

GOVERNO DO ESTADO



CEARÁ

AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

**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
BENGUÊ**

TOMO I

Relatório Geral do Projeto Executivo da Barragem

Volume 3 Mémoire de Cálculo

AGUASOLOS

FORTALEZA- CE
JUNHO DE 1998

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
BENGUÊ

TOMO I

RELATÓRIO GERAL DO PROJETO
EXECUTIVO DA BARRAGEM

VOLUME 3
MEMÓRIA DE CÁLCULO

FORTALEZA
JUNHO / 98



Lote: 00967 - Prep (X) Scan () Index ()

Projeto N° 0091/01/03/B

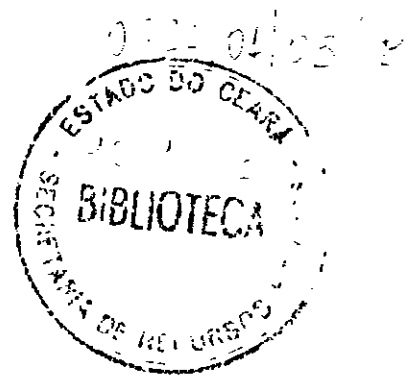
Volume 1

Qtd. A4 _____ Qtd. A3 _____

Qtd. A2 _____ Qtd. A1 _____

Qtd. A0 _____ Outros _____

B



INDICE

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO.....	3
1 - MEMÓRIA DE CÁLCULO.....	6
2 - PLANILHAS DE CÁLCULO.....	25

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

A documentação aqui apresentada compreende o Relatório Final do Projeto Executivo da Barragem Bengué, desenvolvido nos Termos do Contrato nº 021/97/PROURB/CE/COGERH, firmado entre a AGUASOLOS - Consultora de Engenharia Ltda e a SRH - Secretaria de Recursos Hídricos

O Projeto do Açude BENGUÊ faz parte de um Plano do Governo do Estado do Ceará, em parceria com o Banco Mundial, para implementação estratégica de um conjunto de barragens no próprio Estado, em cumprimento a uma adequada Política de Recursos Hídricos para toda região estadual

O açude BENGUÊ, com uma capacidade armazenável de 19 56 hm³ e um dos açudes escolhidos dentro do elenco de quarenta unidades previstas pelo referido Plano Estadual, devendo ter como função primordial o abastecimento de água da cidade de AIUABA e perenização do riacho Umbuzeiro para fins de irrigação

O projeto do Açude BENGUÊ compreende os seguintes estudos

- Projeto Executivo da Barragem.
- Projeto Executivo da Adutora de AIUABA.
- Plano de Aproveitamento do Açude, com identificação dos usos programados para o reservatório, com ênfase a irrigação de área propícia e a piscicultura.

Em síntese, o Relatório Final está composto dos seguintes documentos

Tomo I - Relatório Geral do Projeto Executivo da Barragem.

Volume 1 - Descrição Geral do Projeto.

Volume 2 - Quantitativos e Orçamentos

Volume 3 - Memória de Cálculo;

Volume 4 - Especificações Técnicas.

Volume 5 - Plantas.

Volume 6 - Relatório Síntese

Tomo II - Relatório dos Estudos Básicos.

Volume 1 - Estudos Topográficos.

Volume 2 - Estudos Geológicos e Geotécnicos

Volume 3 - Estudos Hidrológicos

Tomo III - Relatório do Plano de Aproveitamento do Reservatório

Volume 1 - Estudos Básicos.

Volume 2 - Relatório Geral

Tomo IV - Relatório dos Estudos Básicos da Adutora

Volume 1 - Estudos de Alternativas de Traçado.

Volume 2 - Estudos Básicos.

Volume 3 - Estudos Básicos Complementares - Topografia e Geotecnia.

Volume 4 - Estudos de Concepção do Sistema

Tomo V - Relatório do Projeto Executivo da Adutora

Volume 1 - Relatório Geral e Memorial de Cálculo.

Volume 2 - Quantitativos e Orçamentos.

Volume 3 - Especificações Técnicas e

Normas de Medição e Pagamento.

Volume 4 - Plantas

1 - MEMORIA DE CALCULO

ROTEIRO DE CALCULOS

PRECIPITAÇÃO MEDIA NA BACIA HIDROGRAFICA

- Area da bacia hidrografica = 1062,3 km²
Descarga milenar (ef) = 1020 44 m³/s
Descarga decamilenar (ef) = 1395 m³/s

LARGURA DO VERTEDOURO

a) descarga milenar

Qm = **1020,45** m³/s (descarga de projeto)
L = 150.000 m (adotado)
Ho = **2.14** m

a) descarga decamilenar

Qm = **1359,87** m³/s (descarga de projeto)
L = 150,000 m (adotado)
Ho = **2,59** m

I) GEOMETRIA DO MACIÇO

FOLGA (F)

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

$$h_o = 0.75 + 0.34 \times (L)^{1/2} - 0.26 \times (L)^{1/4}$$

$$v_o = 1.5 + 2h_o$$

$$f = 0.75h_o + (v_o^2/2g)$$

onde

$$h_o = \text{alt da onda} = 0.83 \text{ m}$$

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

$$v_o = \text{velocidade da onda em m/s}$$

$$F = \text{folga em m}$$

logo

$$h_o = 0.83 \text{ m}$$

$$v_o = 3.16 \text{ m/s}$$

$$F = 1.13 \text{ m}$$

REVANCHE

Para cálculo da "revanche" utilizou-se a formula

$$R = H_o + F$$

onde

a) descarga milenar

$$H_o = \text{lâmina de sangria} = 2.14 \text{ m}$$

$$F = \text{folga} = 1.13 \text{ m}$$

$$R = 3.27 \text{ m}$$

b) descarga decamilenar

$$H_o = \text{lâmina de sangria} = 2.59 \text{ m}$$

$$F = \text{folga} = 0.60 \text{ m}$$

$$R = 3.19 \text{ m}$$

COTA DO COROAMENTO DA BARRAGEM

Calculou-se a cota do coroamento pela formula

$$cc = cs + R$$

onde

$$cc = \text{cota do coroamento}$$

$$cs = \text{cota da soleira do sangradouro} = 448.5$$

a) descarga milenar

$$R = \text{revanche} = 3.27$$

logo

$$cc = 451.77$$

b) descarga decamilenar

$$R = \text{revanche} = 3.19$$

logo

$$cc = 451.69$$

$$\text{Adotou-se a cota do coroamento} = 452.00$$

000011

ALTURA MAXIMA DA BARRAGEM (Hb)

Para determinação da altura máxima utilizou-se a seguinte formula

$$H_b = cc - CLR$$

onde

$$cc = \text{cota do coroamento} = 452.00$$

$$CLR = \text{cota do leito do rio} = 428.39$$

$$H_b = 23,61 \text{ m}$$

LARGURA DA CRISTA (b)

A largura da crista foi determinada pela formula de Preece

$$b = 1.1 \times (H_b)^{1/2} + 1.0$$

$$b = 6.34$$

$$\text{Adotou-se } b = 6.00 \text{ m}$$

TALUDES

TALUDE DE MONTANTE

$$\text{Cota } 452 \text{ ate a cota } 443.00 = 2,00 \text{ } 1$$

$$\text{Cota } 443 \text{ ate o terreno} = 2,50 \text{ } 1$$

TALUDE DE JUSANTE

$$\text{Cota } 452 \text{ ate o terreno} = 2,00 \text{ } 1$$

RIP-RAP

ESPESSURA DO RIP-RAP

O rip-rap foi dimensionado através da formula

$$e = C v_o^2$$

onde

e = espessura do rip-rap (m)

