

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

**PROJETO BÁSICO DO VERTEDOURO DO LAGO
CATU E DA BARRAGEM CINZENTA**

VOLUME 3 MEMÓRIA DE CÁLCULO

GEONORTE

FORTALEZA- CE
SETEMBRO 1995

FOLHA DE DADOS - GED/SRH

TIPO DE DOCUMENTO: Projeto

Identidade GED: 00761031D

Lote: 00740

Nº de Registro: 9511613

Autores: GEONORTE % SRH

Programa: _____

Título: Projeto Básico do Vertedouro do Lago Latu e da Barragem Linzenta

Sub-Título 1: Memória de cálculo

Sub-Título 2: _____

Nº de Páginas: 59

Volume: 3

Tomo: _____

Editor: GEONORTE

Data de Publicação (mês/ano): Setembro 1995

Local de Publicação: Fortaleza

Localização da Obra

Tipo de Empreendimento:

<input checked="" type="checkbox"/> Barragem	<input type="checkbox"/> Açude	<input type="checkbox"/> Adutora	<input type="checkbox"/> Canal / Eixo de Transp.	<input type="checkbox"/> Outro
Rio / Riacho Barrado: <u>Latu</u>	Fonte Hídrica: _____			

Bacia: Metropolitana

Sub-bacia: _____

Municípios: Aquiraz

Distrito: _____

Microregião: Fortaleza

Estado: Ceará

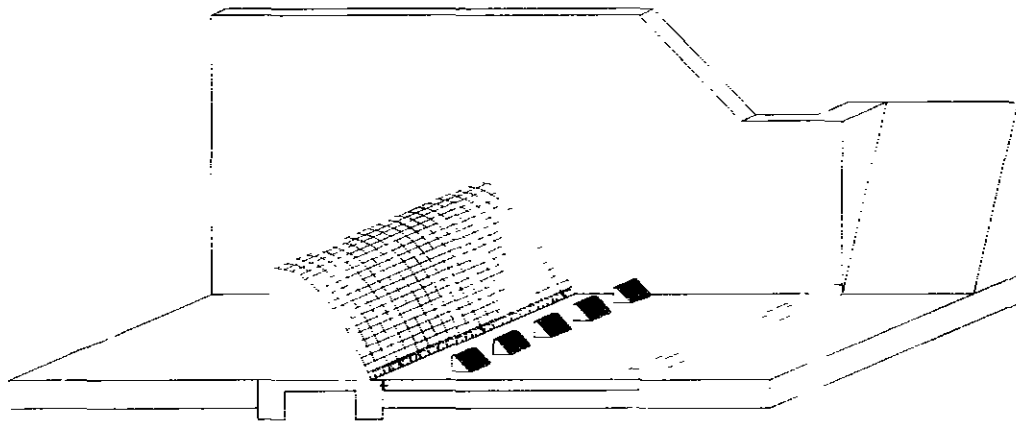
GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ



SHR

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS
DO ESTADO DO CEARÁ - SRH

PROJETO BÁSICO DO VERTEDEIRO DO LAGO CATU E DA BARRAGEM CINZENTA



VOLUME 3 : MEMÓRIA DE CÁLCULO

Lote: 00740 = Proj. N.º Scan () Index ()
Projeto N.º 0076/03/D
Volume 1
Qtd. A4 _____ Qtd. A3 _____
Qtd. A2 _____ Qtd. A1 _____
Qtd. A0 _____ Outras _____



Geonorte

0076/03/D

EZA - SETEMBRO/1995

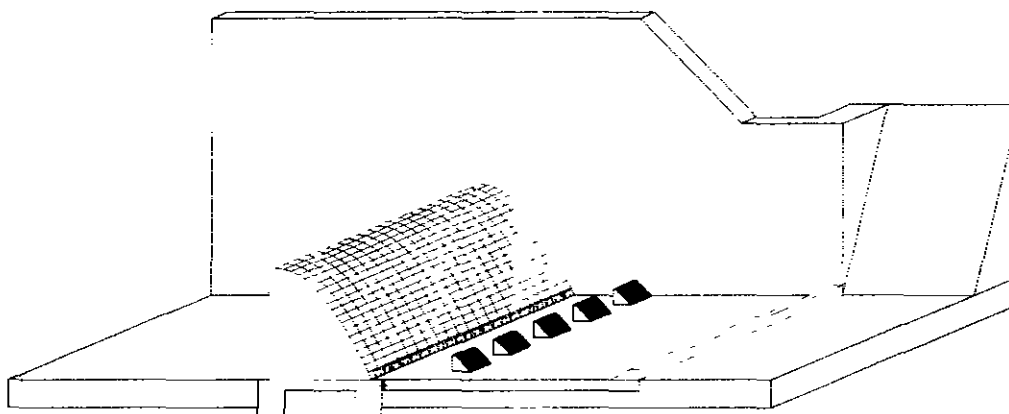
GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ



SHR

**SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS
DO ESTADO DO CEARÁ - SRH**

PROJETO BÁSICO DO VERTEDOURO DO LAGO CATU E DA BARRAGEM CINZENTA

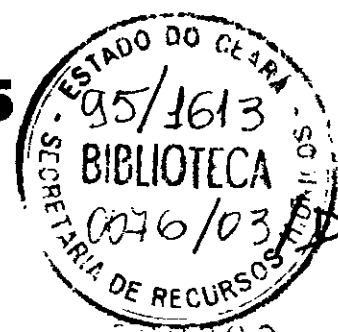


VOLUME 3 : MEMÓRIA DE CÁLCULO



Geonorte

FORTALEZA - SETEMBRO/1995



00003



MEMÓRIA DE CÁLCULO

ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
1 0 - VERTEDOIRO DO LAGO CATU	3
1 1 - VERTEDOIRO E BACIA DE DISSIPÇÃO DO LAGO CATU	4
1 1 1 Dados	4
1 1 2 - Dimensionamento	4
1 1 3 - Determinação do perfil da crista	6
1 1 4 - Cálculo do Perfil do Fluxo	8
1 1 5 - Cálculo da Bacia de Dissipação	9
1 2 - ANÁLISE DA ESTABILIDADE HIDRÁULICA DA FUNDAÇÃO DO VERTEDOIRO E BACIA DE DISSIPÇÃO	11
1 3 - ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO VERTEDOIRO	12
2 0 - BARRAGEM CINZENTA	16
2 1 - BARRAGEM	17
2 1 1 - Folga da Barragem (f)	17
2 1 2 - Revanche (R)	18
2 1 3 - Largura do Coroamento (B)	18
2 1 4 - Cota do Porão	19
2 2 - TOMADA D'ÁGUA	19
2 2 1 - Determinação da Descarga Máxima	19
2 2 2 - Tipo de Tomada d'Água	20
2 2 3 - Comprimento Aproximado da Galeria	20
2 2 4 - Diâmetro da Tubulação	21
2 2 5 - Largura Mínima Para dar Vazão à Descarga	21
2 2 6 - Determinação do Centro da Boca de Montante	21
2 2 7 - Escolha do Local da Tomada d'Água	22
2 2 8 - Verificação da Vazão	22
2 3 - DRENAGEM INTERNA	23
2 3 1 - Granulometria dos Materiais Componentes do Dreno de Pé (Rock-fill)	23
2 3 1 1 - Granulometria da Areia	23
2 3 1 2 - Granulometria da Brita "A"	24
2 3 1 3 - Granulometria da Brita "B"	24
2 3 1 4 Granulometria do Enrocamento	25
2 4 - DIMENSIONAMENTO DO RIP-RAP	25
2 4 1 - Primeira Camada ou Camada Externa (Enrocamento)	25
2 4 2 - Camadas Internas	28
2 5 - ANÁLISE HIDRÁULICA DO MACIÇO E FUNDAÇÃO	29
2 5 1 - Fluxo através do maciço	29
2 5 2 - Fluxo através da fundação	31
2 5 2 - Fluxo total no tapete	34

C:\WINWORD\RELATOR\MCBCATU.DOC



2 6 - ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO MACIÇO	2
3 1 - VERTEDOIRO E BACIA DE DISSIPACÃO	33
3 1 1 Dados	42
3 1 2 - Dimensionamento	42
3 3 3 - Determinação do perfil da crista	44
3 3 5 - Cálculo da Bacia De Dissipação	50
3 2 - ANÁLISE DA ESTABILIDADE HIDRÁULICA DA FUNDAÇÃO DO VERTEDOIRO E BACIA DE DISSIPACÃO	52
3 3 - ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO MURO VERTEDOIRO	53
4 0 - BIBLIOGRAFIA	57



1.0 - VERTEDOIRO DO LAGO CATU

C WINWORDRELATORIMCBCATU.DOC

GEONORTE - Engenharia de Solos e Fundações Ltda

Rua Jorge Severiano, 900 - Vila União - Fone 272 4777 - Fax 272 7799 - CEP 60 420-180 - Fortaleza - Ceará

C G C 07 542 392/0001-60 - C G F 06 013 384-8

000006



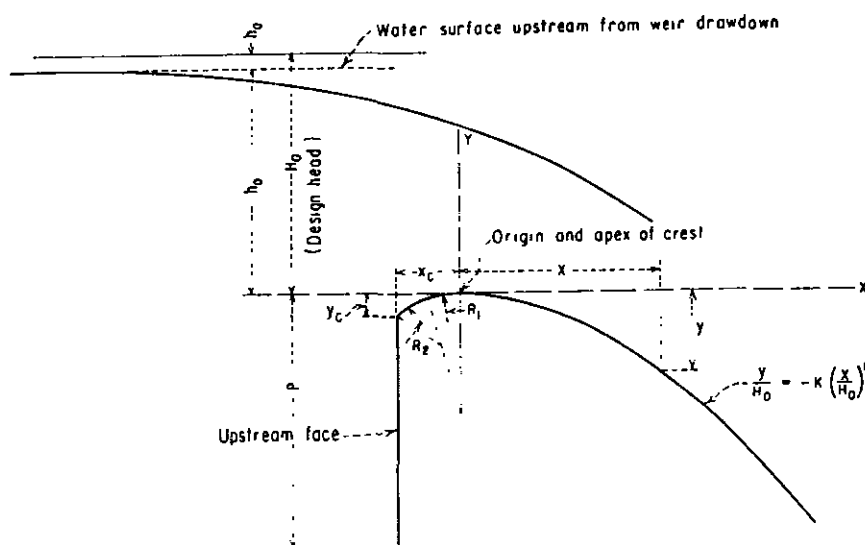
1.0 - VERTEDOURO DO LAGO CATU

1.1 - VERTEDOURO E BACIA DE DISSIPACÃO DO LAGO CATU

1.1.1 Dados

Tipo do Vertedouro	: CREAG
Largura do Vertedouro	: 40,00m
Cota da Soleira	: 5,84m
Cota do Canal	: 4,00
Lâmina de Projeto	: 1,33m
Vazão de Projeto	: 129,0 m ³ /s

1.1.2 - Dimensionamento



C WINWORD\RELATORIO\MCBCATU.DOC



$$q = \frac{129,0}{40} = 3,22\text{m}^3 / \text{s.m}$$

$$q = C.Ho\text{m}^{3/2}$$

$$V_a = \frac{q}{P + H_o}$$

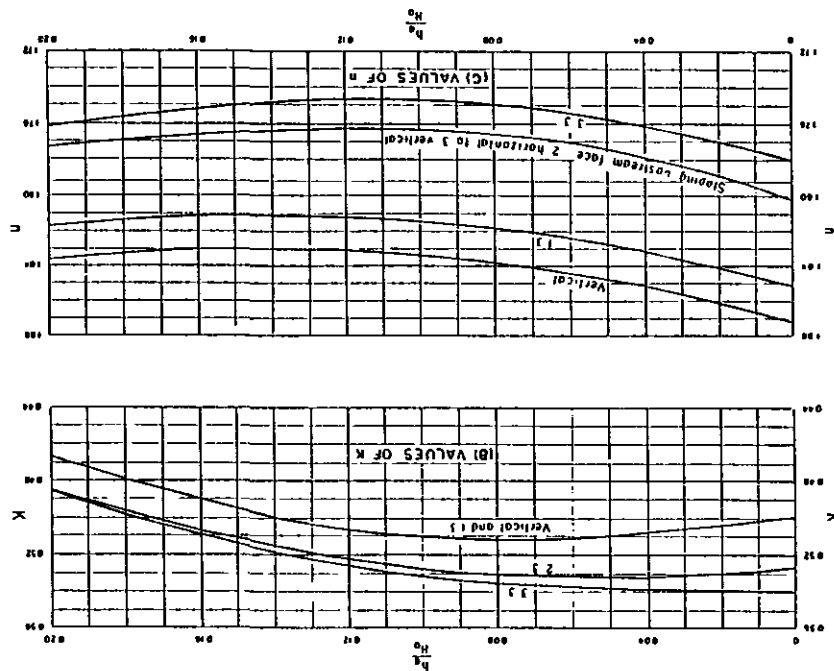
$$h_a = \frac{V_a^2}{2.g} = \frac{q^2}{2.g.(P + H_o)^2}$$

$$H_o = 1,33$$

$$h_a = \frac{1,33^2}{2.g.(1,84 + 1,33)^2} = 0,0089\text{m}$$

$$\frac{h_a}{H_o} = 0,007$$

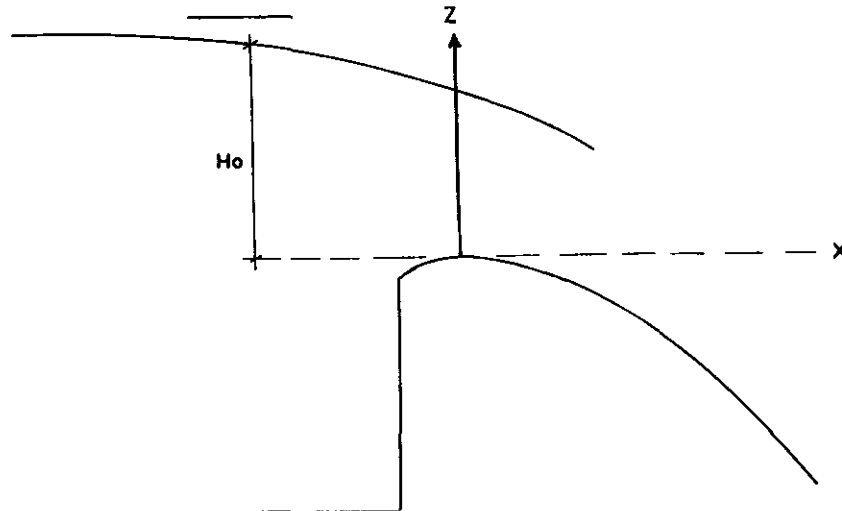
Para esta relação, tira-se das figuras 1 e 2 os valores de $K = 0,50$ e $n = 1,87$



C WINWORDIRELATORIMBCATU DOC



1.1.3 - Determinação do perfil da crista



Em relação ao sistema de coordenadas traçado, tem-se

$$\frac{Z}{H_o} = -K \left(\frac{X}{H_o} \right)^n \text{ ou}$$

$$\frac{Z}{1,33} = -0,50 \left(\frac{X}{1,33} \right)^{1,87}$$

$$Z = -0,39X^{1,87}$$

Derivando esta função tem-se

$$\frac{dZ}{dx} = -0,72X^{0,87}$$

Adotando o trecho reto do perfil com inclinação igual a -1,60 tem-se:

$$-1,60 = 0,72X^{1,87}$$

logo a abcissa do ponto de tangência é $X = 2,00$.

