

GOVERNO DO ESTADO



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH**  
**COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS COGERH**  
**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**  
**PROURB CE**

**PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM ITAÚNA**

**Volume IV Relatório Geral**

**Tomo II Memória de Cálculos**

**GHG**

FORTALEZA  
Setembro 1997

GOVERNO DO ESTADO



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS  
COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGERH  
PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS  
PROURB/CE

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM ITAÚNA

VOLUME IV - RELATÓRIO GERAL

TOMO II - MEMORIAL DE CÁLCULO



*A. Raposo*  
Lote: 01594 - Prep (  ) Scan (  ) Index (  )  
Projeto Nº 1027/77  
Volume 1  
Qtd. A4 64 Qtd. A3 \_\_\_\_\_  
Qtd. A2 \_\_\_\_\_ Qtd. A1 \_\_\_\_\_  
Qtd. A0 \_\_\_\_\_ Outros \_\_\_\_\_

FORTALEZA  
ABRIL/98

GOVERNO DO ESTADO



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS  
COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGERH  
**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS  
PROURB/CE**

# **PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM ITAÚNA**

**VOLUME IV - RELATÓRIO GERAL**

**TOMO II - MEMORIAL DE CÁLCULO**



FORTALEZA  
ABRIL/98

400003



## ÍNDICE



## ÍNDICE

<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>1. GEOMETRIA DO MACIÇO.....</b>	<b>6</b>
PRECIPITAÇÃO MÉDIA NA BACIA HIDROGRÁFICA .....	7
LARGURA DO VERTEDOIRO .....	7
<b>Folga.....</b>	<b>7</b>
<b>Revanche .....</b>	<b>8</b>
<b>Cota do Coroamento da Barragem.....</b>	<b>9</b>
<b>Altura Máxima da Barragem.....</b>	<b>10</b>
<b>Largura da Crista .....</b>	<b>10</b>
<b>Taludes.....</b>	<b>11</b>
<b>Rip - Rap .....</b>	<b>11</b>
<b>2. SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA.....</b>	<b>13</b>
<b>3. VERTEDOIRO - GEOMETRIA DA CRISTA.....</b>	<b>16</b>
<b>4. VERTEDOIRO - BACIA DE TRANSIÇÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>5. TOMADA D'ÁGUA .....</b>	<b>28</b>
<b>6. TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>7. ESTABILIDADE DOS TALUDES .....</b>	<b>40</b>
<b>8. QUADROS DE CUBAÇÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>58</b>



## APRESENTAÇÃO



## APRESENTAÇÃO

A **GHG - Geologia de Engenharia Ltda** apresenta, a seguir, o **Projeto Executivo da Barragem ITAÚNA**, no município de **Chaval**, no estado do Ceará, objeto do Contrato nº 24/96 - PROURB-CE/COGERH/96, firmado com a COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos

O referido projeto está apresentado nos seguintes documentos

**VOLUME I - Relatório dos Estudos Preliminares**

**VOLUME II - Relatório dos Estudos Básicos**

TOMO I Estudos Topográficos

TOMO II Estudos Geológicos e Geotécnico

TOMO III Estudos Hidrológicos

**VOLUME III - Relatório de Concepção Geral do Projeto**

**VOLUME IV - Relatório Geral**

TOMO I Descrição Geral do Projeto

TOMO II **Memorial de Cálculo**

TOMO III Especificações Técnicas e Orçamento

TOMO IV Desenhos

**VOLUME V - Relatório Síntese**

O presente relatório refere-se ao **VOLUME IV - Relatório Geral**

**TOMO II - Memorial de Cálculo**



## 1. GEOMETRIA DO MACIÇO





## 1. GEOMETRIA DO MACIÇO

### PRECIPITAÇÃO MÉDIA NA BACIA HIDROGRÁFICA

Utilizou-se a média das precipitações do Posto de Granja (Código 2768235)

Precipitação média anual = 1 179,40 mm / ano

Área da bacia hidrográfica = 771,30 Km<sup>2</sup>

Linha de fundo = 71,75 Km

Qmilenar (e) = 438,88 m<sup>3</sup>/s

Qdecamilenar(e) = 560,00 m<sup>3</sup>/s

Vaf (μ) = 217,04 Hm<sup>3</sup>

### LARGURA DO VERTEDOURO

Qm = 438,88 m<sup>3</sup>/s (descarga de projeto)

L = 60,00 m (adotado)

H<sub>o</sub> = 2,24 m

Qdm = 560,00 m<sup>3</sup>/s (descarga de projeto)

L = 60,00 m (adotado)

H<sub>o</sub> = 2,64 m

### Folga

A folga da barragem em relação ao nível máximo das águas foi determinada pelas fórmulas

$$h_o = 0,75 + 0,34 (L)^{1/2} - 0,26 (L)^{1/4}$$

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



$$F = 0,75h_o + (V_o^2/2g), \text{ onde}$$

$$h_o = \text{altura das ondas} = 0,83 \text{ m}$$

$$L = \text{"fetch"} = 1 \text{ Km}$$

$$V_o = \text{velocidade das ondas} = 3,16 \text{ m/s}$$

$$F = \text{folga}$$

Sendo

$$h_o = 0,83 \text{ m}$$

$$V_o = 3,16 \text{ m/s}$$

Resulta

$$F = 1,13 \text{ m}$$

### Revanche

Para cálculo da "revanche" utilizou-se a fórmula

$$R = H_o + F, \text{ onde}$$

a) cheia milenar

$$H_o = \text{lâmina de sangria} = 2,24 \text{ m}$$

$$F = \text{folga} = 1,13 \text{ m}$$

Logo

$$R = 3,37 \text{ m}$$



b) cheia decamilenar

$H_o = \text{lâmina de sangria} = 2,24 \text{ m}$

$F = \text{folga} = 1,13 \text{ m}$

Logo

**$R = 3,77 \text{ m}$**

### **Cota do Coroamento da Barragem**

Calculou-se a cota do coroamento pela fórmula

$cc = cs + R$ , onde

$cc = \text{cota do coroamento}$

$cs = \text{cota da soleira do sangradouro} = 32,50 \text{ m}$

a) cheia milenar

$R = \text{revanche} = 3,37 \text{ m}$

Logo

**$cc = 35,87 \text{ m}$**

b) cheia decamilenar

$R = \text{revanche} = 3,77 \text{ m}$

Logo



cc = 36,27 m

Adotou-se

**cc = 36,60 m**

### **Altura Máxima da Barragem**

Para determinação da altura máxima utilizou-se a seguinte fórmula

$H_b = cc - CLR$ , onde

cc = cota do coroamento = 36,60 m

CLR = cota do leito do rio = 18,65 m

Logo

**$H_b = 17,95$  m**

### **Largura da Crista**

A largura da crista foi determinada pela fórmula de Preece

$b = 1,1 (H_b)^{1/2} + 0,9$

Logo

**$b = 5,56$  m**

Adotou-se



**b = 6,00 m**

### **Taludes**

#### Montante

**Da cota 36,60 m até a cota 30,60 m 1,7 :1**

**Da cota 30,60 m até o terreno 2,0 :1**

#### Jusante

**Da cota 36,60 m até a cota 30,60 m 1,7 :1**

**Da cota 36,60 m até a cota 30,60 m 2,0 :1**

### **Rip - Rap**

#### Espessura do Rip-Rap

O rip-rap foi dimensionado através da fórmula

$$e = CV_0^2, \text{ onde}$$

e = espessura do rip-rap

C = coeficiente (função da inclinação do talude e do peso específico da rocha) = 0,031

$V_0 = \text{velocidade das ondas} = 3,16 \text{ m/s}$

Logo

$$e = 0,31 \text{ m}$$



Espessura da Transição

$e_t = e/2$ , onde

$e_t$  = espessura da transição

$e$  = espessura do rip-rap,

Logo

**$e_t = 0,225$  m**

**Adotou-se um rip-rap com granulometria contínua (bica corrida) de espessura média igual a 0,80 m**



## 2. SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA



## 2. SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA

Rede de Fluxo - Cálculo da Descarga - Anisotropia

$$K_v = K_h$$

$$K_v = K_{SC} = 0,00000035 \text{ cm/s}$$

$$K_v = 3,5^{-9}$$

$$K_h = 9 \times K_v = 3,15^{-8} \text{ m/s}$$

$$X_t = x (K_v/K_h)^{0,5} = x (0,33333)$$

$$d = 21,96 \text{ m}$$

$$h = 13,85 \text{ m}$$

$$y_o = (d^2+h^2)^{1/2} - d$$

$$y_o = ((d/3)^2+h^2)^{1/2} - (d/3)$$

$$y_o = 8,345 \text{ m}$$

$$y = (y_o^2+2 y_o X_t)^{1/2}$$

Coordenadas da Superfície Freática

$X_t$	$y$	$X_r = 3X_t$
0,00	8,345	0,00
1,50	9,730	4,50
3,00	10,941	9,00
4,50	12,031	13,50
5,00	12,373	15,00
5,50	12,706	16,50
6,00	13,030	18,00
7,32	13,850	21,96





## Percolação Através do Maciço e da Fundação

Com a definição da superfície freática conforme item precedente calcula-se a descarga através do maciço

$$Q_b = K_b h (N_f/N_d), \text{ onde}$$

$Q_b$  = descarga através do maciço

$K_b$  = permeabilidade do material (SC)