C = coeficiente, função da inclinação do talude

e do peso específico da rocha = 0,031

v_o = velocidade das ondas (m/s) = 3.16 m

$$e = 0.3095536 \text{ m} \quad \text{Adotou-se } e = 0.70 \text{ m}$$

ESPESSURA DA TRANSIÇÃO

$$e_t = e/2$$

onde

e_t = espessura da transição

$$e_t = 0.1547768 \text{ m} \quad \text{Adotou-se } e_t = 0.30 \text{ m}$$

$$\text{ADOTOU-SE UM ESPESSURA TOTAL (INCLUSIVE TRANSIÇÃO)} = 1.00 \text{ m}$$

000012

II) SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA

REDE DE FLUXO - CALCULO DA DESCARGA

ANISOTROPIA

$$K_v = K_h$$

$$K_v = KSM = 0.00000141 \text{ cm/s}$$

$$K_v = 1.41E-08 \text{ m/s}$$

$$K_h = 9 \times K_v = 1.269E-07 \text{ m/s}$$

$$X_t = X(K_v/K_h)^{0.5} = X \cdot 0.33333$$

$$d = 25.79 \text{ m}$$

$$h = 20.11 \text{ m}$$

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

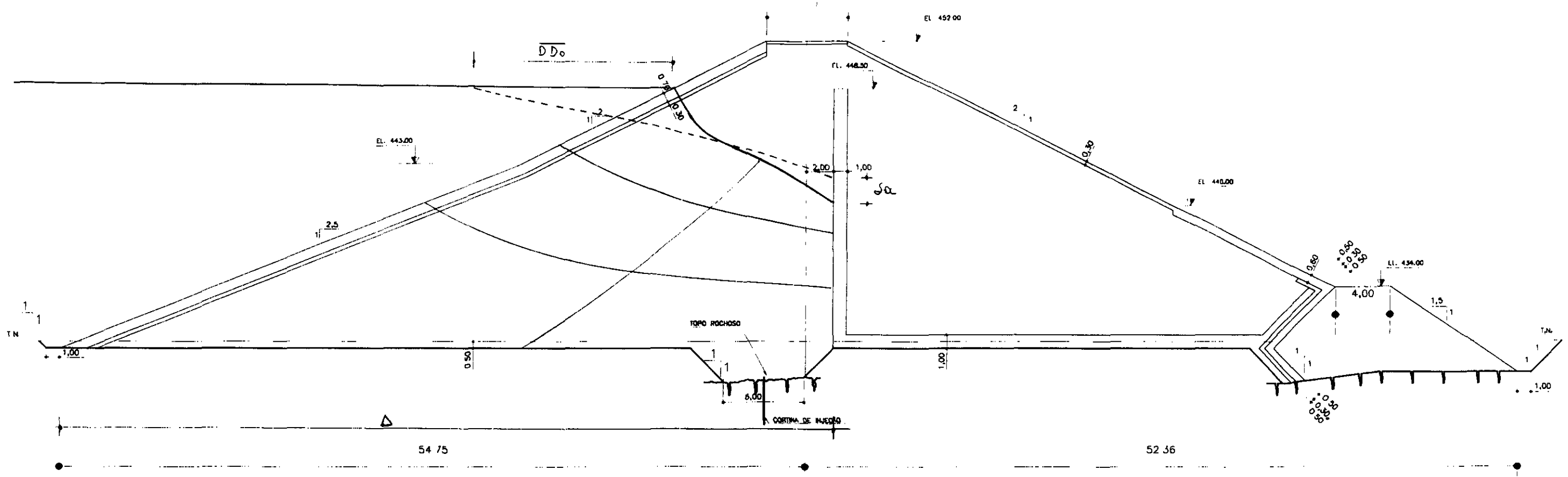
$$y_o = ((d/3)^2 + h^2)^{1/2} - (d/3)$$

$$y_o = 13.273 \text{ m}$$

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

COORDENADAS DA SUPERFICIE FREATICA

X_t	y	$X_r=3X_t$
0.00	13.273	0.00
2.00	15.142	6.00
4.00	16.804	12.00
6.00	18.316	18.00
8.00	19.712	24.00
8.60	20.110	25.79



SEÇÃO TIPO
ESC. 1:300

Verificação do Gradiente - Seções Transversais

$$i = Q/k \cdot e$$

estaca 26

$$Q = 2.115E-07 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

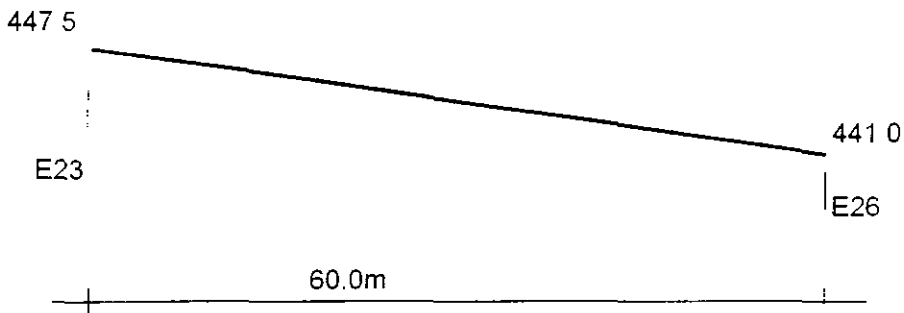
$$i = 9.44196E-05 \text{ m}/\text{m}$$

estaca 23

$$Q = 4.23E-08 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$i = 1.88839E-05 \text{ m}/\text{m}$$

Verificação do Gradiente - Sentido Longitudinal



$$i = \Delta n / L = 0.111666667 \text{ m}/\text{m}$$

O gradiente no sentido longitudinal é da ordem de 1000 vezes maior que no sentido transversal, logo o fluxo se dará preferencialmente no sentido longitudinal com a saída pelas seções mais inferiores, onde existe o coletor final - enrocamento de pe

PERCOLAÇÃO ATRAVES DO MACIÇO

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

$$Q_b = K_b \cdot h \cdot (N_f/N_d)$$

onde

Q_b = descarga através do maciço

K_b = permeabilidade do material (SM)

N_f = número de canais de fluxo = 2

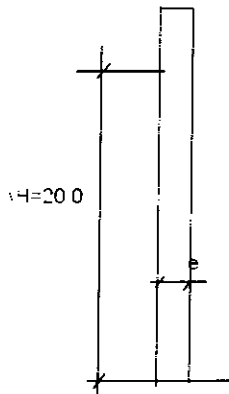
N_d = número de quedas de potencial = 3

assim, conforme desenho a seguir (rede de fluxo)

e assumindo $K_b = 4,23E-08$ m/s

$$Q_b = 5,67E-07 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

ESPESSURA DO FILTRO



$$e = 1,00 \text{ m (ADOTADO)}$$

$$k = 2,24E-03 \text{ cm/s}$$

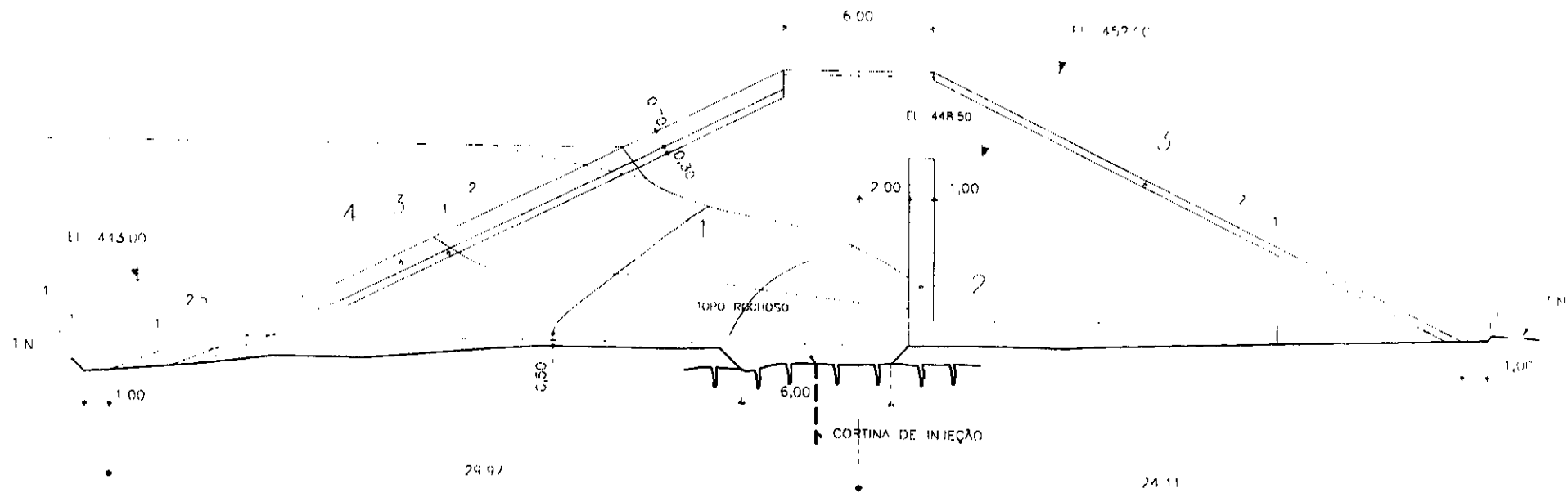
$$i = 1,00$$

$$Q_b = 5,67E-07 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$Q_{f_{\max}} = k \cdot i \cdot e$$

$$Q_{f_{\max}} = 2,24E-05 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$F.S. = \frac{Q_{f_{\max}}}{Q_b} = 39,499 > 10 \text{ OK!}$$



SEÇÃO EST.26
 ESC 1:250

000017

III) TOMADA D'ÁGUA

Acumulação = 19 560 000 m³
 6% Vt < V morto < 10% Vt
 1 173 600 < V morto < 1 956 000 m³
 V morto = 1 305 613 m³
 logo. cota do porão = 438.00