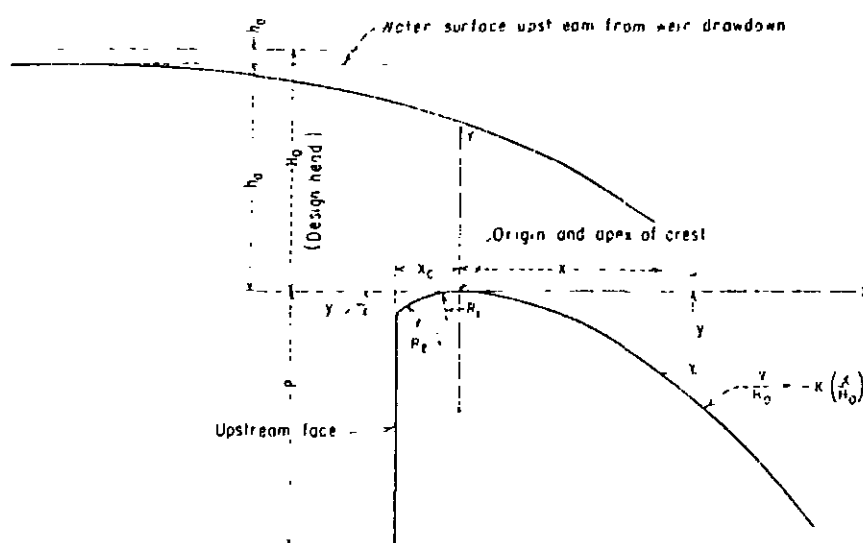
O valor de Z correspondente é $Z = -1,42$.



O quadro abaixo mostra as coordenadas do perfil em diversos pontos.

X	Z
0.0	0.0
0.25	-0.03
0.50	-0.10
0.75	-0.22
1.00	-0.39
1.25	-0.59
1.50	-0.83
1.75	-1.11
2.00	-1.42
2.26	-1.84

O perfil da crista do muro em montante, foi obtido da figura a seguir:



C:\WINWORD\RELATORIO\MCBCATU.DOC



Para $\frac{ha}{Ho} = 0,007$	tira-se
------------------------------	---------

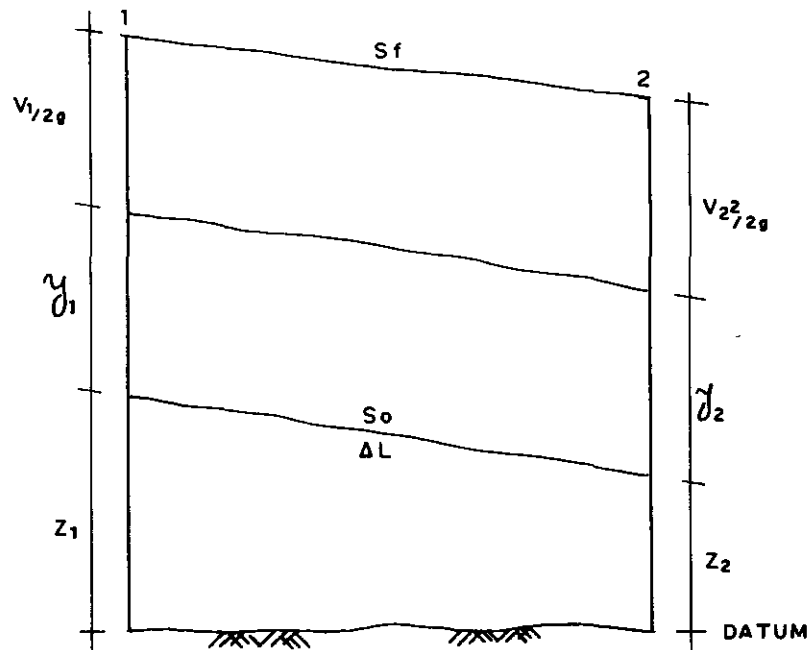
$\frac{Xc}{Ho} = 0,28$	$Xc = 0,37m$
------------------------	--------------

$\frac{yc}{Ho} = 0,125$	$yc = 0,16m$
-------------------------	--------------

$\frac{R1}{Ho} = 0,53$	$R1 = 0,70m$
------------------------	--------------

$\frac{R2}{Ho} = 0,23$	$R2 = 0,30m$
------------------------	--------------

1.1.4 - Cálculo do Perfil do Fluxo



Aplicando a conservação da energia no segmento de canal

tem-se:

$$E = Z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + hf$$

rearranjando termos

C:\WINWORD\RELATOR\MCBCATU.DOC



$$Z_2 = S_0 \Delta L + y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + s_f \Delta L$$

resolvendo em ΔL temos

$$\Delta L = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - S_f}$$

onde E é a energia específica

$$E = y + \alpha \frac{V^2}{2g} \text{ assumindo } \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$$

A perda de carga por atrito é dada pela Fórmula de Manning

$$S_f = \frac{n^2 \cdot V^2}{2,22R^{4/3}}$$

onde

n = coeficiente de rugosidade;

V = velocidade média (ft/s);

R = raio hidráulico (ft).

Adotando $\alpha = 1,1$ e $n = 0,014$ foi preparada a tabela a seguir contendo o perfil do fluxo.

1.1.5 - Cálculo da Bacia de Dissipação

Da tabela do perfil do fluxo verifica-se que a lâmina na entrada da bacia de dissipação é de $d_i = 0,383\text{m}$ e $V_1 = 8,409\text{ m/s}$.

CALCULO DO PERFIL DO FLUXO

Vertedouro do Lago Catu - Aquiraz/Ce

X	Z	Y	A	R	R^4/3	V	a*V^2/2*g	E	DE	SO	Sf	Sf(medio)	So-Sf(medio)	DL	DL(calculado)
0,000	0,000	1,0197	40,79	0,97	0,96	3,163	0,5608	1,5805	-	-	0,002041	-	-	-	-
0,100	-0,005	0,9860	39,44	0,94	0,92	3,271	0,5998	1,5858	0,0053	0,052610	0,002278	0,000118	0,052491	0,1001	0,1007
0,200	-0,019	0,9398	37,59	0,90	0,87	3,432	0,6602	1,6000	0,0142	0,139696	0,002666	0,000194	0,139502	0,1010	0,1019
0,300	-0,041	0,8959	35,84	0,86	0,81	3,600	0,7265	1,6224	0,0224	0,218165	0,003118	0,000226	0,217939	0,1024	0,1027
0,400	-0,070	0,8552	34,21	0,82	0,77	3,771	0,7973	1,6525	0,0301	0,292468	0,003631	0,000257	0,292211	0,1042	0,1030
0,500	-0,107	0,8160	32,64	0,78	0,72	3,952	0,8758	1,6917	0,0393	0,363999	0,004235	0,000302	0,363697	0,1064	0,1079
0,600	-0,150	0,7799	31,20	0,75	0,68	4,135	0,9587	1,7386	0,0468	0,433465	0,004913	0,000339	0,433126	0,1090	0,1081
0,700	-0,200	0,7459	29,84	0,72	0,64	4,324	1,0481	1,7940	0,0554	0,501294	0,005687	0,000387	0,500907	0,1119	0,1106
0,800	-0,257	0,7129	28,52	0,69	0,61	4,524	1,1473	1,8602	0,0663	0,567771	0,006599	0,000456	0,567315	0,1150	0,1168
0,900	-0,320	0,6835	27,34	0,66	0,58	4,719	1,2484	1,9318	0,0716	0,633100	0,007581	0,000491	0,632609	0,1184	0,1131
1,000	-0,390	0,6541	26,16	0,63	0,54	4,930	1,3629	2,0170	0,0852	0,697434	0,008759	0,000589	0,696845	0,1219	0,1223
1,100	-0,466	0,6257	25,03	0,61	0,51	5,154	1,4894	2,1151	0,0981	0,760891	0,010138	0,000689	0,760202	0,1257	0,1291
1,200	-0,548	0,5999	24,00	0,58	0,49	5,376	1,6203	2,2202	0,1051	0,823565	0,011646	0,000754	0,822811	0,1295	0,1277
1,300	-0,637	0,5741	22,96	0,56	0,46	5,617	1,7692	2,3433	0,1231	0,885533	0,013461	0,000908	0,884625	0,1336	0,1392
1,400	-0,732	0,5505	22,02	0,54	0,44	5,858	1,9241	2,4746	0,1313	0,946859	0,015459	0,000999	0,945860	0,1377	0,1389
1,500	-0,832	0,5285	21,14	0,51	0,41	6,102	2,0877	2,6162	0,1415	1,007596	0,017685	0,001113	1,006484	0,1420	0,1406
1,600	-0,939	0,5078	20,31	0,50	0,39	6,351	2,2613	2,7691	0,1530	1,067791	0,020177	0,001246	1,066545	0,1463	0,1434
1,700	-1,052	0,4871	19,48	0,48	0,37	6,621	2,4576	2,9447	0,1756	1,127482	0,023148	0,001486	1,125997	0,1507	0,1559
1,800	-1,171	0,4685	18,74	0,46	0,35	6,884	2,6566	3,1251	0,1804	1,186705	0,026324	0,001588	1,185117	0,1552	0,1522
1,900	-1,295	0,4505	18,02	0,44	0,34	7,159	2,8732	3,3237	0,1985	1,245488	0,029962	0,001819	1,243670	0,1597	0,1596
2,000	-1,426	0,4329	17,32	0,42	0,32	7,450	3,1116	3,5445	0,2208	1,303860	0,034179	0,002109	1,301751	0,1643	0,1696
2,100	-1,562	0,4170	16,68	0,41	0,30	7,734	3,3534	3,7704	0,2259	1,361844	0,038679	0,002250	1,359593	0,1690	0,1662
2,200	-1,704	0,4017	16,07	0,39	0,29	8,028	3,6137	4,0154	0,2450	1,419460	0,043768	0,002544	1,416916	0,1736	0,1729
2,260	-1,840	0,3835	15,34	0,38	0,27	8,409	3,9648	4,3483	0,3329	2,271543	0,051023	0,003627	2,267915	0,1489	0,1468

Rua Jorge Severiano, 900 - Vila União - Fone 272 4777 - Fax 272 7799 - CEP 60 420-180 - Fortaleza - Ceará
 GEONORTE - Engenharia de Solos e Fundações Ltda
 C G C 07 542 392/0001-60 - C G F 06 013 384-8

Geonorte



000013



- Cálculo da lâmina no final do ressalto

$$d_2 = -\frac{d_1}{2} + \sqrt{\frac{d_1^2}{4} + \frac{2V_1^2 d_1}{g}}$$

$$d_2 = -\frac{0,383}{2} + \sqrt{\frac{0,383^2}{4} + \frac{2 \times 8,409^2 \times 0,383}{9,81}}$$

$$d_2 = 2,16 \text{ m.}$$

- Cálculo do Número de Froude

$$F^2 = \left(\frac{y_c}{y_1}\right)^3$$

onde

y_c = altura crítica

$$y_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3}$$

$$y_c = \left(\frac{3,225^2}{9,81}\right)^{1/3} = 1,019$$

$$F^2 = \left(\frac{1,019}{0,383}\right)^3$$

$$F = 4,3$$



A bacia de dissipação para $F < 4,5$ é do tipo IV conforme o "Bureau of Reclamation".

- Cálculo do Comprimento da Bacia e Dimensões dos Blocos

Entretanto no gráfico acima para $F = 4,3$ temos:

$$\frac{L}{d_2} = 5,7 \quad L = 12,31 \quad \text{Adotar } L = 12,5$$

- Cálculo do Bordo Livre

O bordo livre foi calculado pela seguinte fórmula empírica:

$$\text{Bordo livre} = 0,61 + 0,0372 \sqrt[3]{h} = 0,65\text{m.}$$

$$h = \text{altura em regime sub-crítico} = 2,16\text{m.}$$

- Cálculo da Altura dos Muros Laterais da Bacia

$$H = d_2 + \text{bordo livre}$$

$$H = 2,16 + 0,65 = 2,81\text{m,}$$

$$\text{Adotado } H = 3,0\text{m.}$$

1.2 - ANÁLISE DA ESTABILIDADE HIDRÁULICA DA FUNDAÇÃO DO VERTEDOURO E BACIA DE DISSIPACÃO

Segundo Lane, para que não ocorra ruptura hidráulica da fundação, o caminho de percolação L deverá verificar a seguinte relação:

$$L \geq C.H$$

onde

H = carga hidráulica;

C = coeficiente que depende da natureza do solo = 8,5;



$$L = \sum t + \frac{1}{3} B \text{ onde } \sum t \text{ representa a soma de todas as cortinas}$$

interceptadora e B a extensão horizontal a ser vencida.

temos

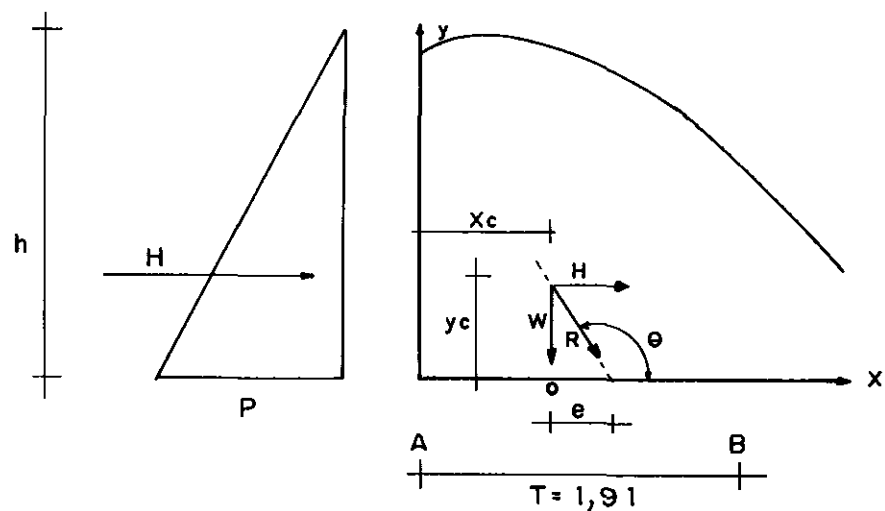
$$L = 12,8 + \frac{1}{3} \times 24,5 = 20,96$$

logo

$$20,96 > 8,5 \times 1,84 = 15,6 \text{ OK!}$$

1.3 - ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO VERTEDEIRO

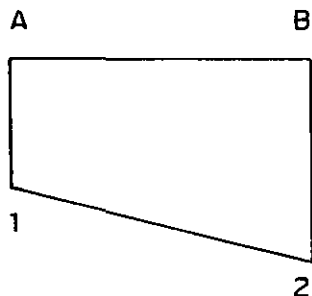
- Diagrama de Tensões Horizontais



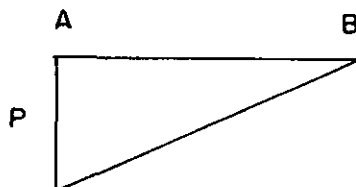
C WINWORDIRELATORIMCBCATU DOC



- Diagrama de Tensões verticais sem a subpressão



- Diagrama de Tensões da Subpressão



$$P = \gamma_w h = 2,0 \times 1,84 = 1,84 \text{ t/m}^2$$

$$H = \frac{1}{2} \times 1,84 \times 1,84 = 1,69 \text{ t/m}$$

$$W = 7,38 \text{ t/m} \quad (\text{peso do muro})$$

- Coordenadas do centro de gravidade do muro

$$X_c = 1,04$$

$$Y_c = 0,61$$

C:\WINWORD\RELATORIO\MCBCATU.DOC

**- Cálculo do ponto onde o suporte da resultante corta a base**

$$Y - Y_c = \operatorname{tg}\theta (X - X_c) \quad \theta = \operatorname{arc} \operatorname{tg} H/3 + 90$$

$$Y - 0,61 = -4,05 (X - 1,04)$$

$$Y = -4,05X + 4,82$$

Para $Y = 0$ temos

$$X = 0,19$$

As coordenadas da base são:

$$X_o = 1,31$$

$$Y_o = 0$$

Como vimos, sem considerar o efeito da subpressão, a resultante não passa pelo centro da base e portanto

$$A_1 = 3,57 \text{ t/m}^2$$

$$B_2 = 2,03 \text{ t/m}^2$$

Como $A_1 > P$, o diagrama final do efeito combinado será:

$$H = 2,0 \text{ t/m}$$

$$V = 7,38 - 1,84 = 5,54 \text{ t/m}$$

Abcisa da força vertical V

$$X_v = 1,09$$

- Cálculo da abcisa da resultante

$$Y - 0,61 = \operatorname{tg}\theta (X - 1,04)$$

C:\WINWORD\RELATORIO\MOBCATU.DOC



$$Y - 0,61 = -2,89 (X - 1,04)$$

$$Y = -2,89X + 3,61$$

Para $Y = 0$ temos

$$X = 1,24$$

- Cálculo da Excentricidade

$$e = 1,24 - 1,31 = -0,07\text{m. (A esquerda do centro)}$$

- Cálculo das Tensões $\bar{A1}$ e $\bar{B2}$

$$A_1 = \frac{5,54}{2,63} \left(1 + \frac{6 \times 0,07}{2,631} \right) = 2,44\text{t/m}^2$$

$$A_2 = \frac{5,54}{2,63} \left(1 + \frac{6 \times 0,07}{2,63} \right) = 1,77\text{t/m}^2$$

A taxa de suporte do terreno é de 50 t/m² portanto

$$S = \frac{50}{2,44} = 20,49 \gg 4 \text{ OK!}$$



2.0 - BARRAGEM CINZENTA

C:\WINWORD\RELATORIO\MCBCATU.DOC



2.0 - BARRAGEM

2.1 - BARRAGEM

2.1.1 - Folga da Barragem (f)

Para um fetch de 4,3 km obtido da bacia hidráulica da barragem, a partir da carta do INCRA, escala 1.20.000, a folga foi determinada a partir da expressão empírica:

$$f = 0,75 h + \frac{v^2}{2g} ,$$

onde:

f = folga (m);

h = altura das ondas (m);

v = velocidade das ondas (m/s);

g = aceleração da gravidade (m/s²).