$N_f$  = número de canais de fluxo = 3

$N_d$  = número de quedas de potencial = 3

Assim, conforme desenho a seguir (rede de fluxo) e assumindo  $K_b = 1,05^{-8}$  m/s

$$Q_b = 1,09^{-7} \text{ m}^3/\text{s/n}$$

## Espessura do Tapete

$$e = 2 (Q_b/K_a L), \text{ onde}$$

$$K_a = 3,00^{-2} \text{ cm/s}$$

$$L = 37,00 \text{ m}$$

$$e = 0,006 \text{ m}$$

**Por Questões de Trabalhabilidade Adotou-se  $e = 1,0$  m**



### 3. VERTEDOURO - GEOMETRIA DA CRISTA

000018



### 3. VERTEDOIRO - GEOMETRIA DA CRISTA

Determinação da Extensão da Crista

$$L = \frac{Qd}{Cd(H)^{3/2}} \cdot \text{onde}$$

H = lâmina de sangria = 2,24 m

Qm = descarga do projeto = 438,88 m<sup>3</sup>/s

L = 60,05 m

NR = 30

Velocidade de Aproximação / Carga Cinética

$$P + H_o = (P + h_o) + h_a, \text{ onde}$$

$h_a = V_a^2 / 2g$ , mas

$$V_a = Q/A = Q/L (P + h_o) = qL / L (P + h_o)$$

$$V_a = q / P + h_o$$

Logo

$$h_a = q^2 / 2g (P + h_o)^2, \text{ então}$$

$$(P + H_o) = (P + h_o) + q^2 / 2g (P + h_o)^2 \quad (I)$$

$$P = 2,5 \text{ m}$$

$$H_o = 2,24 \text{ m}$$

$$q = Q/L = 7,30850454 \text{ m}^3/\text{s m}$$



Arbitrando-se valores a  $h_o$ , define-se a igualdade de (I)

$$(P + H_o) = 4,74$$

$h_o$	$P + h_o$	$V_a$	$h_a$	$P + H_o$
0,500	3,000	2,436	0,302	3,302
0,700	3,200	2,284	0,266	3,466
1,000	3,500	2,088	0,222	3,722
1,300	3,800	1,923	0,189	3,989
<b>2,112</b>	<b>4,612</b>	<b>1,585</b>	<b>0,1280</b>	<b>4,7400</b>

$$V_a = 1,585 \text{ m/s}$$

$$h_a = 0,1280 \text{ m}$$

$$h_o = 2,112 \text{ m}$$

#### Soleira Parâmetros Geométricos

$$\text{Logo, } h_a/H_o = 0,05714$$

E os parâmetros para definição da crista serão (vide figura 9-21, pgs 366 e 367 do "Design of Small Dams")

