

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

PROJETO EXECUTIVO DE AMPLIAÇÃO
DO AÇUDE CHILE

TOMO II MEMÓRIA DE CÁLCULO

PIVOT

projeto de Irrigação consultoria eAssessoria LTDA

FORTALEZA- CE
MAIO 2001



CEARÁ

AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

AÇUDE PÚBLICO CHILE

Lote: 02497 - Prop () Scan () Index ()
Projeto Nº 0238/02/B
Volume 1
Qtd. A4 _____ Qtd. A3 _____
Qtd. A2 _____ Qtd. A1 _____
Qtd. A0 _____ Outros _____

RELATÓRIO GERAL

TOMO II - MEMÓRIA DE CÁLCULO

MAIO / 2001



PROJETOS DE IRRIGAÇÃO
CONSULTORIA E ASSESSORIA LTDA

0238/02/A

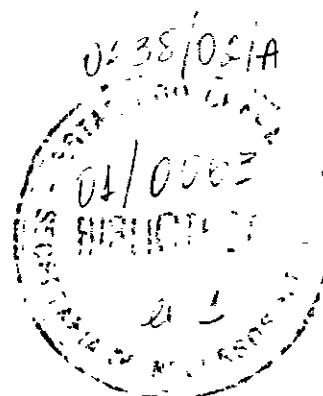
ex.1

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

AÇUDE PÚBLICO CHILE

RELATÓRIO GERAL

TOMO II – MEMÓRIA DE CÁLCULO



MAIO/2001

000003

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O presente documento refere-se ao Relatório Geral do Projeto para elaboração dos estudos de Ampliação do Açude Chile, objeto do contrato No 50/98 celebrado entre PIVOT – Projetos de Irrigação, Consultoria e Assessoria Ltda e a Secretaria dos Recursos Hídricos do estado do Ceará

O Relatório Geral do Projeto é composto de 5 (cinco) tomos, a saber

- Tomo I: Relatório Geral do Projeto.
- Tomo II Memória de Cálculo
- Tomo III: Orçamento e Especificações
- Tomo IV: Desenhos
- Tomo V: Relatório Síntese

A seguir é apresentado o Tomo II – Memória de Cálculo

ÍNDICE

ÍNDICE

	Pág.
APRESENTAÇÃO	2
1.0 - INTRODUÇÃO	6
2.0 – CÁLCULO DA FOLGA.....	8
3.0 – CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO.....	10
4.0 – CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO	12
5.0 – ESCOLHA DA INCLINAÇÃO DOS TALUDES	14
6.0 – DIMENSIONAMENTO DO RIP-RAP	16
7.0 – DETERMINAÇÃO DA LINHA FREÁTICA	20
8.0 – DETERMINAÇÃO DA REDE DE FLUXO	24
9.0 – DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL.....	28
10.0 – DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL	30
11.0 – ANÁLISE DA ESTABILIDADE.....	32
12.0 – DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO	58
12.1 – Dimensionamento Hidráulico	59
12.2 – Análise da Estabilidade.....	64
12.3 – Verificação ao Tombamento.....	67
12.4 – Verificação ao Escorregamento	67
12.5 – Cálculo das Tensões na Base	68
13.0 – DIMENSIONAMENTO DOS MUROS LATERAIS.....	71
13.1 – Verificação ao Tombamento.....	72
13.2 – Verificação ao Escorregamento	73
13.3 – Cálculo das Tensões N Base AB	73
14.0 – TOMADA D'ÁGUA.....	75
15.0 – COTA DO VOLUME MORTO	80
16.0 – ANÁLISE DOS RECALQUES	82

1.0 - INTRODUÇÃO

1.0 – INTRODUÇÃO

O presente documento refere-se ao Tomo II – Memória de Cálculo do Projeto de Ampliação da Barragem Chile, objeto do Contrato N° 50/98 celebrado entre a PIVOT – Projetos de Irrigação Consultoria e Assessoria Ltda. e a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará.

2.0 - CÁLCULO DA FOLGA

2.0 – CÁLCULO DA FOLGA

A folga da barragem é a diferença entre a cota do coroamento e o nível máximo das águas

$$f = 0,75h + \frac{V^2}{2g} \text{ (m)}$$

onde

h = altura da onda (m)

V = velocidade da onda (m/s)

f = folga (m)

$$h = 0,75 + 0,34F^{1/2} - 0,26F^{1/4} \text{ (m)}$$

F = fetch = 1,10km

$$h = 0,75 + 0,34 \times 1,10^{1/2} - 0,26 \times 1,10^{1/4} = 0,84\text{m}$$

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

$$V = 1,5 + 2 \times 0,84 = 3,18\text{m/s}$$

$$f = 0,75 \times 0,84 + \frac{3,18^2}{2 \times 9,81} = 1,14\text{m}$$

3.0 – CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO

3.0 – CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO

A cota do coroamento da barragem é dada por:

$$C_c = C_s + L + f$$

onde:

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

$$C_s = \text{cota da soleira} = 98,00\text{m}$$

$$L = \text{lâmina vertente} = 1,06\text{m}$$

$$F = \text{folga} = 1,14\text{m}$$

$$C_c = 98,0 + 1,06 + 1,14 = 100,20\text{m}$$

$$\text{Adotar } C_c = 100,20\text{m}$$

4.0 – CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO

4.0 – CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO

Adotando-se a fórmula de Preece tem-se

$$L_c = 1,1 \sqrt{H_b} + 0,9$$

onde

L_c = largura da barragem (m);

H_b = altura da barragem = 20,20m.

$$L_c = 1,1 \sqrt{20,20} + 0,9 = 5,84\text{m}$$

Adotado $L_c = 6,0\text{m}$

5.0 – ESCOLHA DA INCLINAÇÃO DOS TALUDES

5.0 – ESCOLHA DA INCLINAÇÃO DOS TALUDES

A inclinação dos taludes de fato é fixada na análise da estabilidade. Entretanto a escolha dos taludes foi inicialmente fixada com base nas recomendações do “Bureau of Reclamation” mostrado na tabela abaixo:

CASO	SUJEITO A ESVAZIAMENTO RÁPIDO	CLASSIFIC AÇÃO DOS SOLOS	MONTANTE	JUSANTE
A	NÃO	GW, GP, SW, SP	Permeável, não adequado	
		GC, GM, SC, SM	2,5 : 1	2:1
		CL, ML	3:1	2,5:1
		CH, MH	3,5:1	2,5:1
B	SIM	GW, GP, SW, SP	Permeável, não adequado	
		GC, GM, SC, SM	3:1	2:1
		CL, ML	3,5:1	2,5:1
		CH, MH	4:1	2,5:1

Os solos das jazidas são do tipo SM-SC, SM, ML-LE e CL portanto adotou-se o talude de montante da ampliação igual a 1V:3,5H que composto com o talude de 1V:2H na parte abaixo da cota 93,00m dará um talude médio de 1V:2,7H. O talude de jusante foi adotado igual a 1V:2,5H em toda a sua extensão.

6.0 – DIMENSIONAMENTO DO RIP-RAP

6.0 – DIMENSIONAMENTO DO RIP-RAP

Adotando a fórmula recomendada pelo Tennessee Valley Authority (TVA) tem-se.

$$E = CV^2$$

onde

e = espessura do rip-rap (m)

C = coeficiente, função da inclinação do talude e da densidade da rocha

V_0 = velocidade da onda (m/s)

tem-se

$$V_0 = 3,18\text{m/s}$$

$$C = 0,028$$

$$e = 0,028 \times 3,18^2 = 0,2\text{m}$$

$$\text{Adotar } e = 0,35\text{m}$$

Os blocos empregados na construção do rip-rap devem ter no mínimo 50% de pedras com peso igual a $P = 0,52 \gamma e^3$

onde:

P = peso dos blocos (tf)

γ = densidade da rocha

e = espessura do rip-rap

Para $\gamma = 2,5$

$$\text{tem-se } P_{50} = 0,52 \times 2,5 \times 0,35^3 = 0,05 \text{ tf}$$

$$P_{\max} = 4 P_{50} = 0,20 \text{ tf}$$

$$P_{\min} = 0,25 P_{50} = 0,012 \text{ tf}$$

$$D_{50} = \left[\frac{P_{50}}{0,75 \times \gamma} \right]^{1/3} \cong 0,30\text{m}$$

$$D_{\max} = 0,47\text{m}$$

$$D_{\min} = 0,18\text{m}$$

A camada de transição será formada por brita e areia com 20cm de espessura cada com os seguintes requisitos:

- Material filtrante x solo compactado:

Deve satisfazer as seguintes condições

$$(D_{15})_{\text{filtro}} = 5 \times (D_{85})_{\text{solo}}$$

- Material filtrante x riprap

$$(D_{85})_{\text{filtro}} \text{ 2,5 a 3,8cm}$$

- Apresentar curvas granulométricas paralelas.

O solo compactado apresenta a seguinte granulometria média, mostrada no quadro a seguir:

SOLO COMPACTADO	
PENEIRAS	% PASSANDO
Nº 4	100
Nº 10	90
Nº 40	75
Nº 200	42

Tem-se

$$(D_{85})_{\text{solo}} = 0,70\text{mm}$$

$$(D_{15})_{\text{filtro}} \leq 3,5\text{mm}$$

Com essas informações e recorrendo-se ao traçado das curvas granulométricas obtém-se as seguintes faixas granulométricas:

AREIA	
PENEIRAS	FAIXA GRANULOMÉTRICA
2"	100
1"	100
3/8"	98 – 76
Nº 4	12 – 48
Nº 10	0 – 28
Nº 40	0 – 20
Nº 200	0 - 10

BRITA	
PENEIRAS	FAIXA GRANULOMÉTRICA
> 4"	100
2"	64 – 90
1"	48 – 78
3/8"	28 – 64
Nº 4	12 – 50
Nº 10	0 – 36
Nº 40	-

PEDRA DE MÁO	
DIÂMETRO (mm)	FAIXA GRANULOMÉTRICA
> 480	100
400	42 – 100
300	2 – 74
200	0 – 22
100	-

7.0 – DETERMINAÇÃO DA LINHA FREÁTICA

000022

7.0 – DETERMINAÇÃO DA LINHA FREÁTICA

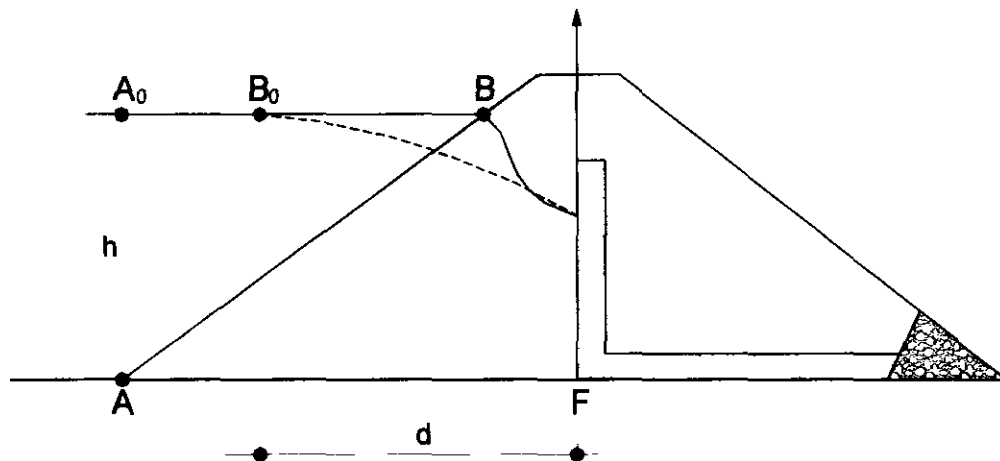
Para o traçado da linha freática utiliza-se a parábola básica de Kozeny dada por:

$$\sqrt{X^2 + Y^2} - X - P = 0$$

Esta equação representa a linha de saturação com eixo cuja a origem coincide com o foco da parábola, P é o dobro da distância do foco ao vértice da parábola

$$P = \sqrt{X^2 + Y^2} - X$$

Na figura a seguir tem-se $B_0B = \frac{1}{3} A_0B$



Adotando uma anisotropia de $K_h/K_v = 9$ e fazendo uma mudança variável tal que $X_t = X$
 $\sqrt{\frac{K_v}{K_h}} = \frac{X}{3}$ pode-se tratar o problema no sistema $X_t \times Y$ de coordenadas como isotrópico.

Desta forma tem-se

$$P = \sqrt{X_t^2 + Y^2} - X_t$$

para $X_t = d_t = \frac{d}{3}$ e $Y = h$ tem-se

$$P = \sqrt{\left(\frac{d}{3}\right)^2 + h^2} - \frac{d}{3}$$

Para $d = 23,4$ e $h = 16,00$ tem-se

$$P = 10,00$$

Recarregando a equação básica obtém-se:

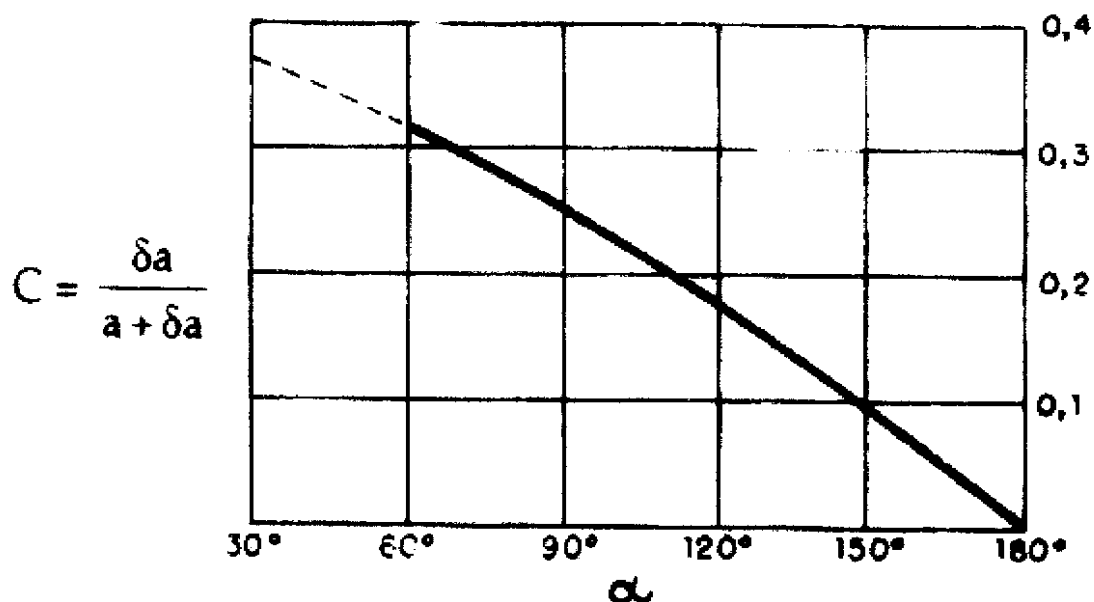
$$Y = \sqrt{P^2 + 2 \cdot X_t \cdot P}$$

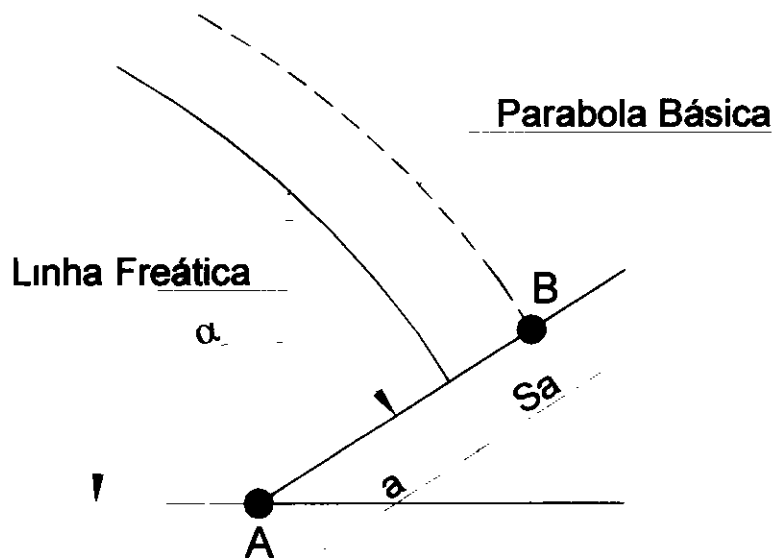
Atribuindo valores a X_t obtém-se Y conforme planilha a seguir.