Segundo Stevenson, para o "fetch" menor de que 18 km:

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

onde.

h = altura das ondas (m);

F = "fetch"(km).

Segundo Gaillard:

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

onde:

C:\WINWORD\RELATORIO\MCBCATU.DOC



v = velocidade das ondas (m/s);

h = altura das ondas (m).

Reunindo as fórmulas, temos:

$$f = 1,02 + 0,0232F - 0,9362\sqrt[4]{F^3} + 0,482\sqrt{F} - 0,354\sqrt[4]{F}$$

Dai: $f = 1,50\text{m}$.

2.1.2 - Revanche (R)

Para uma lâmina de sangria igual 0,69m e a folga de 1,50m, temos uma revanche de 3,0m. Portanto, a cota de coroamento será a 33,00m

2.1.3 - Largura do Coroamento (B)

A largura do coroamento foi determinada a partir das seguintes fórmulas:

a) de Knapper: $B = 1,65 \sqrt{H}$

b) de Preece: $B = 1,1 \sqrt{H} + 0,9$

onde:

B = largura do coroamento (m);

H = altura máxima da barragem (m);

Dai, para Knapper $B = 6,33\text{m}$ enquanto para Preece $B = 5,12\text{m}$. Entretanto, adotaremos a largura do coroamento de 8,0m, por ser a plataforma mínima de uma estrada vicinal



2.1.4 - Cota do Porão

Para definir a cota de porão adotou-se um volume de aproximadamente 21,7% do volume do reservatório, correspondendo a cota 23,000m.

2.2 - TOMADA D'ÁGUA

2.2.1 - Determinação da Descarga Máxima

Para o cálculo da descarga máxima foi considerado um volume em função da área irrigável, dada pela expressão:

$$A = \frac{(V - V_p)(H - H_p - 2,40)}{2(H - H_p) \cdot 8000}$$

onde:

A = área irrigável (ha);

V = volume do açude na cota de sangria - $10 \times 10^6 \text{ m}^3$;

V_p = volume do açude na cota do porão = $2,17 \times 10^6 \text{ m}^3$;

H = cota da soleira do sangradouro = 30,00m;

H_p = cota do porão = 23,00m;

2,40 = evaporação anual,

8000 m^3/ha = dose bruta de irrigação em um semestre.

logo.

$$A = \frac{(10 \times 10^6 - 2,17 \times 10^6)(30,00 - 23,00 - 2,40)}{2(30,00 - 23,00) \times 8000}$$

$$A = 321,59 \text{ ha}$$

C:\WINWORD\RELATORIO\MCBCATU.DOC



A descarga mínima é dada pela relação:

$$Q = 0,8.A,$$

onde:

Q = descarga (ℓ/s),

A = área irrigável (ha);

$$Q = 0,8 \cdot 321,59$$

$$Q = 257,27 \text{ ℓ/s.}$$

Para a área irrigável de 321,59 ha teremos uma descarga mínima de 257,27 ℓ/s, que corresponde a 0,26 m³/s.

2.2.2 - Tipo de Tomada d'Água

Optou-se pela tomada d'água em galeria com controle a jusante.

2.2.3 - Comprimento Aproximado da Galeria

$$L = 4 (H - H_p) + B + 5$$

onde:

L = comprimento aproximado da galeria (m);

H = altura da barragem = 12,15m;

H_p = altura do porão = 2,15m;

B = largura do coroamento = 8,00m.

logo:

$$L = 4(12,15 - 2,15) + 8,00 + 5$$



$$L = 53,00\text{m}$$

2.2.4 - Diâmetro da Tubulação

A descarga mínima Q foi dimensionada para uma galeria e adotado, por razões econômicas o diâmetro de 0,40m.

2.2.5 - Largura Mínima Para dar Vazão à Descarga

$$h = (0,08 + KL) \cdot \frac{Q^2}{K'}$$

onde:

h = carga mínima para dar vazão à descarga Q(m);

Q = descarga mínima por galeria = 257,27 l/s;

K = coeficiente que depende do diâmetro = 0,0039,

K' = coeficiente que depende do diâmetro = 15.790;

L = comprimento aproximado da galeria = 53,00m.

$$h = (0,08 + 0,0039 \times 53,00) \cdot \frac{(257,27)^2}{15.790}$$

$$h = 1,20\text{m}.$$

2.2.6 - Determinação do Centro da Boca de Montante

$$H_m = H_p - 4,5D$$

onde:

H_m = cota do centro da boca de montante (m);

H_p = cota do porão = 23,00m;

D = diâmetro da tubulação = 0,40m.



logo:

$$H_m = 23,00 - 4,5 \times 0,40$$

$$H_m = 21,20 \text{ m.}$$

2.2.7 - Escolha do Local da Tomada d'Água

Foi escolhido a estaca 29 para o local da tomada d'água.

2.2.8 - Verificação da Vazão

$$Q' = \sqrt{\frac{K' \cdot h}{0,08 + KL'}}$$

onde:

Q' = vazão real (l/s),

L' = comprimento real da galeria = 58,00m;

h = carga hidráulica mínima = 1,20m;

K = coeficiente para o diâmetro 0,40m = 0,0039;

K' = coeficiente para o diâmetro 0,40m = 15.790.

$$Q' = \sqrt{\frac{15.790 \times 1,20}{0,08 + 0,0039 \times 58,00}}$$

$$Q = 248,84 \text{ l/s}$$

A vazão real obedece ao seguinte critério:

$$1,1 Q > Q' > 0,9 Q$$

onde:

$$Q = \text{vazão máxima} = 257,27 \text{ l/s}$$



$$Q' = \text{vazão real} = 248,84 \text{ l/s}$$

$$1,1Q = 1,1 \times 257,27 \text{ l/s} = 282,99 \text{ l/s}$$

$$Q' = 248,84 \text{ l/s}$$

$$0,9Q = 0,9 \times 257,27 \text{ l/s} = 231,54 \text{ l/s} \quad \text{Ok!}$$

2.3 - DRENAGEM INTERNA

2.3.1 - Granulometria dos Materiais Componentes do Dreno de Pé (Rock-fill)

2.3.1.1 - Granulometria da Areia

$$D_{15A} = 0,003\text{m} \quad (D_{15} \text{ do material argiloso})$$

$$D_{85A} = 0,4\text{m} \quad (D_{85} \text{ do material argiloso})$$

$$D_{15B} = 0,003\text{m} \quad (D_{15} \text{ areia})$$

Dados retirados da análise granulométrica apresentado no Desenho N° 01, como:

$$\frac{D_{15B}}{D_{15A}} > 5 \therefore \frac{0,3\text{mm}}{0,003\text{mm}} > 5 \therefore 100 > 5$$

$$\frac{D_{15B}}{D_{85A}} > 5 \therefore \frac{0,3\text{mm}}{0,4\text{mm}} > 5 \therefore 0,75 < 5$$

A areia dos Areais A-01 e A-02 estudado enquadram-se dentro da faixa especificada e será utilizada na drenagem interna da barragem.



A areia apresentou ainda uma percentagem média passando na #200 de 0%, menor que 5%, reforçando ser de boa qualidade para drenagem.

2.3.1.2 - Granulometria da Brita "A"

$$D_{15B} = 0,2m \quad (D_{15} \text{ da areia})$$

$$D_{85B} = 1,2m \quad (D_{85} \text{ da areia})$$

$$D_{15C} = D_{15} \text{ da brita "A"}$$

$$5 \cdot D_{15B} < D_{15C} < 5 \cdot D_{85B} \quad \therefore 5 \times 0,2mm \text{ e } D_{15C} < 5 \times 1,2mm$$
$$1,0mm \text{ e } D_{15C} < 6,0mm$$

A brita "A" deverá ser confeccionada atendendo a especificação acima, ficando dentro da forma mostrada no Desenho N° 02.

2.3.1.3 - Granulometria da Brita "B"

$$D_{15C} = 3,0m \quad (D_{15} \text{ médio da brita "A"})$$

$$D_{85C} = 20,0mm \quad (D_{85} \text{ médio da brita "A"})$$

$$D_{15D} = D_{15} \text{ da brita "B"}$$

$$5 \cdot D_{15C} < D_{15D} < 5 \cdot D_{85C} \quad \therefore 5 \times 3,0mm \text{ e } D_{15D} < 5 \times 20,0mm$$
$$15,0mm \text{ e } D_{15D} < 100,0mm$$

A brita "B" deverá ser confeccionada atendendo a especificação acima, ficando dentro da forma mostrada no Desenho N° 02.



2.3.1.4 Granulometria do Enrocamento

$$D_{15D} = 35\text{m} \quad (D_{15} \text{ médio da brita "B"})$$

$$D_{85D} = 200\text{mm} \quad (D_{85} \text{ médio da brita "B"})$$

$$D_{15E} = D_{15} \text{ do enrocamento}$$

$$5 \cdot D_{15C} < D_{15E} < 5 \cdot D_{85D} \quad \dots \quad 5 \times 35\text{mm} < D_{15E} < 5 \times 250\text{mm}$$

$$175\text{mm} < D_{15E} < 1.250\text{mm}$$

O enrocamento deverá ser confeccionado, atendendo a especificação acima, ficando dentro da faixa mostrada no Desenho N° 02.

2.4 - DIMENSIONAMENTO DO RIP-RAP

2.4.1 - Primeira Camada ou Camada Externa (Enrocamento)

- Altura da onda (h_o):

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

onde:

$$F = \text{fetch} = 4,3 \text{ km.}$$

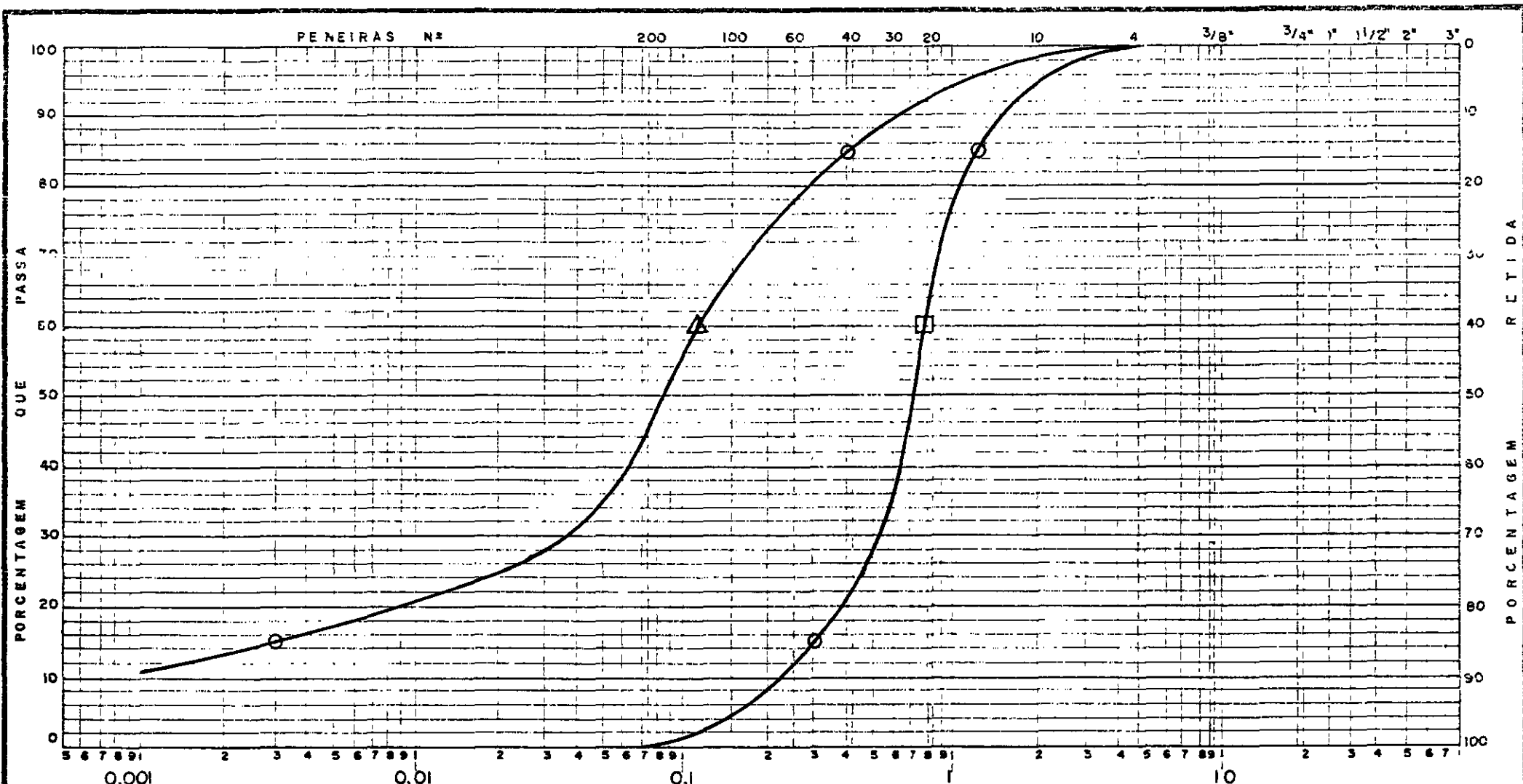
$$h_o = 0,75 + 0,34 \cdot \sqrt{4,3} - 0,26 \cdot \sqrt[4]{4,3} = 0,75 + 0,705 - 0,374$$

$$h_o = 1,08\text{m.}$$

- Velocidade da onda (v_o):