$$X_c/H_o = 0,252$$

$$Y_c/H_o = 0,101$$

$$R_1/H_o = 0,498$$

$$R_2/H_o = 0,210$$

$$K = 0,512$$

$$n = 1,845$$



Coordenadas do Ponto C

$$X_c = 0,56448 \text{ , } Y_c = 0,22624$$

Raios dos Círculos a Montante da Crista

$$R_1 = 1,11552 \text{ , } R_2 = 0,4704$$

Sendo a Exponencial de Jusante Definida Pela Expressão

$$\frac{Y}{H_0} = -K \left( \frac{X}{H_0} \right)^n$$

Esta Torna-se

$$\frac{Y}{2,24} = 0,512 \frac{(X)^{1,845}}{2,24} \quad (\text{II})$$

Determinação do Ponto P - Interseção Exponencial/Reta

Arbitrando-se um coeficiente angular de - 0,83333 para a reta, vem

(II) simplificada

$$Y = -0,25901 (X)^{1,845} \quad (\text{III})$$

$$dY/dX = -0,47787 (X)^{0,845} \quad (\text{IV})$$

Declividade da reta

$$dY/dX = -1/1,2 = -0,833333 \quad (\text{V})$$



Igualando-se (IV) e (V), tem-se

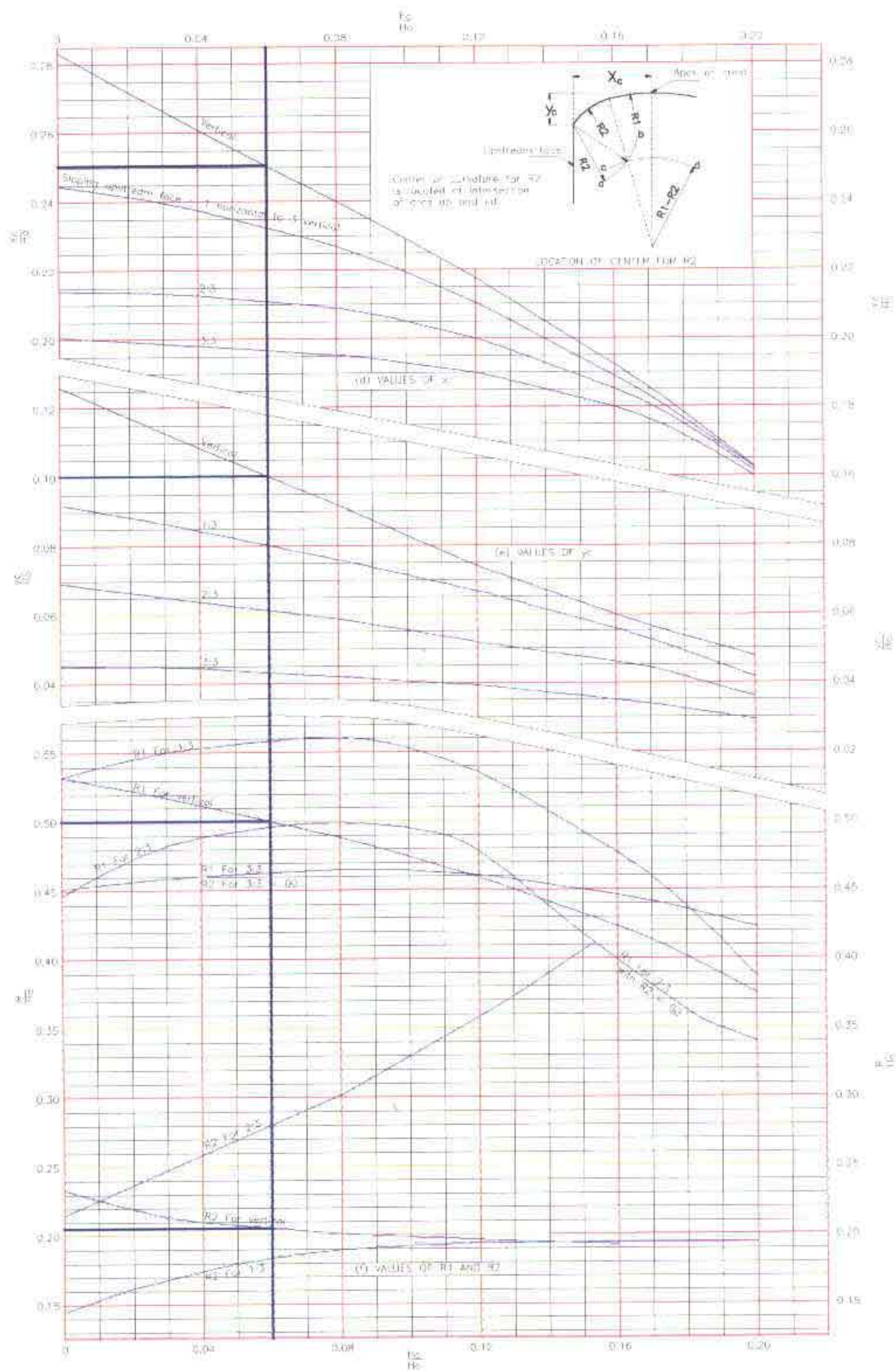
$$1 = 0,478 (X)^{0,845}$$

$$X_t = 1,931136 \text{ m}$$

Que substituindo em (III), resulta

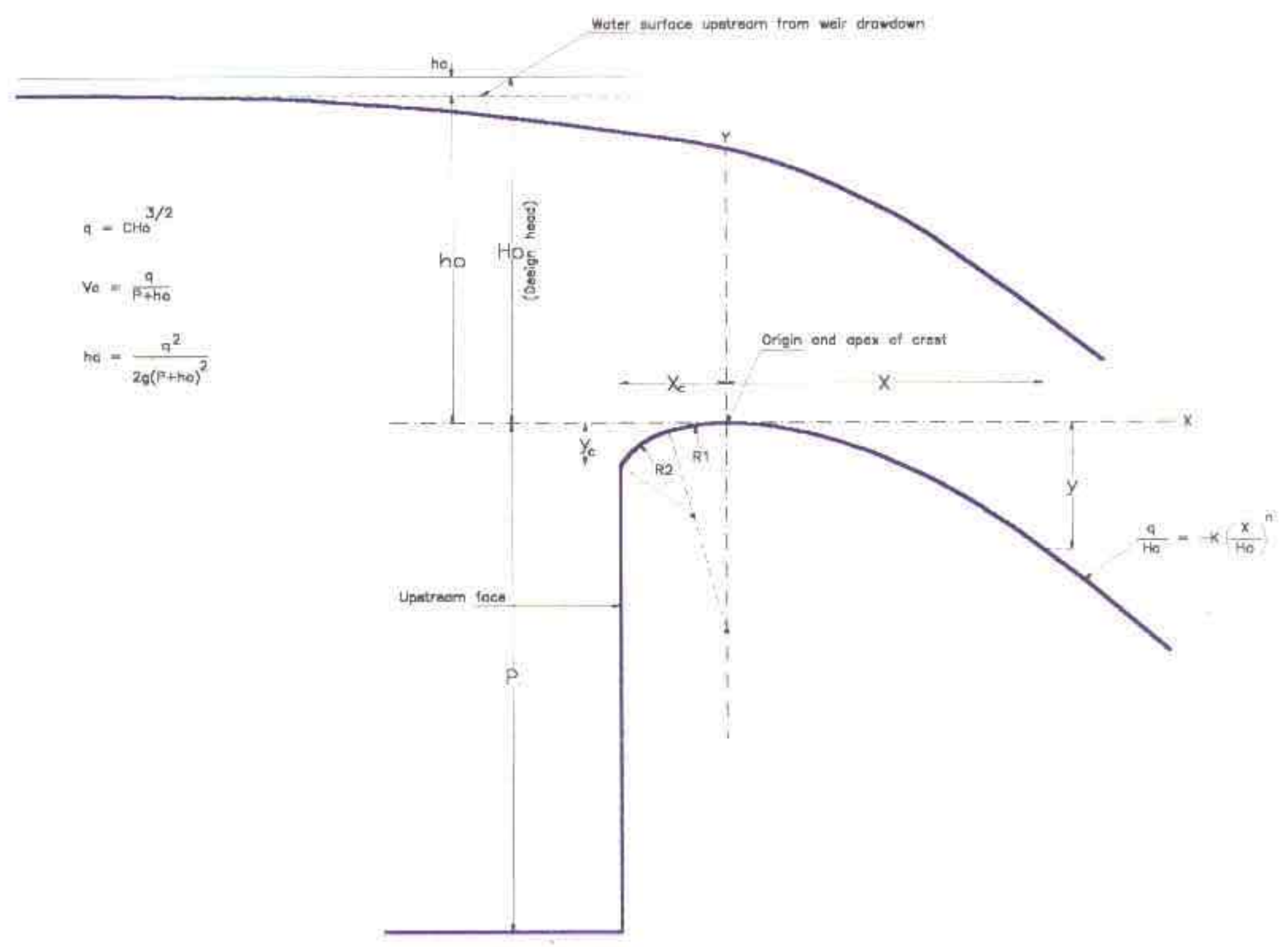
$$Y_t = - 0,872238 \text{ m}$$

### FACTORS FOR DEFINITION OF NAPPE - SHAPED CREST PROFILES

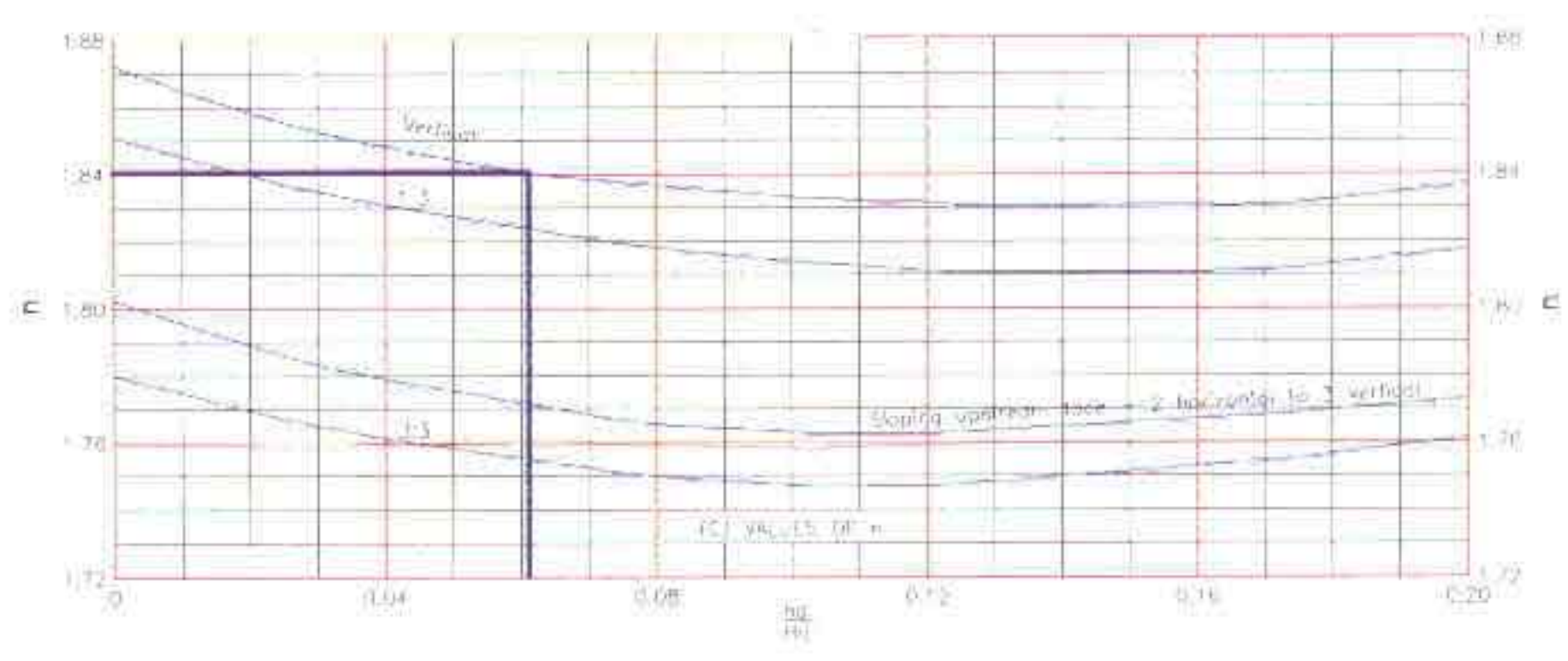
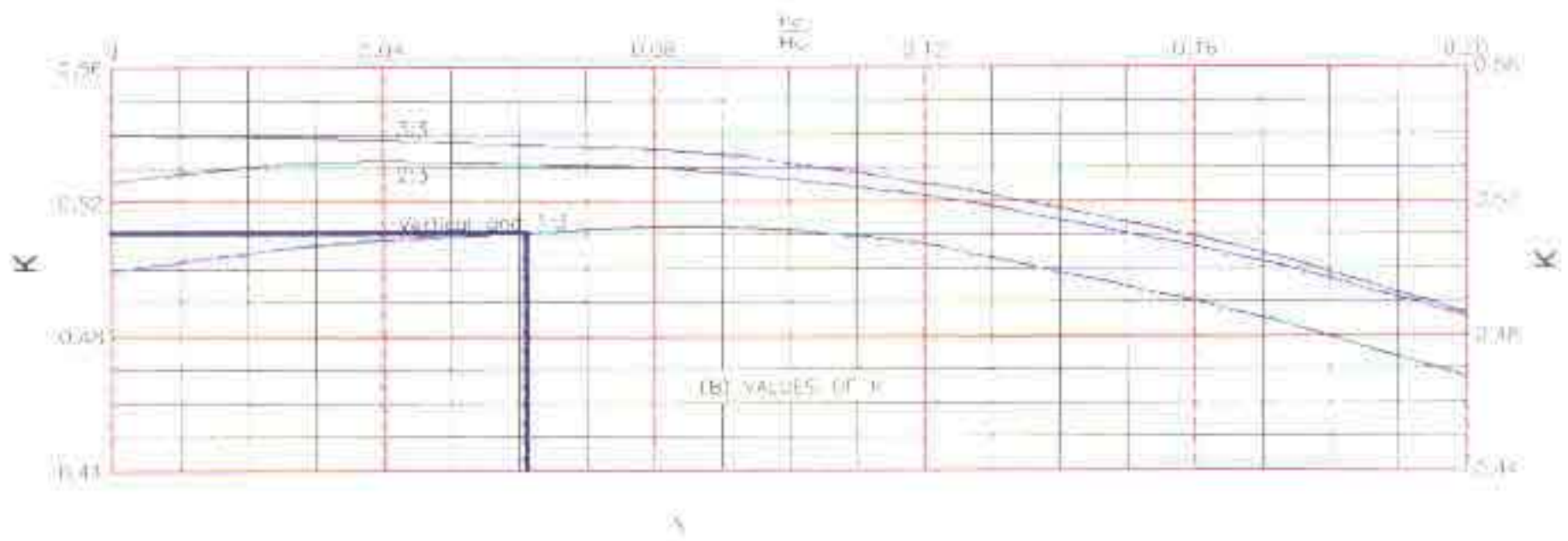


FORTE: DESIGN OF SMALL DAMS

FACTORS FOR DEFINITION OF NAPPE-SHAPED CREST PROFILES



(A) ELEMENTS OF NAPPE-SHAPED CREST PROFILES



000024





Ponto de Origem da Curva Reserva - Ponto B

Equação da reta

$$X - X_t = dY/dX (Y - Y_t)$$

$$\frac{Y - 0,872238794}{X - 1,931136691} = -0,83333$$

$$X_b = -1,2 Y_b + 0,88445 \quad (\text{IV})$$

Raio mínimo da curva reversa

$$R > 0,3048(10)^x, \text{ onde}$$

$$x = \frac{3,291 (v + 6,4 H) + 16}{11,85 H + 64}, \text{ sendo}$$

$$H = 4,612 \text{ m}$$

$$v = (2gH)^{1/2} = 9,512488 \text{ m/s}$$

$$x = 1,217385$$

$$R > 5,028052428 \text{ m} \quad R = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{alfa} = \arctg(dY/dX) = -0,694738$$

