s$ )
- $Q_{galera} = \frac{Q_{90\%}}{2} = 50l/s$  ( $0,050m^3/s$ )

$C$  = coeficiente de rugosidade: adotado igual a 90 ( normalmente usa-se o aço soldado)

$D$  = diâmetro da tubulação em metro: 0,40m

$L$  = 45,00m (extensão da galera)

Daí, tem-se:

$$J = \frac{10,643 \times Q^{1,85}}{90^{1,85} \times 0,400^{4,87}} = 0,224 \times Q^{1,85}$$

Para toda a extensão da tubulação, resulta:

$$H_{fd} = J \times L = 0,224 \times Q^{1,85} \times 45,00$$

$$H_{fd} = 10,08 \times Q^{1,85}$$

Assim:

Vazões de Operação	Perda de carga linear (m.c.a) $H_{fd} = 10,08 \times Q^{1,85}$
$Q_{90\%} = 100l/s$ ( $0,100m^3/s$ )	0,142
$Q_{galera} = \frac{Q_{90\%}}{2} = 50l/s$ ( $0,05m^3/s$ )	0,039

### 3.4 – PERDA DE CARGA LOCALIZADA (H<sub>fl</sub>)

Adotando-se a expressão geral para perda de carga localizada, tem-se

$$H_{fl} = \frac{V^2}{2g}$$

Onde:

V = velocidade em m/s;

g = aceleração da gravidade

Perdas a serem consideradas pelas seguintes peças:

- a) Crivo Ø 400mm. .... .k = 0,40
- b) Registro Ø 400mm... ..k = 2x0,20 = 0,40
- c) Uma saída. .... .k = 1,0

Logo,

$$K_{total} = 1,80$$

Assim,

$$H_{fl} = K \frac{V^2}{2g}$$

Mas sabemos que:

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{Q^2}{A^2} = \frac{Q^2}{2g \left( \frac{\pi D^2}{4} \right)^2}$$

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{16xQ^2}{2xgx\pi^2xD^4} = \frac{16xQ^2}{2x9,81x3,1416^2x0,400^4} = 3,227 Q^2$$



Logo

$$H_{fr} = 1,8 \times 3,227 \times Q^2 \text{ ou}$$

$$H_{fr} = 5,8 \times Q^2$$

Vazões de Operação	Perda de carga linear (m.c.a) $H_{fd} = 5,8 \times Q^2$
$Q_{90\%} = 100/s (0,100m^3/s)$	0,058
$Q_{alerta} = \frac{Q_{90\%}}{2} = 50/s (0,05m^3/s)$	0,015

### 3.5 – CÁLCULO DA PERDA DE CARGA TOTAL

$$H_r = H_{fd} + H_{fr}$$

$$H_r = 10,08 \times Q^{1,85} + 5,8 \times Q^2$$

O quadro a seguir mostra as perdas de carga para as vazões de operação:

Vazões de Operação	Perda de carga total (m.c.a) $H_r = 10,08 \times Q^{1,85} + 5,8 \times Q^2$
$Q_{90\%} = 100/s (0,100m^3/s)$	0,200
$Q_{alerta} = \frac{Q_{90\%}}{2} = 50/s (0,05m^3/s)$	0,054

Adotamos o valor da maior perda de carga, isto é

$$H_r = 0,200 \text{ m.c.a}$$

### 3.6 – COTA DE ASSENTAMENTO DA GALERIA E OS NÍVEIS OPERACIONAIS

#### a) Cota de entrada

A localização da Tomada D'água na Estaca 4,00, foi feita em função das condições geotécnicas apresentadas e das operações estabelecidas na simulação do reservatório, definindo-se a cota 109,55 para a geratriz inferior da entrada da mesma (montante), cujo diâmetro é de 400mm

$$CG_{tm} = 109,55$$

Considerando-se essa cota de entrada  $CG_{tm} = 109,55$  e a condição de submergência mínima à montante de 0,20m, onde  $\frac{V^2}{2g} = 0,09m/s$ , para  $Q = 100 l/s$ , demonstra-se a seguir o nível mínimo de garantia total de derivação para jusante.

#### b) Nível mínimo de operação

$$NA_{min} = CG_{tm} + D + 0,20 \quad \text{logo:}$$

$$NA_{min} = 109,55 + 0,400 + 0,20 = 110,15$$

que na curva cota x área x volume do reservatório corresponde a **1.225.000,00 m<sup>3</sup> de água**.

$$NA_{min} = 110,15$$

Como declividade de assentamento da tubulação, adotou-se a da linha piezométrica média para as perdas totais, quando a vazão regularizada que passa é de 100 l/s.

#### c) Cota de jusante

$$CG_j = CG_{tm} - H_f$$

$$CG_j = 109,55 - 0,200$$

$$CG_j = 109,35 \quad \text{Pode-se adotar a mesma cota de montante}$$

### 3.7 – CURVA DE DESCARGA EM FUNÇÃO DO NÍVEL A MONTANTE ( $N_{AM}$ )

A equação das perdas de cargas totais ( $H_f$ ) é

$$H_f = H_{fd} + H_{ft} = 10,08 \times Q^{1,85} + 5,8 \times Q^2$$

– Verificando o nível de saída à jusante:

$$N_{Aj} = CG_{ij} + D$$

$$N_{Aj} = 109,35 + 0,400, \quad \text{logo:}$$

$$N_{Aj} = 109,75$$

Verificando a carga disponível em função do nível de montante (tirante):  $N_{Am}$  (variável)

$$\Delta NA = N_{Am} - N_{Aj} = N_{Am} - 109,75$$

Fazendo-se  $\Delta NA = H_f$  tem-se.

$$\Delta NA = N_{Am} - 109,75 = 10,08 \times Q^{1,85} + 5,8 \times Q^2$$

$$\Delta NA = 0,40 \text{ m.c.a} = 0,20 \text{ m.c.a}$$

### 3.8 – DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE DISSIPACÃO

A estrutura de dissipação selecionada para a descarga da Tomada d'água foi a bacia de impacto padronizada pelo "Bureau of Reclamation" nas obras apresentadas no "Design of Small Dams" e "Hydraulic Design of Stilling Basins ou Energy Dissipations", cujo processo de cálculo é apresentado a seguir:

– Carga hidráulica máxima que atua até o nível da tomada d'água:

$$h = 115,50 - 109,55 = 5,95\text{m}$$

– Velocidade de impacto

$$V = \sqrt{2gxh} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 5,95} = 10,80\text{m/s} = 35,44\text{ft/s}$$

- Área fictícia de fluxo quadrado:

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{2,041}{10,80} = 0,189\text{m}^2$$

- Largura fictícia do fluxo

$$D = \sqrt{A} = \sqrt{0,189} = 0,435$$

- Número de Froude:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gxD}} = \frac{10,80}{\sqrt{9,81 \times 0,435}} = 5,22$$

Para facilidade de execução, adotou-se uma bacia padronizada com  $W=13 \cong 4,00\text{m}$ .

### 3.9 – VERTEDOR DE JUSANTE DA TOMADA D'ÁGUA

Seja um vertedor retangular sem contração lateral, com curva de vazão calculada pela fórmula de Bazin, cuja expressão é a seguinte:

$$Q = (m.l.\sqrt{2g}) H^{2/3}$$

$$\text{Onde: } m = \left( 0,405 + \frac{0,003}{0,15} \right) \left[ 1 + \left( 0,55 \frac{0,15}{0,15 + 0,66} \right) \right]$$

Sendo:

$$L = 4,00\text{m}$$

$$P = 0,66\text{m}$$

Logo, a equação da curva de vazão do vertedor é apresentada a seguir

$$Q = m \times 4 \times 4,4294 H^{3/2} = m \times 17,72 H^{3/2} \text{ ou } H = \left( \frac{Q}{m \times 17,72} \right)^{2/3}$$

$$\text{Sendo } Q = 100,00 \text{ l/s}$$

$$m = 0,468$$

$$H = 0,05\text{m}$$

**4 - ANEXOS**

C:\ANB\_trab\PROJETOS\Bephus\BARRAGEM\Volume 2 - MEMORIA DE CALCULO (Bephusm).doc