$$v_o = 1,5 + 2 \cdot h_o = 1,5 + 2 \cdot 1,08$$

$$v_o = 3,66 \text{ m/s.}$$



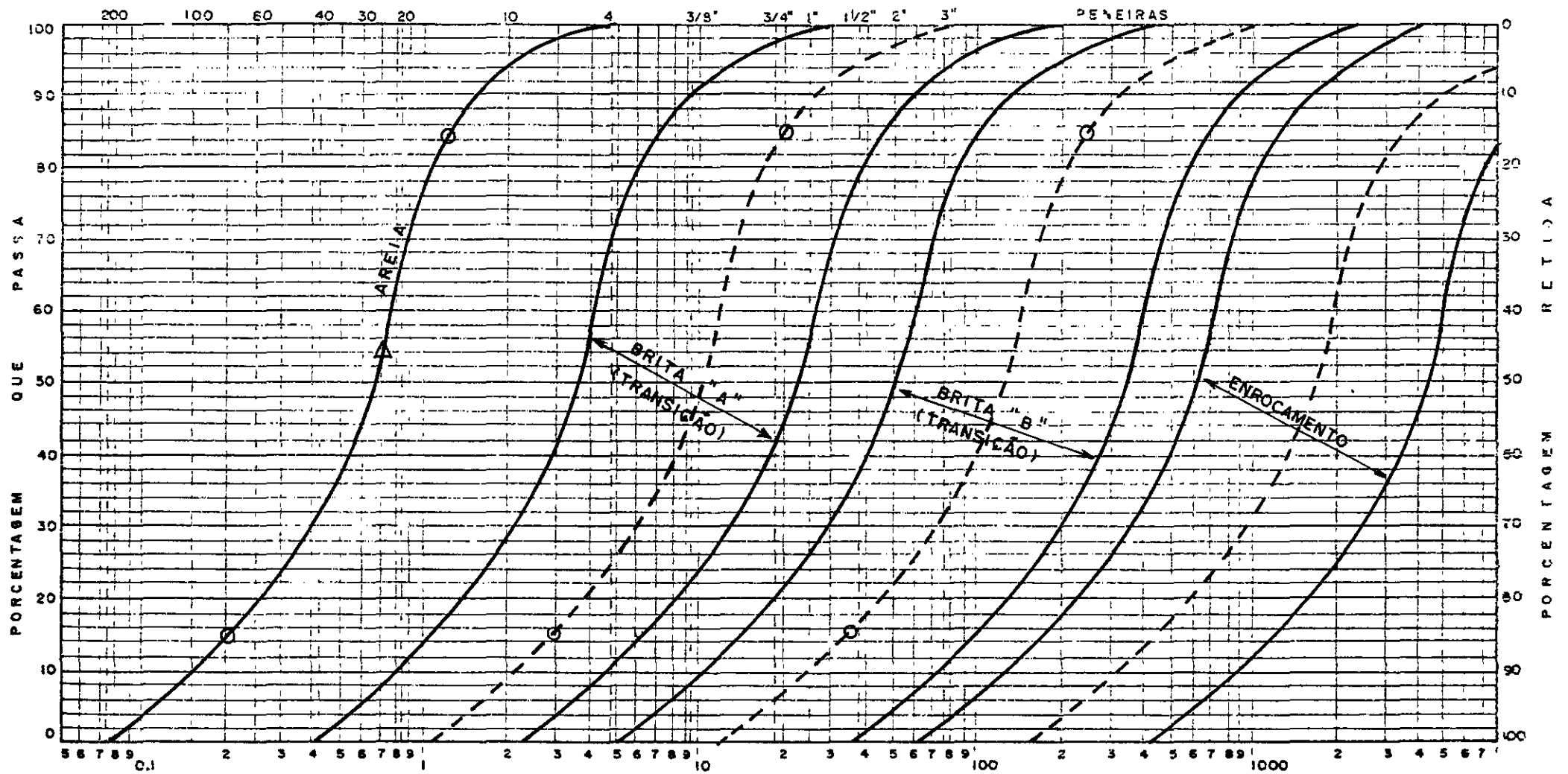
ARGILA	SILT	AREIA FINA	AREIA MÉDIA	AREIA GROSSA	PEDREGULHOS
--------	------	------------	-------------	--------------	-------------

DIÂMETRO DAS PARTICULAS EM mm

- △ Dados médios do ensaio granulométrico das jazida J-01 e J-02
- Dados médios do ensaio granulométrico dos areais A-01 e A-02
- Dados de D₁₅ e D₈₅ obtidos da curva granulométrica

SRH - SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS		
DATA SET/95	DES.	VISTO.
ESC -	APROV	
BARRAGEM CINZENTA Drenagem Interna		T-204-2/95 DES.01

000030



DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS EM mm

△ Dados médios do ensaio granulométrico dos areais A-01 e A-02

○ Dados de D_{15} e D_{85} obtidos da curva granulométrica

SRH - SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

DATA SET/95	DES	MSTO	Geonorte
ESC	APROX		
BARRAGEM CINZENTA Drenagem Interna			T-204-2/95 DES.02

000031

**- Espessura da Camada Externa (e_1)**

$$e_1 = C \cdot v_0^2$$

onde:

C = parâmetro que depende da inclinação do talude e da rocha a ser usada (no caso, talude 2,5:1,0 e gnaiss com $\gamma = 2,65$) = 0,027.

$$e_1 = 0,027 \cdot (3,66)^2 = 0,355$$

Adotando-se $e_1 = 0,60\text{m}$, a favor portanto da segurança, contudo usando-se $e_1 = 0,40\text{m}$ nos cálculos a seguir:

- Característica do Material da Camada Externa

$$P_{50} = 0,52 \cdot \gamma \cdot (e_1)^2,$$

onde

γ = densidade da rocha (гнаiss)

$$\gamma = 2,65 \text{ tf/m}^3$$

$$P_{50} = 0,52 \cdot 2,65 \cdot (0,40)^2 \therefore P_{50} = 0,09 \text{ ton}$$

Assim, 50% ou mais dos blocos deverão ter peso superior a 90 kg, cada.

2.4.2 - Camadas Internas

O "U.S Army Corps" sugere que seja adotado um $D_{50\text{min}} = 0,30\text{m}$, para altura da onda entre 0,60m e 1,20m.



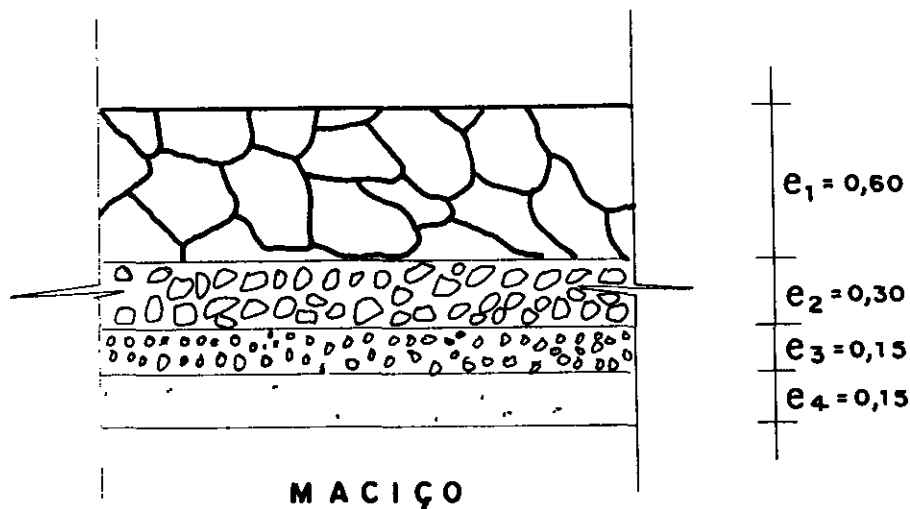
Espessuras adotadas:

$e_2 = 0,30\text{m}$ (brita B);

$e_3 = 0,15\text{m}$ (brita A);

$e_4 = 0,15\text{m}$ (areia).

As granulometrias do enrocamento (camada e_1), da brita "B" (camada e_2), da brita "A" (camada e_3) e areia (camada e_4), são os mesmos especificados para o dreno de pé.



2.5 - ANÁLISE HIDRÁULICA DO MACIÇO E FUNDAÇÃO

2.5.1 - Fluxo através do maciço

- a) fundação impermeável
- b) permeabilidade do solo argiloso

J-01 $k_1 = 2,61 \times 10^{-7} \text{cm/s}$

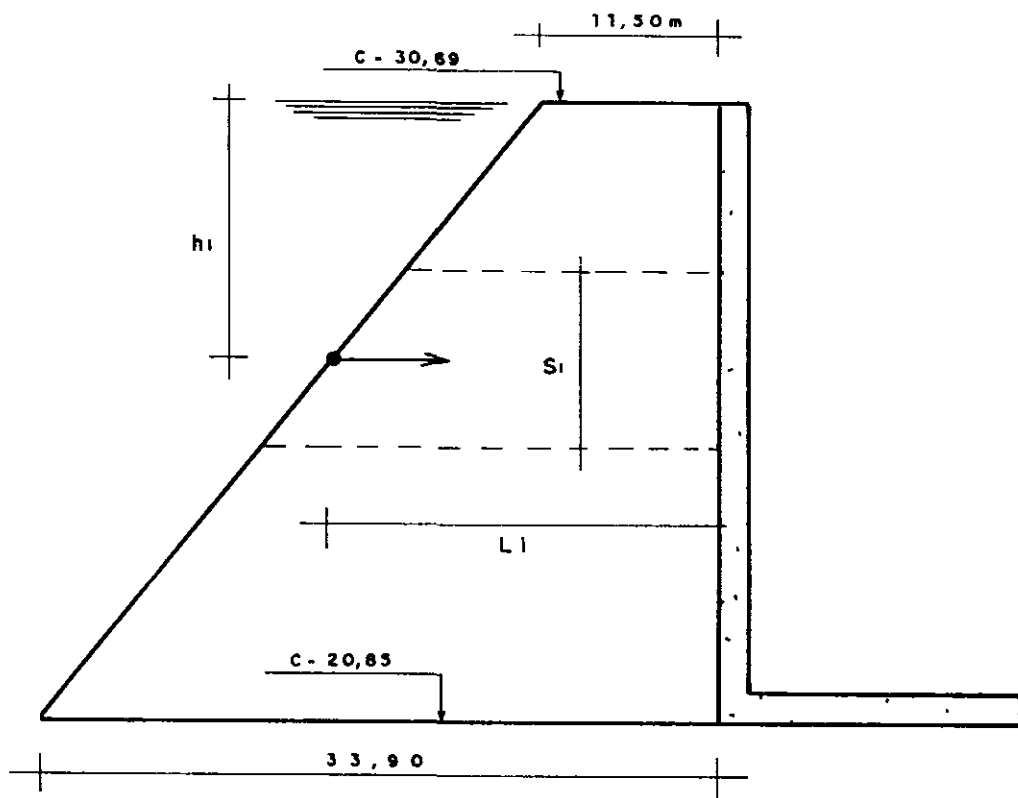
$k_2 = 1,91 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ $k_{\text{médio}} = 7,99 \times 10^{-7} \text{m/s}$



J-02 $k_3 = 7,42 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$

$k_4 = 2,00 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ $k_{\text{m\u00e9dio}} = 7,99 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$

Usando a lei de Darcy tem-se: $Q = k_i A_i$.



Dividindo-se em dez fatias, sendo a primeira com 0,98m de altura e o restante com 1,0m, obtem-se a vaz\u00e3o do maci\u00e7o mostrada no quadro a seguir.

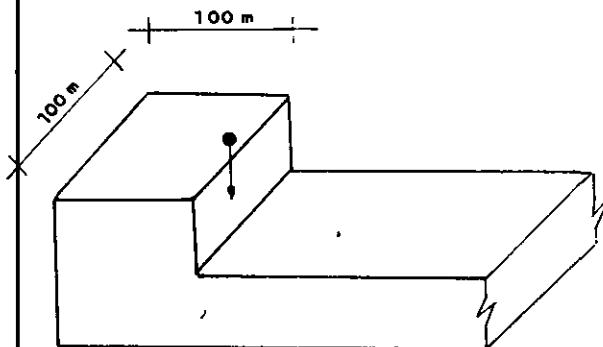
C:\WINWORD\RELATOR\IMCBCATU.DOC



i	h _i (m)	L _i (m)	i _i	S _i (m ³)	Q _i (m ³ /sxm)
1	0,49	11,50	0,043	0,98	3,37 x 10 ⁻¹⁰
2	1,48	14,10	0,105	1,00	8,39 x 10 ⁻¹⁰
3	2,48	16,60	0,149	1,00	1,19 x 10 ⁻⁹
4	3,48	19,20	0,181	1,00	1,44 x 10 ⁻⁹
5	4,48	21,60	0,207	1,00	1,65 x 10 ⁻⁹
6	5,48	24,10	0,227	1,00	1,81 x 10 ⁻⁹
7	6,48	26,50	0,245	1,00	1,95 x 10 ⁻⁹
8	7,48	29,20	0,256	1,00	2,05 x 10 ⁻⁹
9	8,48	31,60	0,268	1,00	2,14 x 10 ⁻⁹
10	9,48	33,90	0,280	1,00	2,24 x 10 ⁻⁹

$\Sigma Q_i = 1,57 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s.m}$

Na seção na base do filtro vertical.



$Q = kiA$

$i = 1$ (fluxo vertical descendente)

$A = 1,0 \text{ m}^2$

O coeficiente de permeabilidade da areia:
(por A Casagrande e R.E FADUM)

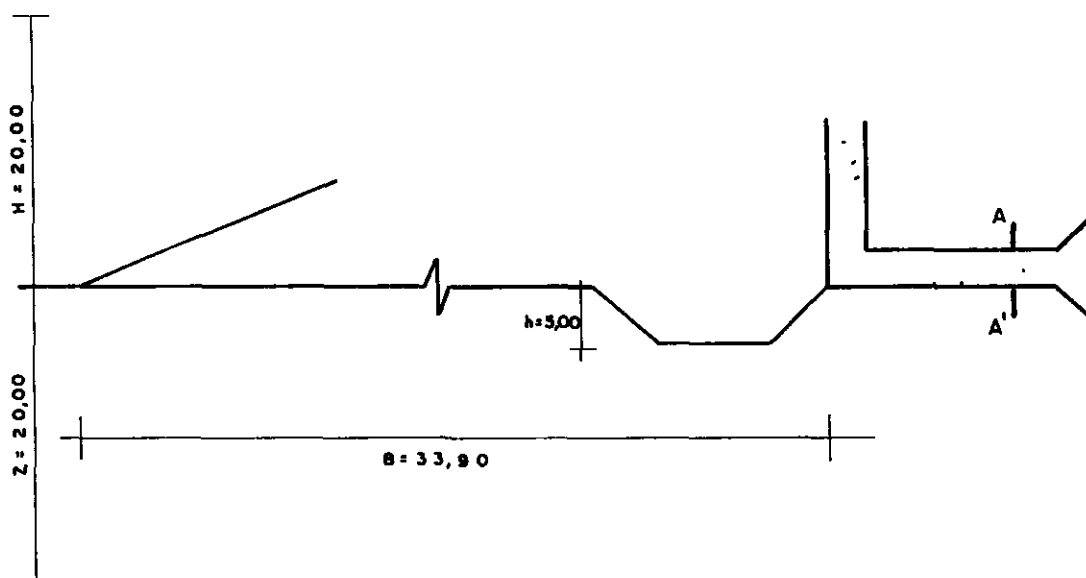
$k_a = 1,0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$

$k_a = 1,0 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$

$h_a \gg K_{necessário}$ ok!