O diâmetro foi calculado pela fórmula

$$D = (4Q/Pi)^{1/2}$$

onde

$$Q = \text{descarga regularizada} = 0.199 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Pi = 3.1416$$

logo

$$D = 0.425 \text{ m}$$

Diâmetro adotado 500 mm

velocidade do escoamento

$$v = Q/a = 1.01 \text{ m/s}$$

o número de Reynolds vem a ser

$$Re = (v \cdot D) / \nu = 6.33E+05$$

pelo diagrama de Moody, o coeficiente de atrito tem o valor $f = 0.0175$

a perda por atrito é calculada pela expressão

$$hf = f(l \cdot v^2) / (2g \cdot D) = 0.128 \text{ m}$$

as perdas acidentais foram calculadas em função dos coeficientes

$$Kc = 0.55 \text{ entrada}$$

$$Kr = 0.25 \text{ registro}$$

$$Ks = 1 \text{ saída da tubulação}$$

ESCOAMENTO DE FLUIDOS EM TUBOS

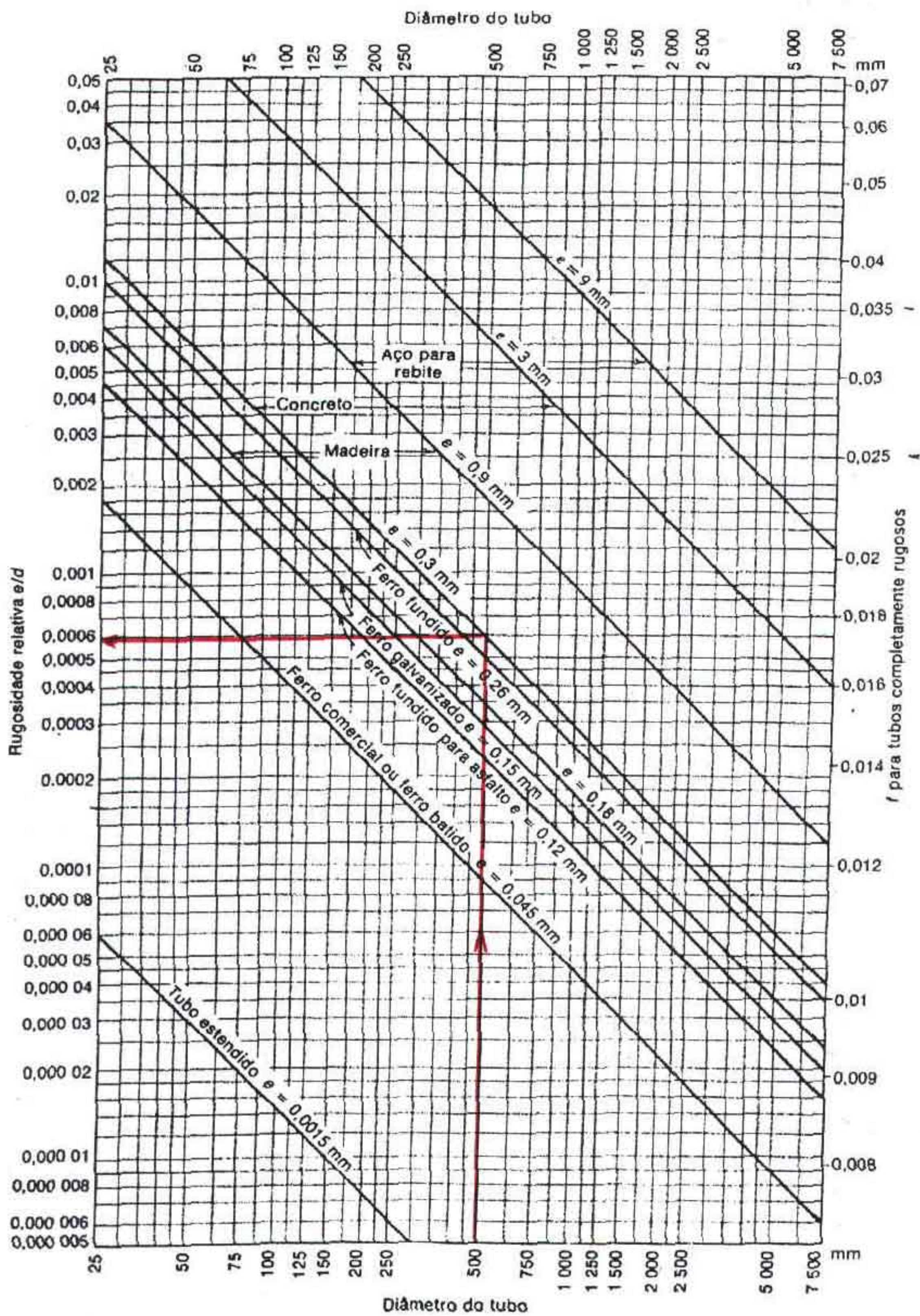
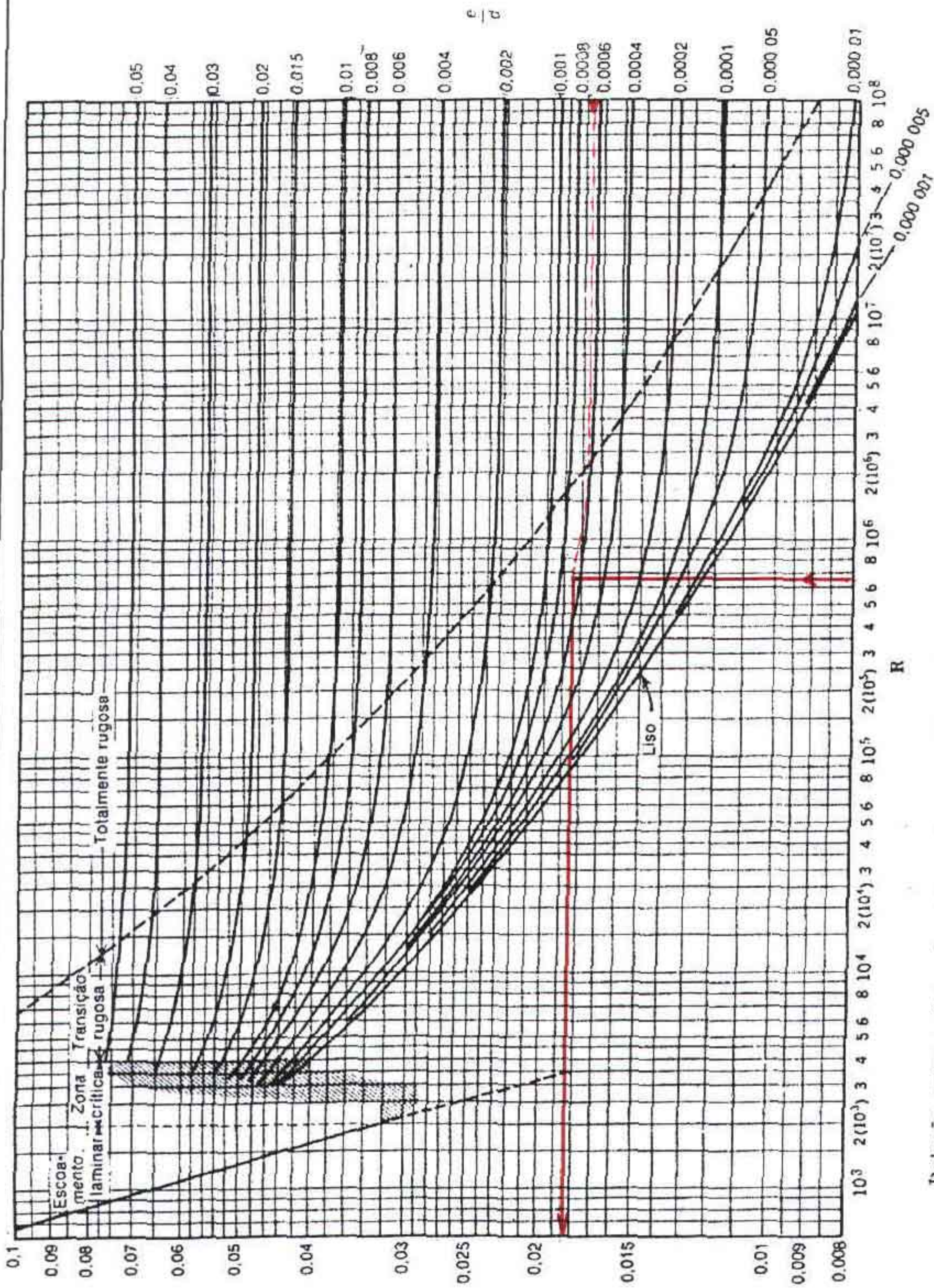


Diagrama de rugosidade relativa

ELEMENTOS DE MECÂNICA DOS FLUIDOS



Relação entre o fator de atrito, número de Reynolds, e rugosidade para tubos comerciais (ver nota de rodapé 9).