$$\text{sen}(\text{alfa}) = -0,640184$$

$$\text{cos}(\text{alfa}) = -0,768221$$

$$\text{alfa}/2 = -0,347369$$

$$\text{tg}(\text{alfa}/2) = -0,362049$$



$$BPI = R \operatorname{tg}(\alpha/2) = 1,991274$$

$$y' = BPI \operatorname{sen}(\alpha) = 1,274782 \text{ m}$$

$$Yb = -(P-y')$$

Logo

$$Yb = -1,225$$

Que substituindo em (VI), resulta

$$Xb = -1,2 Yb + 0,884450$$

Logo

$$Xb = 2,355$$

Ponto Final da Curva Reserva - Ponto D

$$Yd = -P$$

Logo

$$Yd = -2,5$$

$$Xd = Xb + BPI \cos(\alpha) + BPI$$

Logo

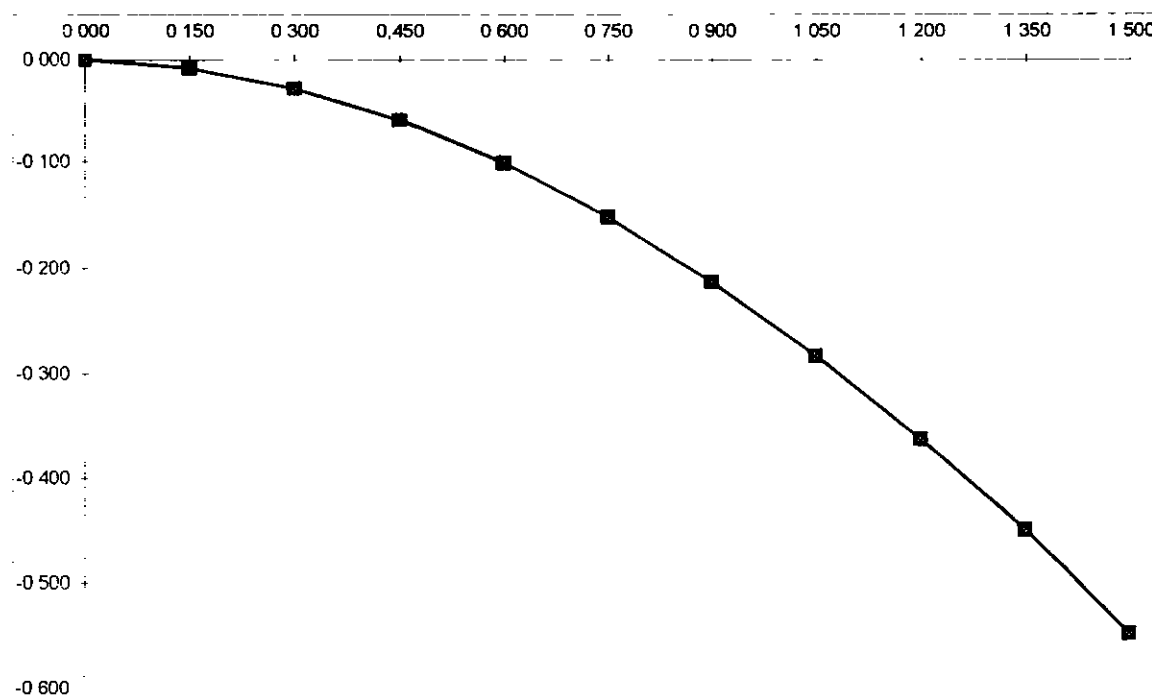
$$Xb = 5,875724$$



### Coordenadas da Soleira do Vertedouro

X	Y	OBS
-0,564	- 0,226	Ponto C
0,000	- 0,000	Eixo
0,150	- 0,008	Exponencial
0,300	- 0,028	//
0,450	- 0,059	//
0,600	- 0,101	//
0,750	- 0,152	//
0,900	- 0,213	//
1,050	- 0,283	//
1,200	- 0,363	//
1,350	- 0,451	//
1,500	- 0,547	//
1,931	- 0,872	Ponto T
2,355	- 1,225	Ponto B
5,876	- 2,500	Ponto D

### Perfil da Crista





#### 4. VERTEDOURO - BACIA DE TRANSIÇÃO



#### 4. VERTEDOIRO - BACIA DE TRANSIÇÃO

$$v1 = 9,512488633 \text{ m/s}$$

$$L = 60,05058868 \text{ m}$$

$$Q = 438,88 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q = 7,30850454 \text{ m}^3/\text{s m}$$

$$y1 = q/v1 = 0,768306$$

$$NF = v1/(g y1)^{1/2} = 3,464901$$

$$y2 = y1 ((1+8NF^2)^{1/2}-1)/2 = 2,78435$$

Com o valor de NF encontra-se o valor da relação L/y2 (OPEN - CHANNEL HYDRAULICS, pg 398, fig 15-4)

Para NF = 3,464914, tem-se

$$L/y2 = 5,60$$

Logo

$$L = 15,592347 \text{ m}$$

Sendo L o comprimento da bacia de transição, adotar L = 20 m



## 5. TOMADA D'ÁGUA



## 5. TOMADA D'ÁGUA

Volume do Reservatório = 77,50 Hm<sup>3</sup>

Vmorto max = 7,75 Hm<sup>3</sup> Cporão = 26,50 m

Vmorto min = 4,65 Hm<sup>3</sup> Cporão = 23,00 m

Adotou-se como cota do eixo da galeria 26.30 m, que corresponde a um Vmorto igual a 10,00 Hm<sup>3</sup>

O diâmetro foi calculado pela fórmula

$$D = (4Q/N \pi)^{1/2}, \text{ onde}$$

Q = descarga regularizada = 1,134 m<sup>3</sup>/s e N  $\cong$  1,5 m/s

$$\pi = 3,1416$$

Logo

$$D = 0,981 \text{ m}$$

**Diâmetro adotado 1.000 mm**

Velocidade do escoamento

$$v = Q/a = 1,44 \text{ m/s}$$

O numero de Reynolds vem a ser

$$Re = (vD)/\nu = 1,8 \times 10^6$$



Pelo diagrama de Moody, o coeficiente de atrito tem o valor  $f = 0.0136$

A perda por atrito é calculada pela expressão

$$h_f = f L(v^2)/(2gD) = 0.072 \text{ m}$$

As perdas acidentais foram calculadas em função dos coeficientes

$K_j$  = junta

$K_g$  = válvula borboleta

$K_r$  = registro

$K_s$  = saída de tubulação

A perda acidental total será

$$h_a = (K_j + K_g + K_r + K_s) (v^2/2g) = 0,159 \text{ m}$$

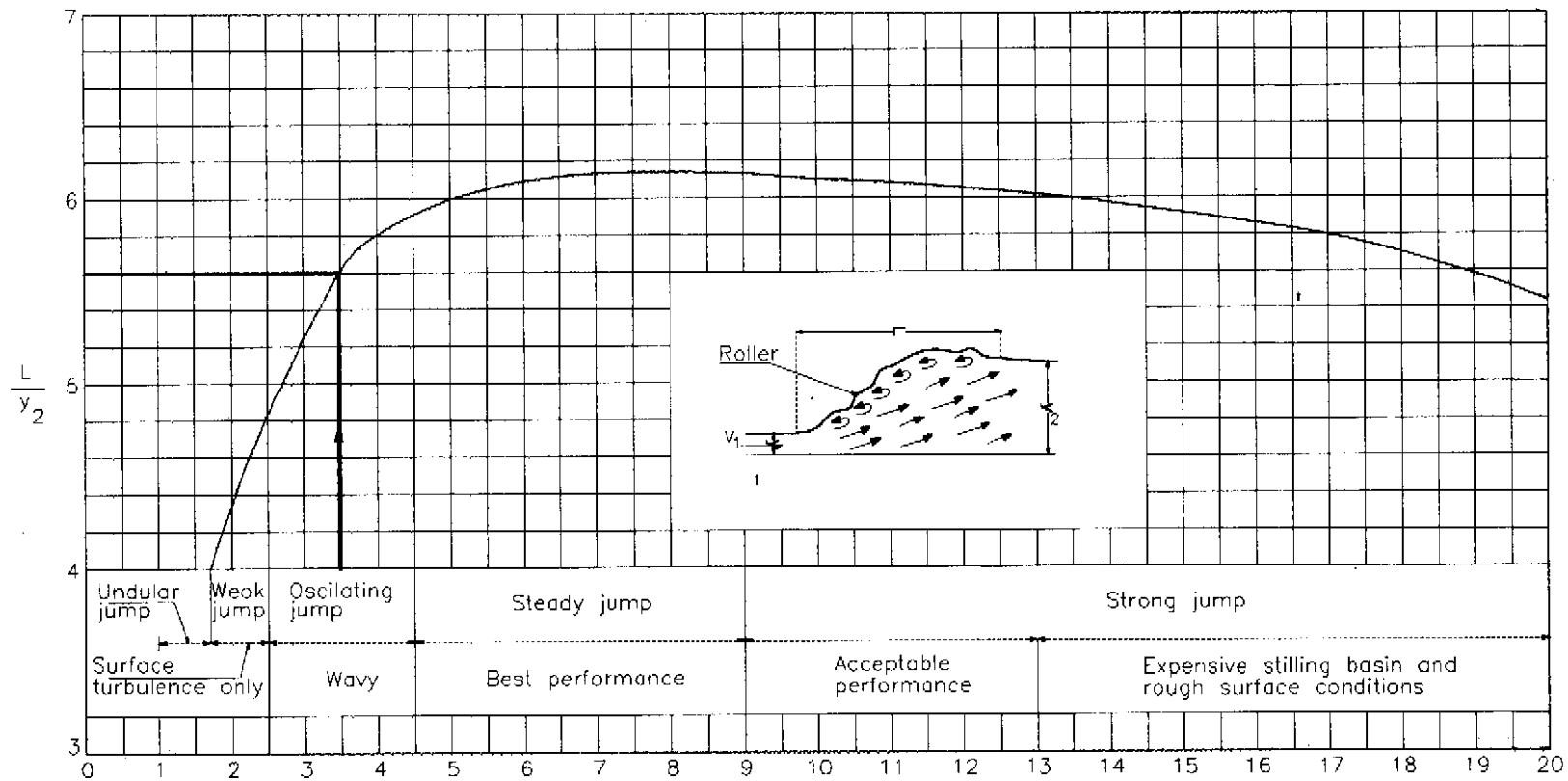
E a perda total será = 0,232 m

Como a cota do eixo da galeria = 26,30 m

O nível mínimo operacional será = 26,53 m



LENGTH IN TERMS OF SEQUENT DEPTH  $y_2$  OF JUMPS IN HORIZONTAL CHANNELS





## Equação da Descarga da Galeria

Expressão das perdas localizadas em função da vazão

$$h_f = f(1v^2)/(2gD) = f(1 (Q/A)^2)/(2gD), \text{ como}$$

$$A = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$h_f = 0,0337 Q^2$$

$$h_a = (K_c + K_r + K_e + K_s)(v^2/2g) = (K_c + K_r + K_e + K_s) ((Q/A)^2/2g) = h_a = 0,1570 Q^2$$