X_t	Y
0	10,08
2,00	11,80
4,00	13,40
6,00	14,80
7,00	15,50
7,80	16,00

$Y_{\text{corrigido}}$ corresponde às correções da parábola básica na entrada de montante e saída de jusante.

A correção da saída é função do ângulo que a superfície drenante forma com a horizontal dada pela figura abaixo.





tem-se: $a + \gamma_a = AB$

para $\alpha = 90^\circ$ tem-se $C = 0.25$

$a + \gamma_a = 10,00$

$\gamma_a = 10,00 \times 0,25 = 2,50$

8.0 - DETERMINAÇÃO DA REDE DE FLUXO

8.0 – DETERMINAÇÃO DA REDE DE FLUXO

O traçado da rede de fluxo foi feito sobre a seção deformada considerando a permeabilidade do maciço da fundação 10 vezes maior que a do maciço da barragem

O traçado da rede de fluxo obedeceu às condições de contorno e trata-se de um fluxo confinado, ou seja, aquele onde a linha freática é definida

A rede de fluxo para as seções transformada a verdadeira são mostradas nas figuras a seguir.

A carga $h = 16,0$ metros foi dividida em oito saltos de queda de potencial descarregando no filtro vertical tem 3,4 canais de fluxo e pela fundação tem $4,8 \times 5 = 24$ canais de fluxo.

A vazão entrando no filtro vertical será

$$Q_{\text{maciço}} = 3 K_v h \frac{n_f}{n_d}$$

$$Q_{\text{maciço}} = 3 \times 10^{-9} \times 16 \times \frac{3,4}{8} = 2 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{sxm}$$

A vazão entrando no tapete pela fundação será

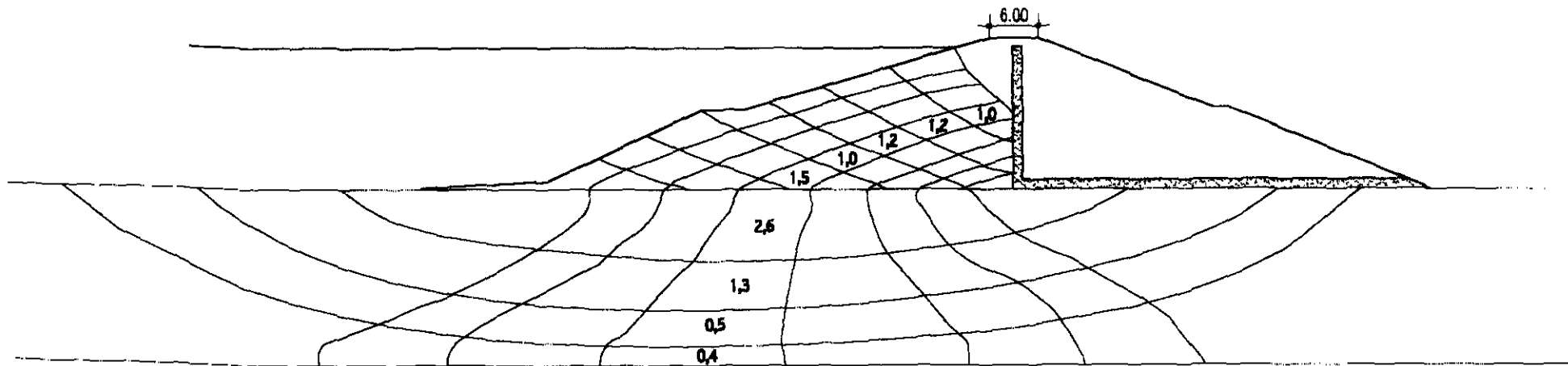
$$Q_{\text{fundação}} = 3 \cdot K_v h \frac{n_f}{n_d}$$

$$Q_{\text{fundação}} = 3 \times 10^{-8} \times 16 \times \frac{48}{8} = 2,8 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sxm}$$

A vazão total será

$$Q_{\text{total}} \cong Q_{\text{fundação}}$$

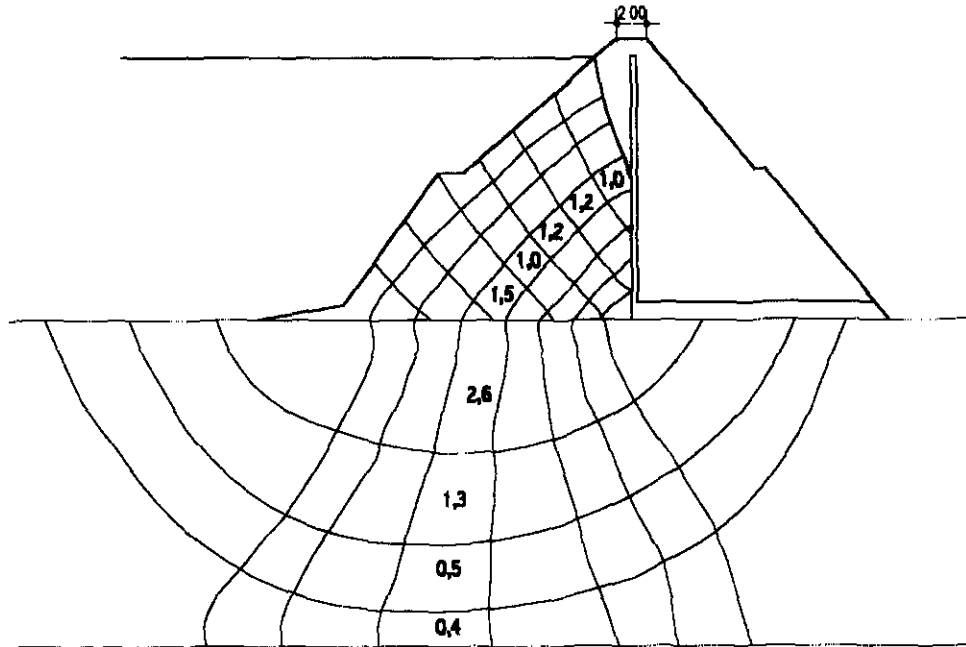
SEÇÃO NORMAL
ESC. 1/750



000028

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - S. R. H			
DATA. 14/08/01	DES. Estado	VISTO.	PMO
ENC. INDICADA	APROV.		
AÇUDE PÚBLICO CHILE			01/02

SEÇÃO DEFORMADA
 ESC. 1/500



000029

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
 SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - S. R. H.

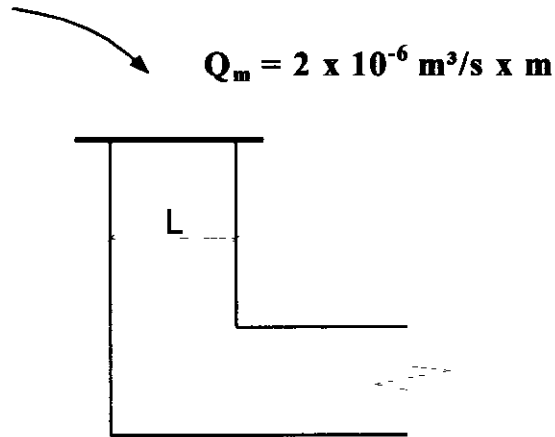
DATA. 14/08/01	DES. <i>Edson</i>	VISTO.	AVOT
ESC. INDICADA	APROV		

AÇUDE PÚBLICO CHILE

02/02

9.0 – DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL

9.0 – DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL



$$Q = K \cdot i \cdot A$$

$$A = L \times 1,0$$

$$i = 1,0$$

$$K_A = 5,0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$Q = K \cdot i \cdot L$$

$$L = \frac{Q}{K \cdot i} = \frac{2 \times 10^{-8}}{5,0 \times 10^{-5} \times 1,0} = 0,4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Adotar $L = 1,0\text{m}$ por questão executiva.

10.0 – DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL

10.0 – DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL

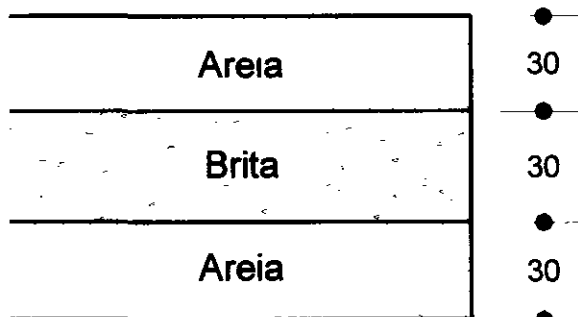
A vazão na seção final do tapete será $Q = Q_M + Q_f \cong Q_f = 8,1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sxm}$ adotando um gradiente na areia de 0.01m/m

A altura necessária do dreno será

$$Q = K \cdot i \cdot d \cdot 1,0$$

$$d = \frac{Q}{K \cdot i} = \frac{2,8 \times 10^{-6}}{5 \times 10^{-5} \times 10^{-2}} = 5,6\text{m}$$

Como d é muito grande será adotado um dreno sanduiche formado por brita e areia grossa



As permeabilidades da areia e brita são

$$K_A = 5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$K_B = 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$K_{eq} = \frac{0,6 \times 5 \times 10^{-5} + 0,3 \times 10^{-3}}{0,9} = 3,6 \times 10^{-4}$$

$$d = \frac{Q}{K_{eq} \cdot i}$$

$$d = \frac{2,8 \times 10^{-6}}{3,6 \times 10^{-4} \times 10^{-2}} = 0,78\text{m}$$

11.0 – ANÁLISE DA ESTABILIDADE

11.0 – ANÁLISE DA ESTABILIDADE

A análise da estabilidade foi verificada para as situações estática e sísmica. Utilizou-se o Soft Geo-Slope/W que usa o método de Bishop Modificado.

Analisou-se as seguintes situações:

- Final de Construção – análise feita para os taludes de montante e jusante,
- Regime Permanente – análise feita no talude de jusante,
- Esvaziamento Rápido – análise feita no talude de montante

A análise sísmica foi feita pelo processo pseudo-estático introduzindo um fator de aceleração.

Para as análises de Regime Permanente adotou-se o fator igual a 0,1.

Para as análises de Final de Construção e rebaixamento rápido adotou-se o fator igual a 0,05.

Os resultados das análises de estabilidade são apresentados a seguir.

Na tabela a seguir é apresentado o fator mínimo determinado em cada análise de estabilidade

Barragem Chile - Estabilidade

SITUAÇÃO	TALUDE	FATOR DE SEGURANÇA		
		Determinado		
		Superficial	Médio	Profunda
Final de Construção	Montante	6,39	4,14	2,93
	Jusante	4,54	3,05	2,40
Final de Construção – Terremoto	Montante	4,39	2,92	2,14
	Jusante	3,32	3,32	1,83
Reservatório Cheio	Jusante	4,57	3,87	2,21
Reservatório Cheio – Terremoto	Jusante	3,87	3,28	1,91
Esvaziamento Rápido	Montante	3,21	3,25	1,87
Esvaziamento Rápido - Terremoto	Montante	3,05	2,69	1,62

Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Final de Construção - Talude de Montante - Superficial

File Name: FCTMS.slp

Last Saved Date: 15/05/01

Last Saved Time: 08:15:41

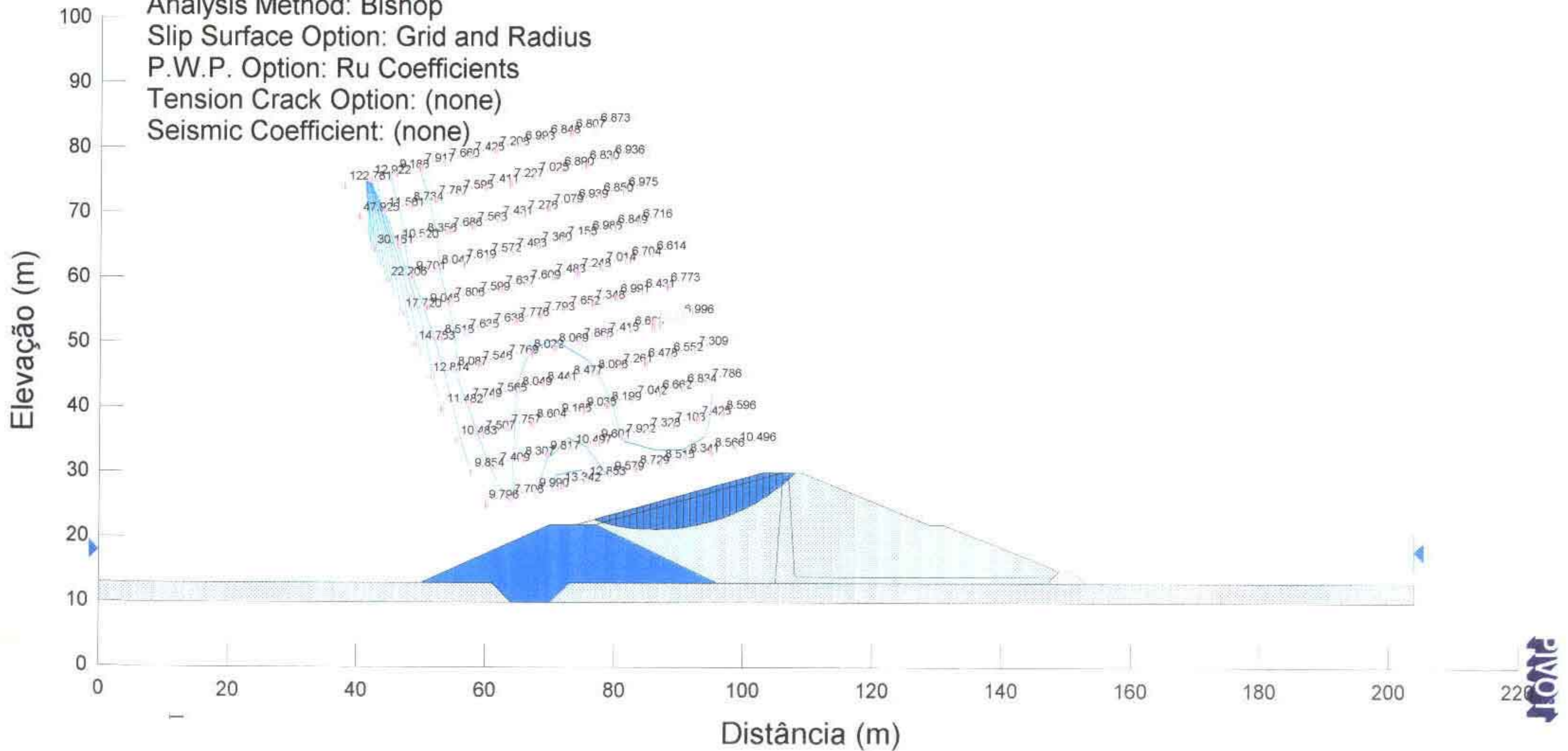
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Ru Coefficients