a perda acidental total sera

$$h_a = (K_c + K_r + k_s)(v^2/2g) = 0.107 \text{ m}$$

e a perda total sera 0.236 m

Como a cota do eixo da galeria = 438.00

O nivel minimo operacional sera 438.29

EQUAÇÃO DA DESCARGA DA GALERIA

expressão das perdas localizadas em função da vazão

$$h_f = f(l \cdot v^2)/(2g \cdot D) = f(l \cdot (Q/A)^2)/(2g \cdot D)$$

como $A = 0.1964 \text{ m}^2$

$$h_f = 3.2388 Q^2$$

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

$$h_a = 2.7100 Q^2$$

$$H_{\text{minimo operacional}} = \text{cota entrada} + H_f + (V^2/2g)$$

$$H_{\text{min operacional}} = 448 + 5.94872718 Q^2 + V^2/2g$$

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

$$V^2/2g = 1.3220 Q^2$$

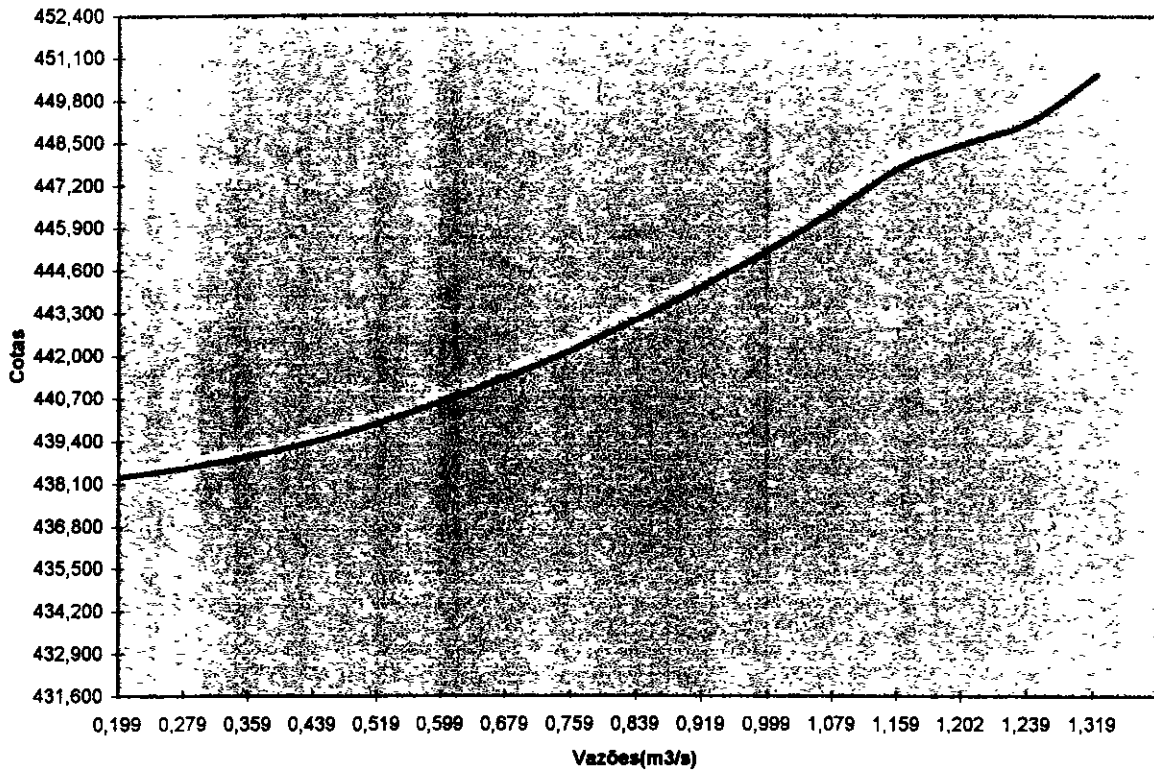
$$H_w = h_l + h_f + V^2/2g$$

$$H_w = 7.2708 Q^2$$

Hw	Q	COTA	OBSERVAÇÕES
0.288	0,199	438.288	H _{min} operacional
0.566	0,279	438.566	
0.937	0,359	438.937	
1.401	0,439	439.401	
1.958	0,519	439.958	
2.609	0,599	440.609	
3.352	0,679	441.352	
4.189	0,759	442.189	
5.118	0,839	443.118	
6.141	0,919	444.141	
7.256	0,999	445.256	
8.465	1,079	446.465	
9.767	1,159	447.767	
10,500	1,202	448,500	Soleira
11,161	1,239	449,161	
12.640	1,319	450,640	NA Max (1000anos)

000021

CURVA DE DESCARGA DA GALERIA



NOTAS DE CALCULO

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - GENERALIDADES

A presente Nota de Calculo refere-se ao Projeto de Calculo estrutural da Tomada D'agua do Açude Bengué

1.2 - CARGAS

1.2.1 - Peso Próprio	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Concreto Estrutural - } \gamma_c = 2.5 \text{ tf/m}^3 \\ \text{Concreto Magro - } \gamma_c = 2.2 \text{ tf/m}^3 \end{array} \right.$
1.2.2 - Peso da Água -	$\gamma_a = 1,0 \text{ tf/m}^3$
1.2.3 - Peso de Terra -	$\gamma_t = 2,1 \text{ tf/m}^3$

1.3 - Coeficiente de Segurança - Tensões de Cálculo

Foram observadas as recomendações da NBR 7107

1.4 - Materiais Empregados

- Concreto Armado	$f_{ck} = 20 \text{ Mpa}$
- Aço CA 50	$f_{yk} = 500 \text{ Mpa}$

2 - MEMÓRIA DE CÁLCULO

2.1 - BOCA DE MONTANTE (CAIXA DE ENTRADA)

Tendo em vista os esforços solicitantes serem pequenos em face as dimensões dos elementos estruturais, prevaleceu a condição de armadura mínima

- Peças solicitadas predominantemente a flexão

$$A_s = 0,15\% b_w d$$

- Peças solicitadas predominantemente a compressão

$$A_s = 0,5\% A_c$$

2.2 - GALERIA

A Galeria foi analisada como uma quadro fechado, considerando-se a situação mais desfavorável (Eixo da Barragem), solicitado aos esforços verticais e empuxo 3 laterais provenientes do maciço da Barragem, e do seu peso proprio

2.2.1 - Ação do Carregamento Vertical

$$\begin{aligned}
 J1 &= 2,1 \times 13,95 = 28,24 \text{ tf/m}^2 \\
 J2 &= 2,5 \times 0,30 = 0,78 \text{ tf/m}^2 \\
 \hline
 G &= 28,99 \text{ tf/m}^2
 \end{aligned}$$

2.2.2 - Ação do Carregamento Horizontal (Empuxo de Terra)

$$\begin{aligned}
 p &= K_a \gamma h \quad \text{onde,} \quad K_a = \text{Tg}^2 (45^\circ - \varphi/2), \quad \varphi = 30^\circ \\
 & \quad \quad \quad K_a = 0,333 \\
 p &= 0,333 \times 14,85 \times 2,1 = 10,38 \text{ tf/m}^2
 \end{aligned}$$

2.2.3 - Dimensionamento

O Dimensionamento foi feito em conformidade com os itens da NBR 6118 que tratam do estado limite último de resistência sob solicitações normais prevaleceu a condição de armadura mínima

2.3 - BOCA DE JUSANTE (CAIXA DE DISSIPACÃO)

Na análise do sistema estrutural adotado, levou-se em conta a ação do Jorro D'água sobre a estrutura

$$\begin{aligned}
 \text{Vazão} &= 0,199 \text{ m}^3/\text{sg} \\
 V_o &= \frac{Q_o}{A} \\
 Q_o &= 0,199 \text{ m}^3/\text{sg} \\
 A_o &= 0,785 \times 0,5^2 = 0,196 \text{ m}^2 \\
 V_o &= \frac{0,199}{0,196} = 1,0 \text{ m/sg}
 \end{aligned}$$

Considerando-se que os esforços solicitantes são pequenos em presença das dimensões dos elementos estruturais, prevalece a condição de armadura mínima

IV) TRATAMENTO DE FUNDAÇÃO

Ao longo do eixo do maciço, na trincheira de vedação, no trecho entre as estacas 28 e 37 será executada uma cortina de impermeabilização composta por uma linha de injeção com furos primários, secundários e terciários

O tratamento da fundação será assim dividido em 2 trechos

- TRECHO I (estacas 22 e 28 e estacas 34+10m a 37 ')

Profundidade do furo h = 6m

- TRECHO II (estacas 28 e 34 + 10m)

Profundidade do furo h = 9m

Profundidade total dos furos

- TRECHO I (estacas 22 e 28 e estacas 34+10m a 37 ')

x = 170 m

h = 6 m

No de furos 28 furos

- TRECHO II (estacas 28 e 34 + 10m)

x = 130 m

h = 9 m

Nº de furos 22 furos

TOTAL = 366 m

Em função do grau de fraturamento do substrato rochoso, observado nas sondagens realizadas, previu-se um consumo medio de 10kg de cimento por metro de furo

PESO TOTAL = 3660 kg

Nº de sacos de cimento = 73

V) ESTABILIDADE DOS TALUDES

A seção escolhida para os cálculos foi a seção máxima, uma vez ser esta que detém 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

Tanto o talude de montante quanto o de jusante foram analisados para esta condição e esta 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 das áreas de empréstimo e em experiências com material similar em outras obras.

MATERIAL 1 AREIA SILTOSA

Peso Específico	1.87 t/m ³
Considerando os resultados dos ensaios de cisalhamento direto	
Coesão	1.2 t/m ²
Angulo de atrito interno	33.65 °
De acordo com referências bibliográficas	
Coesão	3 t/m ²
Angulo de atrito interno	29 °

MATERIAL 2 AREIA

Peso Específico	1.85 t/m ³
Coesão	0 t/m ²
Angulo de atrito interno	30 °

MATERIAL 3 TRANSIÇÃO

Peso Específico	1.9 t/m ³
Coesão	0 t/m ²
Angulo de atrito interno	33 °

MATERIAL 4 ENROCAMENTO

Peso Específico	2 t/m ³
Coesão	0 t/m ²
Angulo de atrito interno	40 °

MATERIAL 5 FUNDAÇÃO(AREIA FINA A MÉDIA, SILTOSA)