$$H_{\text{mínimo operacional}} = \text{cota entrada} + h_f + (v^2/2g)$$

$$H_{\text{min operacional}} = 31,5 + 0,19068975 Q^2 + v^2/2g$$

$$v^2/2g = ((Q/A)^2/2g) = (Q^2/A^2)/2g = Q^2 \times 16/\pi^2 \times D^4 \times 2g$$

$$v^2/2g = 0,0826 Q^2$$

$$H_w = h_l + h_f + v^2/2g$$

Logo

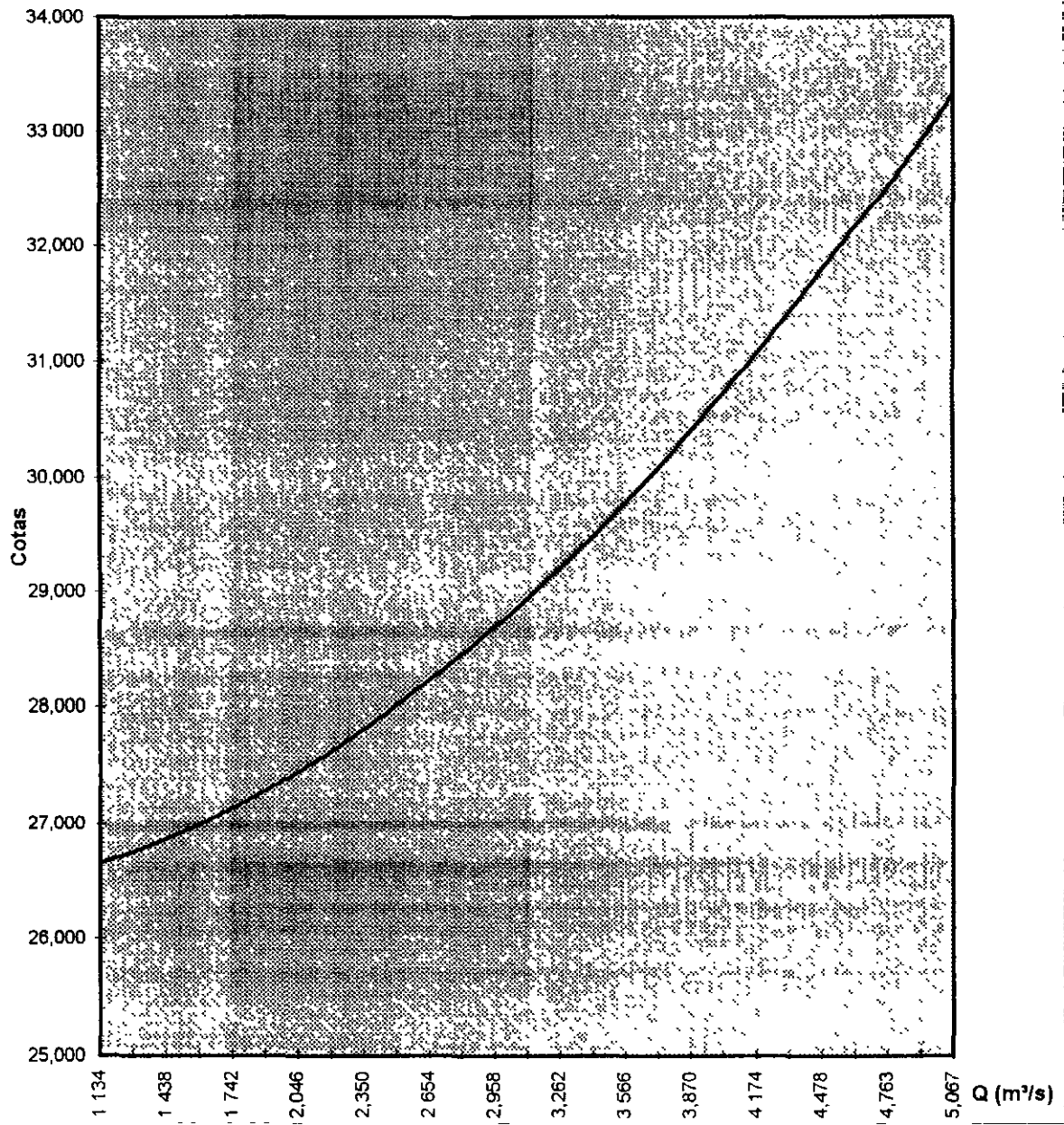
$$H_w = 0,2733 Q^2$$



Hw	Q	COTA	OBSERVAÇÕES
0,351	1,134	26,651	Hmin operacional
0,452	1,286	26,752	
0,565	1,438	26,865	
0,691	1,590	26,991	
0,829	1,742	27,129	
0,980	1,894	27,280	
1,144	2,046	27,444	
1,320	2,198	27,620	
1,509	2,350	27,809	
1,711	2,502	28,011	
1,925	2,654	28,225	
2,152	2,806	28,452	
2,391	2,958	28,691	
2,644	3,110	28,944	
2,908	3,262	29,208	
3,186	3,414	29,486	
3,476	3,566	29,776	
3,778	3,718	30,078	
4,093	3,870	30,393	
4,421	4,022	30,721	
4,762	4,174	31,062	
5,115	4,326	31,415	
5,481	4,478	31,781	
5,859	4,630	32,159	
6,200	4,763	32,500	Soleira
6,603	4,915	32,903	
7,017	5,067	33,317	
8,440	5,557	34,740	NA max (1 000 anos)



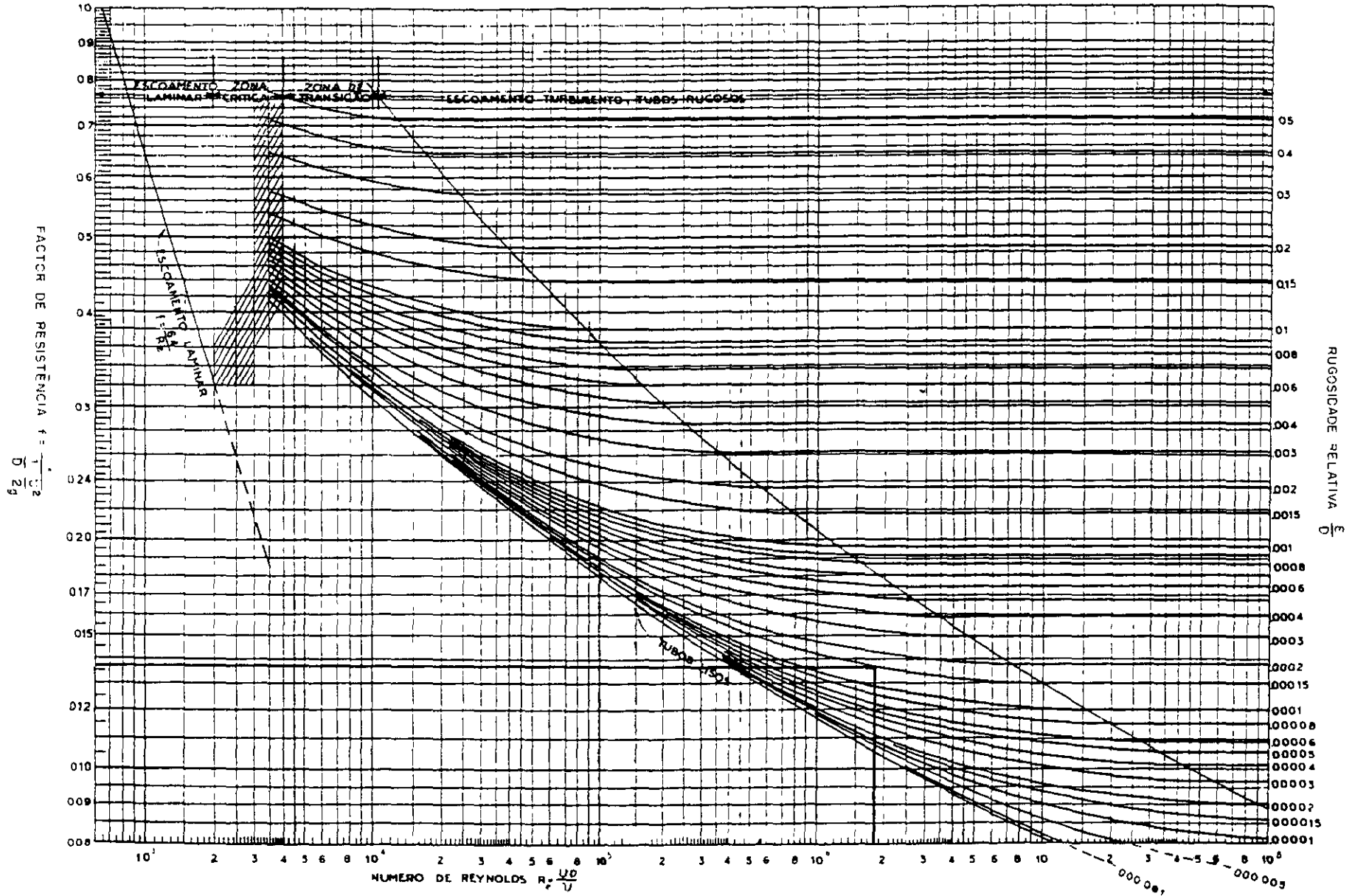
### CURVA DE DESCARGA DA GALERIA



# Diagrama de Moody

Para a determinação de  $Re$  consulte-se os A 12 e 43 para a determinação de  $\frac{\epsilon}{D}$  consulte-se T 15 e o A 48