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: (none)



Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Reservatório Cheio (Terremoto) - Talude de Jusante - Média

File Name: RCTJMT.slp

Last Saved Date: 15/05/01

Last Saved Time: 11:32:19

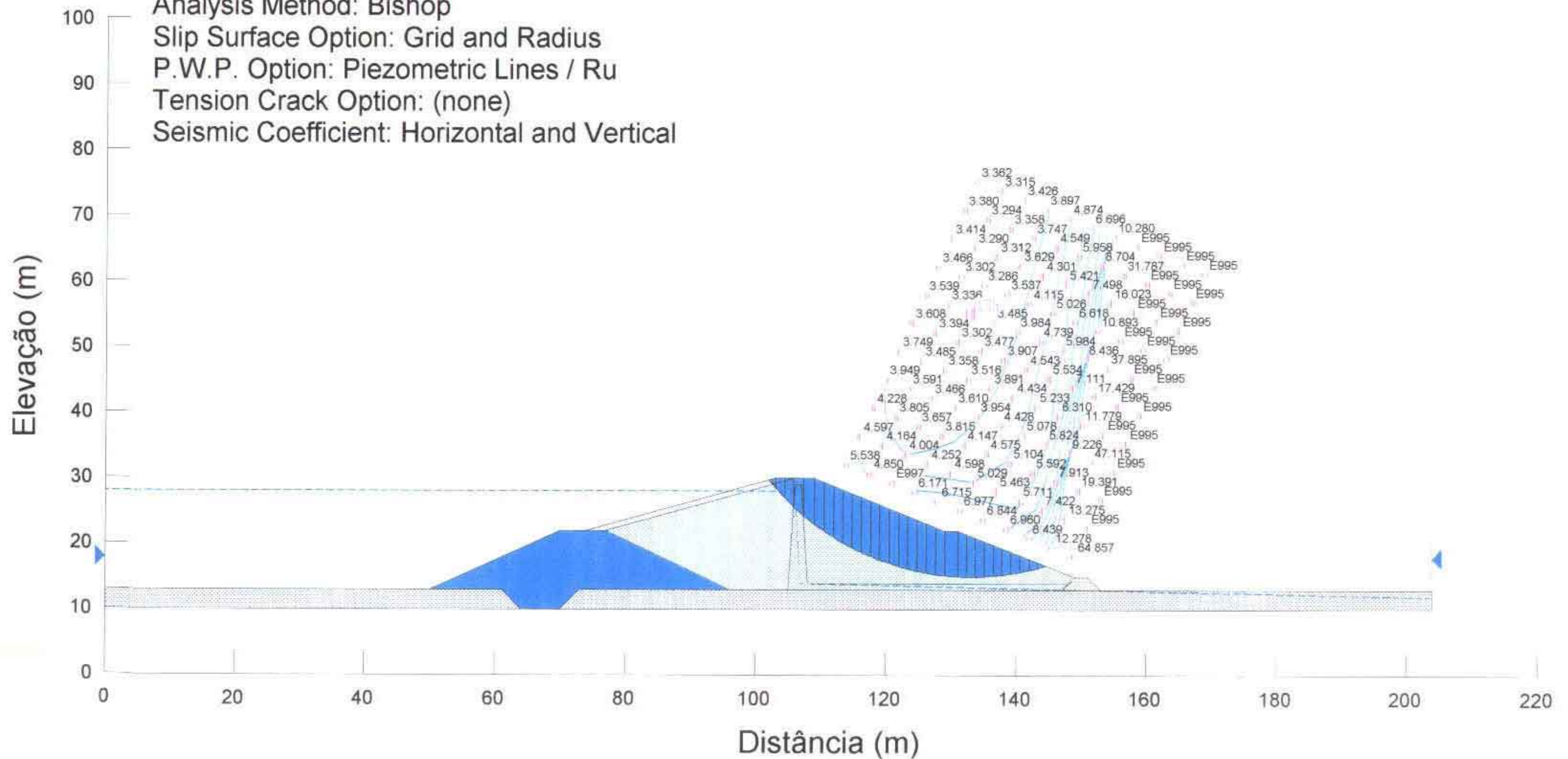
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



000040

Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Reservatório Cheio (Terremoto) - Talude de Jusante - Profunda

File Name: RCTJPT.slp

Last Saved Date: 15/05/01

Last Saved Time: 09:57:28

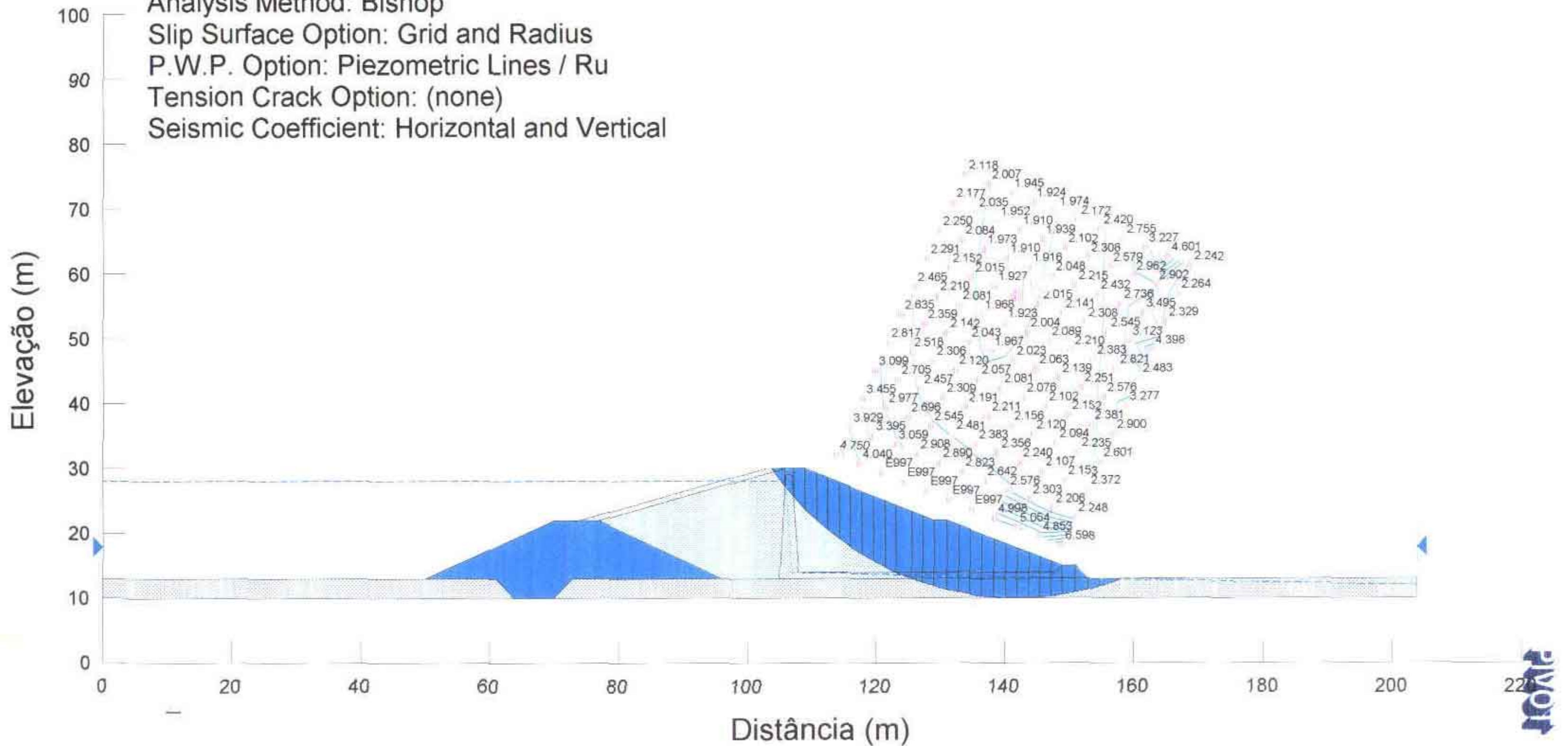
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



000042



Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Reservatório Cheio - Talude de Jusante - Superficial

File Name: RCTJS.slp

Last Saved Date: 15/05/01

Last Saved Time: 11:51:18

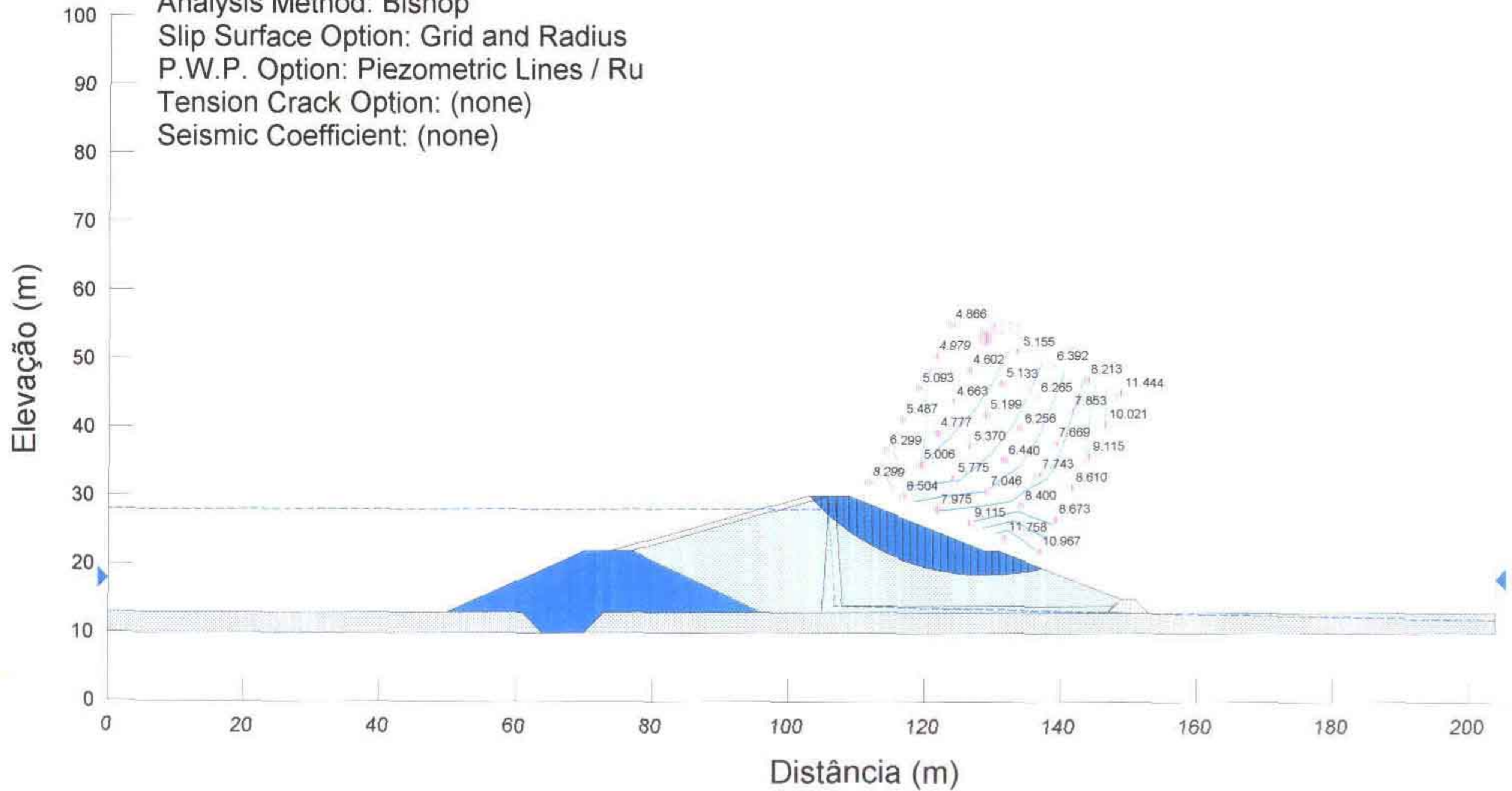
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: (none)



Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Reservatório Cheio (Terremoto) - Talude de Jusante - Superficial