000029

#### 4.1 – CÁLCULOS DA ESTABILIDADE DA BARRAGEM

C:\ANB\_trab\PROJETOS\Bepbom\BARRAGEM\Volume 2 - MEMORIA DE CALCULO (Bepbom).doc

000030

















0 134	47 427	42.867
-0 723	50.092	45.749
-1 450	48.126	43.577

1 640
1 668
1 648





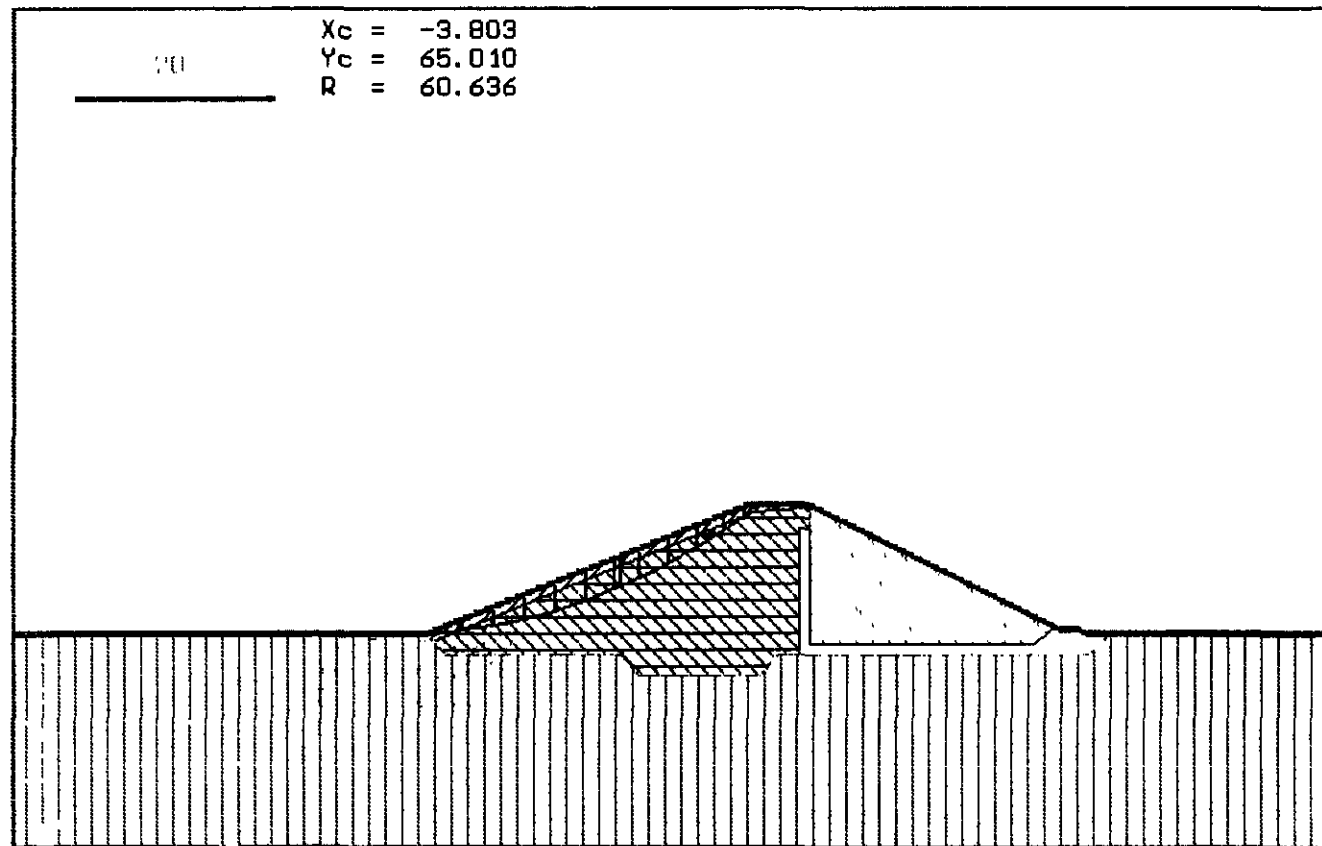








100044



BARRAGEM DE ITAPEBUSSU - ESTABILIDADE

ITAPBU

BISHOP Simplificado

Convergiu - Superficie critica

F = 1.614





















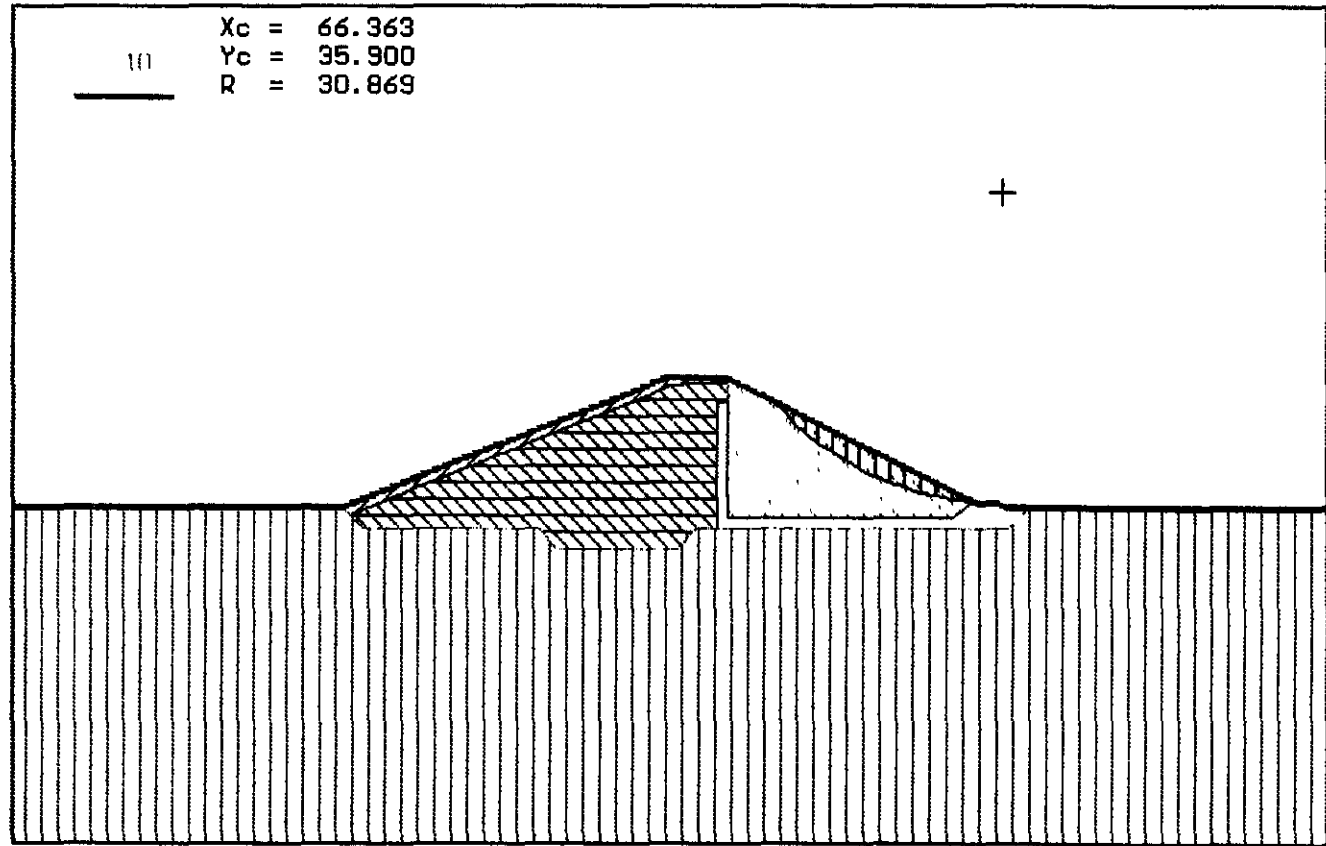








900057



BARRAGEM DE ITAPEBUSSU - ESTABILIDADE

ITAPBUJ

BISHOP Simplificado

Converglu - Superfície critica

F = 1.518

#### 4.2 – PLANILHAS DE CUBAÇÃO DOS MATERIAIS DAS OBRAS

C:\ANB\_trab\PROJETOS\Inpebor\BARRAGEM\Volume 2 - MEMORIA DE CALCULO (Inpebor).doc