2.5.2 - Fluxo através da fundação

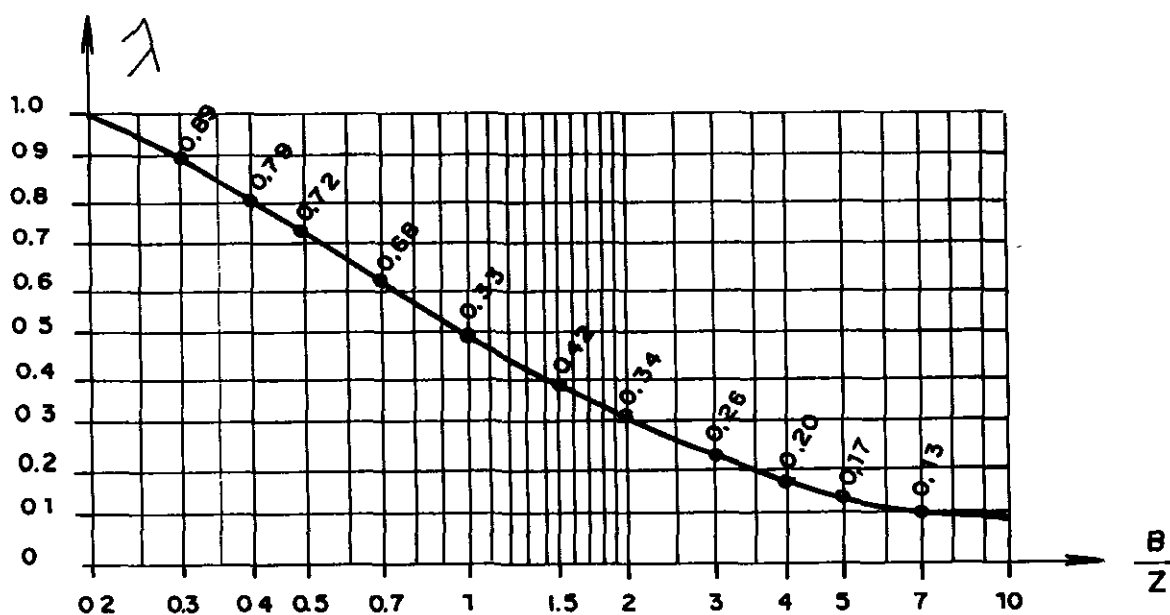
Considerando a permeabilidade da fundação $k = 5,0 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ após a execução da trincheira ("cut-off") e uma espessura de 20 metros de maciço permeável na fundação, tem-se:



a) Sem a trincheira

$$B = 33,90\text{m}, Z = 20\text{m} \therefore \frac{B}{Z} = \frac{33,90}{20} \therefore \frac{B}{Z} = 1,70$$

Do gráfico abaixo tira-se $\lambda = 0,35$.



C WINWORD\RELATOR\MCBCATU.DOC



Portanto:

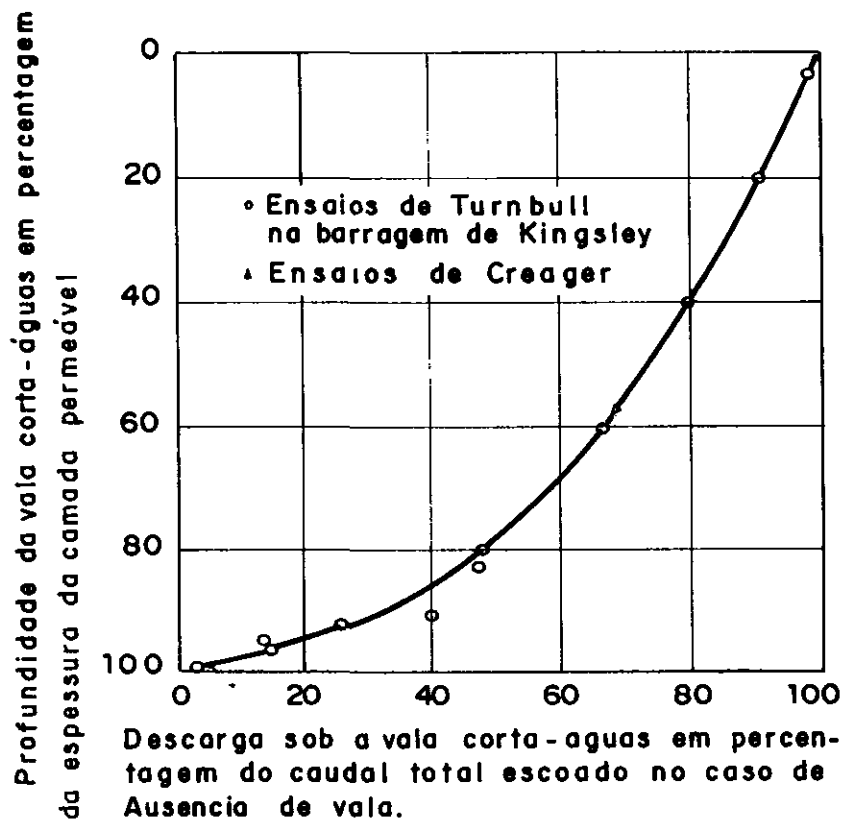
$$Q_o = \lambda \cdot H \cdot k = 0,35 \times 20,0 \times 5,0 \times 10^{-6}$$

$$Q_o = 3,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s.m}$$

b) Com trincheira

$$L = 5,0\text{m}, Z = 20\text{m} \therefore \frac{h}{Z} = \frac{5,0}{20,0} \therefore \frac{k}{Z} = 0,25$$

Do gráfico abaixo tira-se:



$$\frac{Q_f}{Q_o} Q_o = 0,90 \therefore Q_f = 0,90 Q_o = 0,90 \times 3,5 \times 10^{-5}$$

$$Q_f = 3,15 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s.m}$$



2.5.2 - Fluxo total no tapete

Admitindo toda a água que passa no maciço e fundação captada no tapete e considerando um gradiente de 0,10 no tapete, deve-se ter:

$$Q = Q_{\text{maciço}} + Q_{\text{fundação}}$$

$$Q = 1,57 \times 10^{-8} + 3,15 \times 10^{-5}$$

$$Q = 3,15 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Pela lei de Darcy:

$$Q = kiA, A = 1,0 \text{ m}^2 \text{ e } i = 0,10.$$

$$k_{\text{necessário}} = \frac{Q}{i \cdot A} = \frac{3,15 \times 10^{-5}}{0,10 \times 1} = 3,15 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

ha >> $k_{\text{necessário}}$ ok!

2.6 - ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO MACIÇO

A análise da estabilidade do maciço da Barragem Cinzenta foi realizada com a finalidade de se determinar os coeficientes mínimos de segurança para a hipótese de final de construção, no lado de montante e jusante.

Para a análise da retabilidade do maciço foi utilizado o programa SB-SLOPE, o qual efetua a análise pelo método de BISHOP Simplificado. O modelo real foi discretizado assumindo hipótese com respeito à geometria, parâmetros dos materiais constituintes e condições de contorno, descritos a seguir:

- **GEOMETRIA:** a definição dos taludes foi feita com base em estudos prévios e respaldadas nas recomendações do Bureau of Reclamation. A seção considerada para a



análise, por ser a mais crítica, foi a seção máxima. Para simplificar a entrada de dados, mas foram consideradas de enrocamento do maciço;

- **MATERIAIS:** os parâmetros dos materiais adotados na análise são mostrados no quadro abaixo, obtidos nos ensaios geotécnicos de laboratório e nas fontes bibliográficas.

MATERIAL	γ (kN/m ³)	c (kPa)	Φ
Maciço (1)	17,5	2,0	32
cut-off (1)	17,5	2,0	32
Filtro (2)	19,0	0,0	0
Tapete (2)	19,0	0,0	0
Fundação (2)	19,0	19,6	35

NOTA: (1) Dados obtidos nos Estudos Geotécnicos;
(2) Dados obtidos em bibliografia.

- **CONDIÇÕES DE CONTORNO:** a pressão neutra para a hipótese final de construção foi obtida pela expressão:

$$u = B\sigma_v$$

onde:

u = pressão neutra;

B = coeficiente de pressão neutra (adotou-se B = 0,20);

σ_v = tensão vertical.



Os coeficientes mínimos de segurança permitidos para a hipótese de final de construção foi na origem de 1,3. Ao final da análise efetuada conseguiu-se o valor do fator de segurança FS igual a 1,94, para a análise feita tanto a montante e jusante.



SB-SLOPE

PROJECT DATA

Project: Barragem Cinzenta - Final de Construcao (Montante) - T-204/95
Location: Rio Catu - Aquiraz/Ceara
Filename: BARRCINZ Description: Barragem Cinzenta - Final de Construcao

ANALYSIS DATA

Table with 9 columns: Line No., Left X, Left Y, Right X, Right Y, Density kN/cu.m, Cohesion kPa, Phi Deg. Rows 1-15.

Minimum FS found during grid pattern = 1.94
Found at X= 20.4, Y= 35.0, R= 22.0

X= 20.4 Y= 35.0 R= 21.0

Table with 8 columns: SLICE X-LEFT DX, TAN THETA, TAN PHI, COHESION, VERTICAL FORCE, RESISTING TERM, DRIVING TERM. Rows 1-10.

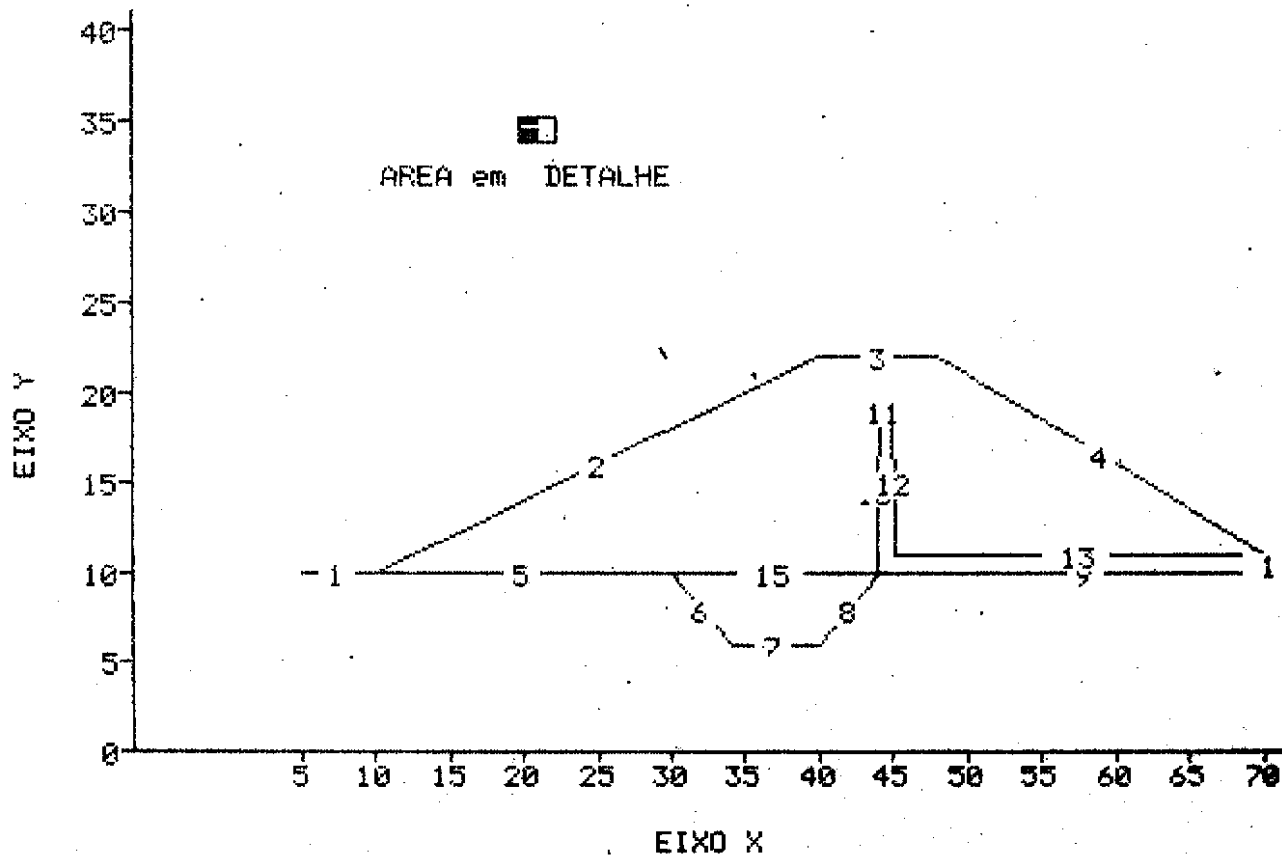
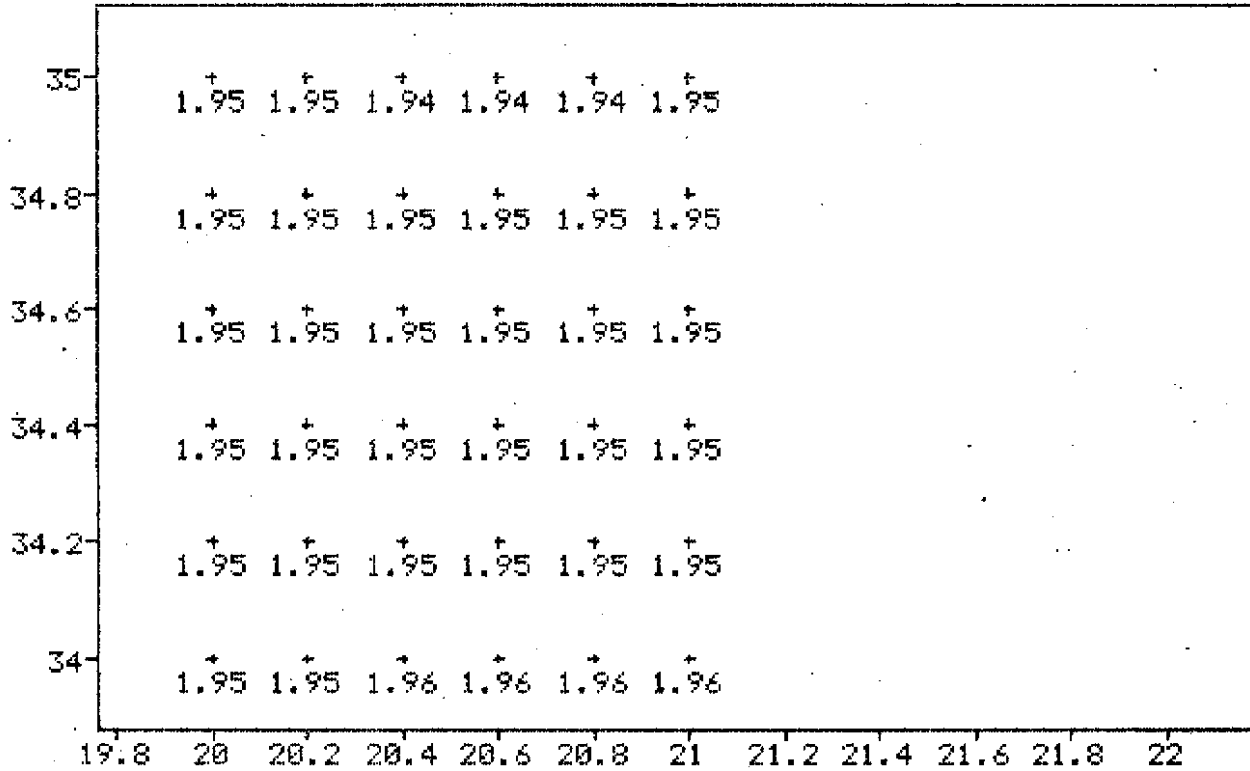
TALUDE