File Name: RCTJST.slp

Last Saved Date: 15/05/01

Last Saved Time: 11:48:41

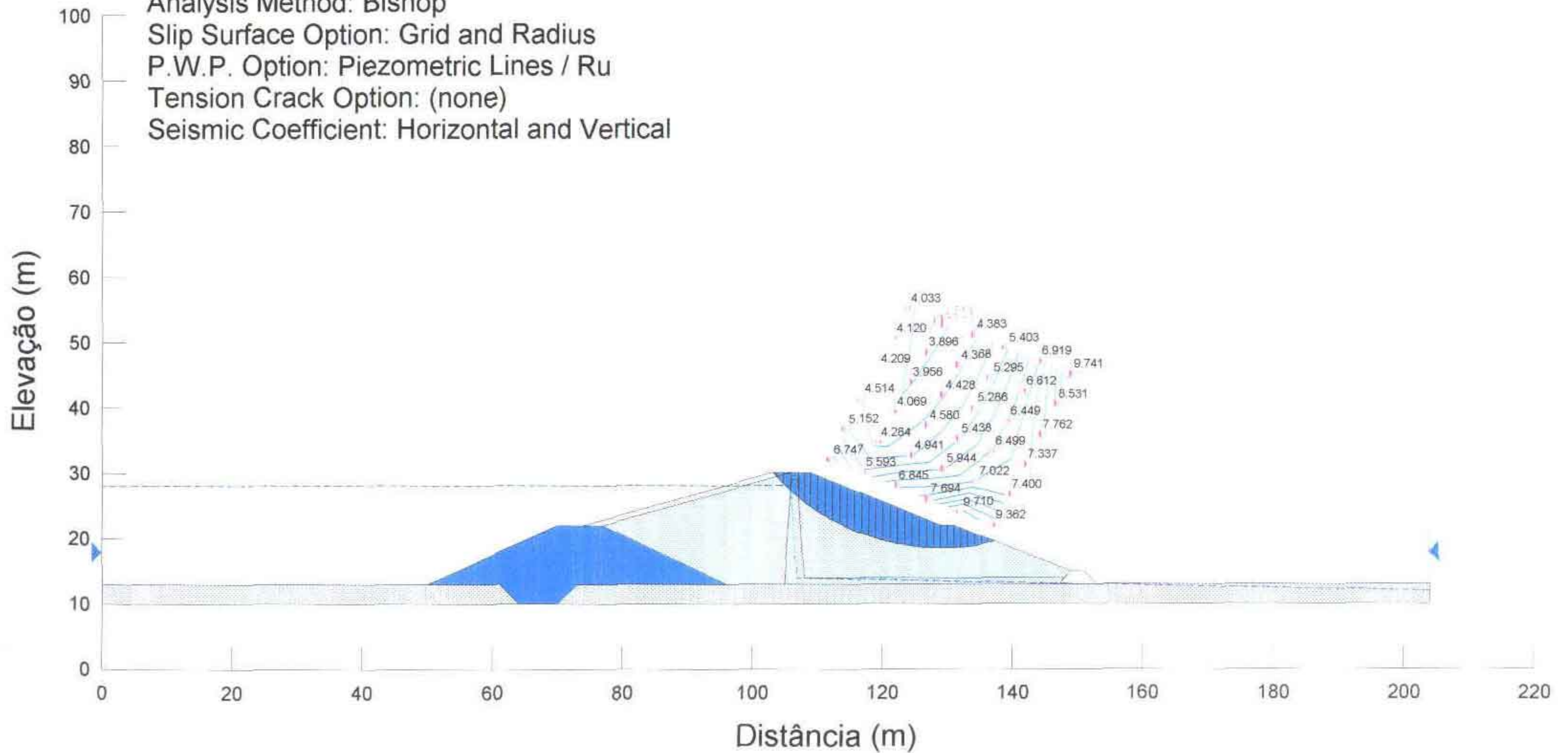
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



000044

Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Reservatório Cheio (Terremoto) - Talude de Jusante - Superficial

File Name: RCTJST.slp

Last Saved Date: 15/05/01

Last Saved Time: 11:48:41

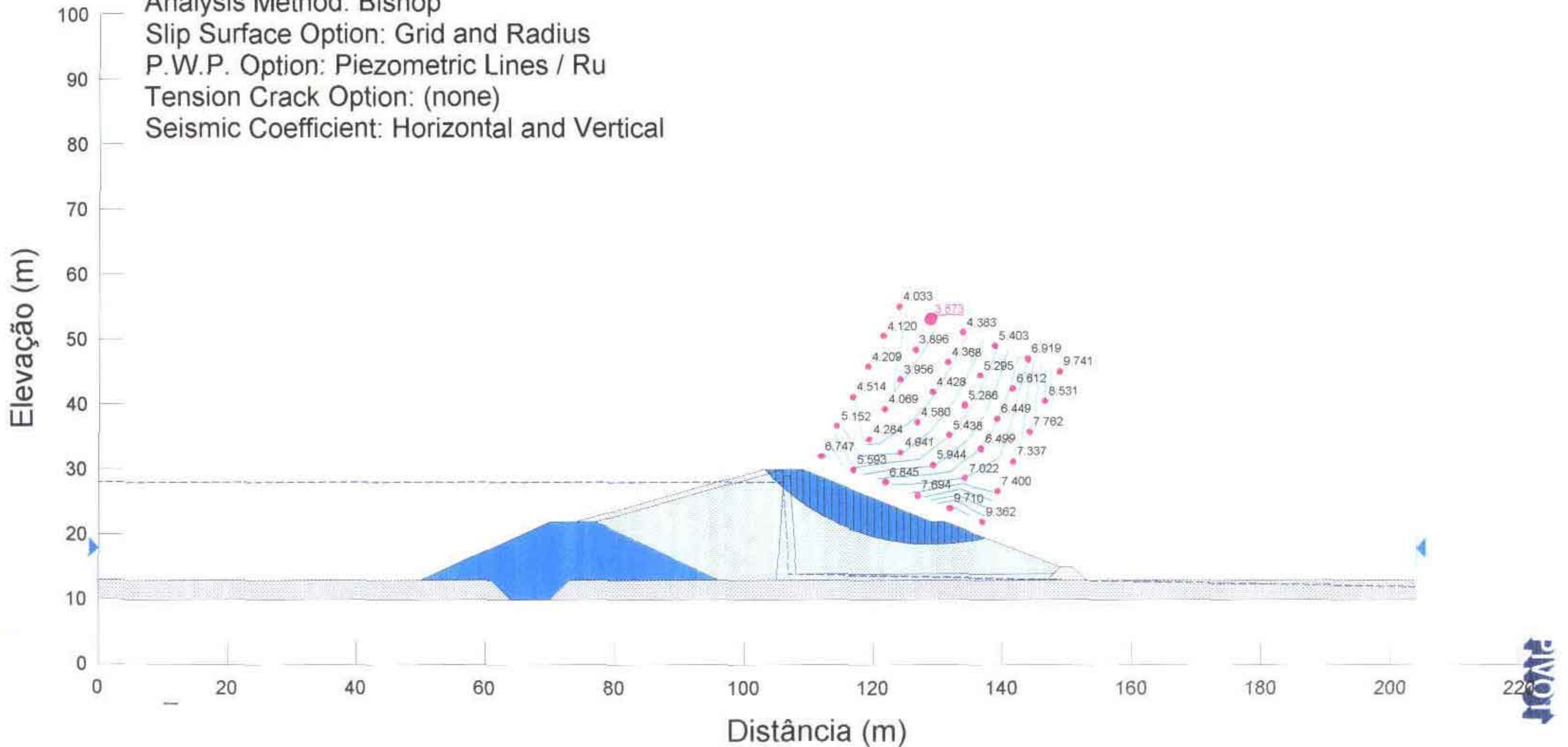
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



000045



Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Esvaziamento Rápido - Talude de Montante - Média

File Name: ERTMM.slp

Last Saved Date: 16/05/01

Last Saved Time: 09:11:32

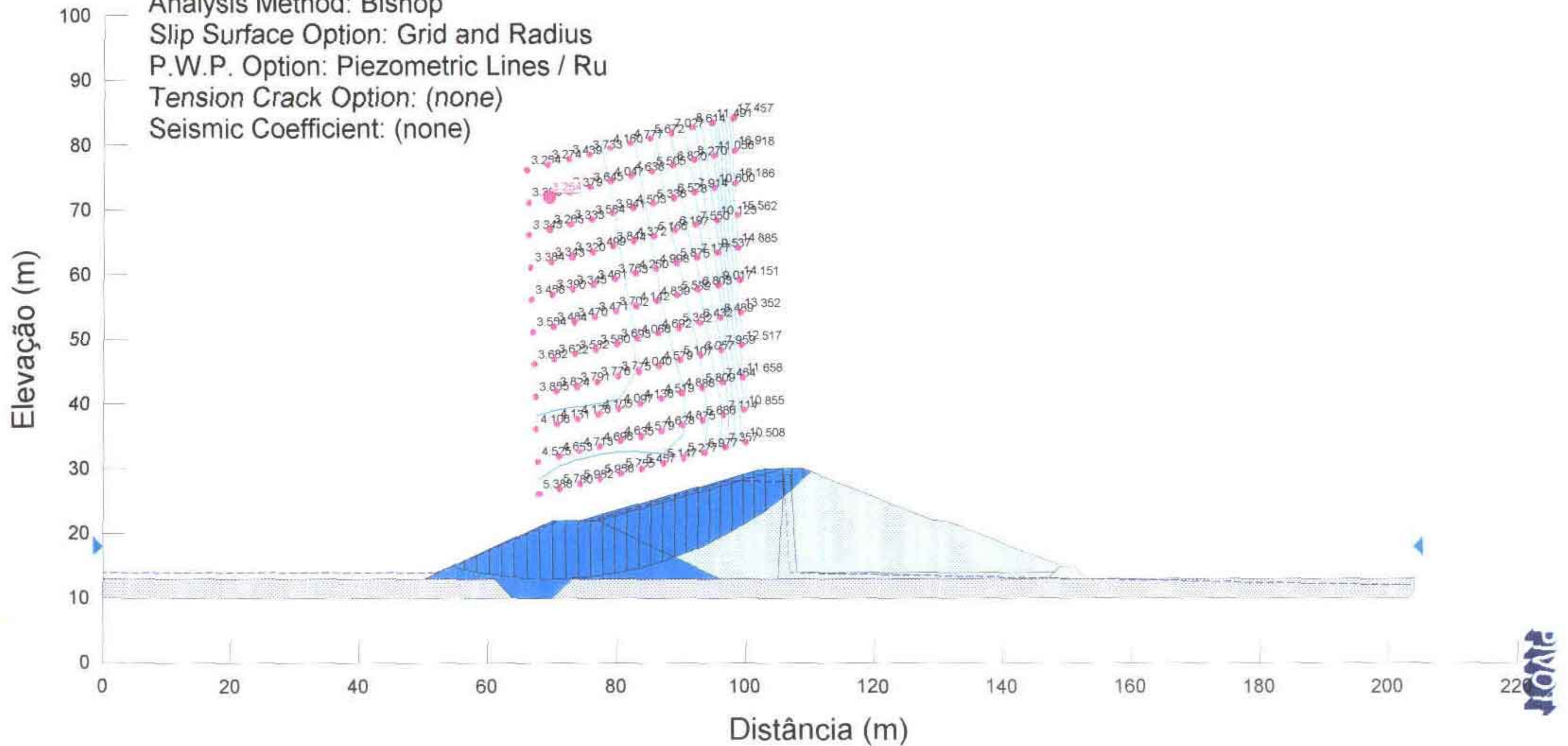
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: (none)



Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Esvaziamento Rápido - Talude de Montante - Profunda

File Name: ERTMP.slp

Last Saved Date: 16/05/01

Last Saved Time: 09:17:29

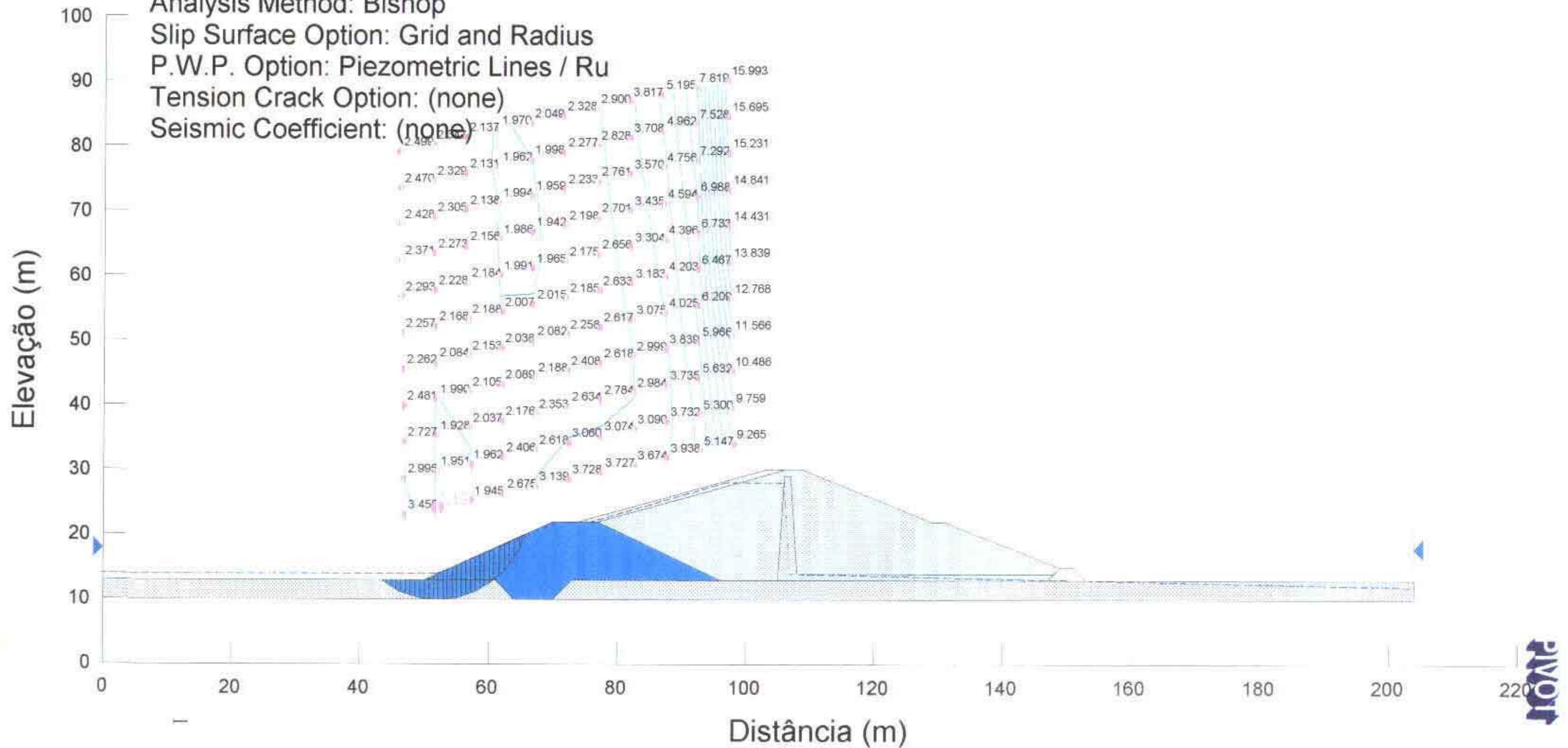
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: (none)



000048

Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Esvaziamento Rápido (Terremoto) - Talude de Montante - Profunda