Peso Específico	1.85 t/m ³
Coesão	0 t/m ²
Angulo de atrito interno	33 °

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

000027

2 - PLANILHAS DE CÁLCULO

FATIA	PESO	ANGULO	FORÇA NORMAL	F.PRES. EUTR	ANG.ATR. INTERNO	FORÇA ATRITO	FORÇA TANGENC.	FORÇA COESÃO	FORÇA COESIVA
1	2 86	52 43	1 74	0.35	35 00	0 98	2 27	0 00	0 00
2	22 27	48 99	14 62	2 92	27 00	5 96	16 81	4 00	16 80
3	50 45	45 00	35 67	7 13	27 00	14,54	35 67	4 00	20 00
4	62 90	38 66	49 12	9 82	27 00	20 02	39 29	4 00	16 40
5	22 68	35 37	18 49	3 70	30 00	8 54	13 13	0 00	0 00
6	118 30	30 96	101 45	20 29	27 00	41 35	60 86	4 00	24 00
7	116 48	24 23	106 22	21 24	27 00	43 30	47 80	4 00	22 00
8	110 11	20 81	102 93	20 59	27 00	41 96	39 12	4 00	20 80
9	110 22	13 50	107 17	21 43	27 00	43 69	25 73	4 00	22 40
10	95 60	9 09	94 39	18 88	30 00	43 60	15 10	0 00	0 00
11	78 38	2 86	78 28	15 66	30 00	36 16	3 91	0 00	0 00
12	44 34	4 57	44 20	8 84	30 00	20 42	3 53	0 00	0 00
13	26 73	6 84	26 54	5 31	30 00	12 26	3 18	0 00	0 00
14	18 18	11 31	17 83	3 57	35 00	9 99	3 57	0 00	0 00
Totais						342.74	289.41		142.40

Jusante/Filtro Inoperante
Fator de Segurança: 1.676

FATIA	PESO	ANGULO	FORÇA NORMAL	F.PRES. EUTR	ANG.ATR. INTERNO	FORÇA ATRITO	FORÇA TANGENC.	FORÇA COESÃO	FORÇA COESIVA
1	2 86	52.43	1 74	0 52	35 00	0.85	2 27	0.00	0 00
2	22 27	48 99	14.62	4 38	27 00	4 21	16 81	4 00	16 80
3	50 45	45 00	35 67	10 70	27 00	12 72	35 67	4.00	20 00
4	62 90	38 66	49 12	14 73	27 00	17.52	39 29	4 00	16 40
5	22 68	35 37	18 49	5 55	30 00	7 47	13 13	0 00	0 00
6	118 30	30 96	101 45	30 43	27 00	36 18	60 86	4 00	24 00
7	116 48	24 23	106 22	31 87	27 00	37 88	47 80	4 00	22 00
8	110 11	20 81	102 93	30 88	27 00	36 71	39 12	4 00	20 80
9	110 22	13.50	107 17	32.15	27 00	38 23	25 73	4 00	22 40
10	95 60	9 09	94 39	28 32	30 00	38 15	15 10	0 00	0 00
11	78 38	2 86	78 28	23 48	30 00	31 64	3 91	0 00	0 00
12	44 34	4 57	44 20	13 26	30 00	17 86	3 53	0 00	0 00
13	26 73	6 84	26 54	7 96	30 00	10 72	3 18	0 00	0 00
14	18 18	11 31	17 83	5 35	35 00	8 74	3 57	0 00	0 00
Totais						299.90	289.41		142.40

Jusante/Final de Construção

Fator de Segurança: 1.528

FATIA	PESO	ANGULO	FORÇA NORMAL	F.PRES. EUTR	ANG.ATR. INTERNO	FORÇA ATRITO	FORÇA TANGENC.	FORÇA COESÃO	FORÇA COESIVA
1	2 86	52 43	1 74	0 17	35 00	1 10	2.27	0.00	0.00
2	22 27	48 99	14 62	1 46	27 00	6.70	16 81	4 00	16 80
3	50 45	45 00	35 67	3 57	27 00	16 36	35 67	4 00	20 00
4	62 90	38 66	49 12	4 91	27 00	22 52	39.29	4.00	16 40
5	22 68	35 37	18 49	1 85	30.00	9 61	13 13	0 00	0 00
6	118 30	30 96	101 45	10 14	27 00	46 52	60 86	4 00	24 00
7	116 48	24 23	106 22	10 62	27 00	48 71	47 80	4 00	22 00
8	110 11	20 81	102 93	10 29	27 00	47 20	39 12	4 00	20 80
9	110 22	13 50	107 17	10 72	27 00	49 15	25.73	4 00	22.40
10	95 60	9 09	94 39	9 44	30 00	49 05	15 10	0 00	0 00
11	78 38	2 86	78 28	7 83	30 00	40 68	3 91	0 00	0 00
12	44 34	4 57	44 20	4.42	30 00	22 97	3 53	0 00	0 00
13	26 73	6 84	26 54	2 65	30 00	13 79	3 18	0 00	0 00
14	18 18	11 31	17 83	1 78	35 00	11 24	3 57	0 00	0 00
Totais						385.59	289.41		142.40

Jusante/ Regime Permanente

Fator de Segurança: 1.824

FATIA	PESO	ANGULO	FORÇA NORMAL	F.PRES. EUTR	ANG.ATR. INTERNO	FORÇA ATRITO	FORÇA TANGENC.	FORÇA COESÃO	FORÇA COESIVA
1	4.26	54.46	2 48	0 74	27 00	0.88	3 47	4.00	12.00
2	32 10	50 19	20 55	6 17	27 00	7 33	24.66	4 00	23 20
3	63 95	41 99	47 53	14 26	27 00	16 95	42 78	4 00	20 00
4	101 24	36 87	81 00	24 30	27 00	28 89	60 75	4 00	24.80
5	129 03	28 81	113 06	33 92	27 00	40 33	62 18	4 00	27 20
6	111 91	21 80	103 91	31 17	27 00	37 06	41 56	4 00	21 60
7	113 20	16 70	108 43	32 53	27 00	38 67	32 53	4 00	20 80
8	95 53	8 53	94 47	28 34	27 00	33 70	14 17	4 00	20 00
9	80.52	4 57	80 26	24 08	27 00	28 63	6 42	4 00	20 00
10	59 13	4 57	58.94	17.68	27.00	21 02	4.71	4 00	20 00
11	33 65	8 53	33 28	9 98	27 00	11 87	4 99	4 00	20 00
12	6 60	14 04	6 40	1 92	35 00	3 14	1 60	0 00	0 00
Totais					268.47	277.21	229.60		

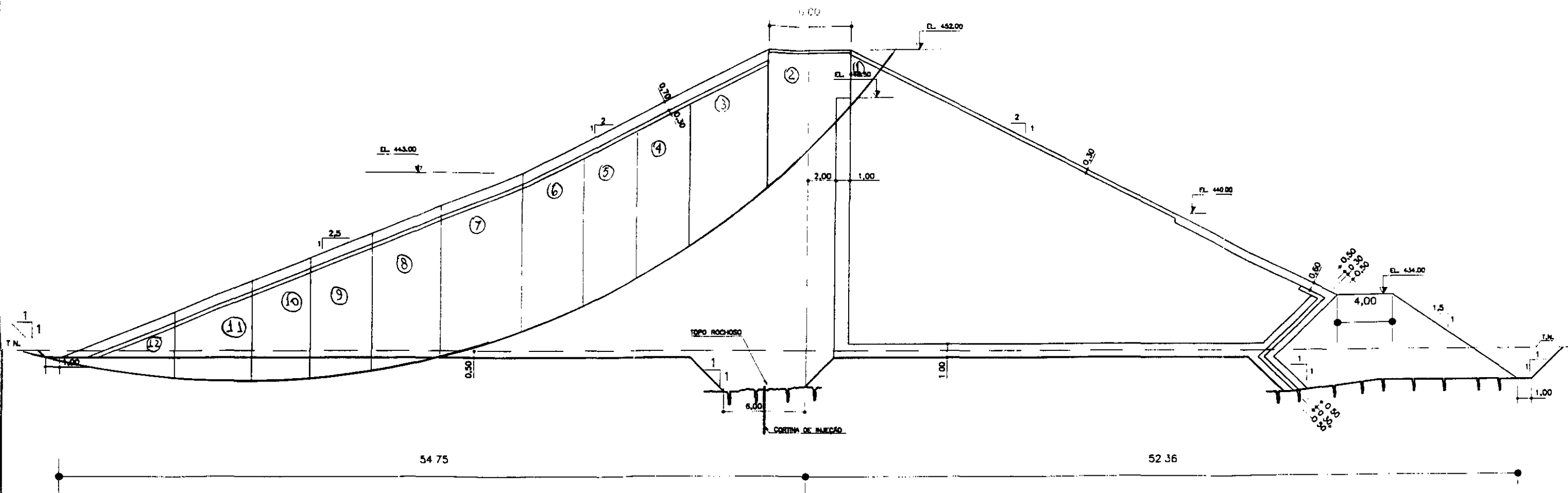
Montante/Final de Construção

Fator de Segurança 1.797

FATIA	PESO	ANGULO	FORÇA NORMAL	F.PRES. EUTR	ANG.ATR. INTERNO	FORÇA ATRITO	FORÇA TANGENC.	FORÇA COESÃO	FORÇA COESIVA
1	4 26	54 46	2 48	0 25	27 00	1 14	3 47	4 00	12 00
2	32.10	50 16	20 55	2 06	27 00	9.43	24 66	4 00	23 20
3	63 95	41 99	47 53	4 75	27 00	21 80	42 78	4 00	20 00
4	101 24	36 87	81 00	8 10	27 00	37 14	60 75	4 00	24 80
5	129 03	28 81	113 06	11 31	27 00	51 85	62 18	4 00	27 29
6	111 91	21 80	103 91	10 39	27 00	47 65	41 56	4 00	21 60
7	113 20	16 70	108 43	10 84	27 00	49 72	32 53	4 00	20 80
8	95 53	8 53	94 47	9 45	27 00	43 32	14 17	4 00	20 00
9	80 52	4 57	80 26	8 03	27 00	36 80	6 42	4 00	20 00
10	59 13	4 57	58 94	5 89	27 00	27 03	4 71	4 00	20 00
11	33 65	8 53	33 28	3 33	27 00	15 26	4 99	4 00	20 00
12	6 60	14 04	14 04	0 64	35 00	4 03	1 60	0 00	0 00
Totais					345.17	277.21	229.60		