000058

**BARRAGEM ITAPEBUSSU**  
**ÁREAS DAS SEÇÕES DA BARRAGEM**  
(05/11/98)

Seções	Área Escav. Da Fundação	Área Expurgo	Área Argila	Área Rip-Rap e=0,70	Área Areia	Área Mat. do Sang. a jusante inclusive rock-fill	Área Rip-Rap transição e=0,20	Área transição no Rock-fill
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	7,60	28,50	6,70	2,80	15,50	1,50	0,00
4	5,00	12,00	92,45	13,50	7,00	59,00	3,45	0,00
5	14,80	21,50	162,80	19,00	9,00	102,50	5,00	0,00
6	7,50	20,80	245,90	25,80	10,50	142,00	7,10	0,00
7	142,50	0,00	325,80	23,70	34,00	172,60	6,50	2,00
8	171,50	0,00	296,50	22,20	39,00	213,00	6,00	1,90
9	157,80	0,00	287,00	21,80	36,00	169,90	6,20	1,80
10	146,90	0,00	284,00	21,70	34,00	165,50	6,00	2,00
11	140,50	0,00	182,45	21,60	34,00	164,50	6,50	1,90
12	135,70	0,00	275,80	21,50	34,20	171,00	5,95	1,95
13	108,50	0,00	258,00	21,48	34,10	152,50	7,50	1,60
14	100,50	0,00	246,50	20,95	33,00	149,00	6,10	1,58
15	72,50	0,00	227,30	20,80	32,00	135,50	6,00	1,45
16	68,00	0,00	222,00	20,00	31,50	135,80	5,90	1,37
17	20,00	18,80	203,95	19,80	30,50	114,10	5,80	1,00
18	10,00	16,50	165,00	19,50	9,00	102,60	5,30	0,00
19	8,50	11,80	121,50	16,40	7,50	74,00	4,50	0,00
20	2,80	10,90	81,00	14,41	5,90	51,35	3,55	0,00
21	2,90	9,00	54,00	11,44	4,50	32,80	3,25	0,00
22	2,50	8,00	34,50	7,95	3,00	20,40	1,85	0,00
23	2,40	7,00	25,50	6,11	2,50	15,35	1,58	0,00
24	1,50	6,50	18,35	5,05	1,90	12,30	1,20	0,00
25	0,00	7,00	17,00	4,88	1,80	11,40	1,00	0,00
26	0,00	5,50	13,50	4,24	1,30	9,00	1,00	0,00
27	0,00	5,50	14,50	4,57	1,50	8,80	0,90	0,00
28	0,00	4,80	9,50	3,15	1,00	6,65	0,50	0,00
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**BARRAGEM ITAPEBUSSU**  
**PLANILHA DE CALCULO DE VOLUME**  
**MATERIAL: ESCAVAÇÃO DA FUNDAÇÃO**  
(05/11/98)

Seções	Área (m²)	Soma das Áreas (m²)	Distancia média (m)	Volume (m³)
0	0,00	0,00	10,00	0,00
1	0,00	0,00	10,00	0,00
2	5,00	5,00	10,00	50,00
3	14,80	19,80	10,00	198,00
4	7,50	22,30	10,00	223,00
5	142,50	150,00	10,00	1500,00
6	171,50	314,00	10,00	3140,00
7	157,80	329,30	10,00	3293,00
8	146,90	304,70	10,00	3047,00
9	140,50	287,40	10,00	2874,00
10	135,70	276,20	10,00	2762,00
11	108,50	244,20	10,00	2442,00
12	100,50	209,00	10,00	2090,00
13	72,50	173,00	10,00	1730,00
14	68,00	140,50	10,00	1405,00
15	20,00	88,00	10,00	880,00
16	10,00	30,00	10,00	300,00
17	8,50	18,50	10,00	185,00
18	2,80	11,30	10,00	113,00
19	2,90	5,70	10,00	57,00
20	2,50	5,40	10,00	54,00
21	2,40	4,90	10,00	49,00
22	1,50	3,90	10,00	39,00
23	0,00	1,50	10,00	15,00
24	0,00	0,00	10,00	0,00
25	0,00	0,00	10,00	0,00
26	0,00	0,00	10,00	0,00
27	0,00	0,00	10,00	0,00
28	0,00	0,00	10,00	0,00
29	0,00	0,00	10,00	0,00
30	0,00	0,00	10,00	0,00
<b>TOTAL</b>				<b>26.446,00</b>

900060

**BARRAGEM ITAPEBUSSU**  
**PLANILHA DE CALCULO DE VOLUME**  
**MATERIAL: EXPURGO**  
(05/11/98)

Seções	Área (m²)	Soma das Áreas (m²)	Dist. média (m)	Volume (m³)
0	0,00	0,00	10,00	0,00
1	7,60	7,60	10,00	76,00
2	12,00	19,60	10,00	196,00
3	21,50	33,50	10,00	335,00
4	20,80	42,30	10,00	423,00
5	0,00	20,80	10,00	208,00
6	0,00	0,00	10,00	0,00
7	0,00	0,00	10,00	0,00
8	0,00	0,00	10,00	0,00
9	0,00	0,00	10,00	0,00
10	0,00	0,00	10,00	0,00
11	0,00	0,00	10,00	0,00
12	0,00	0,00	10,00	0,00
13	0,00	0,00	10,00	0,00
14	0,00	0,00	10,00	0,00
15	18,80	18,80	10,00	188,00
16	16,50	35,30	10,00	353,00
17	11,80	28,30	10,00	283,00
18	10,90	22,70	10,00	227,00
19	9,00	19,90	10,00	199,00
20	8,00	17,00	10,00	170,00
21	7,00	15,00	10,00	150,00
22	6,50	13,50	10,00	135,00
23	7,00	13,50	10,00	135,00
24	5,50	12,50	10,00	125,00
25	5,50	11,00	10,00	110,00
26	4,80	10,30	10,00	103,00
27	0,00	4,80	10,00	48,00
28	0,00	0,00	10,00	0,00
29	0,00	0,00	10,00	0,00
30	0,00	0,00	10,00	0,00
<b>TOTAL</b>				<b>3.464,00</b>

**BARRAGEM ITAPEBUSSU**  
**PLANILHA DE CALCULO DE VOLUME**  
**MATERIAL: ARGILA PARA O MACIÇO E FUNDAÇÃO**  
**(05/11/98)**

Seções	Área (m²)	Soma das Áreas (m²)	Distancia média (m)	Volume (m³)
0	0,00	0,00	10,00	0,00
1	28,50	28,50	10,00	285,00
2	92,45	120,95	10,00	1209,50
3	162,80	255,25	10,00	2552,50
4	245,90	408,70	10,00	4087,00
5	325,80	571,70	10,00	5717,00
6	296,50	622,30	10,00	6223,00
7	287,00	583,50	10,00	5835,00
8	284,00	571,00	10,00	5710,00
9	182,45	466,45	10,00	4664,50
10	275,80	458,25	10,00	4582,50
11	258,00	533,80	10,00	5338,00
12	246,50	504,50	10,00	5045,00
13	227,30	473,80	10,00	4738,00
14	222,00	449,30	10,00	4493,00
15	203,95	425,95	10,00	4259,50
16	165,00	368,95	10,00	3689,50
17	121,50	286,50	10,00	2865,00
18	81,00	202,50	10,00	2025,00
19	54,00	135,00	10,00	1350,00
20	34,50	88,50	10,00	885,00
21	25,50	60,00	10,00	600,00
22	18,35	43,85	10,00	438,50
23	17,00	35,35	10,00	353,50
24	13,50	30,50	10,00	305,00
25	14,50	28,00	10,00	280,00
26	9,50	24,00	10,00	240,00
27	0,00	9,50	10,00	95,00
28	0,00	0,00	10,00	0,00
29	0,00	0,00	10,00	0,00
30	0,00	0,00	10,00	0,00
<b>TOTAL</b>				<b>77.866,00</b>