File Name: ERTMPT.slp

Last Saved Date: 16/05/01

Last Saved Time: 09:19:19

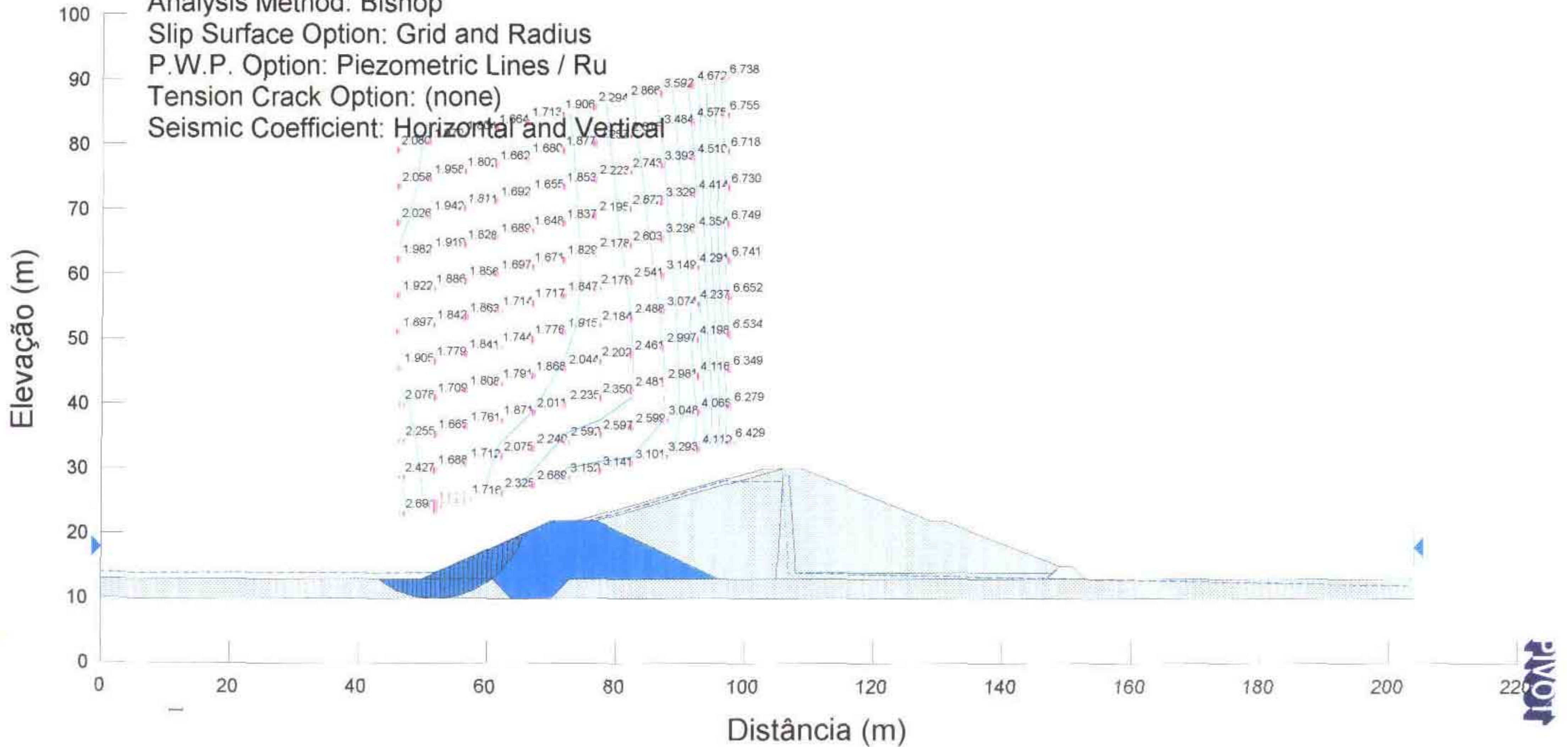
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Esvaziamento Rápido - Talude de Montante - Superficial

File Name: ERTMS.slp

Last Saved Date: 16/05/01

Last Saved Time: 08:40:41

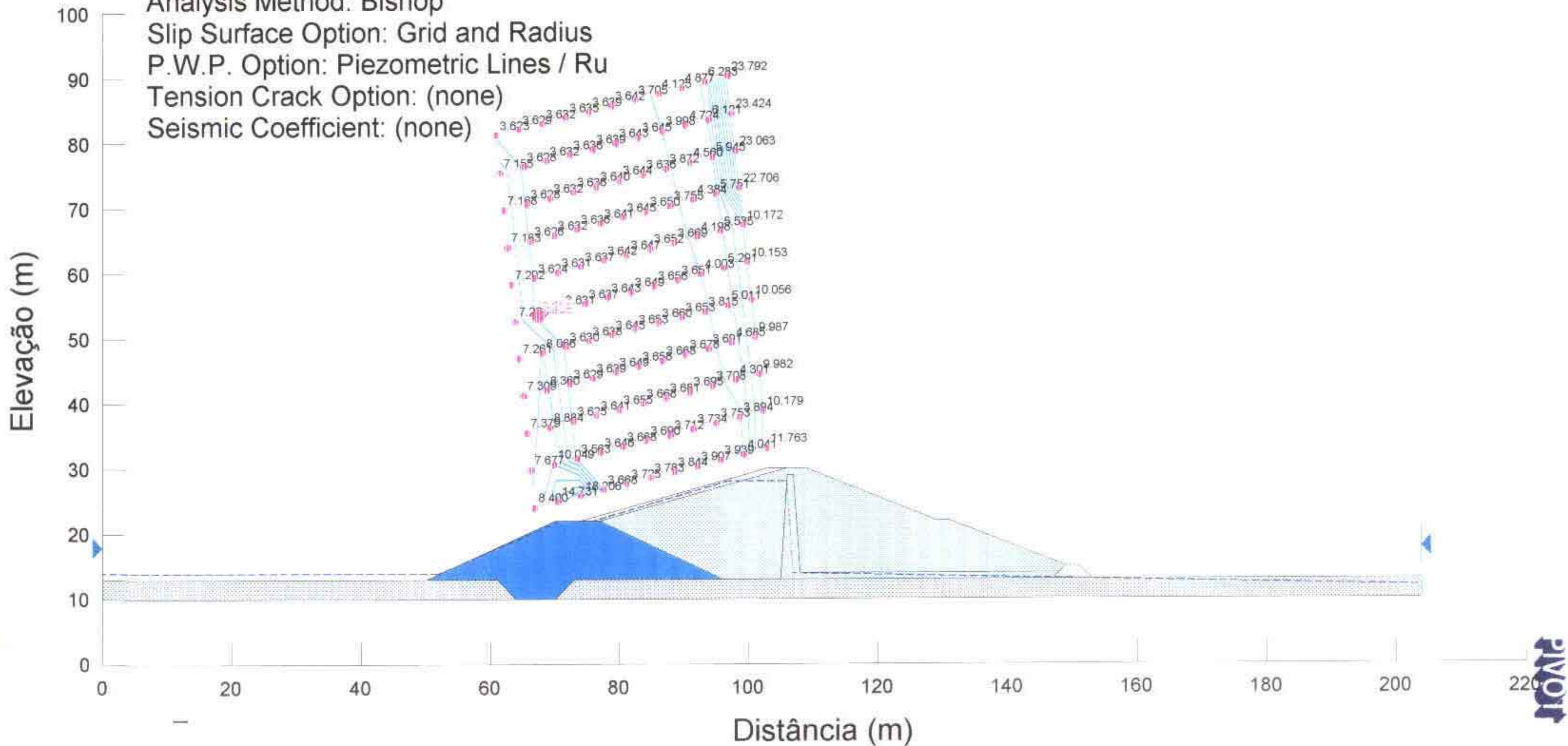
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: (none)



000050

Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Final de Construção - Talude de Jusante - Média

File Name: FCTJM.slp

Last Saved Date: 15/05/01

Last Saved Time: 09:22:28

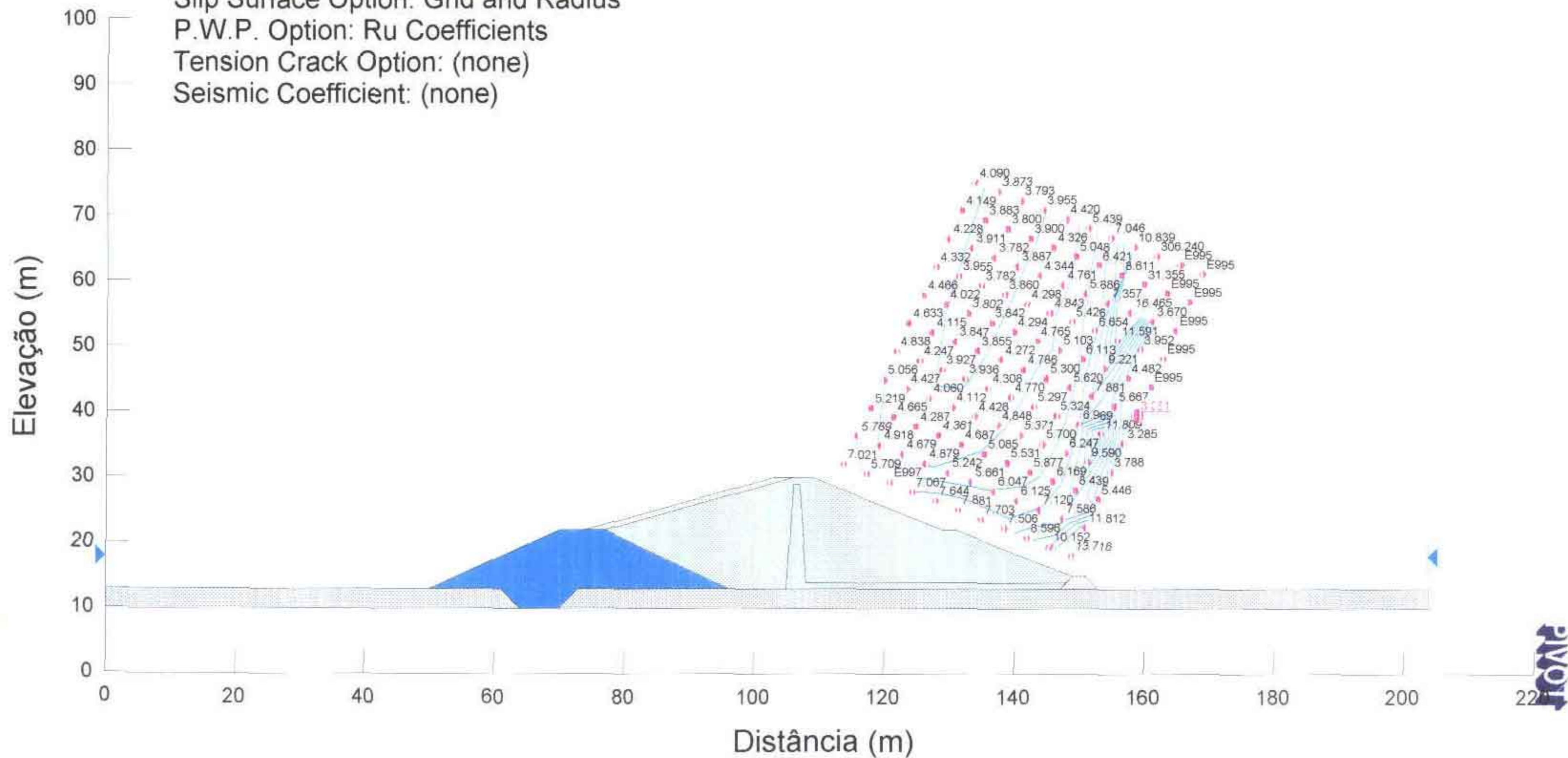
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Ru Coefficients

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: (none)



Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Final de Construção - Talude de Jusante - Profunda

File Name: FCTJP.slp

Last Saved Date: 15/05/01

Last Saved Time: 09:30:37

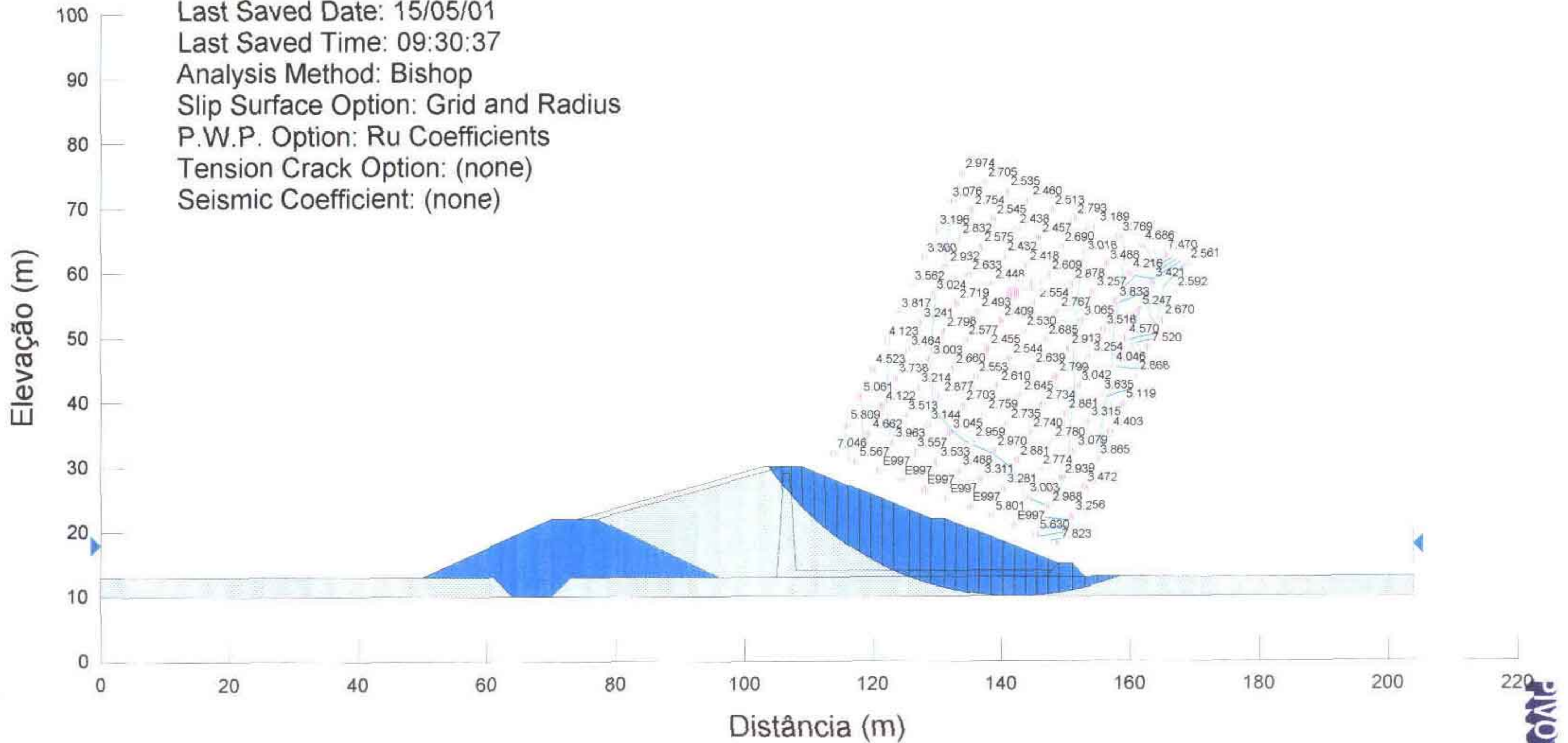
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Ru Coefficients