FONTE: MANUAL DE HIDRAULICA GERAL

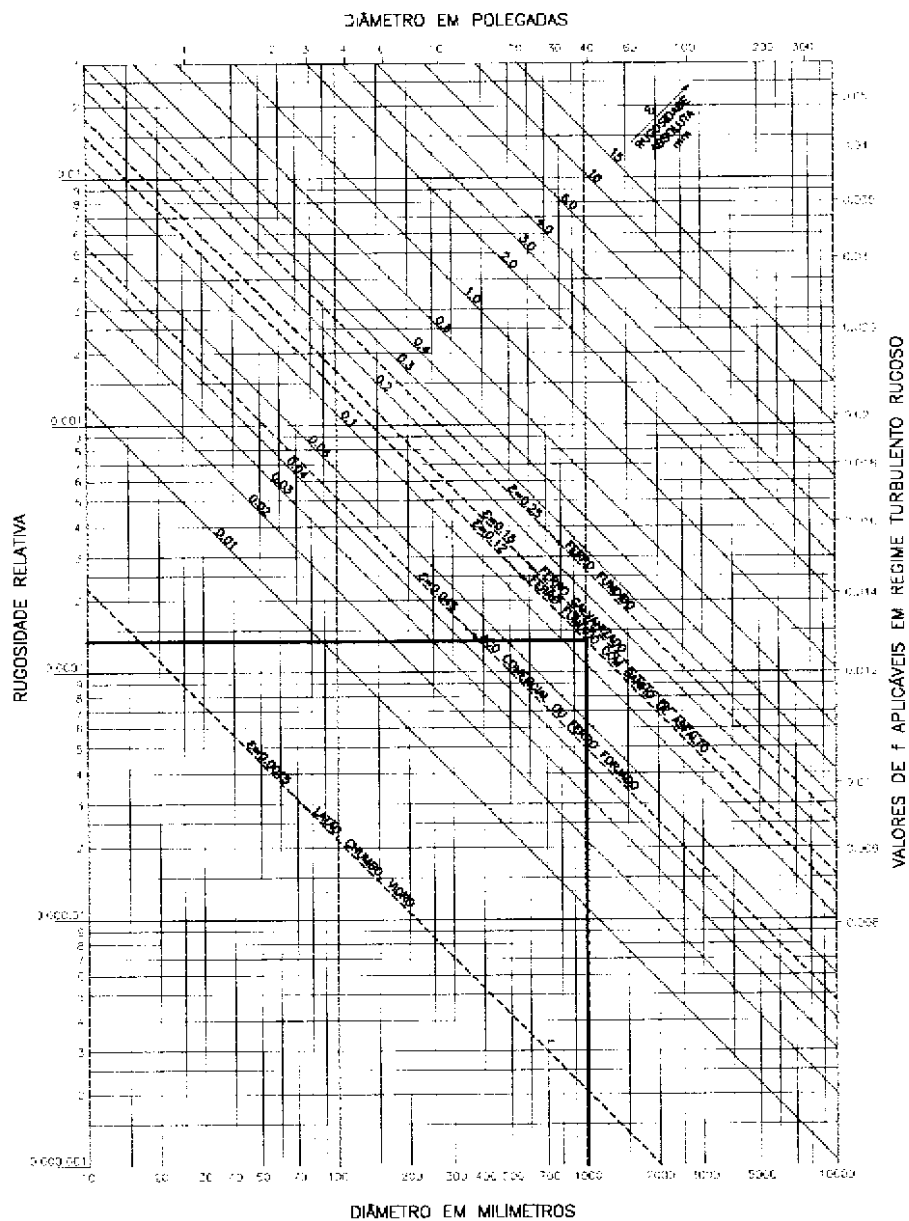


Exemplo  $Re = 3 \times 10^5$ ,  $\frac{\epsilon}{D} = 0.0002$ ,  $\lambda = 0.0164$

000037



## DETERMINAÇÃO DA RUGOSIDADE RELATIVA $\frac{\epsilon}{D}$



FORNTE: ESCOAMENTO DE FLUIDOS EM TUBOS (VENNIKOV&TREET)

000033



## 6. TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO



## 6. TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO

Ao longo do eixo do maciço, na trincheira de vedação, no trecho entre as estacas 47 e 61+10 m, será executada uma cortina de impermeabilização composta por uma linha de injeção com furos primários, secundários e terciários

O tratamento da fundação será dividido em 2 (dois) trechos

- TRECHO I (estacas 44 a 48 e estacas 60 + 8 m a 63)

Profundidade do furo  $h = 6$  m

- TRECHO II (estacas 48 a 60 + 8 m)

Profundidade do furo  $= 9$  m

Estes trechos foram separados em função das características da fundação

O trecho I corresponde às ombreiras e o trecho II à região do leito do rio

- TRECHO I estacas 44 a 48 = 80 m  
estacas 60 + 8 a 63 = 52 m  
 $h = 6$  m

Números de furos  $= (80+52) / 6 = 22$

Metragem  $= 22 \times 6 = 132$  m

- TRECHO II estacas 48 a 60 + 8 m = 248 m  
 $h = 9$  m





Numero de furos =  $248/6 = 42$  furos

Metragem =  $84 \times 9 = 756$  m

**METRAGEM TOTAL =  $132 + 756 = 888$  m (900 m)**

Em função do grau de fraturamento do substrato rochoso, observado nas sondagens realizadas, previu-se um consumo médio de 20 kg de cimento por metro de furo

**PESO TOTAL =  $20\text{Kg/m} \times 900 = 18\ 000$  Kg**

**Número de SACOS DE CIMENTO =  $18.000/50 = 360$  sacos**



## 7. ESTABILIDADE DOS TALUDES



## 7. ESTABILIDADE DOS TALUDES

Os cálculos da estabilidade dos taludes do maciço foram efetuados utilizando-se o método das fatias, que consiste em escolher uma superfície de ruptura, geralmente circular, dividindo-a em fatias

O fator de segurança é obtido da razão entre as forças resistentes de cada fatia e as forças estabilizadoras quanto ao colapso do maciço

$$F_s = \frac{cL_i + \operatorname{tg}\varnothing(W_i \cos\alpha_i - B_i \sin\alpha_i)}{W_i \sin\alpha_i}, \text{ onde}$$

- $F_s$  = fator de segurança
- $W_i \cos\alpha_i$  = força normal à superfície de ruptura
- $W_i \sin\alpha_i$  = força tangente a superfície de ruptura
- $c$  = força coesiva
- $\varnothing$  = ângulo de atrito interno
- $B$  =  $u/gh$

A seção escolhida para os cálculos foi a seção máxima, uma vez ser esta que detem as condições mais desfavoráveis. Os estudos se desenvolveram com a comparação dos fatores de segurança ( $F_s$ ) encontrados, com os admissíveis para este projeto

Os casos de carregamento a que o maciço será submetido determinaram os parâmetros de resistência a serem utilizados e o tipo de análise a ser feita, tais como



Final de Construção

O talude de jusante foi analisado para esta condição e, a análise feita em termos de pressões totais

Regime Permanente

Este regime é crítico para o talude de jusante e a análise é feita em termos de pressões efetivas. Foi considerada a superfície freática estabelecida no nível máximo normal (cota da soleira) e o sistema de drenagem interna em funcionamento

Os coeficientes de segurança admissíveis seguiram as recomendações do "Army Corps of Engineers", que são

Para FINAL DE CONSTRUÇÃO  $F_s > 1,30$

Para REGIME PERMANENTE  $F_s > 1,40$

Os parâmetros considerados para os diversos materiais foram obtidos com base na caracterização da área de empréstimo e, em experiências com material similar em outras obras, conforme valores abaixo

**MATERIAL 1 AREIA ARGILOSA**

Peso Específico  $1,82 \text{ t/m}^3$

Considerando os resultados dos ensaios de cisalhamento direto

Coesão  $0 \text{ t/m}^2$

Ângulo de atrito interno  $35,6^\circ$



De acordo com referências bibliográficas

Coesão 3 t/m<sup>2</sup>

Ângulo de atrito interno 28°

#### MATERIAL 2 AREIA

Peso Específico 1,85 t/m<sup>3</sup>

Coesão 0 t/m<sup>2</sup>

Ângulo de atrito interno 30°

#### MATERIAL 3 TRANSIÇÃO

Peso Específico 1,9 t/m<sup>3</sup>

Coesão 0 t/m<sup>2</sup>

Ângulo de atrito interno 33°

#### MATERIAL 4 ENROCAMENTO

Peso Específico 2 t/m<sup>3</sup>

Coesão 0 t/m<sup>2</sup>

Ângulo de atrito interno 37°

A seguir são apresentados os resultados para a superfície crítica de ruptura de cada análise

TALUDE: jusante  
 ANÁLISE: final de construção

Nº	ALFAi	cosALFA	senALFA	hi	hi+1	bi	Ai	Wi	Wicos	Wisn	li
1	0,7854	0,70710548	0,70710808	0	2	1,3	1,3	2,3660	1,6730	1,6730	2
2	0,5764	0,83843011	0,54500913	2	4,2	3	9,3	16,9260	14,1913	9,2248	3,7
3	0,4636	0,89444848	0,44717101	4,2	5,1	2	9,3	16,9260	15,1394	7,5688	2,2
4	0,3805	0,92847906	0,37138476	5,1	4,8	2	9,9	18,0180	16,7293	6,6916	2
5	0,1974	0,9805798	0,19612049	4,8	4,2	2	9	16,3800	16,0619	3,2125	2
6	0,0709	0,99748765	0,07084061	4,2	3,3	2	7,5	13,6500	13,6157	0,9670	2
7	-0,0699	0,99755799	-0,06984309	3,3	2,1	2	5,4	9,8280	9,8040	-0,6864	2
8	-0,1974	0,9805798	-0,19612049	2,1	0,65	2	2,75	5,0050	4,9078	-0,9816	2,1
9	-0,2915	0,95781387	-0,28738927	0,65	0	0,8	0,26	0,4732	0,4532	-0,1360	1
									92,5757	27,5337	19
<b>Fs = 1,50710642</b>											