Obs: com acrescimo de 10% = 85.652,00m³

**BARRAGEM ITAPEBUSSU**  
**PLANILHA DE CALCULO DE VOLUME**  
**MATERIAL: RIP-RAP (espessura = 0,70m)**  
**(05/11/98)**

Seções	Área (m²)	Soma das Áreas (m²)	Distancia média (m)	Volume (m³)
0	0,00	0,00	10,00	0,00
1	6,70	6,70	10,00	67,00
2	13,50	20,20	10,00	202,00
3	19,00	32,50	10,00	325,00
4	25,80	44,80	10,00	448,00
5	23,70	49,50	10,00	495,00
6	22,20	45,90	10,00	459,00
7	21,80	44,00	10,00	440,00
8	21,70	43,50	10,00	435,00
9	21,60	43,30	10,00	433,00
10	21,50	43,10	10,00	431,00
11	21,48	42,98	10,00	429,80
12	20,95	42,43	10,00	424,30
13	20,80	41,75	10,00	417,50
14	20,00	40,80	10,00	408,00
15	19,80	39,80	10,00	398,00
16	19,50	39,30	10,00	393,00
17	16,40	35,90	10,00	359,00
18	14,41	30,81	10,00	308,10
19	11,44	25,85	10,00	258,50
20	7,95	19,39	10,00	193,90
21	6,11	14,06	10,00	140,60
22	5,05	11,16	10,00	111,60
23	4,88	9,93	10,00	99,30
24	4,24	9,12	10,00	91,20
25	4,57	8,81	10,00	88,10
26	3,15	7,72	10,00	77,20
27	0,00	3,15	10,00	31,50
28	0,00	0,00	10,00	0,00
29	0,00	0,00	10,00	0,00
<b>TOTAL</b>				<b>7.964,60</b>

Obs: com acrescimo de 10% = 8 761,00m³

**BARRAGEM ITAPEBUSSU**  
**PLANILHA DE CALCULO DE VOLUME**  
**MATERIAL: AREIA**  
(105/11/98)

Seções	Área (m²)	Soma das Áreas (m²)	Distancia média (m)	Volume (m³)
0	0,00	0,00	10,00	0,00
1	2,80	2,80	10,00	28,00
2	7,00	9,80	10,00	98,00
3	9,00	16,00	10,00	160,00
4	10,50	19,50	10,00	195,00
5	34,00	44,50	10,00	445,00
6	39,00	73,00	10,00	730,00
7	36,00	75,00	10,00	750,00
8	34,00	70,00	10,00	700,00
9	34,00	68,00	10,00	680,00
10	34,20	68,20	10,00	682,00
11	34,10	68,30	10,00	683,00
12	33,00	67,10	10,00	671,00
13	32,00	65,00	10,00	650,00
14	31,50	63,50	10,00	635,00
15	30,50	62,00	10,00	620,00
16	9,00	39,50	10,00	395,00
17	7,50	16,50	10,00	165,00
18	5,90	13,40	10,00	134,00
19	4,50	10,40	10,00	104,00
20	3,00	7,50	10,00	75,00
21	2,50	5,50	10,00	55,00
22	1,90	4,40	10,00	44,00
23	1,80	3,70	10,00	37,00
24	1,30	3,10	10,00	31,00
25	1,50	2,80	10,00	28,00
26	1,00	2,50	10,00	25,00
27	0,00	1,00	10,00	10,00
28	0,00	0,00	10,00	0,00
29	0,00	0,00	10,00	0,00
30	0,00	0,00	10,00	0,00
<b>TOTAL</b>				<b>8.830,00</b>

Obs. com acrescimo de 10% = 9.713,00m³



**BARRAGEM ITAPEBUSSU**  
**PLANILHA DE CALCULO DE VOLUME**  
**MATERIAL: MATERIAL DA ESC. DO SANGRA DOURO USADO NO TALUDE DE JUSANTE**  
(05/11/98)

Seções	Área (m²)	Soma das Áreas (m²)	Distancia média (m)	Volume (m³)
0	0,00	0,00	10,00	0,00
1	15,50	15,50	10,00	155,00
2	59,00	74,50	10,00	745,00
3	102,50	161,50	10,00	1615,00
4	142,00	244,50	10,00	2445,00
5	172,60	314,60	10,00	3146,00
6	213,00	385,60	10,00	3856,00
7	169,90	382,90	10,00	3829,00
8	165,50	335,40	10,00	3354,00
9	164,50	330,00	10,00	3300,00
10	171,00	335,50	10,00	3355,00
11	152,50	323,50	10,00	3235,00
12	149,00	301,50	10,00	3015,00
13	135,50	284,50	10,00	2845,00
14	135,80	271,30	10,00	2713,00
15	114,10	249,90	10,00	2499,00
16	102,60	216,70	10,00	2167,00
17	74,00	176,60	10,00	1766,00
18	51,35	125,35	10,00	1253,50
19	32,80	84,15	10,00	841,50
20	20,40	53,20	10,00	532,00
21	15,35	35,75	10,00	357,50
22	12,30	27,65	10,00	276,50
23	11,40	23,70	10,00	237,00
24	9,00	20,40	10,00	204,00
25	8,80	17,80	10,00	178,00
26	6,65	15,45	10,00	154,50
27	0,00	6,65	10,00	66,50
28	0,00	0,00	10,00	0,00
29	0,00	0,00	10,00	0,00
30	0,00	0,00	10,00	0,00
<b>TOTAL</b>				<b>48.141,00</b>

Obs com acrescimo de 10% = 52 955,00m³

**BARRAGEM ITAPEBUSSU**  
**PLANILHA DE CALCULO DE VOLUME**  
**MATERIAL: TRANSIÇÃO NO ROCK-FILL**  
**(05/11/98)**

Seções	Área (m <sup>2</sup> )	Soma das Áreas (m <sup>2</sup> )	Distancia média (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0,00	0,00	10,00	0,00
1	0,00	0,00	10,00	0,00
2	0,00	0,00	10,00	0,00
3	0,00	0,00	10,00	0,00
4	0,00	0,00	10,00	0,00
5	2,00	2,00	10,00	20,00
6	1,90	3,90	10,00	39,00
7	1,80	3,70	10,00	37,00
8	2,00	3,80	10,00	38,00
9	1,90	3,90	10,00	39,00
10	1,95	3,85	10,00	38,50
11	1,60	3,55	10,00	35,50
12	1,58	3,18	10,00	31,80
13	1,45	3,03	10,00	30,30
14	1,37	2,82	10,00	28,20
15	1,00	2,37	10,00	23,70
16	0,00	1,00	10,00	10,00
17	0,00	0,00	10,00	0,00
18	0,00	0,00	10,00	0,00
19	0,00	0,00	10,00	0,00
20	0,00	0,00	10,00	0,00
21	0,00	0,00	10,00	0,00
22	0,00	0,00	10,00	0,00
23	0,00	0,00	10,00	0,00
24	0,00	0,00	10,00	0,00
25	0,00	0,00	10,00	0,00
26	0,00	0,00	10,00	0,00
27	0,00	0,00	10,00	0,00
28	0,00	0,00	10,00	0,00
29	0,00	0,00	10,00	0,00
30	0,00	0,00	10,00	0,00
<b>TOTAL</b>				<b>371,00</b>

Obs: com acrescimo de 20% = 445,00m<sup>3</sup>

**BARRAGEM ITAPEBUSSU**  
**PLANILHA DE CALCULO DE VOLUME**  
**MATERIAL: TRANSIÇÃO NO RIP-RAP**  
(05/11/98)

Seções	Area (m²)	Soma das Áreas (m²)	Distancia média (m)	Volume (m³)
0	0,00	0,00	10,00	0,00
1	1,50	1,50	10,00	15,00
2	3,45	4,95	10,00	49,50
3	5,00	8,45	10,00	84,50
4	7,10	12,10	10,00	121,00
5	6,50	13,60	10,00	136,00
6	6,00	12,50	10,00	125,00
7	6,20	12,20	10,00	122,00
8	6,00	12,20	10,00	122,00
9	6,50	12,50	10,00	125,00
10	5,95	12,45	10,00	124,50
11	7,50	13,45	10,00	134,50
12	6,10	13,60	10,00	136,00
13	6,00	12,10	10,00	121,00
14	5,90	11,90	10,00	119,00
15	5,80	11,70	10,00	117,00
16	5,30	11,10	10,00	111,00
17	4,50	9,80	10,00	98,00
18	3,55	8,05	10,00	80,50
19	3,25	6,80	10,00	68,00
20	1,85	5,10	10,00	51,00
21	1,58	3,43	10,00	34,30
22	1,20	2,78	10,00	27,80
23	1,00	2,20	10,00	22,00
24	1,00	2,00	10,00	20,00
25	0,90	1,90	10,00	19,00
26	0,50	1,40	10,00	14,00
27	0,00	0,50	10,00	5,00
28	0,00	0,00	10,00	0,00
29	0,00	0,00	10,00	0,00
30	0,00	0,00	10,00	0,00
<b>TOTAL</b>				<b>2.202,60</b>