Metodo de BISHOP Simplificado

PROJETO: Barragem Cinzenta - Final de Construcao (Montante) - T-204/95

LOCAL : Rio Catu - Aquiraz/Ceara

ARG.: BARRCINZ



000042

TALUDE

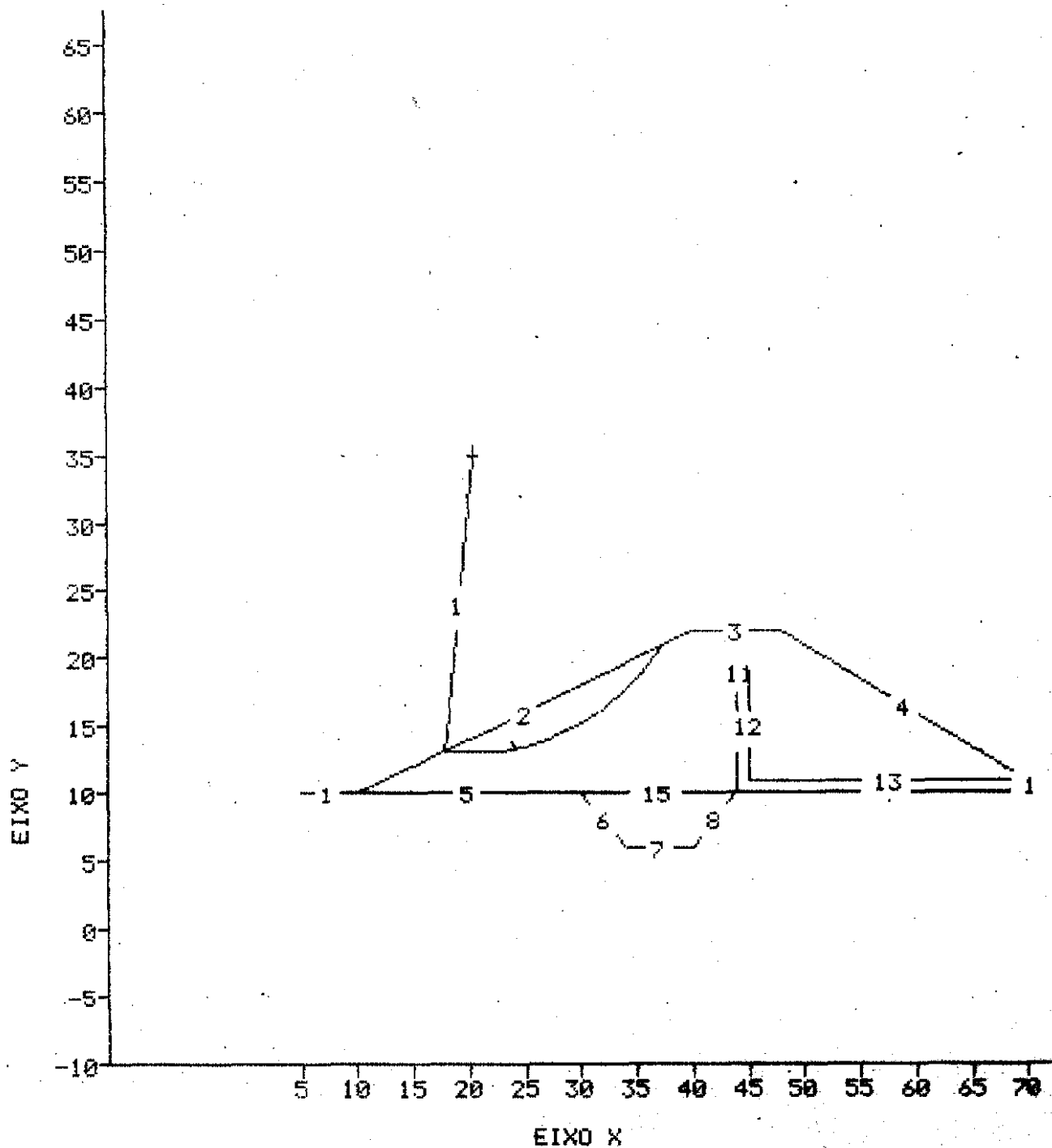
Metodo de BISHOP Simplificado

PROJETO: Barragem Cinzenta - Final de Construcao (Montante) - T-204/95

LOCAL : Rio Catu - Aquiraz/Ceara

ARQ.: BARROINZ SECAO COMPLETA DO TALUDE

CIRCU.	X	Y	RAIO	FS
1	20.4	35.0	22.0	1.94



SB-SLOPE
PROJECT DATA

Project: Barragem Cinzenta - Final de Construcao (Jusante) - T-204/95

Location: Rio Catu - Aquiraz/Ceara

Filename: BARCINZJ Description: Bar. Cinzenta (Jusante)-Final de Construcao

ANALYSIS DATA

Line No.	Left X	Left Y	Right X	Right Y	Density kN/cu.m	Cohesion kPa	Phi Deg
1	5.0	10.0	10.0	10.0	19.0	19.6	35
2	10.0	10.0	40.0	22.0	17.5	2.0	32
3	40.0	22.0	48.0	22.0	17.5	2.0	32
4	48.0	22.0	70.0	11.0	17.5	2.0	32
5	10.0	10.0	30.0	10.0	19.0	19.6	35
6	30.0	10.0	34.0	6.0	19.0	19.6	35
7	34.0	6.0	40.0	6.0	19.0	19.6	35
8	40.0	6.0	44.0	10.0	19.0	19.6	35
9	44.0	10.0	72.0	10.0	19.0	19.6	35
10	43.9	10.0	44.0	19.0	19.0	0.0	32
11	44.0	19.0	45.0	19.0	19.0	0.0	32
12	45.0	19.0	45.1	11.0	19.0	0.0	32
13	45.1	11.0	70.0	11.0	19.0	0.0	32
14	70.0	11.0	72.0	10.0	19.0	0.0	32
15	30.0	10.0	44.0	10.0	17.5	2.0	32

Minimum FS found during grid pattern = 1.94

Found at X= 61.0, Y= 28.0, R= 17.2

X= 61.0 Y= 28.0 R= 17.0

SLICE	X-LEFT	DX	TAN THETA	TAN PHI	COHESION	VERTICAL FORCE	RESISTING TERM	DRIVING TERM
1	44.0	1.0	2.315	0.625	2.0	19	20	18
2	45.0	0.1	1.912	0.625	2.0	4	4	4
3	45.1	2.9	1.384	0.625	2.0	226	175	183
4	48.0	2.4	0.876	0.625	2.0	285	191	188
5	50.4	2.4	0.620	0.625	2.0	309	195	163
6	52.7	2.4	0.430	0.625	2.0	312	191	123
7	55.1	3.0	0.255	0.625	0.0	369	220	91
8	58.0	3.0	0.083	0.625	0.0	321	196	26
9	61.0	3.0	-0.083	0.625	0.0	244	157	-20
10	64.0	3.0	-0.255	0.625	0.0	139	98	-34
11	66.9	1.7	-0.406	0.625	2.0	23	22	-9

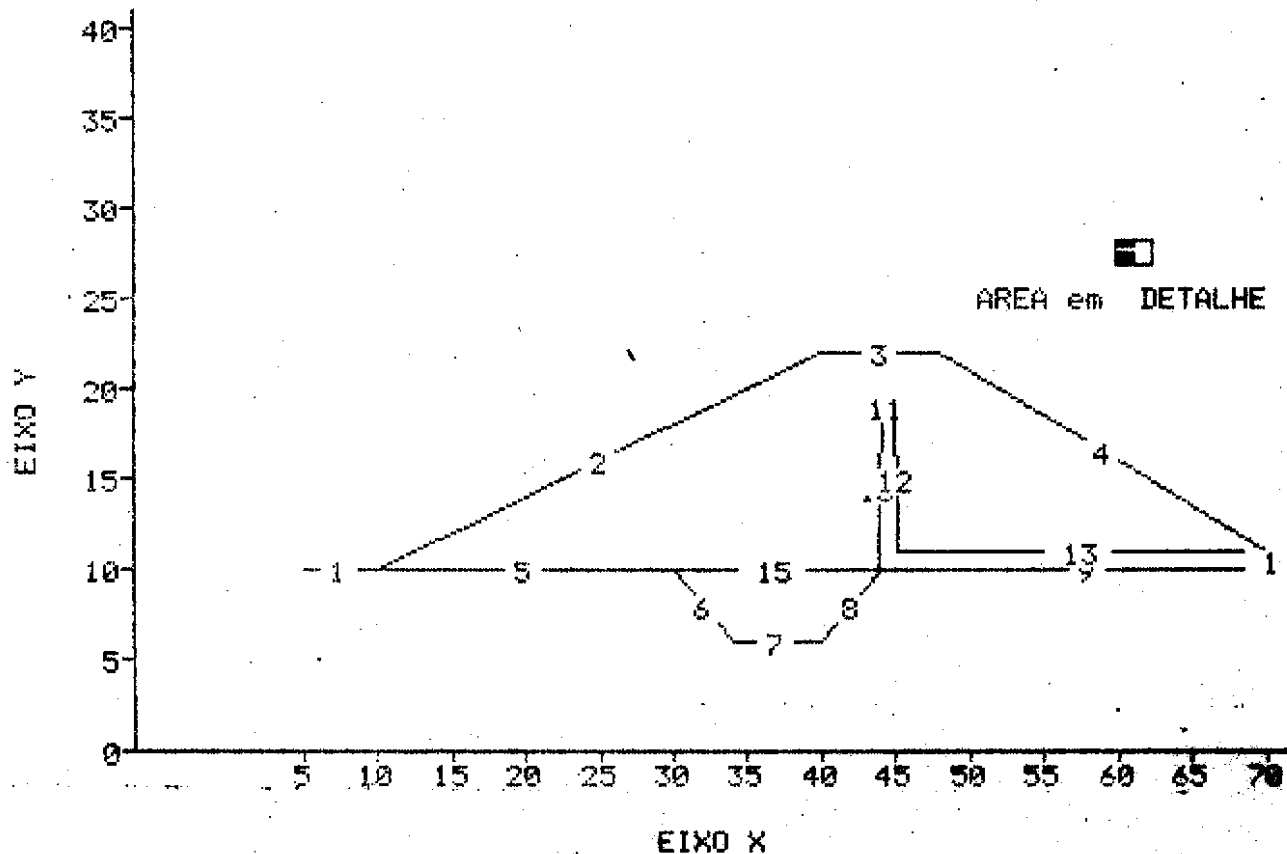
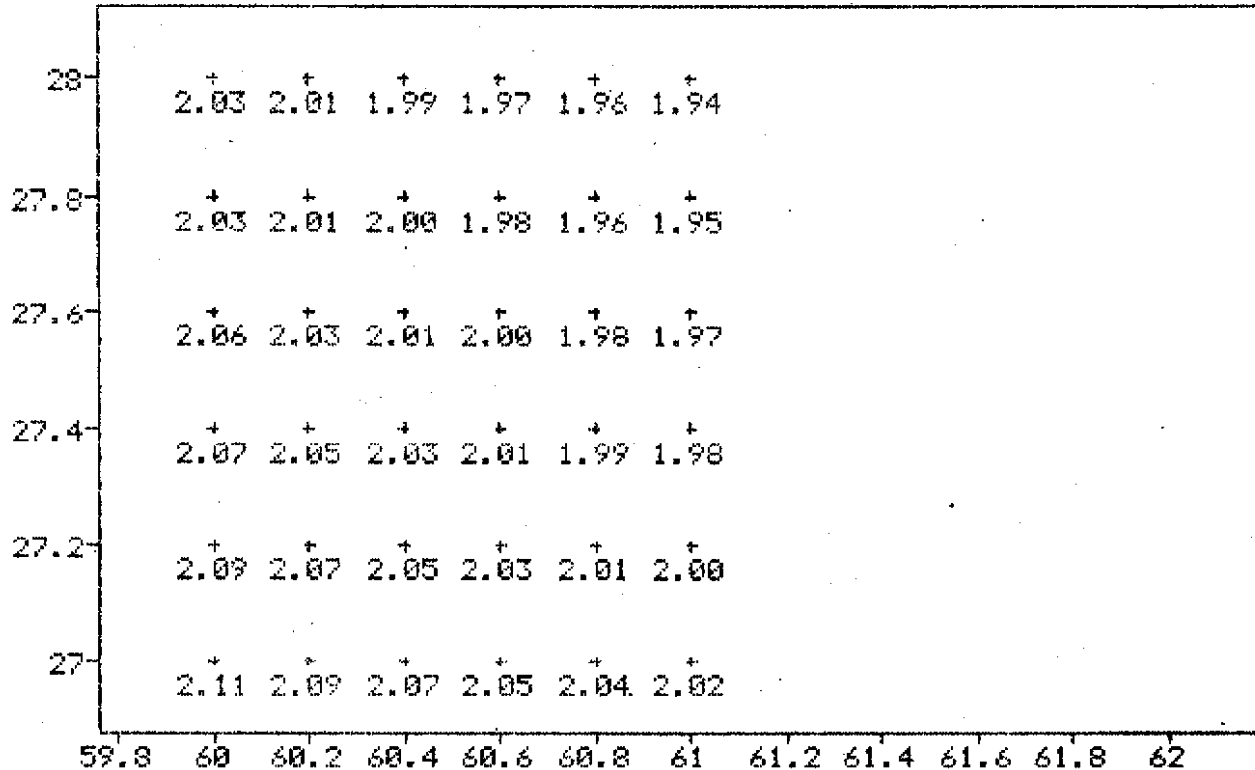
TALUDE