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: (none)



000054

Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Final de Construção (Terremoto) - Talude de Jusante - Profunda

File Name: FCTJPT.slp

Last Saved Date: 15/05/01

Last Saved Time: 09:26:43

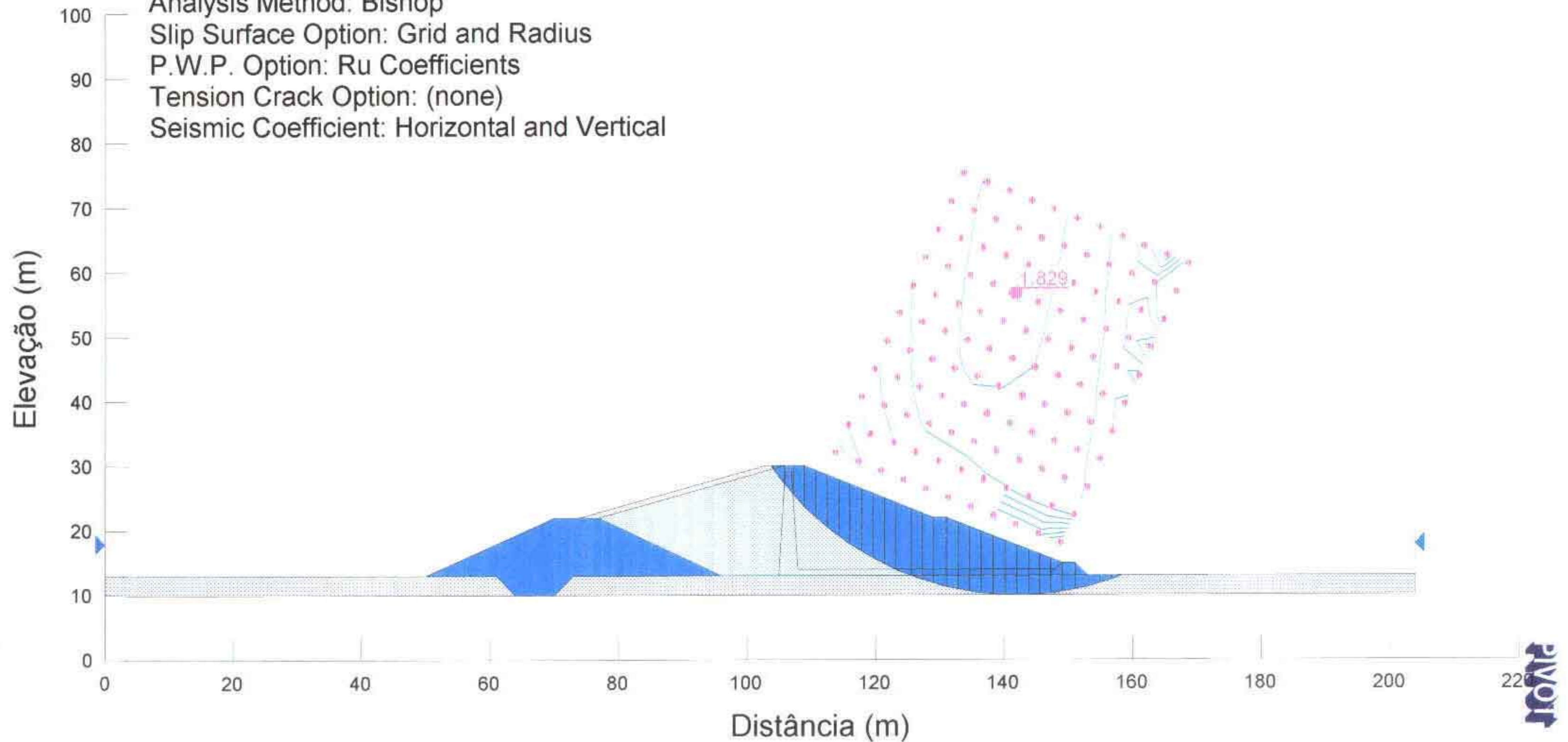
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Ru Coefficients

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Final de Construção - Talude de Jusante - Superficial

File Name: FCTJS.slp

Last Saved Date: 15/05/01

Last Saved Time: 09:12:14

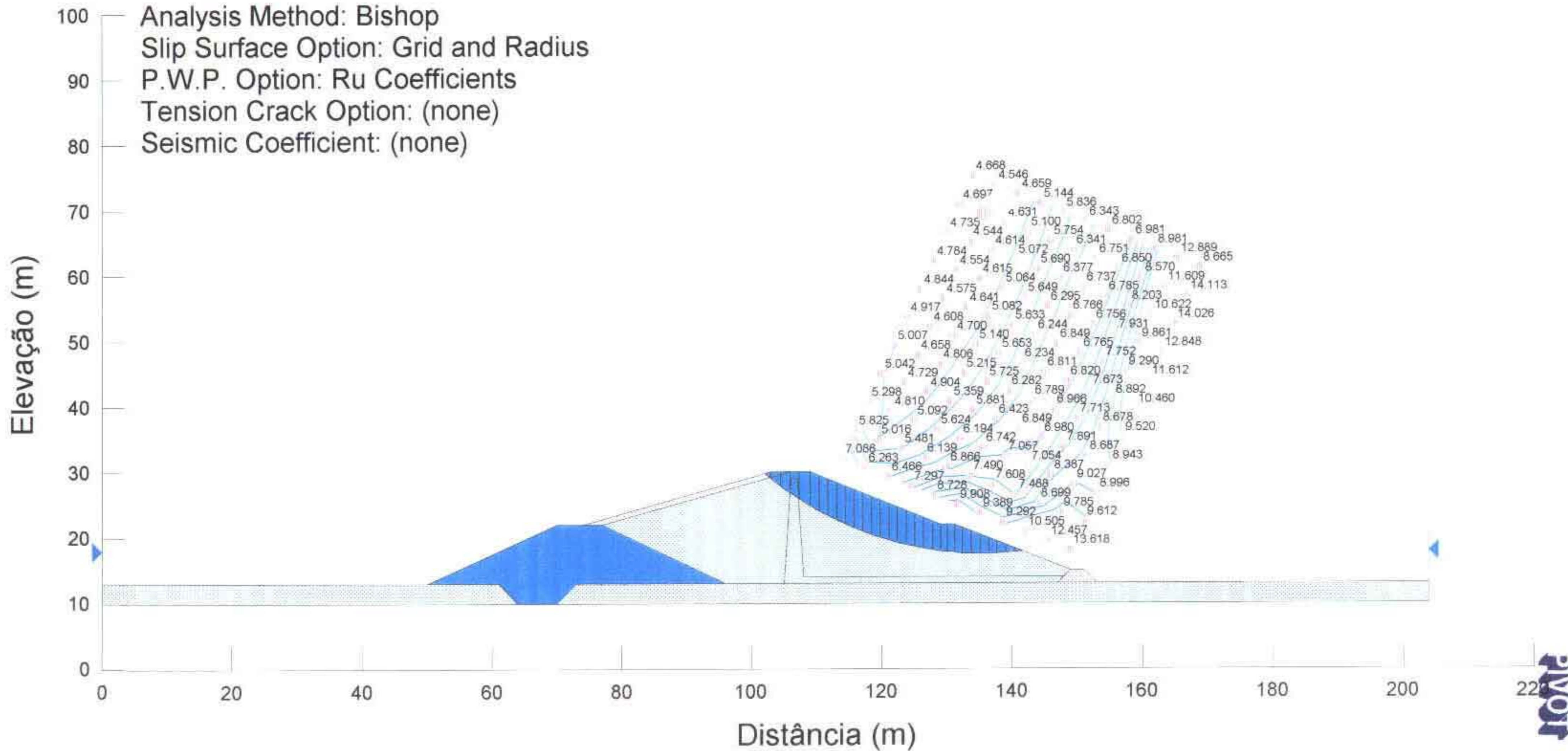
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Ru Coefficients

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: (none)



Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Final de Construção (Terremoto) - Talude de Jusante - Superficial

File Name: FCTJST.slp

Last Saved Date: 15/05/01

Last Saved Time: 09:16:01

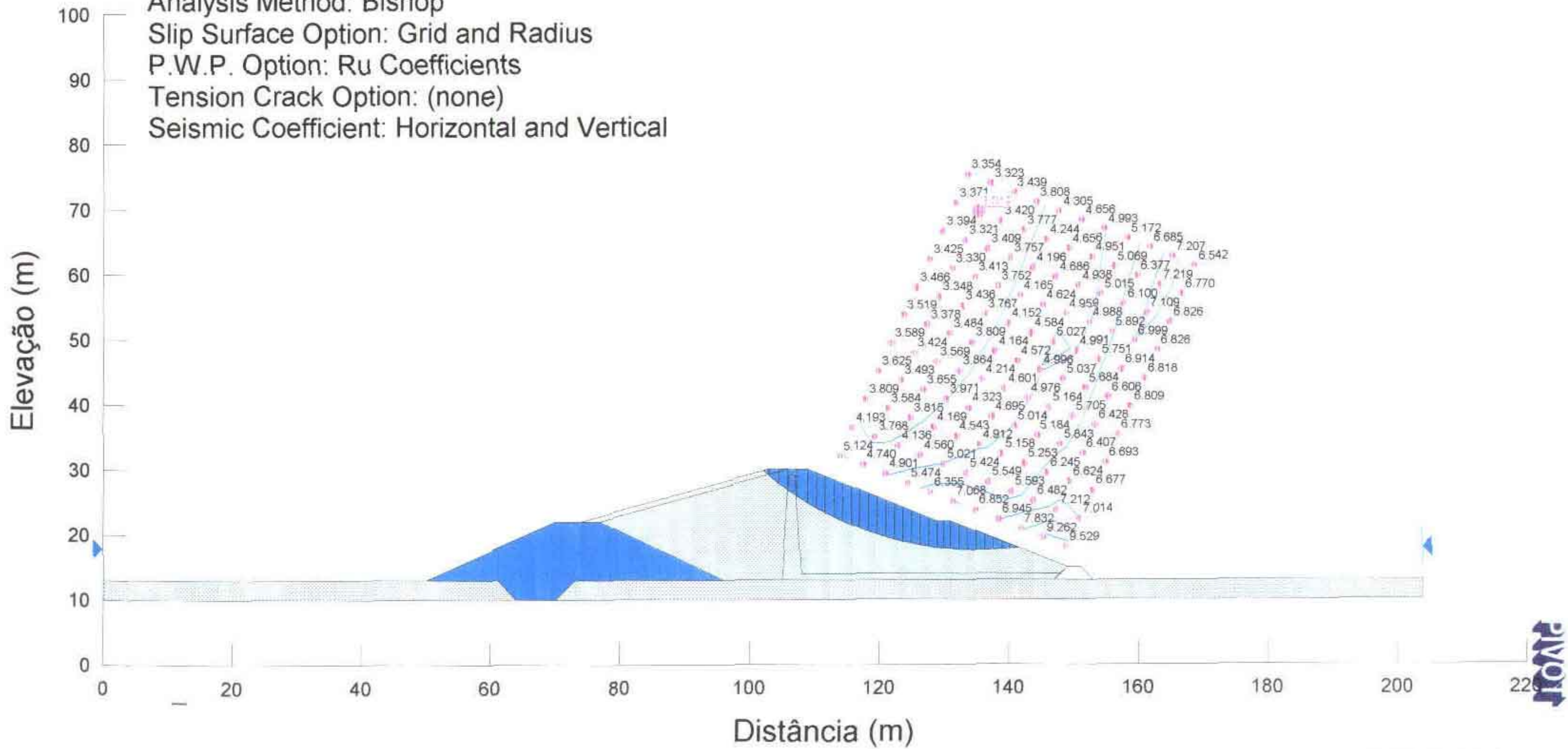
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Ru Coefficients

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Final de Construção - Talude de Montante - Média

File Name: FCTMM.slp

Last Saved Date: 15/05/01

Last Saved Time: 08:40:25

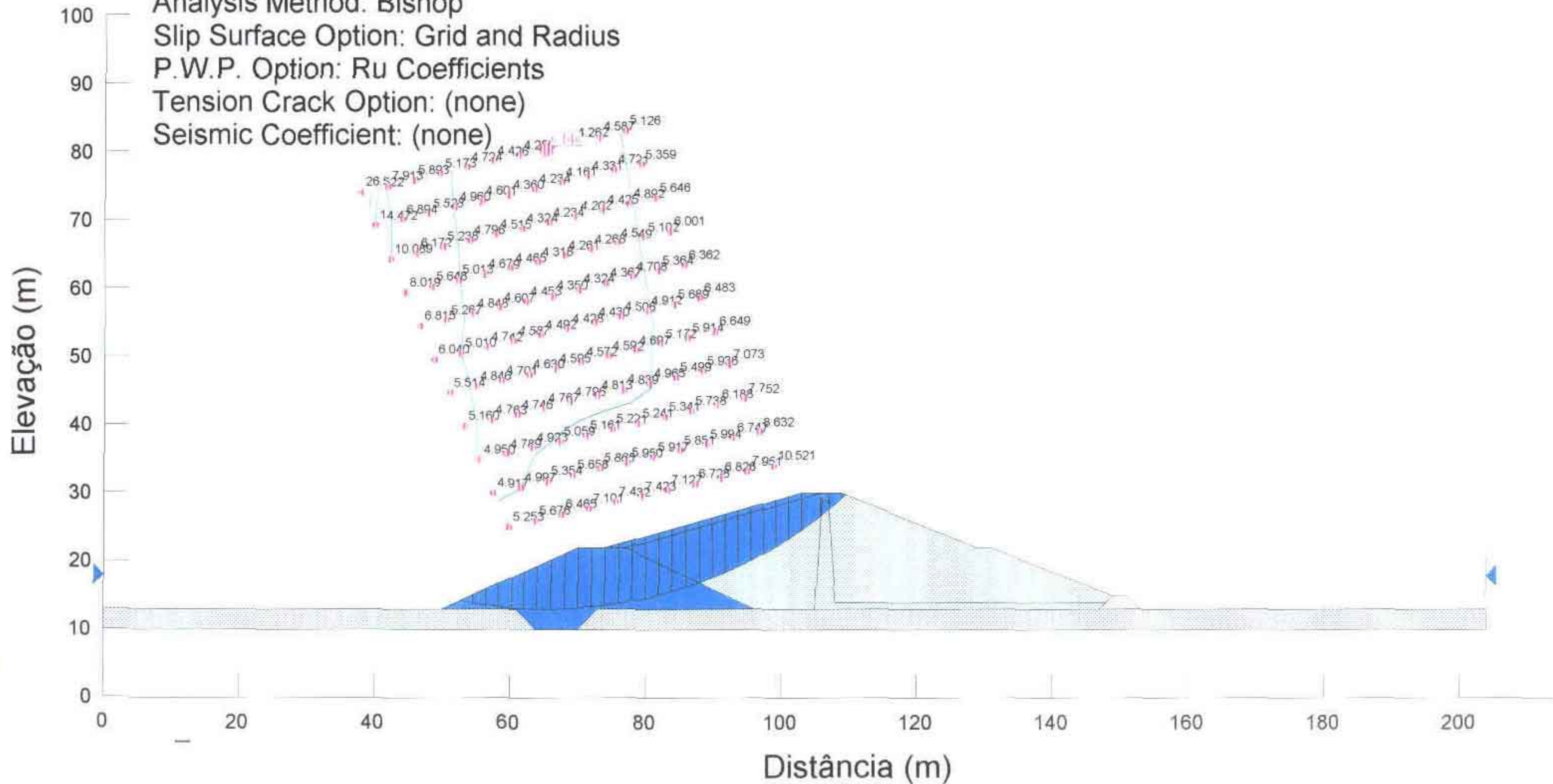
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Ru Coefficients