Montante/Regime Permanente

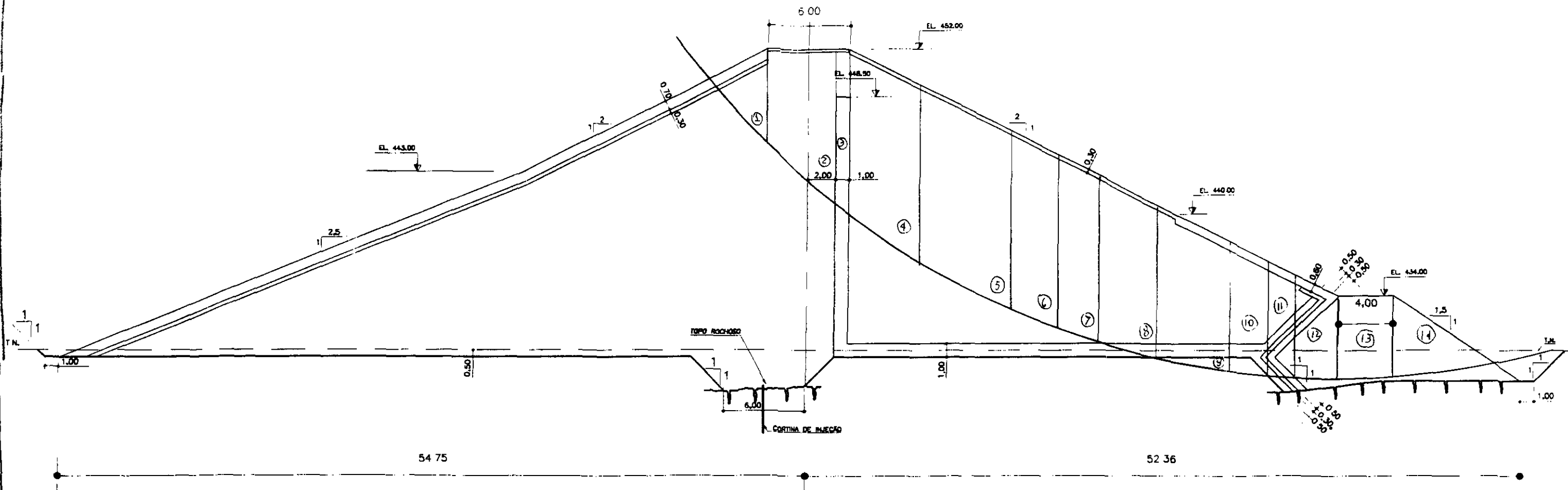
Fator de segurança 2.073



MONTANTE
 REGIME PERMANENTE

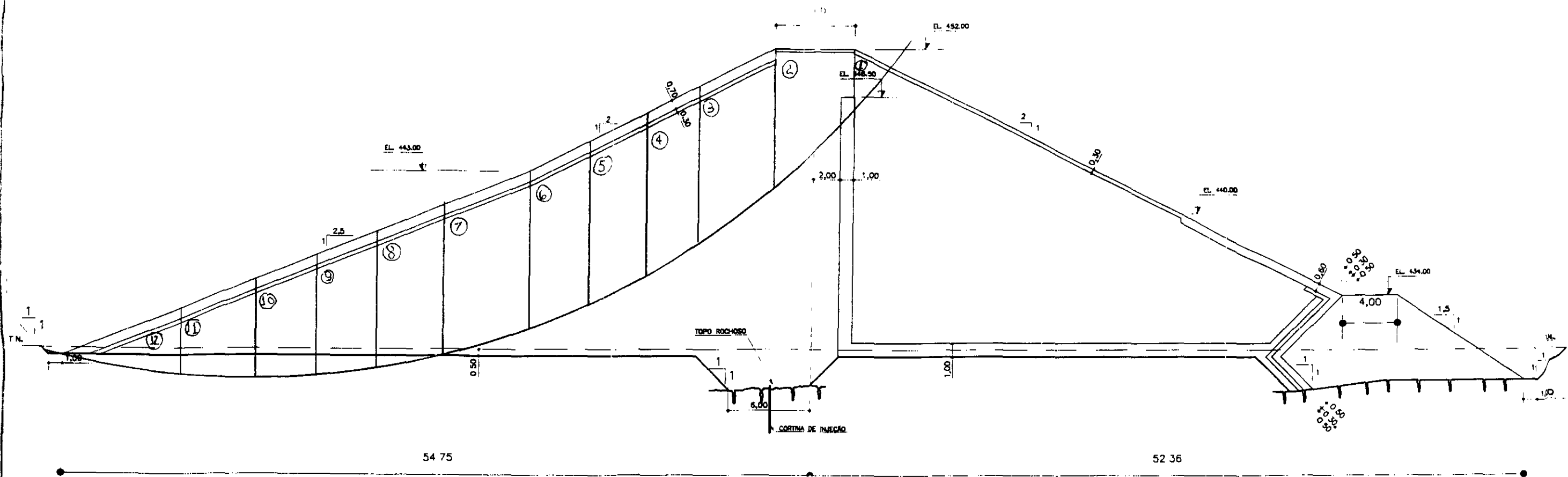
$FS = 2,073$

SEÇÃO TIPO
 ESC. 1:500



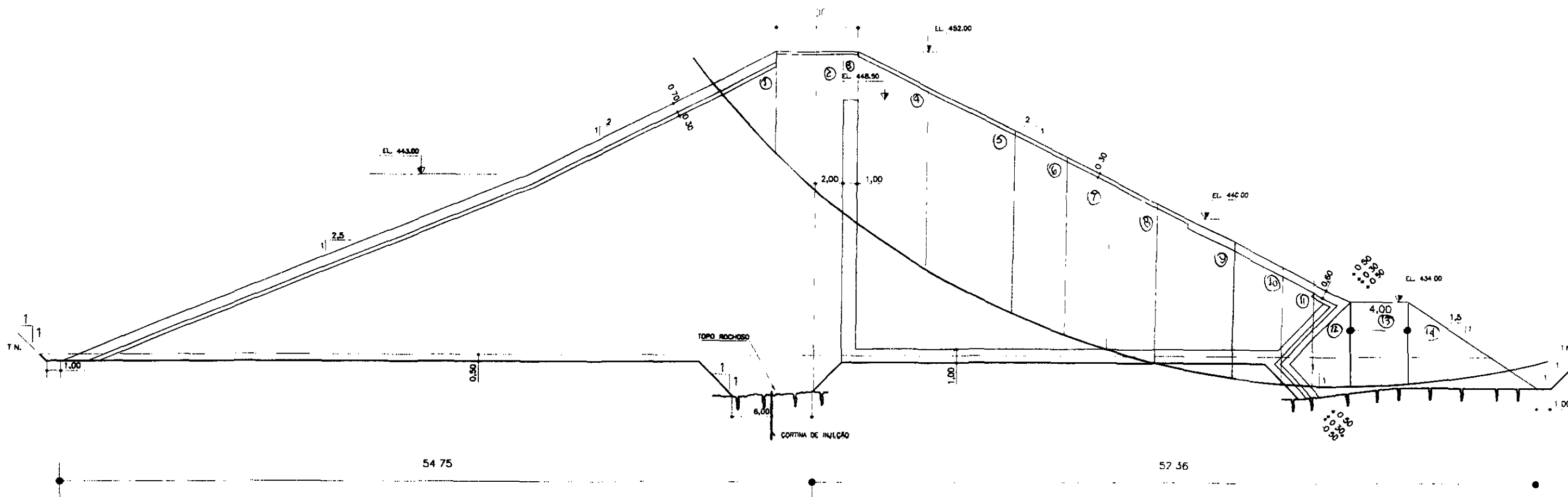
JUSANTE
 REGIME PERMANENTE
 FS = 1,854

SEÇÃO TIPO
 ESC. 1:300



MONTANTE
 FINAL DE CONSTRUÇÃO
 FS = 1,797

SEÇÃO TIPO
 ESC. 1/300



JUSANTE
 FINAL DE CONSTRUÇÃO
 FS = 1,528

SEÇÃO TIPO
 ESC. 1/300

VI) VERTEDOURO - GEOMETRIA DA CRISTA

DETERMINAÇÃO DA EXTENSÃO DA CRISTA

$$L = \frac{Q_s}{C_d (H)^{3/2}}$$

onde

$H = \text{lâmina de sangria} = 2.135475491 \text{ m}$
 $Q_m = \text{descarga de projeto} = 1020 \ 4451 \text{ m}^3/\text{s}$
 $L = 150.00 \text{ m}$
 $NR = 446$