Obs. com acrescimo de 10% = 2.422,00m³

**BARRAGEM ITAPEBUSSU**  
**ÁREAS DAS SEÇÕES DO SANGRADOURO**  
**(05/11/98)**

<b>Seções</b>	<b>Área Escav. do Sangradouro (31 a 35+10)</b>	<b>Área Escav. do Sangradouro (30 a 34+10)</b>	<b>Seções</b>
0	111,93	65,47	0,00
1	137,29	127,25	0+20
2	305,43	339,01	0+40
3	485,93	432,63	0+60
4	498,68	441,45	0+80
5	501,84	426,30	0+100
6	511,84	405,73	0+120
7	506,61	401,53	0+140
8	492,66	390,64	0+160
9	445,67	314,96	0+180
10	258,88	0,00	
11	93,10	0,00	

**BARRAGEM ITAPEBUSSU****PLANILHA DE CALCULO DE VOLUME****MATERIAL: ESCAVAÇÃO DO SANGRA DOURO (Est. 30 a 34 +10)**

(05/11/98)

Seções	Área (m <sup>2</sup> )	Soma das Áreas (m <sup>2</sup> )	Distancia média (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0,00	65,47	65,47	10,00	654,70
0+20	127,25	192,72	10,00	1927,20
0+40	339,01	466,26	10,00	4662,60
0+60	432,63	771,64	10,00	7716,40
0+80	441,45	874,08	10,00	8740,80
0+100	426,30	867,75	10,00	8677,50
0+120	405,73	832,03	10,00	8320,30
0+140	401,53	807,26	10,00	8072,60
0+160	390,64	792,17	10,00	7921,70
0+180	314,96	705,60	20,00	14112,00
<b>TOTAL</b>				<b>70.805,80</b>

100069

**BARRAGEM ITAPEBUSSU**  
**ESCAVAÇÃO DA TOMADA D'ÁGUA**  
cubação da tomada d' água

<b>estaca</b>	<b>áreas(m)</b>
3j	0,00
2j	9,00
1j	11,50
0	8,00
1m	10,00
2m	3,00

000070

**BARRAGEM ITAPEBUSSU**  
**PLANILHA DE CALCULO DE VOLUME**  
**MATERIAL ESCAVAÇÃO DA TOMADA D' ÁGUA**  
**(05/11/98)**

<b>Seções</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Soma das Áreas (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Distancia média (m)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
2j	9,00	9,00	10,00	90,00
1j	11,50	20,50	10,00	205,00
0	8,00	19,50	10,00	195,00
1m	10,00	18,00	10,00	180,00
2m	3,00	13,00	10,00	130,00
<b>TOTAL</b>				<b>800,00</b>

000071

**4.3 – CÁLCULO ESTRUTURAL DA GALERIA E CAIXAS DE MONTANTE E  
JUSANTE DA TOMADA D'ÁGUA E MUROS DO SANGRADOURO**

400072

• \\ANB\_trab\PROJETOS\Bepibus\BARRAGEM\Volume 2 - MEMORIA DE CALCULO (Bepibus).doc



## 1. Introdução

A presente Nota de Cálculo, refere-se ao cálculo estrutural da galeria e caixas de montante e jusante da Tomada D'Água e muros do sangradouro, todos em concreto armado e pertencentes à barragem do Itapebussu

## 2. Cargas

- a) Peso próprio das estruturas  $\gamma = 2,50 \text{ tf/m}^3$  (concreto armado)
- b) Peso de Terra  $\gamma = 1,80 \text{ tf/m}^3$
- c) Empuxo de Terra Ativo  $K_a = 0,33$  (coeficiente de empuxo ativo)

## 3. Verificação da Segurança – Análise e Dimensionamento da Estrutura

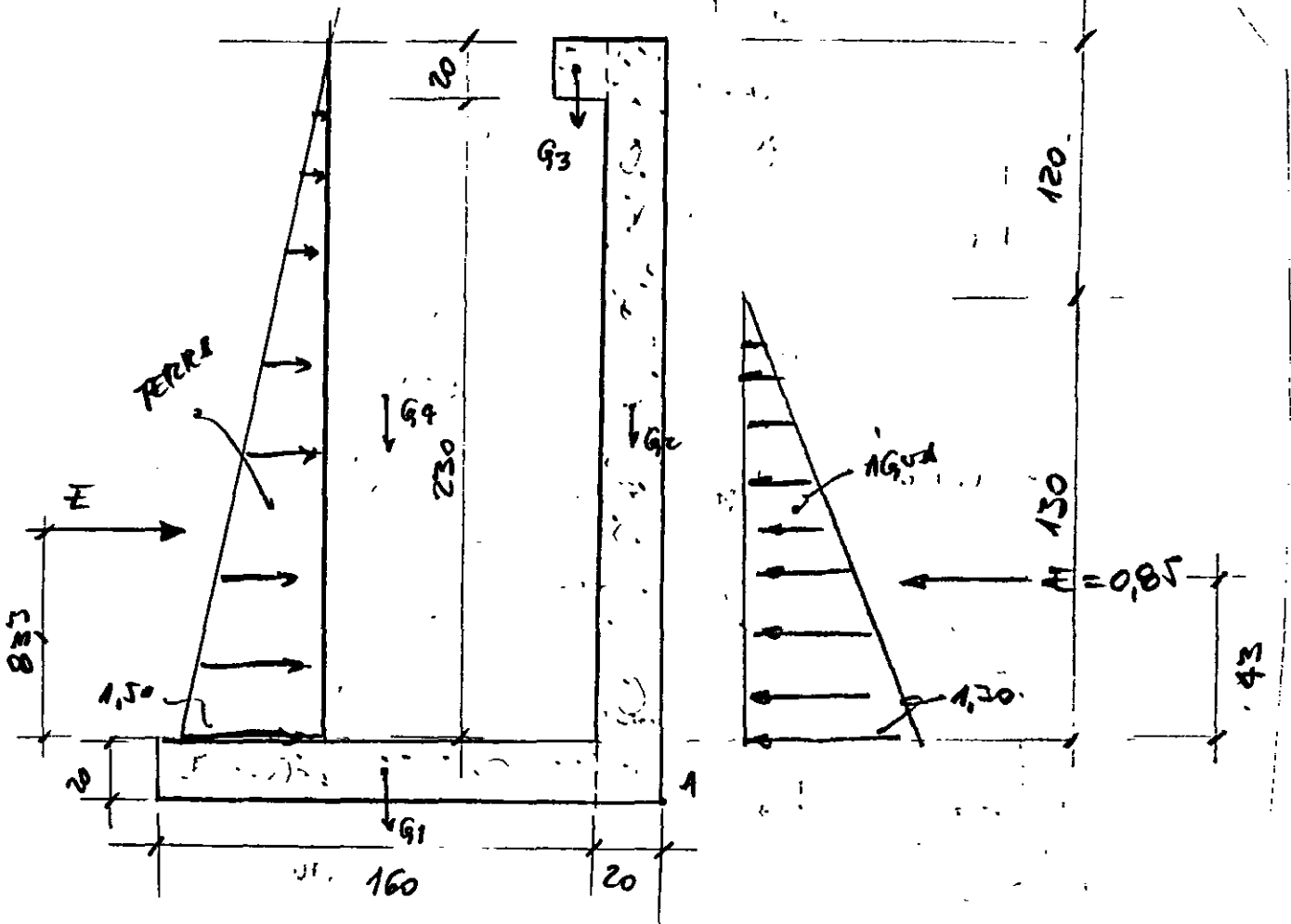
Foram observadas as condições gerais fixadas pela NBR-6118