000046

TALUDE: jusante  
 ANÁLISE: regime permanente

Nº	ALFA <sub>i</sub>	cosALFA	senALFA	h <sub>i</sub>	h <sub>i+1</sub>	b <sub>i</sub>	A <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	Wicos	Wisn	l <sub>i</sub>
1	0,7854	0,7071	0,7071	0	2	1,3	1,3	2,3660	1,6730	1,6730	2
2	0,5764	0,8384	0,5450	2	4,2	3	9,3	16,9260	14,1913	9,2248	3,7
3	0,4636	0,8944	0,4472	4,2	5,1	2	9,3	16,9260	15,1394	7,5688	2,2
4	0,3805	0,9285	0,3714	5,1	4,8	2	9,9	18,0180	16,7293	6,6916	2
5	0,1974	0,9806	0,1961	4,8	4,2	2	9	16,3800	16,0619	3,2125	2
6	0,0709	0,9975	0,0708	4,2	3,3	2	7,5	13,6500	13,6157	0,9670	2
7	-0,0699	0,9976	-0,0698	3,3	2,1	2	5,4	9,8280	9,8040	-0,6864	2
8	-0,1974	0,9806	-0,1961	2,1	0,65	2	2,75	5,0050	4,9078	-0,9816	2,1
9	-0,2915	0,9578	-0,2874	0,65	0	0,8	0,26	0,4732	0,4532	-0,1360	1
									92,5757	27,5337	19
Fs =					1,8701						

000047

TALUDE: montante  
 ANÁLISE: final de construção

Nº	ALFAi	cosALFA	senALFA	hi	hi+1	bi	Ai	Wi	Wicos	Wisén	li
1	0,8330	0,6727	0,7400	0	2,2	2	2,2	4,0040	2,6933	2,9628	2,8
2	0,6747	0,7809	0,6247	2,2	3,1	1	2,65	4,8230	3,7663	3,0128	1,1
3	0,6107	0,8192	0,5734	3,1	3,7	2	6,8	12,3760	10,1390	7,0969	2,5
4	0,4636	0,8944	0,4472	3,7	3,9	2	7,6	13,8320	12,3720	6,1853	2,3
5	0,1684	0,9859	0,1676	3,9	3,8	2	7,7	14,0140	13,8158	2,3488	2,1
6	0,2070	0,9787	0,2055	3,8	3,4	2	7,2	13,1040	12,8243	2,6932	2,1
7	0,1489	0,9889	0,1484	3,4	2,7	2	6,1	11,1020	10,9792	1,6470	2,1
8	-0,0599	0,9982	-0,0599	2,7	1,8	2	4,5	8,1900	8,1753	-0,4903	2
9	-0,2450	0,9701	-0,2426	1,8	0	3	2,7	4,9140	4,7673	-1,1919	3,1
									79,5323	24,2645	20,1
<b>Fs =</b>					<b>1,6186</b>						

606648



TALUDE: montante

ANÁLISE: regime permanente

Nº	ALFA <sub>i</sub>	cosALFA	senALFA	h <sub>i</sub>	h <sub>i+1</sub>	b <sub>i</sub>	A <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	Wicos	Wisn	l <sub>i</sub>
1	0,7598	0,7250	0,6888	0	3	3	4,5	8,1900	5,9375	5,6411	4
2	0,5764	0,8384	0,5450	3	4,3	2	7,3	13,2860	11,1394	7,2410	2,4
3	0,4636	0,8944	0,4472	4,3	4,8	2	9,1	16,5620	14,8139	7,4060	2,3
4	0,3805	0,9285	0,3714	4,8	4,1	2	8,9	16,1980	15,0395	6,0157	2,2
5	0,1781	0,9842	0,1772	4,1	3	2	7,1	12,9220	12,7176	2,2893	2,1
6	0,0759	0,9971	0,0758	3	2,4	2	5,4	9,8280	9,7997	0,7452	2
7	-0,0739	0,9973	-0,0738	2,4	1,2	2	3,6	6,5520	6,5341	-0,4838	2
8	-0,0997	0,9950	-0,0995	1,2	0	1,8	1,08	1,9656	1,9558	-0,1956	1,8
9									77,9375	28,6589	18,8
Fs =					1,9890						

60004J



## 8. QUADROS DE CUBAÇÃO



Material SOLO

ESTACAS nº	ÁREA m <sup>2</sup>	DISTÂNCIA m	SEMISOMA m <sup>2</sup>	VPARCIAL m <sup>3</sup>	VACC m <sup>3</sup>
33+10	0,00			0,00	
34	16,25	10	8,13	81,25	81,25
35	39,92	20	28,09	561,70	642,95
36	49,50	20	44,71	894,20	1 537,15
37	29,56	20	39,53	790,60	2 327,75
38	19,39	20	24,48	489,50	2 817,25
38+15	0,00	15	9,70	145,43	<b>2.962,68</b>
43	0,00			0,00	
44	17,46	20	8,73	174,60	174,60
45	37,23	20	27,35	546,90	721,50
46	73,90	20	55,57	1 111,30	1 832,80
47	134,26	20	104,08	2 081,60	3 914,40
48	312,72	20	223,49	4 469,80	8 384,20
49	476,29	20	394,51	7 890,10	16 274,30
50	453,45	20	464,87	9 297,40	25 571,70
51	468,30	20	460,88	9 217,50	34 789,20
52	495,76	20	482,03	9 640,60	44 429,80
53	488,48	20	492,12	9 842,40	54 272,20
54	475,45	20	481,97	9 639,30	63 911,50
55	494,92	20	485,19	9 703,70	73 615,20
56	514,86	20	504,89	10 097,80	83 713,00
57	491,04	20	502,95	10 059,00	93 772,00
58	400,80	20	445,92	8 918,40	102 690,40
59	330,73	20	365,77	7 315,30	110 005,70
60	258,39	20	294,56	5 891,20	115 896,90
61	145,86	20	202,13	4 042,50	119 939,40
62	71,37	20	108,62	2 172,30	122 111,70
63	28,96	20	50,17	1 003,30	123 115,00
63+10	0,00	10	14,48	144,80	<b>123 259,80</b>
TOTAL					<b>129.185,15</b>



Material AREIA

ESTACAS nº	ÁREA m <sup>2</sup>	DISTÂNCIA m	SEMISOMA m <sup>2</sup>	VPARCIAL m <sup>3</sup>	VACC m <sup>3</sup>
33+10	0,00			0,00	
34	0,00	10	0,00	0,00	0,00
35	0,00	20	0,00	0,00	0,00
36	0,00	20	0,00	0,00	0,00
37	0,00	20	0,00	0,00	0,00
38	0,00	20	0,00	0,00	0,00
38+15	0,00	15	0,00	0,00	0,00
43	0,00			0,00	
44	0,00	20	0,00	0,00	0,00
45	0,00	20	0,00	0,00	0,00
46	0,00	20	0,00	0,00	0,00
47	2,46	20	1,23	24,60	24,60
48	25,78	20	14,12	282,40	307,00
49	30,62	20	28,20	564,00	871,00
50	28,90	20	29,76	595,20	1 466,20
51	29,97	20	29,44	588,70	2 054,90
52	30,68	20	30,33	606,50	2 661,40
53	29,67	20	30,18	603,50	3 264,90
54	30,13	20	29,90	598,00	3 862,90
55	29,95	20	30,04	600,80	4 463,70
56	31,02	20	30,49	609,70	5 073,40
57	29,89	20	30,46	609,10	5 682,50
58	28,66	20	29,28	585,50	6 268,00
59	27,49	20	28,08	561,50	6 829,50
60	20,40	20	23,95	478,90	7 308,40
61	12,66	20	16,53	330,60	7 639,00
62	4,25	20	8,46	169,10	7 808,10
63	0,00	20	2,13	42,50	7 850,60
63+10	0,00	10	0,00	0,00	7.850,60
TOTAL					7.850,60



Material BRITA

ESTACAS nº	ÁREA m <sup>2</sup>	DISTÂNCIA m	SEMISOMA m <sup>2</sup>	VPARCIAL m <sup>3</sup>	VACC m <sup>3</sup>
33+10	0,00			0,00	
34	0,00	10	0,00	0,00	0,00
35	0,00	20	0,00	0,00	0,00
36	0,00	20	0,00	0,00	0,00
37	0,00	20	0,00	0,00	0,00
38	0,00	20	0,00	0,00	0,00
38+15	0,00	15	0,00	0,00	0,00
43	0,00			0,00	
44	0,00	20	0,00	0,00	0,00
45	0,00	20	0,00	0,00	0,00
46	0,00	20	0,00	0,00	0,00
47	0,00	20	0,00	0,00	0,00
48	0,00	20	0,00	0,00	0,00
49	8,44	20	4,22	84,40	84,40
50	8,54	20	8,49	169,80	254,20
51	5,36	20	6,95	139,00	393,20
52	6,33	20	5,85	116,90	510,10
53	8,53	20	7,43	148,60	658,70
54	7,93	20	8,23	164,60	823,30
55	9,37	20	8,65	173,00	996,30
56	6,70	20	8,04	160,70	1 157,00
57	6,05	20	6,38	127,50	1 284,50
58	4,60	20	5,33	106,50	1 391,00
59	2,06	20	3,33	66,60	1 457,60
60	0,00	20	1,03	20,60	1 478,20
61	0,00	20	0,00	0,00	1 478,20
62	0,00	20	0,00	0,00	1 478,20
63	0,00	20	0,00	0,00	1 478,20
63+10	0,00	10	0,00	0,00	1 478,20
TOTAL					1.478,20