VELOCIDADE DE APROXIMAÇÃO/CARGA CINÉTICA

$$P + H_o = (P + h_o) + h_a$$

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

$h_a = q^2 / 2g(P+h_o)^2$

logo, $(P+H_o) = (P+h_o) + q^2 / 2g(P+h_o)^2$ (1)

dados $P = 2,5 \text{ m}$
 $H_o = 2,13547549 \text{ m}$
 $q = Q/L = 6.80296726 \text{ m}^3/\text{s m}$
 arbitrando-se valores a h_o , define-se a igualdade de (1)

h_o	$P + h_o$	V_a	h_a	$P + H_o$
3,500	3,500	1,944	0,193	3 693
4,100	4,100	1,659	0,140	4,240
4,300	4,300	1,582	0,128	4 428
4,400	4,400	1,546	0,122	4 522
4,520	4,520	1,505	0,1155	4,6354

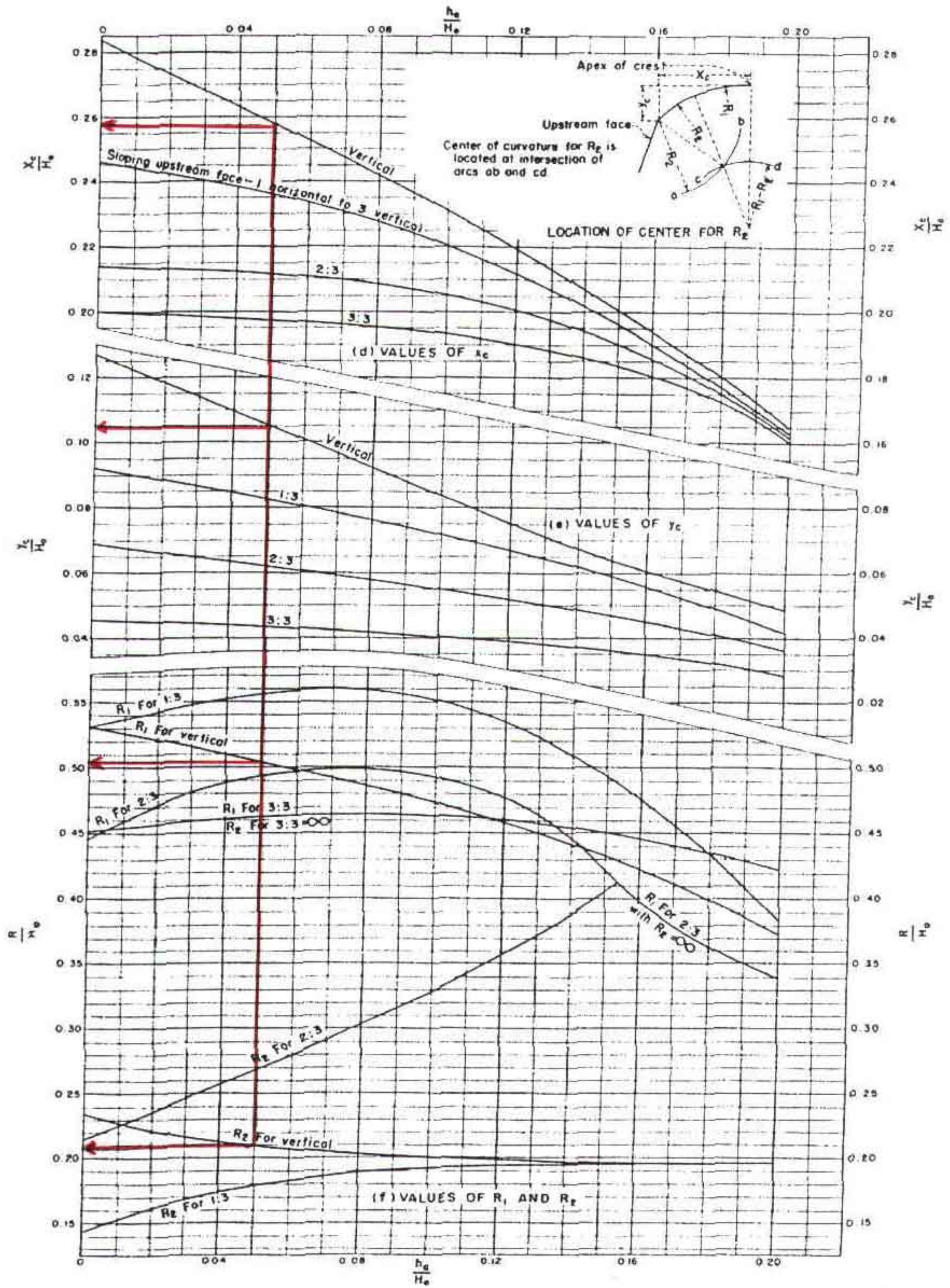
$V_a = 1,505 \text{ m/s}$
 $h_a = 0,1155 \text{ m}$
 $h_o = 4,520 \text{ m}$

SOLEIRA PARÂMETROS GEOMETRICOS

logo, $h_a/H_o = 0.05407$
 e os parâmetros para definição da crista, serão
 (vide figura 4 do "Design of Small Dams")

$X_c/H_o = 0,255$
 $Y_c/H_o = 0,105$
 $R1/H_o = 0,502$
 $R2/H_o = 0,209$
 $k = 0,510$
 $n = 1,848$