### 4 Resistência dos Materiais Empregados

- a) Concreto Armado  $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$
- b) Aço CA-50 A  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

000073

4 Muro do Sangradouro



(a) EMPUXO

$$K_a \gamma = 0,60$$

$$P_2 = 0,60 \times 2,50 = 1,50 \text{ t/m}$$

$$\bar{E} = 1,50 \times \frac{2,50}{2} = 1,88 \text{ t}$$

(b) VERIFICAÇÃO DO TOMBAMENTO: (SOMENTE TERRA)

	G.	Z.	M <sub>R</sub> G
1	0,80	1,00	0,80
2	1,35	0,10	0,135
3	0,10	0,25	0,025
4	6,62	1,00	6,62
		$\Sigma$	7,58

$$M_T = 1,88 \times 1,03 = 1,94$$

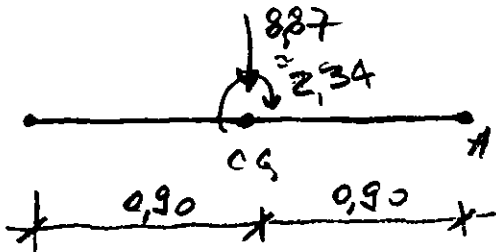
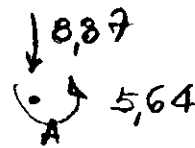
$$O_s = \frac{7,58}{1,94} = 3,91 > 1,5$$

OK

(C) TENSÕES NA FUNDAÇÃO

$$\sum N = 8,87$$

$$\sum M_A = -1,94 + 7,58 = 5,64$$



$$A = 1,80$$

$$W = 0,54$$

$$\sigma_1 = \frac{8,87}{1,80} + \frac{2,34}{0,54} = 4,93 + 4,33 = 9,26 \text{ t/m}^2 > \underline{\underline{0 \text{ K}_0}}$$

$$\sigma_2 = 4,93 - 4,33 = 0,60 \text{ t/m}^2$$

(d) ARMADURA DA PAREDE

(i) SEÇÃO NA BASE:

$$M_t = 1,88 \times 0,84 \approx 1,58 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$b_w = 100 \quad d = 15 \quad \rightarrow \quad A_s = 2,60 \text{ cm}^2 \rightarrow \phi 8 \text{ c } 12$$

$$A_{s, \text{mín}} = 300 \text{ cm}^2$$

$$M_g = 0,85 \times 0,44 = 0,37 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$A_s = A_{s, \text{mín}} = 300 \rightarrow \phi 8 \text{ c } 15$$

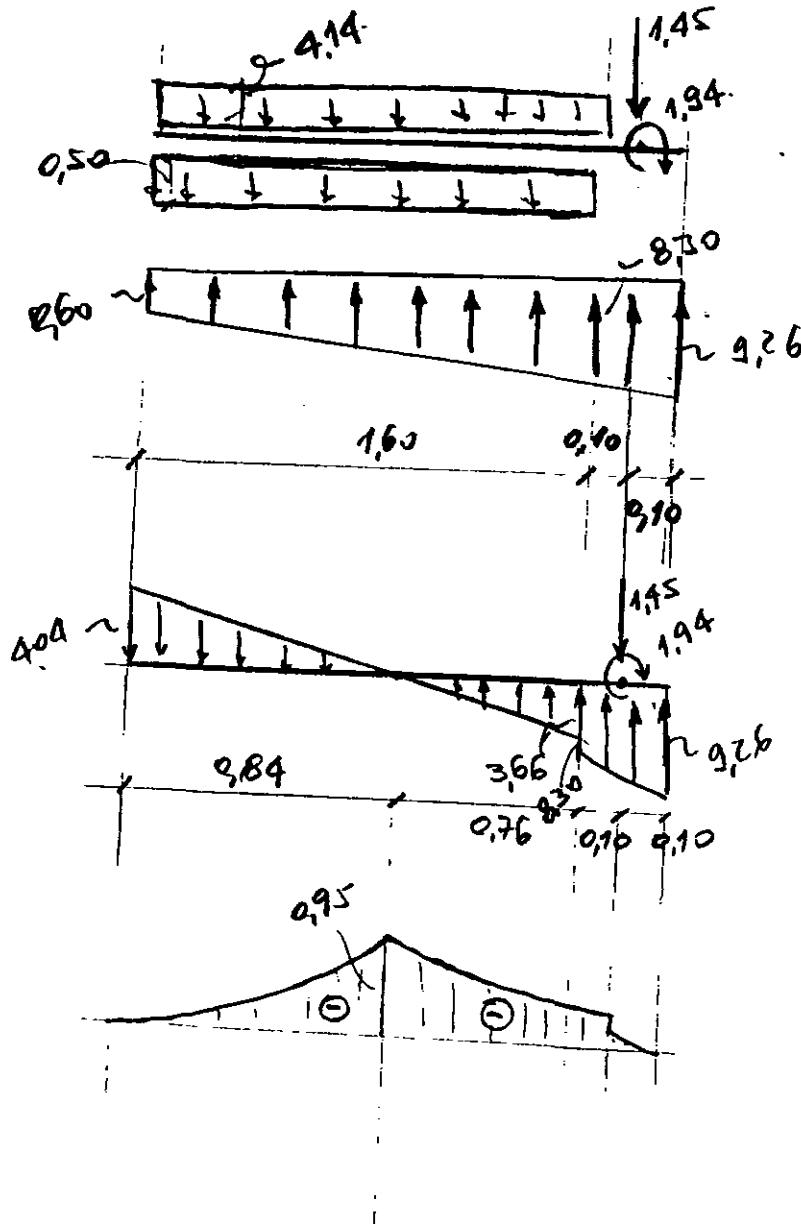
(ii) SEÇÃO A MEIA ALTURA:

$$M_t = 0,47 \times 0,42 \approx 0,20 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$A_s = A_{s, \text{mín}} \rightarrow \phi 8 \text{ c } 15$$

000075

(e) ARMADURA DA BASE



$$\frac{404}{2} = \frac{7,70}{1,60}$$

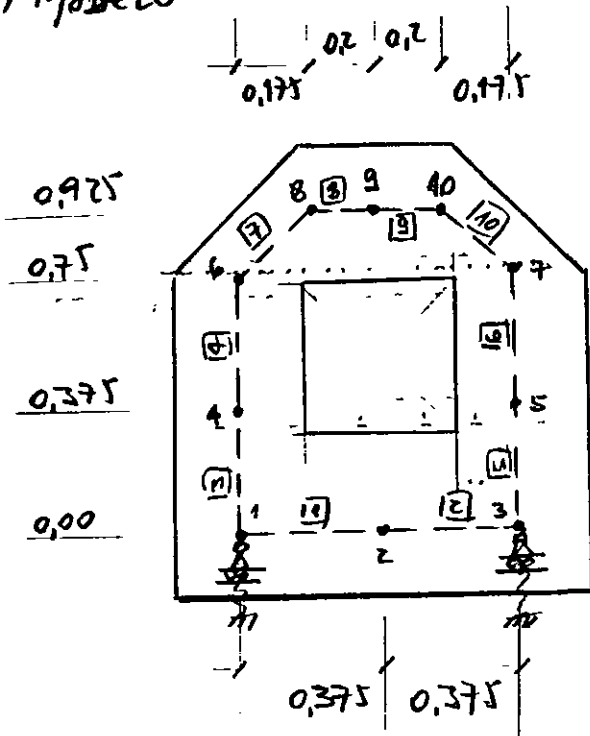
$$x = 0,84.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta w = 100 \quad d = 15 \\ M_k = 0,97 \quad H \times w / u \end{array} \right\} > A_s = 2,11 \text{ cm}^2$$