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: (none)



Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Final de Construção (Terremoto) - Talude de Montante - Média

File Name: FCTMMT.slp

Last Saved Date: 15/05/01

Last Saved Time: 09:00:39

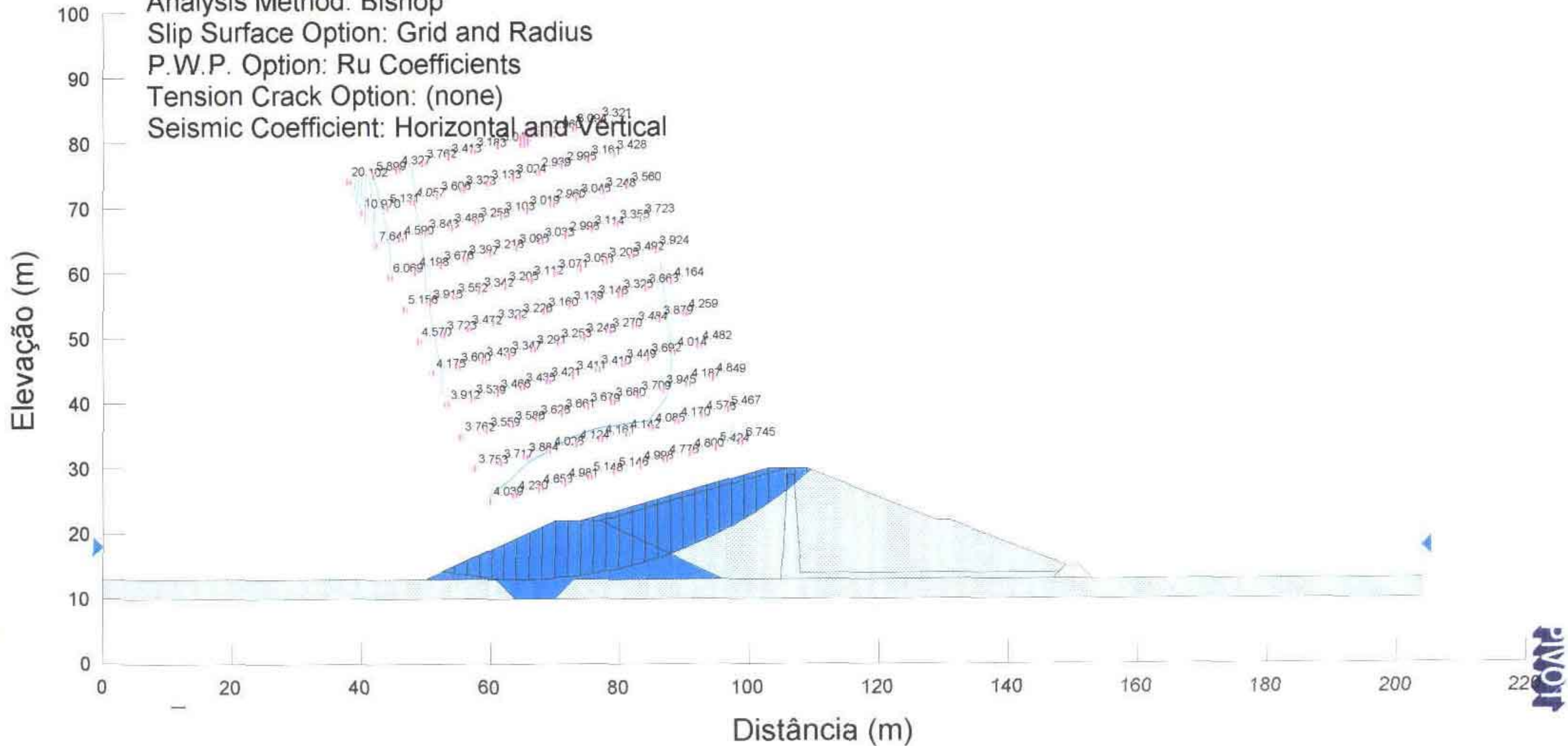
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Ru Coefficients

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



000059

Description: BARRAGEM CHILE

Comments: Final de Construção - Talude de Montante - Profunda

File Name: FCTMP.slp

Last Saved Date: 15/05/01

Last Saved Time: 08:56:14

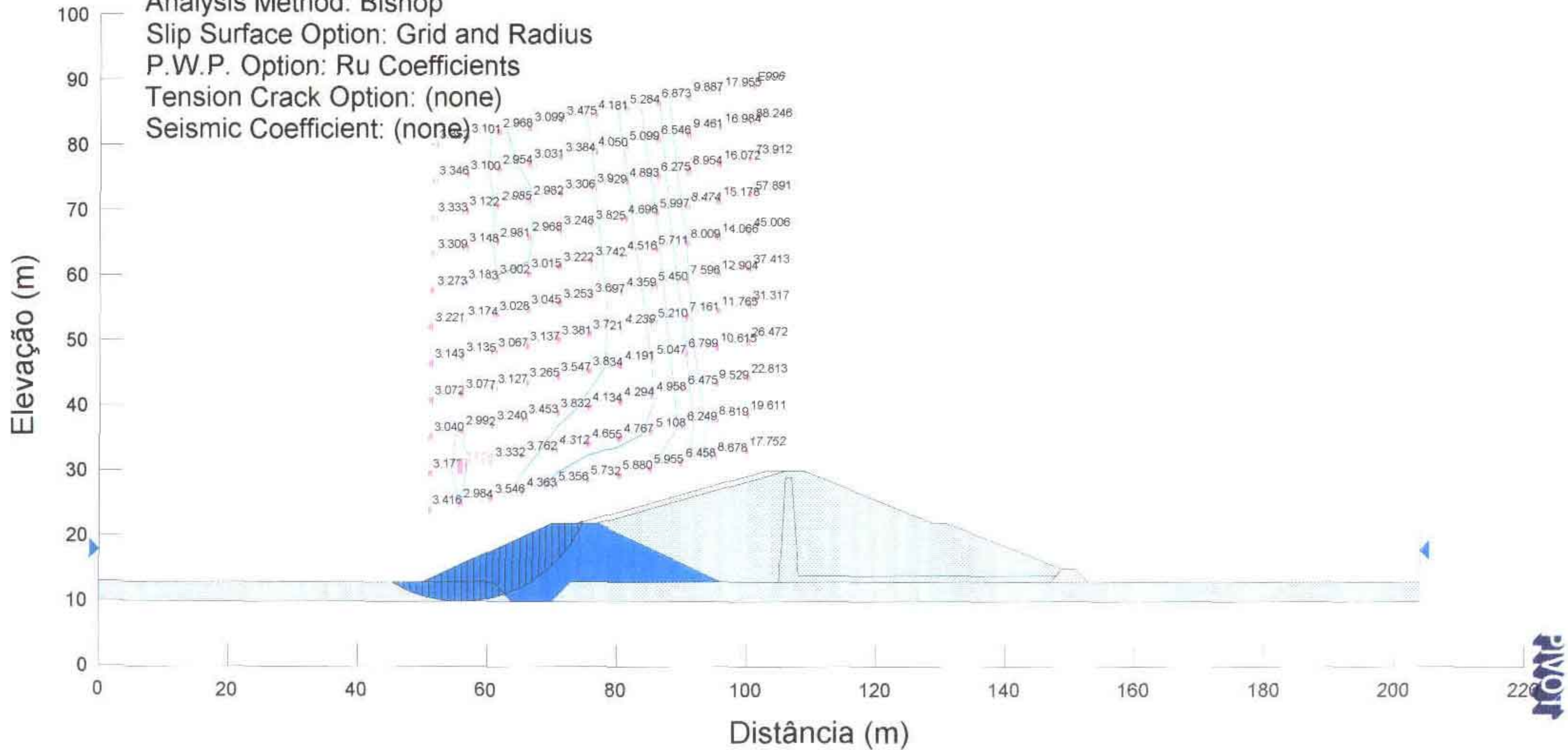
Analysis Method: Bishop

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Ru Coefficients

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: (none)



12.0 – DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO

12.0 – DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO

12.1 – Dimensionamento Hidráulico

O vertedouro adotado é um perfil “Creager” com crista na cota 98,00 metros com 120,0 metros de largura assente no fundo do canal existente, que está na cota 91,00 metros

O muro terá pois 7.0 metros de altura. O perfil de jusante foi determinado conforme o procedimento recomendado pelo “Bureau of Reclamation” mostrado a seguir:

$$Q_{1000} = 265.99 \text{ m}^3/\text{s} \text{ Vazão de Projeto}$$

$$Q = C L H_e^{3/2}$$

onde

Q = vazão, em (m^3/s)

C = coeficiente de descarga, em ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$)

L = largura do vertedouro em (m);

H_e = carga energética incluindo a carga cinética em (m).

A equação do Creager a jusante deste é dada por:

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

onde

K, n = são constantes cujos valores dependem da inclinação do talude de montante e da velocidade de aproximação,

(x, y) = par de coordenadas do perfil cujos eixos tem origem na crista e são orientados para cima e para a direita;

H_o = carga de projeto incluindo a carga cinética.

Adotando $h_o = 1,06$

$$L = 120,0\text{m} \quad P = 7,0\text{m}$$

$$\frac{Q}{120} = q = C H_o^{3/2}$$

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

$$h_a = \frac{q^2}{2g(P + h_o)}$$

$$V_a = \frac{2,21}{7 + 1,06} = 0,274\text{m/s}$$

$$h_a = 0.009$$

$$H_o = 1.069$$

Da figura 1, mostrada a seguir, tira-se $K = 0,50$ $n = 1,868$ para o caso de talude vertical e

$$\frac{h_a}{H_o} = 0,0084$$

Da figura 2, mostrada a seguir, obtém as curvas circulares da concordância de montante

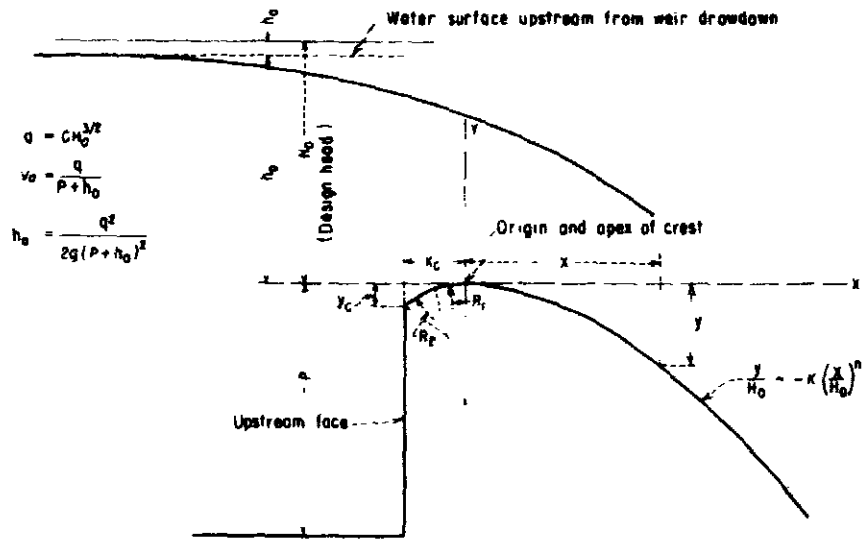
Para $\frac{h_a}{H_o} = 0,0084$ tem-se

$$\frac{X_c}{H_o} = 0,28 \Rightarrow X_c = 0,299$$

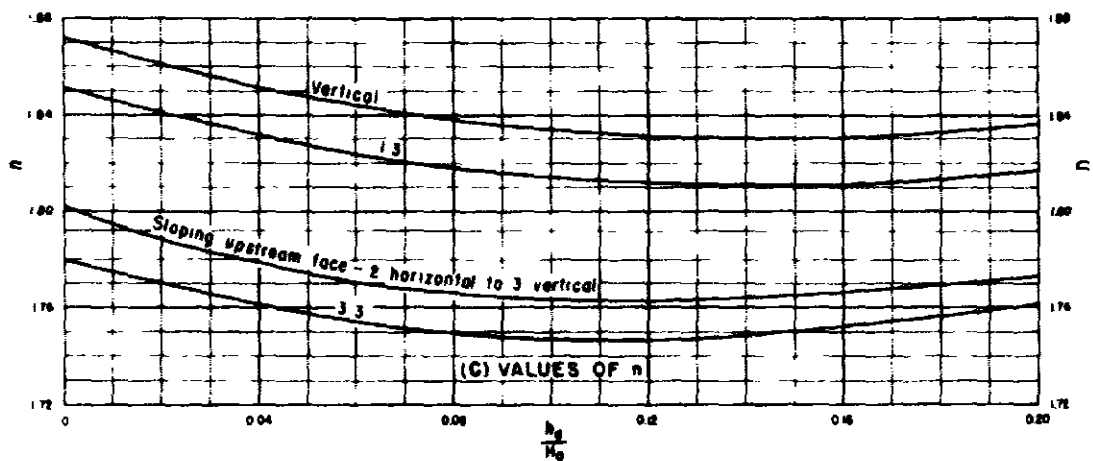
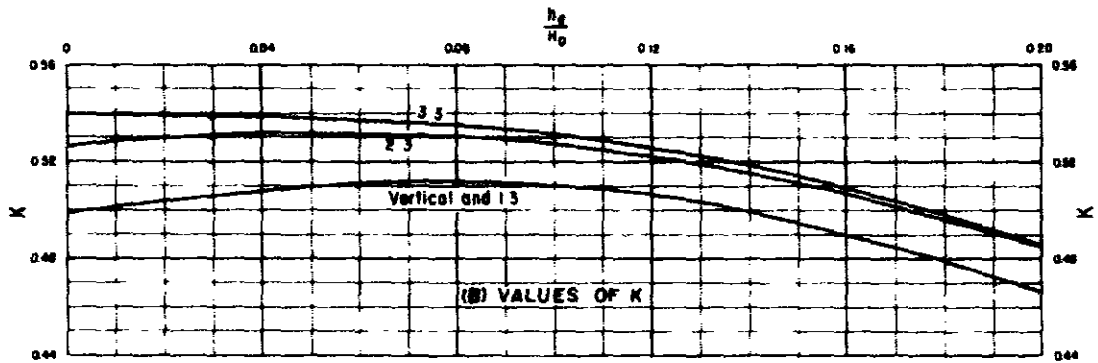
$$\frac{Y_c}{H_o} = 0,128 \Rightarrow Y_c = 0,136$$