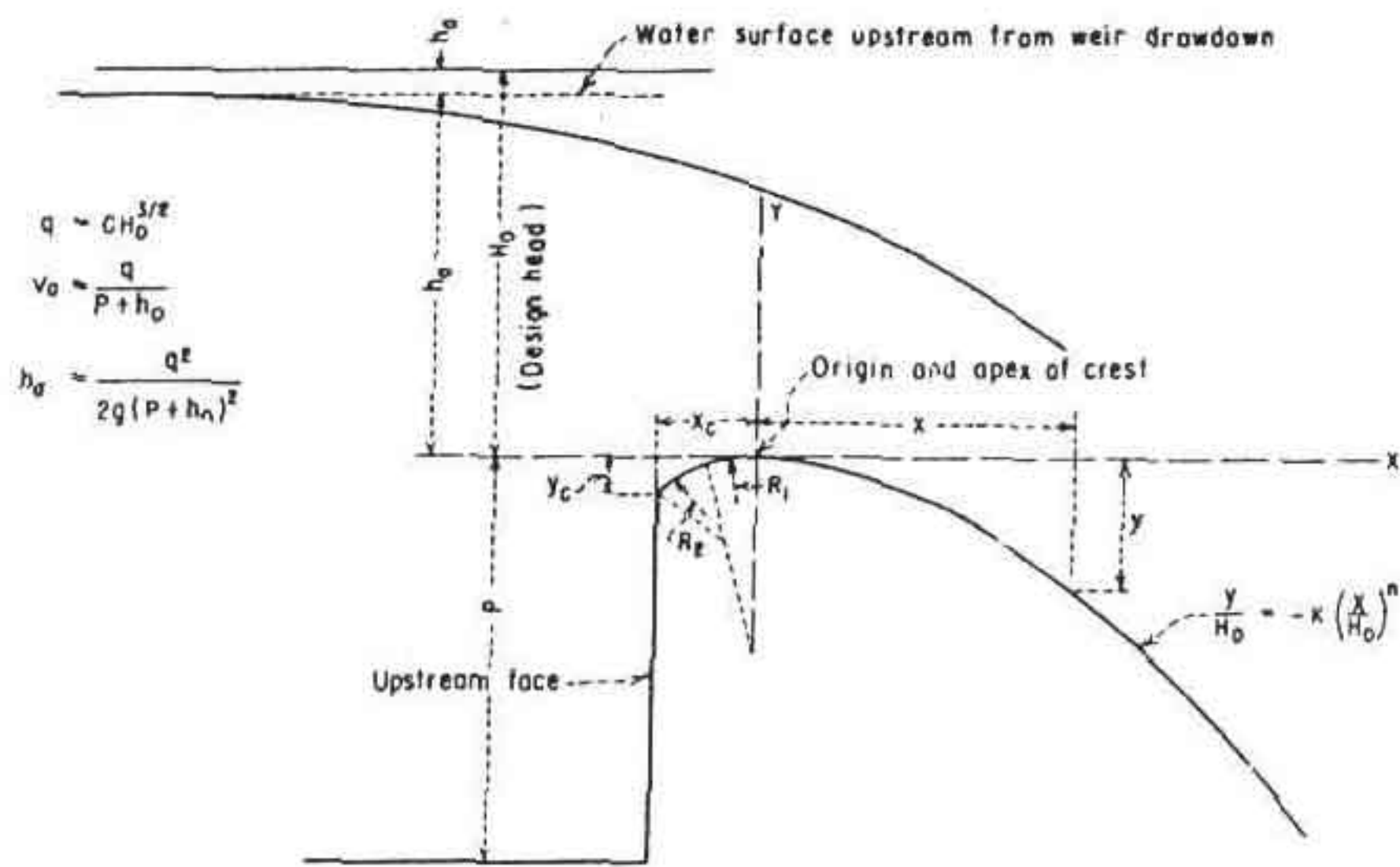
SPILLWAYS—Sec. 9-11



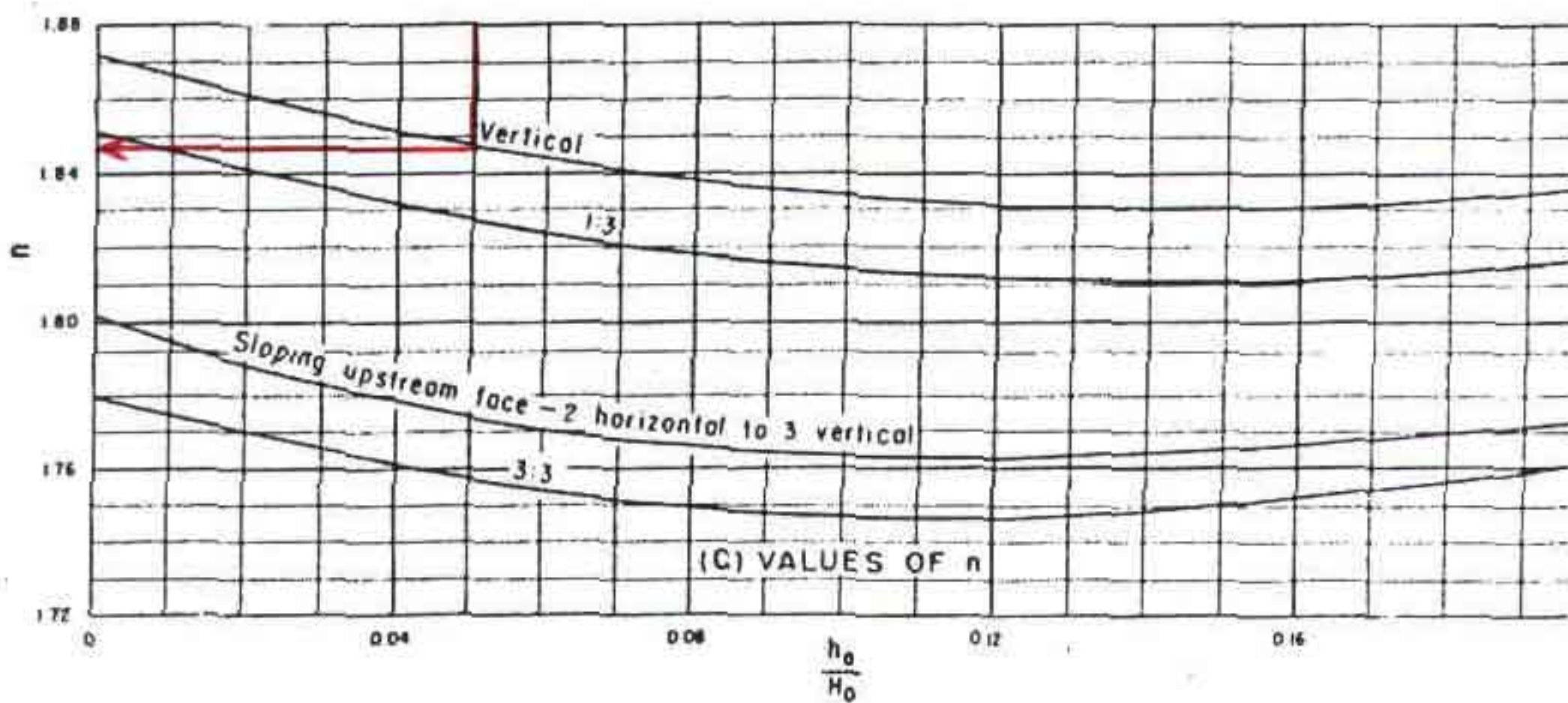
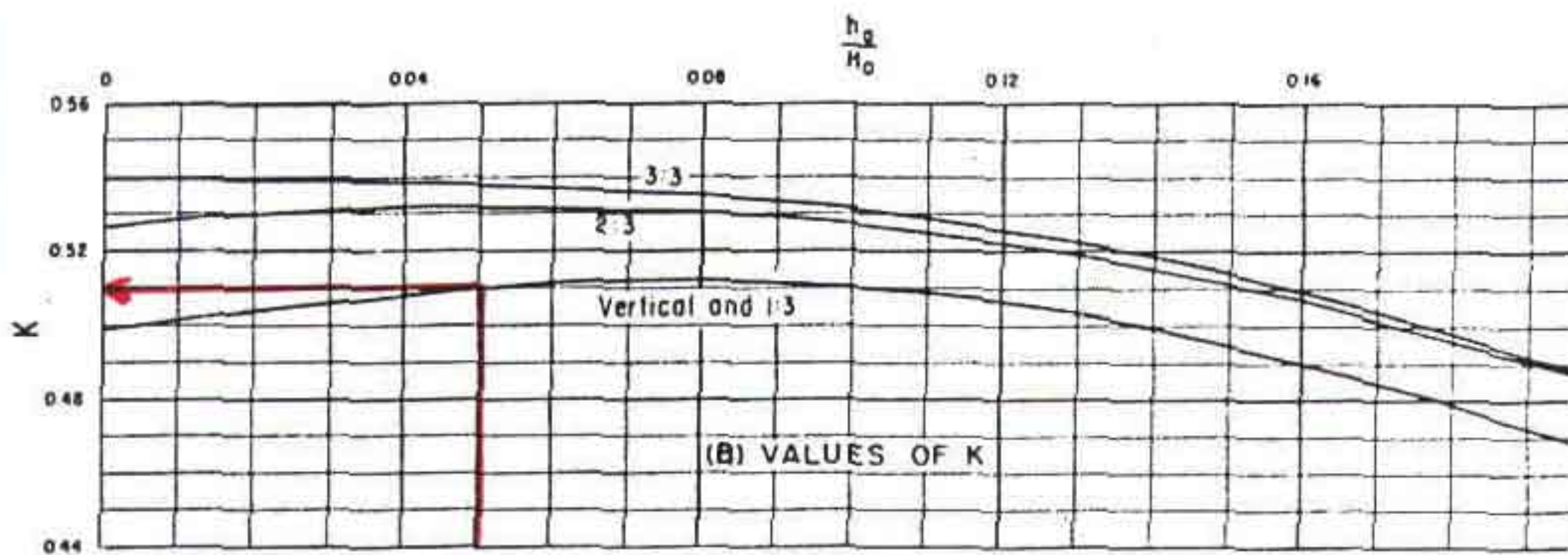
Factors for definition of nappe-shaped crest profiles (sheet 2 of 2).—288-D-2407

000039

DESIGN OF GRAVITY DAMS



(A) ELEMENTS OF NAPPE-SHAPED CREST PROFILES



COORDENADAS DO PONTO C

$$X_c = 0,54454625, \quad Y_c = 0,224224927$$

RAIOS DOS CIRCULOS A MONTANTE DA CRISTA

$$R_1 = 1.072008696, \quad R_2 = 0.446314378$$

SENDO A EXPONENCIAL DE JUSANTE DEFINIDA PELA EXPRESSÃO

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

ESTA TORNA-SE

$$\frac{Y}{2,1354755} = \frac{-0,510 \left(\frac{X}{2,13547549} \right)^{1,848}}{2,13547549} \quad (II)$$

DETERMINAÇÃO DO PONTO P - INTERSEÇÃO EXPONENCIAL/RETA

Arbitrando-se um coeficiente angular de -0.909090909 para a reta, vem

(II) simplificada

$$Y = -0,26801 (X)^{1,848} \quad (III)$$

$$dY/dX = -0,49529 (X)^{0,848} \quad (IV)$$

declividade da reta

$$dY/dX = -1/1,1 = -0,9091 \quad (V)$$

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

$$0,502501 (X_t)^{0,836} = 0,909090909$$

$$X_t = 2,04654791$$

que substituindo em (III), resulta

$$Y_t = -1,006763$$

PONTO DE ORIGEM DA CURVA REVERSA - PONTO B

Equação da reta

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

$$\frac{Y - (-1,006763043)}{X - 2,046547913} = -0,90909$$

$$X_b = -1,1 Y_b + 0,93911 \quad (VI)$$

Raio mínimo da curva reversa

$R > 0,3048(10)^x$, onde

$$x = \frac{3,291 (v+6.4 H) + 16}{11,85 x H + 64}$$

000041

sendo

$$H = 4,520 \text{ m}$$

$$v = (2gH)^{1/2} = 9,41703 \text{ m/s}$$

$$x = 1,20951$$

$$R > 4,937741995 \text{ m} \quad R \approx 5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{alfa} = \arctg(dY/dX) &= -0,7378151 \\ \sin(\text{alfa}) &= -0,6726728 & \cos(\text{alfa}) &= 0,73994 \\ \text{alfa}/2 &= -0,36890753 \\ \text{tg}(\text{alfa}/2) &= -0,386606875 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BPI = R \text{tg}(\text{alfa}/2) &= 1,93303437 \\ y' = BPI \sin(\text{alfa}) &= 1,30029963 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Yb = - (P - y') \quad Yb = -1,200$$

que substituindo em (VI), resulta

$$Xb = -1,1 Yb + 0,93911$$

$$Xb = 2,259$$

PONTO FINAL DA CURVA REVERSA - PONTO D

$$Yd = -P, \text{ logo} \quad Yd = -2,5$$

$$Xd = Xb + BPI \cos(\text{alfa}) + BPI$$

$$Xd = 5,62214294$$

COORDENADAS DA SOLEIRA DO VERTEDOURO

X	Y	
-0,545	-0,224	Ponto C
0,000	0,000	Eixo
0,150	-0,008	Exponencial
0,300	-0,029	Exponencial
0,450	-0,061	Exponencial
0,600	-0,104	Exponencial
0,750	-0,157	Exponencial
0,900	-0,221	Exponencial
1,050	-0,293	Exponencial
2,047	-1,007	Ponto T
2,259	-1,200	Ponto B
5,622	-2,500	Ponto D

000642