Material ROCHA/RIPRAP

ESTACAS nº	ÁREA m²	DISTÂNCIA m	SEMISOMA m²	VPARCIAL m³	VACC m³
33+10	0,00			0,00	
34	2,60	10	1,30	13,00	13,00
35	5,57	20	4,09	81,70	94,70
36	5,45	20	5,51	110,20	204,90
37	3,16	20	4,31	86,10	291,00
38	1,91	20	2,54	50,70	341,70
38+15	0,00	15	0,96	14,33	356,03
43	0,00			0,00	
44	4,70	20	2,35	47,00	47,00
45	6,65	20	5,68	113,50	160,50
46	10,13	20	8,39	167,80	328,30
47	18,09	20	14,11	282,20	610,50
48	26,48	20	22,29	445,70	1 056,20
49	23,79	20	25,14	502,70	1 558,90
50	24,63	20	24,21	484,20	2 043,10
51	25,61	20	25,12	502,40	2 545,50
52	26,25	20	25,93	518,60	3 064,10
53	26,25	20	26,25	525,00	3 589,10
54	26,17	20	26,21	524,20	4 113,30
55	26,19	20	26,18	523,60	4 636,90
56	26,95	20	26,57	531,40	5 168,30
57	27,75	20	27,35	547,00	5 715,30
58	26,60	20	27,18	543,50	6 258,80
59	25,82	20	26,21	524,20	6 783,00
60	21,28	20	23,55	471,00	7 254,00
61	14,57	20	17,93	358,50	7 612,50
62	8,60	20	11,59	231,70	7 844,20
63	4,16	20	6,38	127,60	7 971,80
63+10	0,00	10	2,08	20,80	7 992,60
TOTAL					8.704,65



Material ROCHA/ROCKFILL

ESTACAS nº	ÁREA m <sup>2</sup>	DISTÂNCIA m	SEMISOMA m <sup>2</sup>	VPARCIAL m <sup>3</sup>	VACC m <sup>3</sup>
33+10	0,00			0,00	
34	0,00	10	0,00	0,00	0,00
35	0,00	20	0,00	0,00	0,00
36	0,00	20	0,00	0,00	0,00
37	0,00	20	0,00	0,00	0,00
38	0,00	20	0,00	0,00	0,00
38+15	0,00	15	0,00	0,00	0,00
43	0,00			0,00	
44	0,00	20	0,00	0,00	0,00
45	0,00	20	0,00	0,00	0,00
46	0,00	20	0,00	0,00	0,00
47	0,00	20	0,00	0,00	0,00
48	0,00	20	0,00	0,00	0,00
49	38,11	20	19,06	381,10	381,10
50	42,08	20	40,10	801,90	1 183,00
51	16,20	20	29,14	582,80	1 765,80
52	22,11	20	19,16	383,10	2 148,90
53	42,07	20	32,09	641,80	2 790,70
54	36,23	20	39,15	783,00	3 573,70
55	51,06	20	43,65	872,90	4 446,60
56	24,13	20	37,60	751,90	5 198,50
57	20,22	20	22,18	443,50	5 642,00
58	11,71	20	15,97	319,30	5 961,30
59	2,23	20	6,97	139,40	6 100,70
60	0,00	20	1,12	22,30	6 123,00
61	0,00	20	0,00	0,00	6 123,00
62	0,00	20	0,00	0,00	6 123,00
63	0,00	20	0,00	0,00	6 123,00
63+10	0,00	10	0,00	0,00	6.123,00
TOTAL					6 123,00

**Material FUNDAÇÃO**

<b>ESTACAS</b> nº	<b>ÁREA</b> m <sup>2</sup>	<b>DISTÂNCIA</b> m	<b>SEMISOMA</b> m <sup>2</sup>	<b>VPARCIAL</b> m <sup>3</sup>	<b>VACC</b> m <sup>3</sup>
33+10	0,00			0,00	
34	5,59	10	2,80	27,95	27,95
35	7,88	20	6,74	134,70	162,65
36	8,38	20	8,13	162,60	325,25
37	7,00	20	7,69	153,80	479,05
38	6,13	20	6,57	131,30	610,35
38+15	0,00	15	3,07	45,98	<b>656,33</b>
43	0,00			0,00	
44	6,26	20	3,13	62,60	62,60
45	8,89	20	7,58	151,50	214,10
46	12,15	20	10,52	210,40	424,50
47	27,22	20	19,69	393,70	818,20
48	24,06	20	25,64	512,80	1 331,00
49	39,41	20	31,74	634,70	1 965,70
50	54,24	20	46,83	936,50	2 902,20
51	52,82	20	53,53	1 070,60	3 972,80
52	44,65	20	48,74	974,70	4 947,50
53	47,39	20	46,02	920,40	5 867,90
54	40,53	20	43,96	879,20	6 747,10
55	45,90	20	43,22	864,30	7 611,40
56	48,11	20	47,01	940,10	8 551,50
57	44,57	20	46,34	926,80	9 478,30
58	26,30	20	35,44	708,70	10 187,00
59	24,29	20	25,30	505,90	10 692,90
60	20,97	20	22,63	452,60	11 145,50
61	17,40	20	19,19	383,70	11 529,20
62	16,19	20	16,80	335,90	11 865,10
63	6,88	20	11,54	230,70	12 095,80
63+10	0,00	10	3,44	34,40	<b>12.130,20</b>
<b>TOTAL</b>					<b>13 442,85</b>





Material TALUDE MONTANTE

ESTACAS nº	ÁREA m <sup>2</sup>	DISTÂNCIA m	SEMISOMA m <sup>2</sup>	VPARCIAL m <sup>3</sup>	VACC m <sup>3</sup>
33+10	0,00			0,00	
34	4,23	10	2,12	21,15	21,15
35	7,99	20	6,11	122,20	143,35
36	7,70	20	7,85	156,90	300,25
37	4,80	20	6,25	125,00	425,25
38	3,26	20	4,03	80,60	505,85
38+15	0,00	15	1,63	24,45	530,30
43	0,00			0,00	
44	7,30	20	3,65	73,00	73,00
45	9,74	20	8,52	170,40	243,40
46	14,26	20	12,00	240,00	483,40
47	24,42	20	19,34	386,80	870,20
48	34,26	20	29,34	586,80	1 457,00
49	30,76	20	32,51	650,20	2 107,20
50	31,84	20	31,30	626,00	2 733,20
51	32,99	20	32,42	648,30	3 381,50
52	33,75	20	33,37	667,40	4 048,90
53	33,75	20	33,75	675,00	4 723,90
54	33,75	20	33,75	675,00	5 398,90
55	33,72	20	33,74	674,70	6 073,60
56	34,67	20	34,20	683,90	6 757,50
57	35,65	20	35,16	703,20	7 460,70
58	34,42	20	35,04	700,70	8 161,40
59	33,73	20	34,08	681,50	8 842,90
60	28,04	20	30,89	617,70	9 460,60
61	19,39	20	23,72	474,30	9 934,90
62	11,87	20	15,63	312,60	10 247,50
63	7,04	20	9,46	189,10	10 436,60
63+10	0,00	10	3,52	35,20	10 471,80
TOTAL					11.002,10



Material TALUDE JUSANTE

ESTACAS nº	ÁREA m <sup>2</sup>	DISTÂNCIA m	SEMISOMA m <sup>2</sup>	VPARCIAL m <sup>3</sup>	VACC m <sup>3</sup>
33+10	0,00			0,00	
34	4,84	10	2,42	24,20	24,20
35	8,50	20	6,67	133,40	157,60
36	10,25	20	9,38	187,50	345,10
37	8,78	20	9,52	190,30	535,40
38	7,83	20	8,31	166,10	701,50
38+15	0,00	15	3,92	58,73	760,23
43	0,00			0,00	
44	4,99	20	2,50	49,90	49,90
45	10,53	20	7,76	155,20	205,10
46	16,01	20	13,27	265,40	470,50
47	18,47	20	17,24	344,80	815,30
48	26,50	20	22,49	449,70	1 265,00
49	33,71	20	30,11	602,10	1 867,10
50	34,85	20	34,28	685,60	2 552,70
51	31,62	20	33,24	664,70	3 217,40
52	32,87	20	32,15	642,90	3 860,30
53	36,20	20	34,44	688,70	4 549,00
54	36,02	20	36,11	722,20	5 271,20
55	36,92	20	36,47	729,40	6 000,60
56	32,76	20	34,84	696,80	6 697,40
57	32,41	20	32,59	651,70	7 349,10
58	20,50	20	26,46	529,10	7 878,20
59	26,36	20	23,43	468,60	8 346,80
60	23,14	20	24,75	495,00	8 841,80
61	17,99	20	20,57	411,30	9 253,10
62	12,34	20	15,17	303,30	9 556,40
63	6,18	20	9,26	185,20	9 741,60
63+10	0,00	10	3,09	30,90	9.772,50
TOTAL					10 532,73



### VERTEDOIRO

ESTACAS nº	ÁREA m <sup>2</sup>	DISTÂNCIA m	SEMISOMA m <sup>2</sup>	VPARCIAL m <sup>3</sup>	VACC m <sup>3</sup>
1	317,00	0	0,00	0,00	0,00
2	322,00	15	319,50	4 792,50	4 792,50
3	292,00	15	307,00	4 605,00	9 397,50
4	266,00	15	279,00	4 185,00	13 582,50
5	217,00	15	241,50	3 622,50	17.205,00



## 9. ANEXOS