Metodo de BISHOP Simplificado

PROJETO: Barragem Cinzenta - Final de Construcao (Jusante) - T-204/95

LOCAL : Rio Catu - Aquiraz/Ceara

ARG.: BARCINZJ



TALUDE

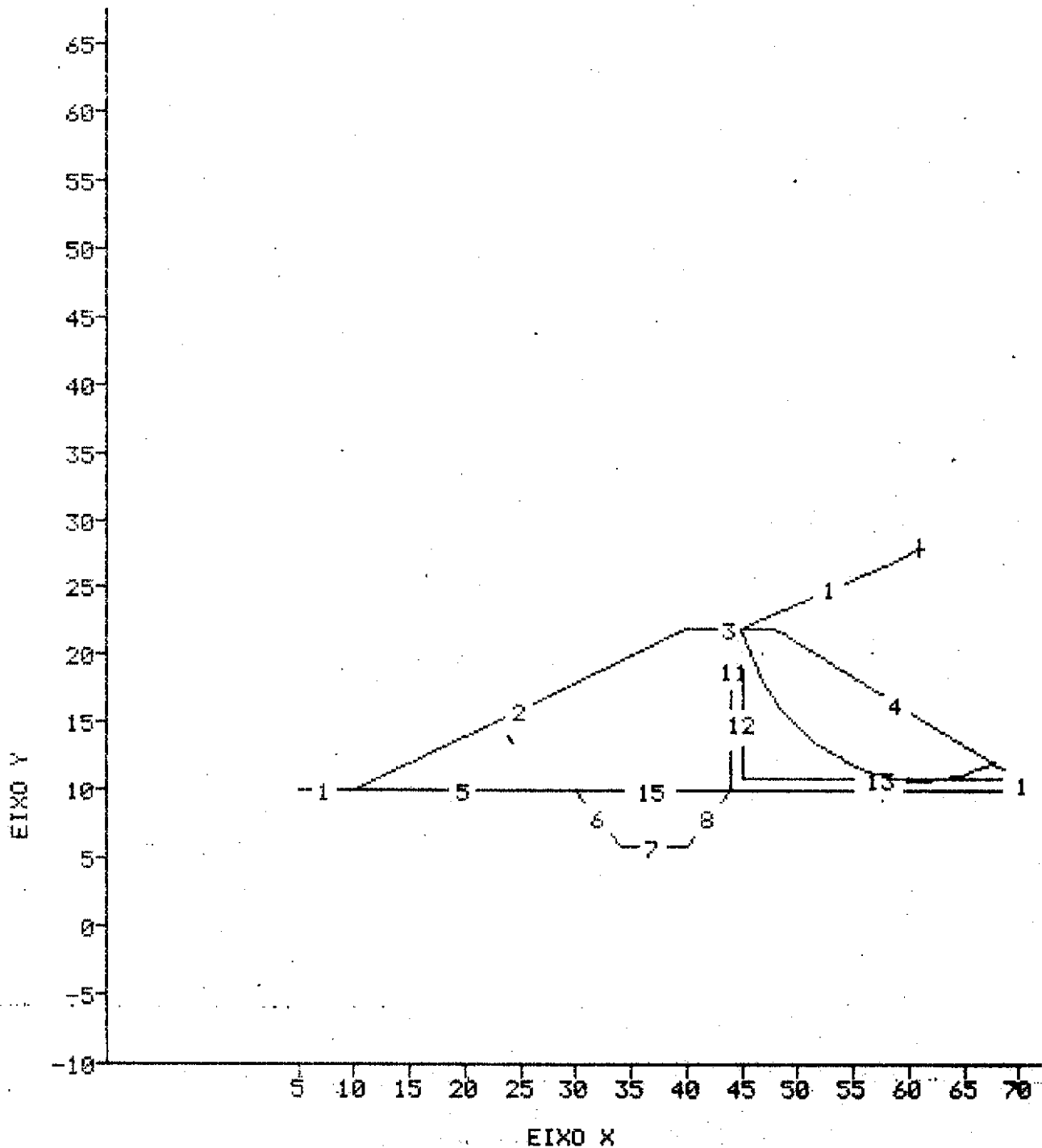
Metodo de BISHOP Simplificado

PROJETO: Barragem Cinzenta - Final de Construcao (Jusante) - T-204/95

LOCAL : Rio Catu - Aquiraz/Ceara

ARG.: BARCINZI SECAO COMPLETA DO TALUDE

CIRCU.	X	Y	RAIO	FS
1	61.0	28.0	17.2	1.94



000046



3.0 - VERTEDOURO DA BARRAGEM CINZENTA

C WINWORDIRELATORIMCBCATU DOC



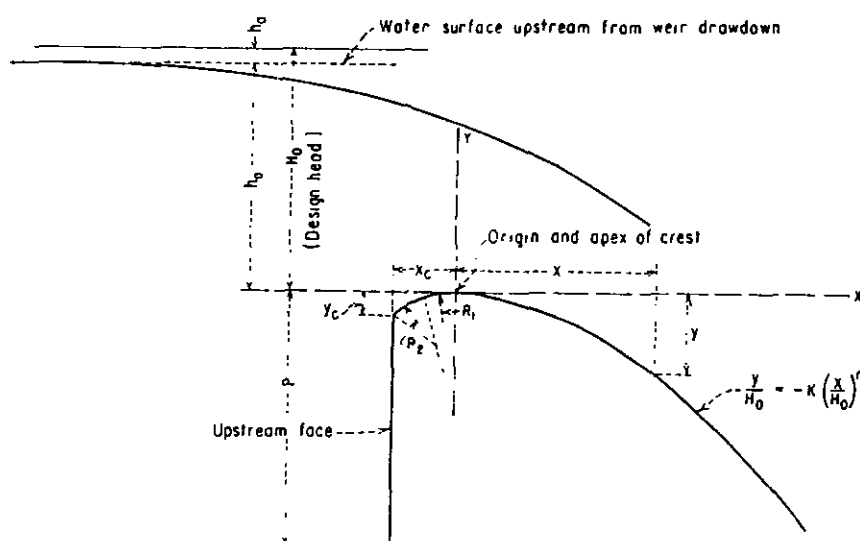
3.0 - VERTEDOIRO DA BARRAGEM CINZENTA

3.1 - VERTEDOIRO E BACIA DE DISSIPAÇÃO

3.1.1 Dados

Tipo do Vertedouro	CREAG
Largura do Vertedouro	: 40,00m
Cota da Soleira	: 30,00m
Cota do Canal	: 28,00
Lamina de Projeto	: 0,69m
Vazão de Projeto	: 46,78 m ³ /s

3.1.2 - Dimensionamento



C:\WINWORD\RELATORIO\MCBCATU.DOC



$$q = \frac{46,78}{40} = 1,169 \text{ m}^3 / \text{s.m}$$

$$q = C \cdot H_o^{3/2}$$

$$V_a = \frac{q}{P + H_o}$$

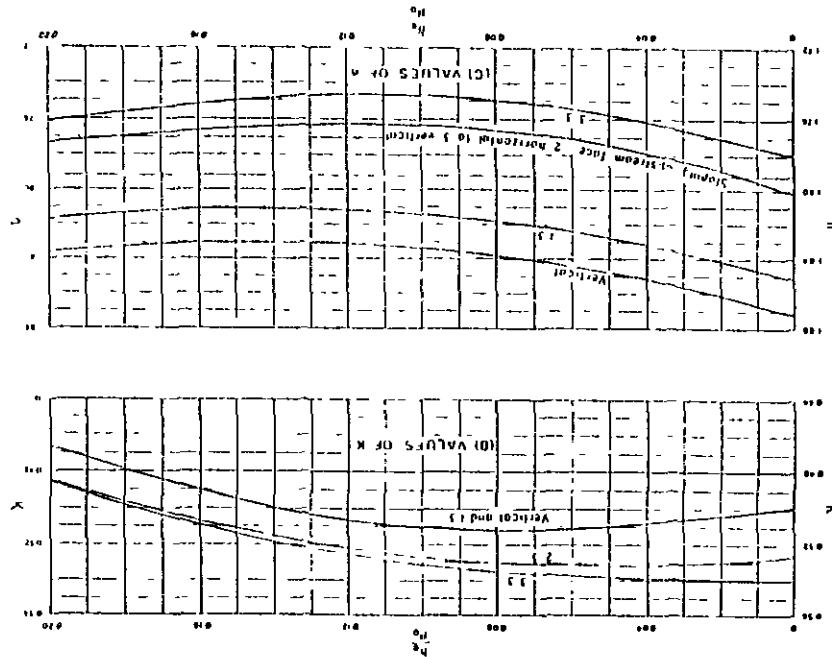
$$h_a = \frac{V_a^2}{2 \cdot g} = \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot (P + H_o)^2}$$

$$H_o = 0,69$$

$$h_a = \frac{1,169^2}{2 \cdot g \cdot (2,0 + 0,69)^2} = 0,0096 \text{ m}$$

$$\frac{h_a}{H_o} = 0,014$$

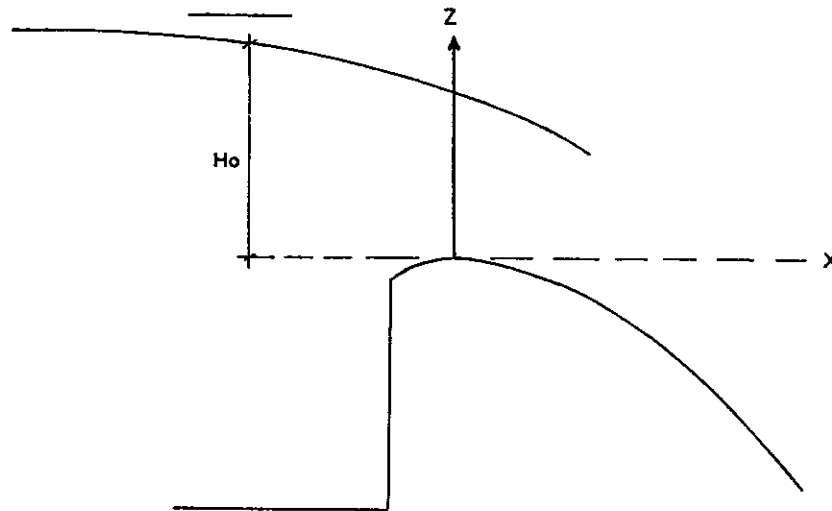
Para esta relação, tira-se das figuras 1 e 2 os valores de $K = 0,502$ e $n = 1,875$



C:\WINWORD\RELATOR\MCBCATU.DOC



3.3.3 - Determinação do perfil da crista



Em relação ao sistema de coordenadas traçado, tem-se

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

$$\frac{Z}{0,69} = -0,502 \left(\frac{X}{0,69} \right)^{1,875}$$

$$Z = -0,69X^{1,875}$$

Derivando esta função tem-se

$$\frac{dZ}{dx} = -1,301X^{0,875}$$

Adotando o trecho reto do perfil com inclinação igual a -2,0 tem-se.

$$-2,0 = 1,301X^{0,875}$$

logo a abcissa do ponto de tangência é $X_x = 1,63$.

O valor de y correspondente é $y = -1,72$.

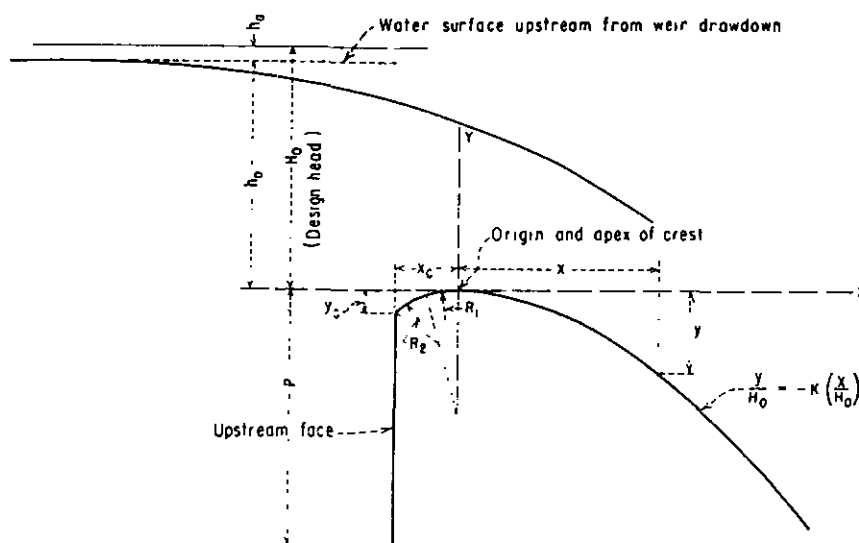
C:\WINWORD\RELATORIO\MCBCATU.DOC



O quadro abaixo mostra as coordenadas do perfil em diversos pontos.

x	z
0	0
0,25	-0,05
0,50	-0,18
0,75	-0,40
1,00	-0,69
1,25	-1,04
1,50	-1,47
1,63	-1,72

O perfil da crista do muro em montante, foi obtido da figura a seguir:





Para $\frac{h_a}{H_o} = 0,014$

tira-se

$\frac{X_c}{H_o} = 0,21$

$X_c = 0,14m$

$\frac{y_c}{H_o} = 0,068$

$y_c = 0,05m$

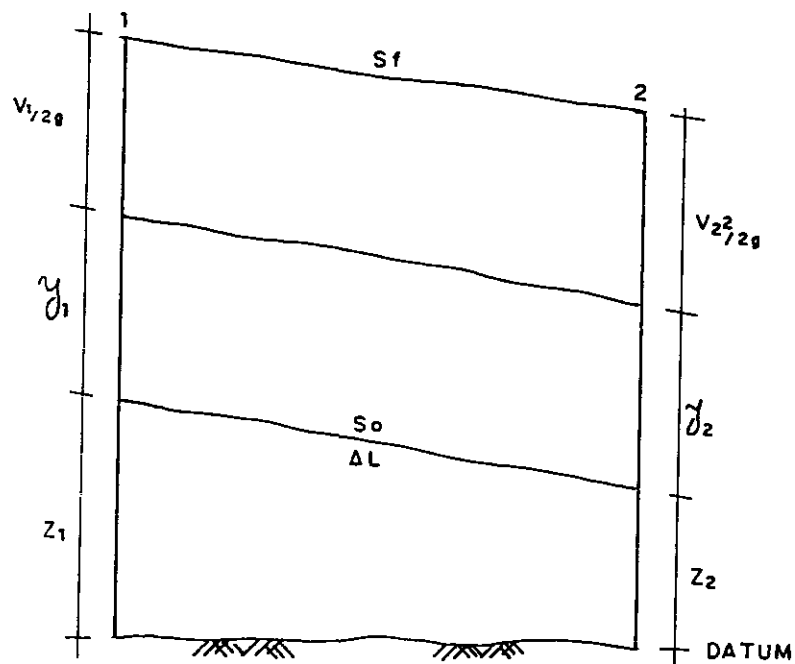
$\frac{R_1}{H_o} = 0,45$

$R_1 = 0,31m$

$\frac{R_2}{H_o} = 0,20$

$R_2 = 0,14m$

- Cálculo do Perfil do Fluxo



C:\WINWORD\RELATORIO\MCBCATU.DOC



Aplicando a conservação da energia no segmento de canal tem-se.

$$E = Z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + hf$$

rearranjando temos

$$Z_2 = S_o \Delta L + y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + S_f \Delta L$$

resolvendo em ΔL temos

$$\Delta L = \frac{E_2 - E_1}{S_o - S_f}$$

onde E é a energia específica

$$E = y + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad \text{assumindo } \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$$

A perda de carga por atrito é dada pela Fórmula de Maning

$$S_f = \frac{n^2 \cdot V^2}{2,22R^{4/3}}$$

onde

n = coeficiente de rugosidade;

V = velocidade média (ft/s);

R = raio hidráulico (ft).

Adotando $\alpha = 1,1$ e $n = 0,014$ foi preparada a tabela a seguir contendo o perfil do fluxo.