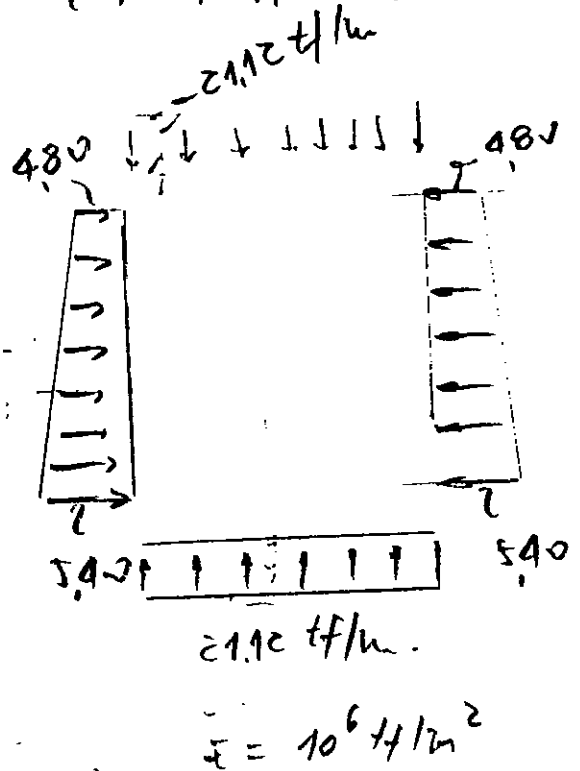
$$A_s - A_{s, \text{util}} = 0 \text{ cm}^2 - 78 \text{ c } 15,$$

5 Galeria

(a) MODELO



(b) CARGAS



BARRAS	SEÇÃO	$A_c$	$J$
1, 2	100x35	0,35	0,00357
3, 4 5, 6	100x25	"	"

CARGA DE PEDRA  $\rightarrow h = 8m$

$$p = 8 \times 1,8 = 14,40 \text{ t/m}^2$$

$$p_1 = 2,60 \times 6 = 15,60 \text{ t/m}^2$$

$$p_2 = 2,60 \times 9 = 23,40 \text{ t/m}^2$$

$$A_{\text{armadura}} = 4,65 \text{ } \phi 8 \text{ c } 10$$

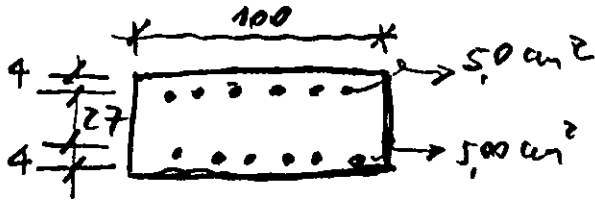
000077

### VERIFICAÇÃO DA CAIXA INFERIOR.

$$N = 2,12$$
$$M = 0,62$$

$$N = 2,12$$
$$M = -0,86$$

$$N_u = 2,97$$
$$M_u = 6,80$$
 **OK.**



000073

\*\*\*\*\*  
 \* HUGO A. MOTA CONSULTORIA E ENGENHARIA DE PROJETOS S/C \*  
 \* Sist: PORTICO Prog: PP01.BAS Autor: J.E.Mota Versao: JUL/90 \*  
 \*\*\*\*\*

ESTRUTURA .....= GALERIA DO ITAPEBUSSO  
 DATA\HORA DA ANALISE .....= 12-16-1998 11.33:59  
 SISTEMA DE UNIDADES .....= TF/M

D A D O S G E R A I S

NUMERO DE PONTOS NODAIS .....= 10  
 NUMERO DE BARRAS .....= 10  
 NUMERO DE TIPOS DE MATERIAL .....= 1  
 NUMERO DE TIPOS DE SECOES .....= 1  
 NUMERO DE VINCULACOES EXTERNAS ... ..= 2

C O O R D E N A D A S N O D A I S

NO	X	Y
1	0.000	0.000
2	0.375	0.000
3	0.750	0.000
4	0.000	0.375
5	0.750	0.375
6	0.000	0.750
7	0.750	0.750
8	0.175	0.925
9	0.375	0.925
10	0.575	0.925

I N C I D E N C I A

BARRA	I	J	MATERIAL	SECAO
1	1	2	1	1
2	2	3	1	1
3	1	4	1	1
4	4	6	1	1
5	3	5	1	1
6	5	7	1	1
7	6	8	1	1
8	8	9	1	1
9	9	10	1	1
10	10	7	1	1

M A T E R I A L

TIPO	MODULO DE ELASTICIDADE
1	+1.0000D+06

-----

S E C O E S

TIPO	AREA	INERCIA
1	+3.5000D-01	+3.5700D-03

-----

V I N C U L A C O E S

NO	CODIGO	DIR X	DIR Y	ROTACAO
1	010	+0.000D+00	+0.000D+00	+0.000D+00
3	010	+1.000D-05	+0.000D+00	+0.000D+00

=====

= CARREGAMENTO: EMPUXO DE TERRA =

=====

-----

C A R G A S N A S B A R R A S

-----

CARGA UNIFORME - EIXO GLOBAL

BARRA	QX	QY
7	+4.8000D+00	-2.1120D+01
8	+0.0000D+00	-2.1120D+01
9	+0.0000D+00	-2.1120D+01
10	-4.8000D+00	-2.1120D+01
3	+5.1000D+00	+0.0000D+00
4	+5.1000D+00	+0.0000D+00
5	-5.1000D+00	+0.0000D+00
6	-5.1000D+00	+0.0000D+00
1	+0.0000D+00	+2.1120D+01
2	+0.0000D+00	+2.1120D+01

-----

D E S L O C A M E N T O S N O D A I S

NO	DESL.X	DESL.Y	ROTACAO Z
1	+4.5413D-06	+9.1560D-37	+3.8906D-05
2	+2.2707D-06	+1.2169D-05	+1.2740D-21
3	+5.5073D-11	-7.7253D-37	-3.8906D-05
4	-1.8850D-06	-8.4857D-06	+3.0030D-06
5	+6.4263D-06	-8.4857D-06	-3.0030D-06
6	+1.2710D-06	-1.6971D-05	-2.4756D-05
7	+3.2703D-06	-1.6971D-05	+2.4756D-05



8	+3.7254D-06	-2.5222D-05	-2.8438D-05
9	+2.2707D-06	-2.8461D-05	-9.7231D-20
10	+8.1595D-07	-2.5222D-05	+2.8438D-05

-----

R E A C O E S      D E      A P O I O

NO	FX	FY	MZ
1	+0.0000D+00	-9.8061D-15	+0.0000D+00
3	-5.5073D-16	+8.2738D-15	+0.0000D+00

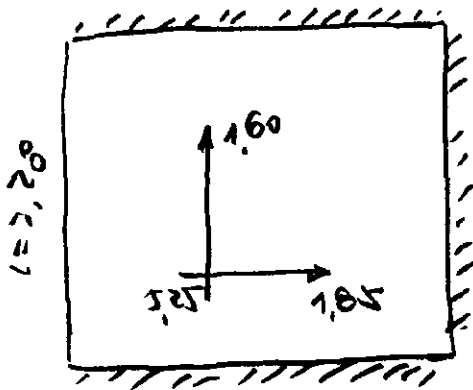
-----

E S F O R C O S      N A S      B A R R A S

BARRA	NO	E. NORMAL	CORTANTE	M. FLETOR
1	1	+2.1192D+00	-7.9200D+00	-6.1962D-01
1	2	-2.1192D+00	+1.7764D-15	-8.6538D-01
2	2	+2.1192D+00	+0.0000D+00	+8.6538D-01
2	3	-2.1192D+00	-7.9200D+00	+6.1962D-01
3	1	+7.9200D+00	+2.1192D+00	+6.1962D-01
3	4	-7.9200D+00	-2.0674D-01	-1.8350D-01
4	4	+7.9200D+00	+2.0674D-01	+1.8350D-01
4	6	-7.9200D+00	+1.7058D+00	-4.6457D-01
5	3	+7.9200D+00	-2.1192D+00	-6.1962D-01
5	5	-7.9200D+00	+2.0674D-01	+1.8350D-01
6	5	+7.9200D+00	-2.0674D-01	-1.8350D-01
6	7	-7.9200D+00	-1.7058D+00	+4.6457D-01
7	6	+6.8064D+00	+4.3941D+00	+4.6457D-01
7	8	-4.7869D+00	-1.1867D+00	+2.2603D-01
8	8	+2.5458D+00	+4.2240D+00	-2.2603D-01
8	9	-2.5458D+00	+1.7764D-14	+6.4843D-01
9	9	+2.5458D+00	+1.8208D-14	-6.4843D-01
9	10	-2.5458D+00	+4.2240D+00	+2.2603D-01
10	10	+4.7869D+00	-1.1867D+00	-2.2603D-01
10	7	-6.8064D+00	+4.3941D+00	-4.6457D-01