CALCULO DO PERFIL DO FLUXO

Vertedouro da Barragem Cinzenta - Aguiraz/Ce

X	Z	Y	A	R	R ^{4/3}	V	a+V ^{2/2g}	E	DE	SO	Sf	Sf(medio)	So-Sf(medio)	DL	DL(calculado)
0,00	0,00	0,4600	18,40	0,45	0,34	2,542	0,3624	0,8224	-	-	0,002392	-	-	0,0501	-
0,05	-0,00	0,4551	18,20	0,44	0,34	2,570	0,3702	0,8253	0,0029	0,050170	0,002478	0,000043	0,050127	0,0504	0,0588
0,10	-0,01	0,4451	17,80	0,44	0,33	2,627	0,3871	0,8322	0,0068	0,133856	0,002667	0,000094	0,133761	0,0511	0,0510
0,15	-0,02	0,4319	17,28	0,42	0,32	2,708	0,4111	0,8430	0,0108	0,209570	0,002946	0,000139	0,209430	0,0519	0,0517
0,20	-0,03	0,4169	16,68	0,41	0,30	2,805	0,4412	0,8581	0,0151	0,281415	0,003311	0,000183	0,281232	0,0530	0,0537
0,25	-0,05	0,4015	16,06	0,39	0,29	2,913	0,4757	0,8772	0,0191	0,350681	0,003750	0,000219	0,350462	0,0542	0,0545
0,30	-0,07	0,3861	15,44	0,38	0,27	3,029	0,5144	0,9005	0,0233	0,418024	0,004268	0,000259	0,417765	0,0555	0,0558
0,35	-0,10	0,3709	14,84	0,36	0,26	3,153	0,5574	0,9283	0,0278	0,483840	0,004875	0,000303	0,483536	0,0570	0,0575
0,40	-0,12	0,3563	14,25	0,35	0,25	3,282	0,6040	0,9603	0,0320	0,548394	0,005568	0,000346	0,548047	0,0586	0,0584
0,45	-0,15	0,3421	13,68	0,34	0,23	3,419	0,6552	0,9973	0,0370	0,611876	0,006370	0,000401	0,611475	0,0603	0,0605
0,50	-0,19	0,3284	13,14	0,32	0,22	3,561	0,7110	1,0394	0,0421	0,674428	0,007293	0,000462	0,673966	0,0621	0,0625
0,55	-0,22	0,3155	12,62	0,31	0,21	3,707	0,7704	1,0859	0,0464	0,736159	0,008328	0,000518	0,735642	0,0639	0,0631
0,60	-0,26	0,3030	12,12	0,30	0,20	3,860	0,8352	1,1382	0,0524	0,797159	0,009522	0,000597	0,796562	0,0659	0,0657
0,65	-0,31	0,2911	11,64	0,29	0,19	4,018	0,9049	1,1960	0,0578	0,857497	0,010874	0,000676	0,856821	0,0678	0,0674
0,70	-0,35	0,2798	11,19	0,28	0,18	4,180	0,9795	1,2593	0,0633	0,917234	0,012399	0,000762	0,916472	0,0699	0,0690
0,75	-0,40	0,2688	10,75	0,27	0,17	4,351	1,0613	1,3301	0,0708	0,976420	0,014162	0,000882	0,975538	0,0720	0,0726
0,80	-0,45	0,2584	10,34	0,26	0,16	4,526	1,1484	1,4068	0,0767	1,035097	0,016142	0,000990	1,034107	0,0741	0,0742
0,85	-0,51	0,2485	9,94	0,25	0,15	4,706	1,2418	1,4903	0,0834	1,093302	0,018375	0,001116	1,092186	0,0762	0,0764
0,90	-0,57	0,2391	9,56	0,24	0,15	4,891	1,3413	1,5804	0,0902	1,151068	0,020882	0,001254	1,149814	0,0784	0,0784
0,95	-0,63	0,2302	9,21	0,23	0,14	5,080	1,4470	1,6772	0,0968	1,208422	0,023683	0,001400	1,207022	0,0806	0,0802
1,00	-0,69	0,2217	8,87	0,22	0,13	5,275	1,5601	1,7818	0,1046	1,265389	0,026832	0,001575	1,263815	0,0829	0,0828
1,05	-0,76	0,2136	8,54	0,21	0,13	5,475	1,6807	1,8943	0,1125	1,321993	0,030360	0,001764	1,320229	0,0851	0,0852
1,10	-0,83	0,2059	8,24	0,20	0,12	5,680	1,8088	2,0147	0,1204	1,378252	0,034295	0,001967	1,376284	0,0874	0,0875
1,15	-0,90	0,1986	7,94	0,20	0,11	5,889	1,9442	2,1428	0,1281	1,434184	0,038661	0,002183	1,432001	0,0897	0,0895
1,20	-0,97	0,1916	7,66	0,19	0,11	6,104	2,0888	2,2804	0,1377	1,489807	0,043553	0,002446	1,487361	0,0920	0,0925
1,25	-1,05	0,1850	7,40	0,18	0,10	6,322	2,2405	2,4255	0,1451	1,545134	0,048930	0,002688	1,542446	0,0943	0,0941
1,30	-1,13	0,1787	7,15	0,18	0,10	6,544	2,4013	2,5800	0,1545	1,600180	0,054898	0,002984	1,597196	0,0967	0,0967
1,35	-1,21	0,1727	6,91	0,17	0,10	6,772	2,5710	2,7437	0,1638	1,654956	0,061493	0,003297	1,651659	0,0990	0,0991
1,40	-1,30	0,1670	6,68	0,17	0,09	7,003	2,7495	2,9165	0,1728	1,709474	0,068746	0,003627	1,705848	0,1014	0,1013
1,45	-1,38	0,1616	6,46	0,16	0,09	7,237	2,9364	3,0980	0,1814	1,763746	0,076678	0,003966	1,759779	0,1037	0,1031
1,50	-1,48	0,1564	6,26	0,16	0,08	7,478	3,1349	3,2913	0,1933	1,817779	0,085481	0,004402	1,813378	0,1061	0,1066
1,55	-1,57	0,1515	6,06	0,15	0,08	7,720	3,3414	3,4929	0,2016	1,871584	0,095040	0,004779	1,866805	0,1085	0,1080
1,60	-1,67	0,1486	5,94	0,15	0,08	7,870	3,4726	3,6212	0,1283	1,925169	0,101323	0,003141	1,922028	0,0662	0,0668
1,63	-1,72	0,1370	5,48	0,14	0,07	8,536	4,0856	4,2226	0,6014	1,967889	0,132750	0,015713	1,952176	0,3089	0,3080
1,77	-2,00	0,1225	4,90	0,12	0,06	9,547	5,1100	5,2325	1,0099	2,000000	0,192558	0,029904	1,970096	0,5143	0,5126
2,00	-2,46														

Rua Jorge Severiano, 900 - Vila União - Fone 272 4777 - Fax 272 7799 - CEP 60 420-180 - Fortaleza - Ceará
 GEONORTE - Engenharia de Solos e Fundações Ltda
 C G C 07 542 392/0001-60 - C G F 06 013 384-8





3.3.5 - Cálculo da Bacia De Dissipação

Da tabela do perfil do fluxo verifica-se que a lâmina na entrada da bacia de dissipação é de $d_1 = 0,1225\text{m}$ e $V_1 = 9,547\text{ m/s}$.

- Cálculo da lâmina no final do ressalto

$$d_2 = -\frac{d_1}{2} + \sqrt{\frac{d_1^2}{4} + \frac{2V_1^2 d_1}{g}}$$

$$d_2 = -\frac{0,1225}{2} + \sqrt{\frac{0,1225^2}{4} + \frac{2 \times 9,547^2 \times 0,1225}{9,81}}$$

$$d_2 = 1,44\text{ m.}$$

- Cálculo do Número de Froude

$$F^2 = \left(\frac{y_c}{y_1}\right)^3$$

onde

y_c = altura crítica

$$y_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3}$$

$$y_c = \left(\frac{1,169^2}{9,81}\right)^{1/3} = 0,518$$

$$F^2 = \left(\frac{0,518}{0,1225}\right)^3$$

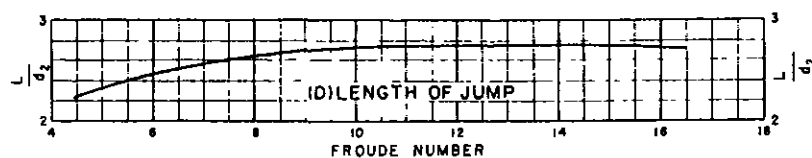
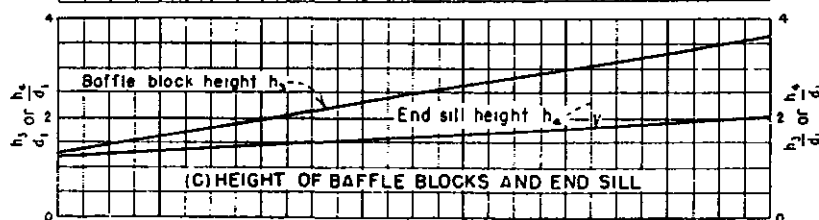
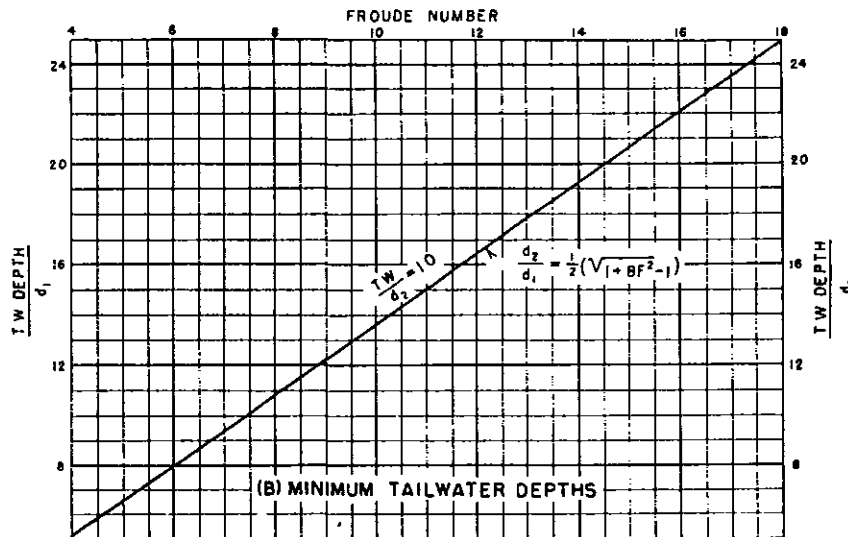
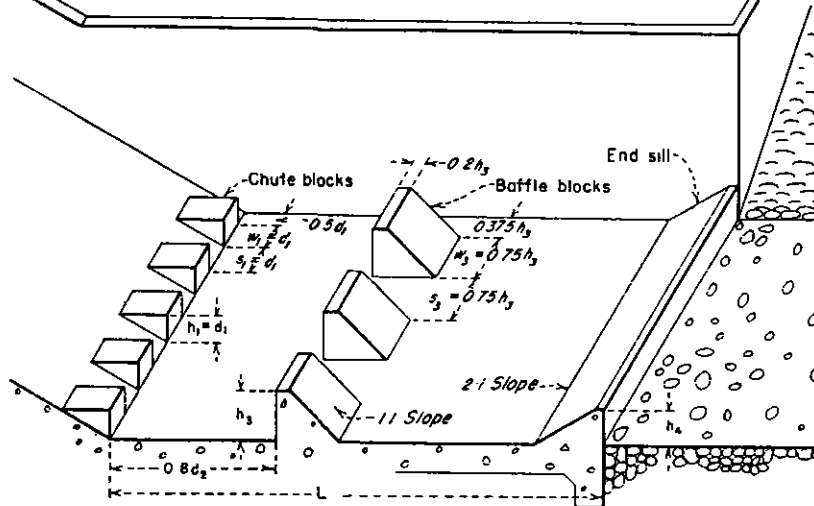
$$F = 8,69$$

C:\WINWORD\RELATORIO\MBCATU.DOC



A bacia de dissipação para $F > 4,5$ é do tipo III conforme o "Bureau of Reclamation".

- Cálculo, Comprimento da Bacia e Dimensões dos Blocos



C WINWORD\RELATORIO\MCBCATU.DOC

GEONORTE - Engenharia de Solos e Fundações Ltda

Rua Jorge Severiano, 900 - Vila União - Fone 272 4777 - Fax 272 7799 - CEP 60 420-180 - Fortaleza - Ceará

C G C 07 542 392/0001-60 - C G F 06 013 384-8

000056



Entrando no gráfico acima para $F = 8,69$ temos:

$$\frac{L}{d_2} = 2,7 \quad L = 3,88 \quad \text{Adotar } L = 5,0\text{m}$$

$$\frac{h_3}{d_1} = 2,3 \quad h_3 = 0,28\text{m}$$

$$\frac{h_4}{d_1} = 1,5 \quad h_4 = 0,18\text{m}$$

$$h_1 = 0,122$$

- Cálculo do Bordo Livre

O bordo livre foi calculado pela seguinte fórmula empírica

$$\text{Bordo livre} = 0,61 + 0,0372 \sqrt{h} = 0,65\text{m.}$$

$$h = \text{altura em regime sub-crítico} = 1,44\text{m}$$

- Cálculo da Altura dos Muros Laterais da Bacia

$$H = d_2 + \text{bordo livre}$$

$$H = 1,44 + 0,65 = 2,09\text{m,}$$

$$\text{Adotado } H = 2,10\text{m.}$$

3.2 - ANÁLISE DA ESTABILIDADE HIDRÁULICA DA FUNDAÇÃO DO VERTEDOURO E BACIA DE DISSIPAÇÃO

Segundo Lane, para que não ocorra ruptura hidráulica da fundação, o caminho de percolação L deverá verificar a seguinte relação:

$$L \geq C.H$$

onde



H = carga hidráulica

C = coeficiente que depende da natureza do solo = 1,6

L = $\sum t + 1/3 B$ onde $\sum t$ representa a soma de todas as cortinas interceptadora e B a extensão horizontal a ser vencida.

Temos

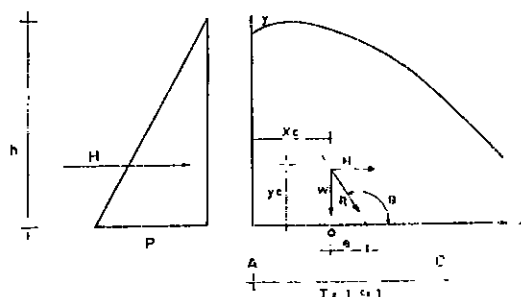
$$L = 6,0 + \frac{1}{3} \times 7,33 = 8,44$$

logo

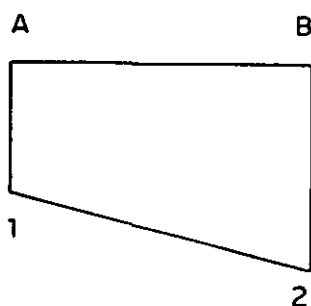
$$8,44 > 1,6 \times 2,0 = 3,20 \text{ OK!}$$

3.3 - ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO MURO VERTEDOURO

- Diagrama de Tensões Horizontais

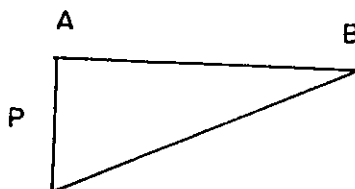


- Diagrama de Tensões sem a Subpressão





- Diagrama de Tensões da Subpressão



$$P = \gamma_w h = 1,0 \times 2,0 = 2,0 \text{ t/m}^2$$

$$H = \frac{1}{2} \times 2,0 \times 2,0 = 2,0 \text{ t/m}$$

$$W = 5,46 \text{ t/m} \quad (\text{peso do muro})$$

Coordenadas do centro de gravidade do muro

$$X_c = 0,71$$

$$Y_c = 0,66$$

Cálculo do ponto onde o suporte da resultante corta a base

$$Y - Y_c = \text{tg } \theta (X - X_c) \quad \theta = \text{arc tg } H/3 + 90$$

$$Y - 0,66 = -2,73 (X - 0,71)$$

$$Y = -2,73X + 2,60$$

Para $Y = 0$ temos

$$X = 0,95$$



As coordenadas da base são.

$$X_0 = 0,95$$

$$Y_0 = 0$$

Como vimos, sem considerar o efeito da subpressão, a resultante passa pelo centro da base e portanto:

$$A_1 = A_2 = 2,85 \text{ t/m}^2$$

Como $A_1 > P$, o diagrama final do efeito combinado será:

$$H = 2,0 \text{ t/m}$$

$$V = 5,46 - 2,0 = 3,46 \text{ t/m}$$

- Abcisa da força vertical V

$$X_v = 0,75$$

- Cálculo da abcisa da resultante

$$Y - 0,66 = \text{tg}\theta \quad (X = 0,75)$$

$$Y - 0,66 = -1,72 (X - 0,75)$$

$$Y = -1,72X + 1,95$$

Para $Y = 0$ temos

$$X = 1,13$$

- Cálculo da excentricidade

$$e = 1,13 - 0,95 = 0,18 \text{ m}$$



- Cálculo das tensões \bar{A}_1 e \bar{B}_2

$$A_1 = \frac{3,46}{1,91} \left(1 + \frac{6 \times 0,18}{1,91} \right) = 0,78 \text{ t/m}^2$$

$$B_2 = \frac{3,46}{1,91} \left(1 + \frac{6 \times 0,18}{1,91} \right) = 2,83 \text{ t/m}^2$$

A taxa de suporte do terreno é de 60 t/m² portanto

$$S = \frac{460}{2,83} = 21,20 \gg 4 \text{ OK!}$$



4.0 - BIBLIOGRAFIA



4.0 - BIBLIOGRAFIA

- Lambe, T. W & Whitman, R.V , 1979 Soil Mechanics. Ed. John Willey & Sons, New York, USA.
- USBR, 1987. Design of Small Dams. United States Government Printing Office, Denver, Colorado, USA.
- VIEIRA, V P.P B. & Gouveia Neto, A., 1983. Roteiro para Projeto de Pequenos Açudes, Ministério do Interior, DNOCS, Fortaleza, Ceará, Brasil.
- SHERARD, J.L., Woodward, R.J., Crizenski, S.F., Clevenger, W A , Earth and Earth-Rock Dams, Ed. John Willey & Sons, New York, USA.
- CHOW, V.T., Open-Channel Hydraulics, International Editon, McGraw-Hill Book Company, 1986.