6 Caixa de Montante

(a) TAMPA



$$g = 0,10 \times 2,5 = 0,25$$

$$h = 5,00$$

$$a = 5H/k^2$$

$$q = 5,25$$

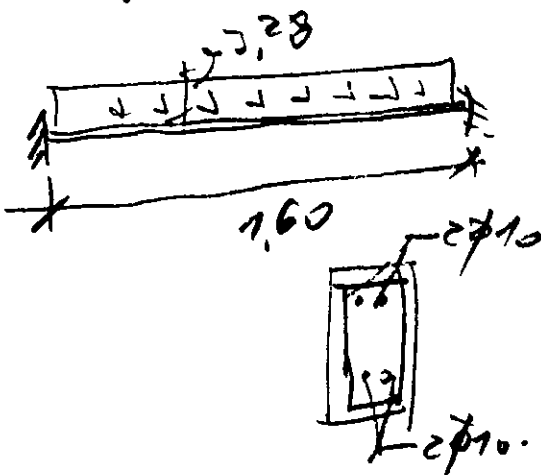
$$w_x = 0,27 \text{ H/k} \quad w_y = 0,29 \text{ H/k} \quad A_s = 1,01 \rightarrow \boxed{\phi 6,2 \times 15}$$

$$X = -0,88 \rightarrow A_s = 4,81 \text{ cm}^2 \rightarrow \boxed{\phi 8 \times 10}$$

(b) PAREDES E FUNDO

$$A_{s, \text{miz}} = 0,17 \times 10 = 2,00 = \boxed{\phi 6,2 \times 10}$$

(c) VIGA



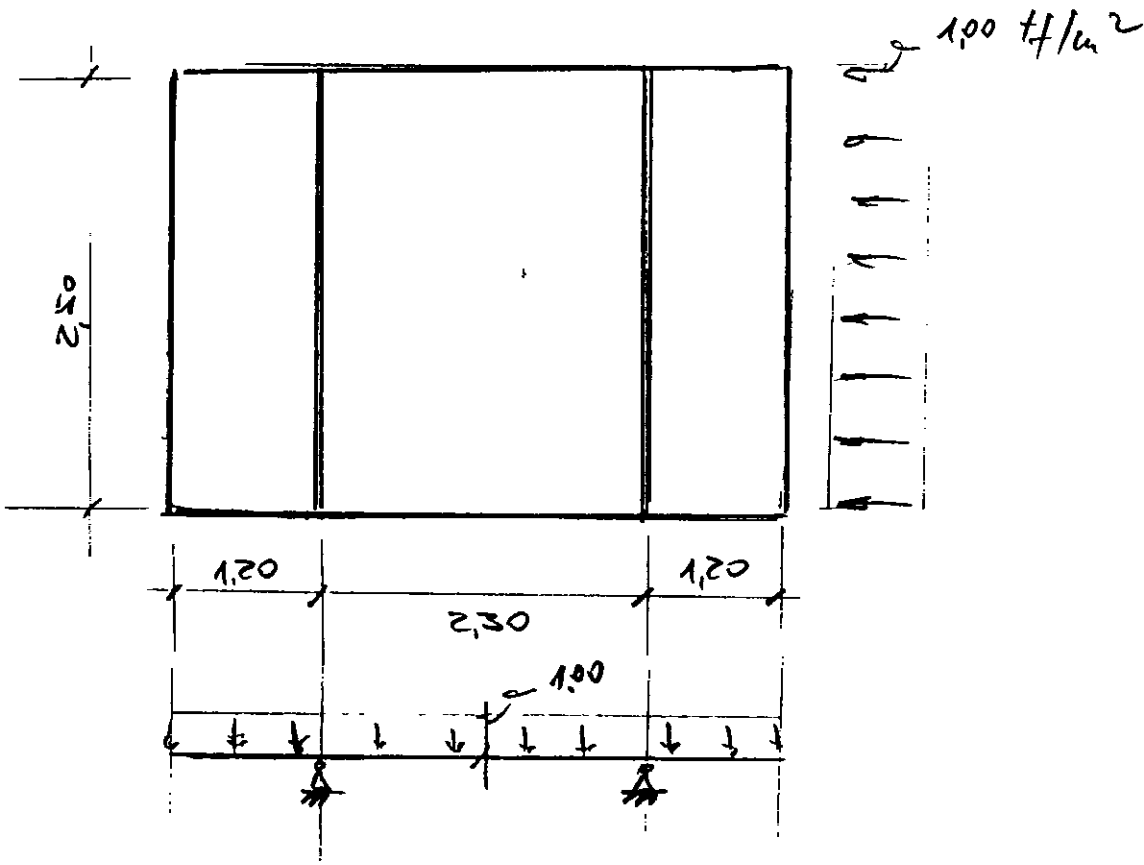
$$M = 1,05 \text{ H/km}$$

$$A_s = 0,96 \text{ cm}^2$$

000082

7 Caixa de Jusante

(a) PAREDE FRONTAL



$$X = 1,00 \times \frac{1,20^2}{2} = 0,72 \text{ tf} \times \text{m}$$

$$Y = 1,00 \times \frac{2,30^2}{8} - 0,72 = 0,90 \text{ As, m}^2$$

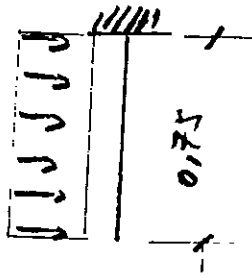
$$b_w = 100 \quad d = 0,17$$

$$A_s = 1,29 \text{ cm}^2$$

$$A_s, \text{m}^2 = 300 \rightarrow \boxed{6.2 \ 10.}$$

000083

(b) VIGA DE APOIO DE ÁGUA - BARRAGEM



$$P_a = 72 \times (1.2)^2 = 1008 \text{ kgf/m}^2$$

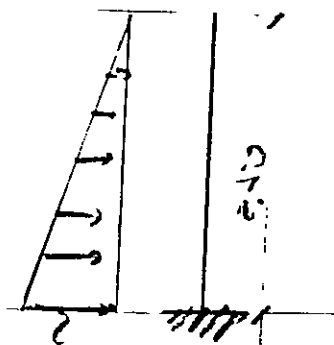
$$P_a \approx 1.8 \text{ t/m}^2$$

$$M = 1.8 \times \frac{0.75^2}{2} = 0.51 \text{ t/m}^2$$

DESAO (20x100)

$$A_s = 298 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Adota-se } A_{s, \text{min}} = 300$$

(c) PAREDE LATERAL



1.50

IMPULSO

$$M = 1.50 \times \frac{7.5^2}{2} \times \frac{7.5}{3} = 126.56 \text{ t/m}^2$$

$$A_s = 308 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Adota-se } A_{s, \text{min}} = 300$$

(d) FUNDO

$$A_s = A_{s, \text{min}} = 300$$

000084

**5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

C:\ANB\_trab\PROJETOS\Itapetuba\BARRAGEM\Volume 2 - MEMORIA DE CALCULO (Itapetuba).doc

000085

## 5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.B.N.T; Associação Brasileira de Normas Técnicas

BADILO, F.J., e Rodrigues, A .R, Mecânica del Snelos, Es. Lumisa, México, 1975.

BUREAU OF RECLAMATION, 1987 Design of Small Dams. U.S Government Printing Office, Denver, Colorado, U.S A, 860p.

CAPUTO, H.P., Mecânica dos Solos. Ao Livro Técnico Editora, Rio de Janeiro, 1981

CARVALHO, L.H , 1983, Curso de Barragens de Terra, DNOCS, Vol. 1, 173p

CARVALHO, L.H , 1984, Curso de Barragens de Terra, DNOCS, Vol. 2, 193p.

CARVALHO, L.H , 1991, Curso de Barragens de Terra, DNOCS, Vol. 3, 277p.

CRUZ, P.T . 1995, 100 Barragens Brasileiras. Oficina de Textos, 668p

ESTEVES, V P , Barragens de Terra, Universidade da Paraíba, Campina Grande, 1964.