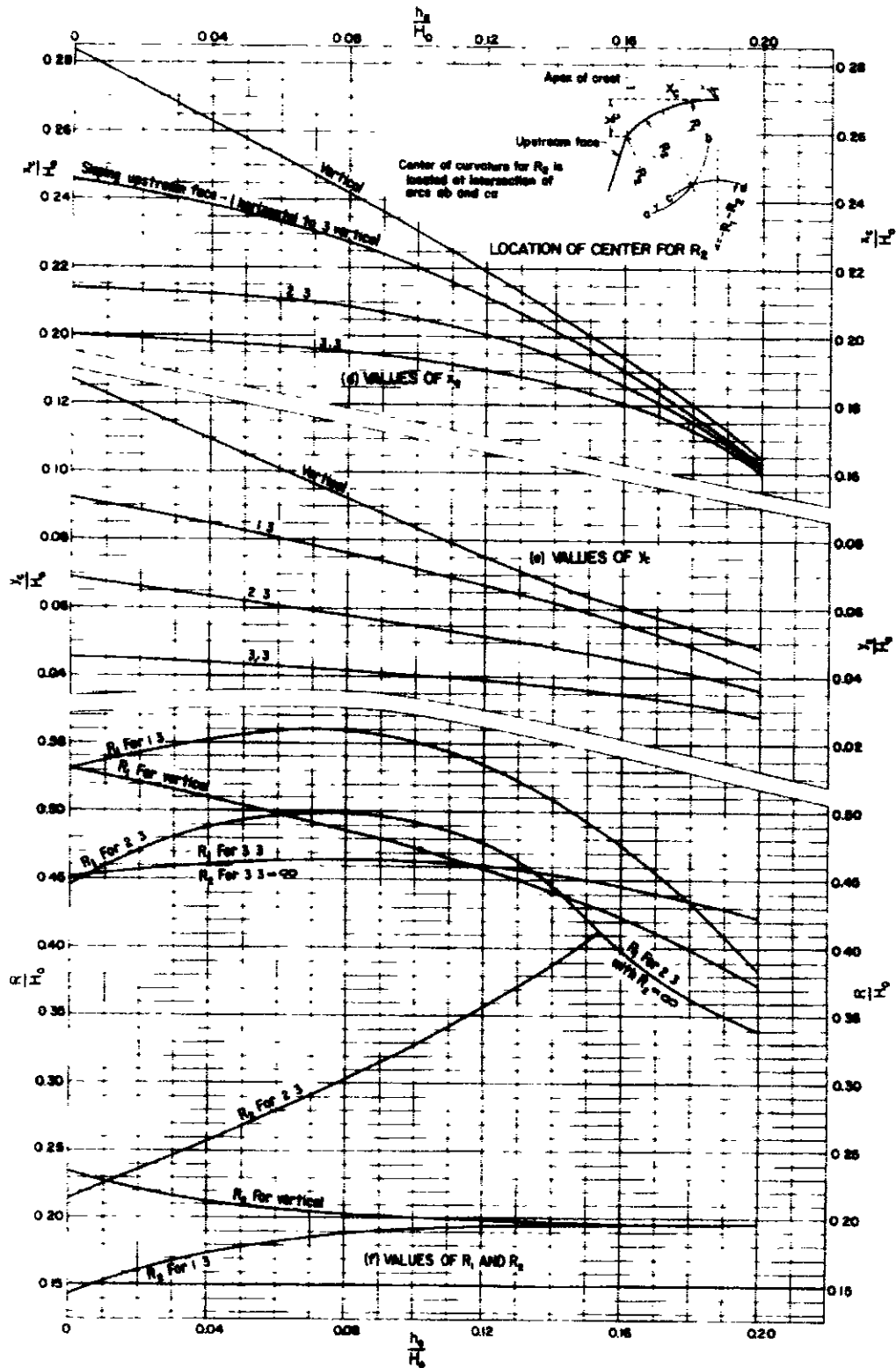
$$\frac{R_1}{H_o} = 0,528 \Rightarrow R_1 = 0,564$$

$$\frac{Y_2}{H_o} = 0,230 \Rightarrow R_2 = 0,245$$



(A) ELEMENTS OF NAPPE-SHAPED CREST PROFILES





Da equação do perfil tem-se

$$\frac{Y}{1,069} = -0,50 \left(\frac{X}{1,069} \right)^{1,868}$$

$$Y = 0,471 \cdot X^{1,868}$$

Derivando esta equação tem-se

$$\frac{d_Y}{d_X} = -0,879 X^{0,868}$$

Fazendo $\frac{d_Y}{d_X} = -1,4$ tem-se

$$-1,4 = -0,879 \cdot X^{0,868}$$

$$X^{0,868} = 1,592$$

$$X = 1,59 \quad \text{e} \quad Y = 1,12$$

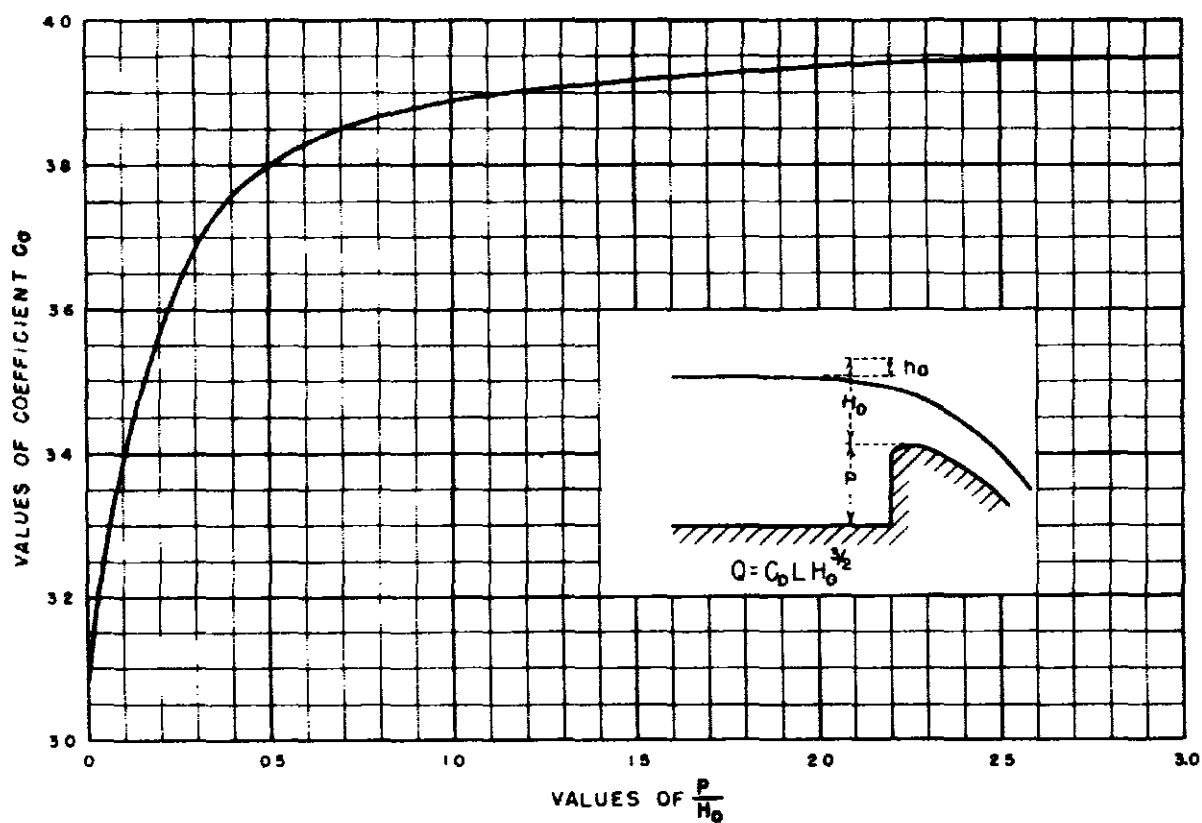
O perfil Creager se estenderá até essas coordenadas quando então assumirá o perfil de reta tangente.

Coordenadas do Creager

X	Y
0,00	0,00
0,50	-0,13
1,00	-0,47
1,20	-0,66
1,50	-1,00
1,59	-1,12

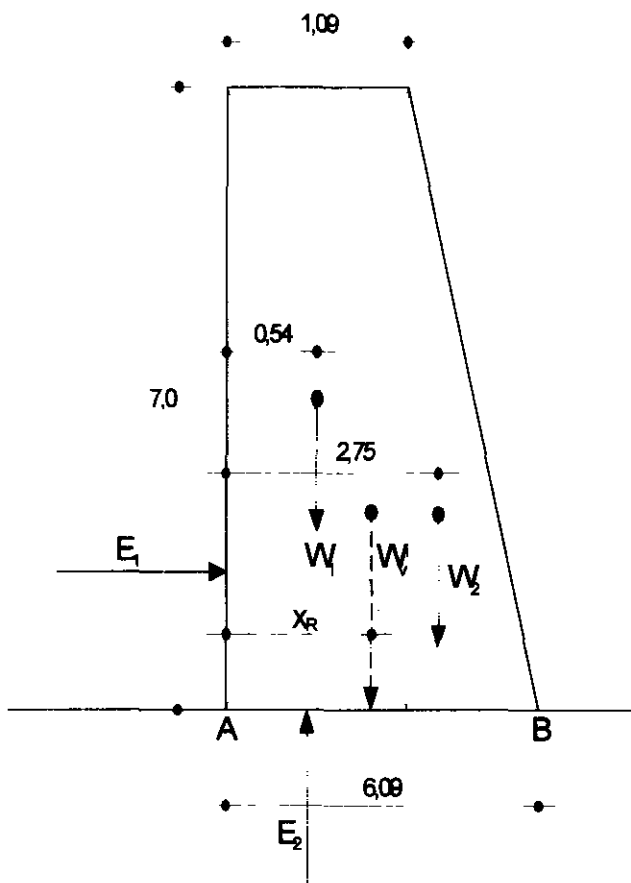
Para $\frac{P}{H_o} = 6,54 \gg 3$ obtém-se da figura 3 $C_o = 3,95 \text{ ft}^{1/2}/\text{s} = 2,18 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$

A vazão pelo vertedouro será $Q = 2,18 \times 120 \times 1,069^{3/2} = 289,13 \text{ m}^3/\text{s}$ OK!



12.2 – Análise da Estabilidade

Adotando o muro com formato trapezoidal para simplificação dos cálculos tem-se:



Os diagrama de pressão e subpressão é do tipo triangular

Verificação do ponto de passagem da resultante na fundação

O muro é de concreto ciclópico com peso específico de $2000 \text{ kgf/m}^3 = 2,0 \text{ tf/m}^3$

$$W_1 = 1,09 \times 7,0 \times 2,0 = 15,26 \text{ tf/m}$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \times 7,0 \times 5,0 \times 2,0 = 35,0$$

Determinação da posição do peso do muro na base do muro.

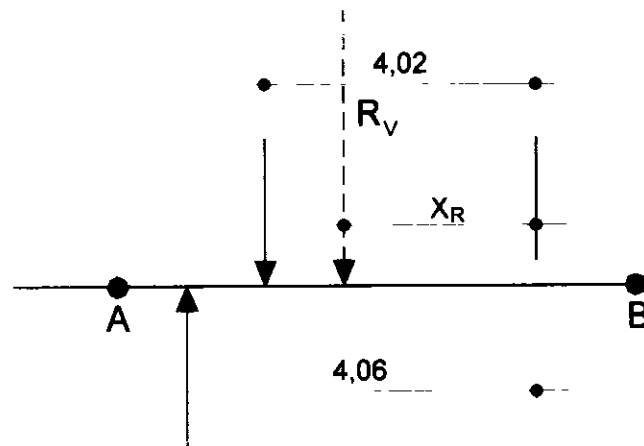
$$X_R = \frac{15,26 \times 0,54 + 35,0 \times 2,75}{2,07\text{m}} = 2,07\text{m}$$

$$E_1 = \frac{1}{2} \times 7,0 \times 7,0 \times 1,0 = 24,5 \text{ tf/m}$$

$$E_2 = \frac{1}{2} \times 7,0 \times 6,09 \times 1,0 = 21,31 \text{ tf/m}$$

000008

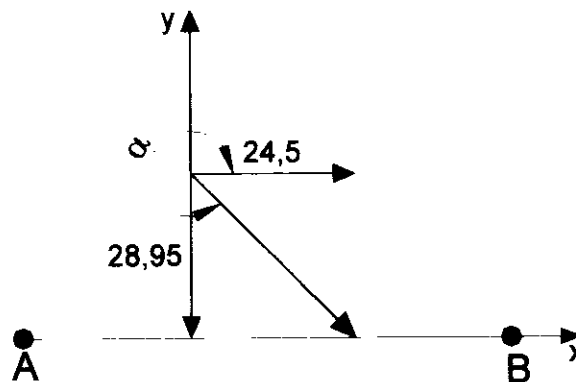
Determinação da resultante vertical na base do muro



$$50,26 \times 4,02 - 21,31 \times 4,06 = 28,95 \quad X_R$$

$$X_R = 3,99$$

Determinação do ponto em que a resultante fura a base



$$\alpha = 270 + 40,24 = 310,24$$

$$Y - 2,33 = -1,18X$$

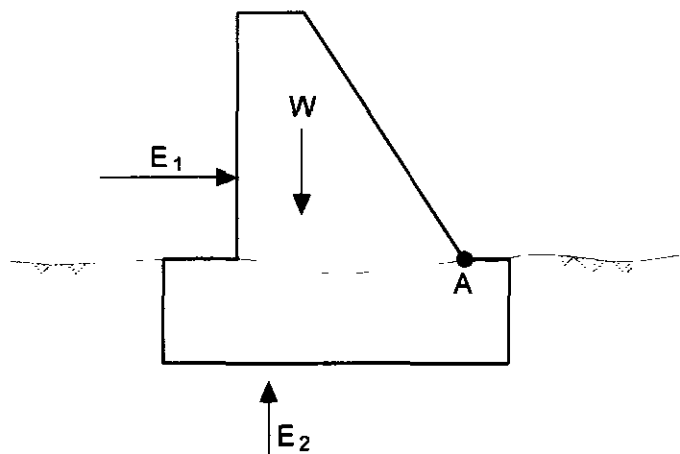
Para $Y = 0$ encontra-se $X = 1,97$

O afastamento desse ponto da extremidade direita do muro é

$$X_A = 3,99 - 1,97 = 2,02$$

$$X_A \cong \frac{1}{3} B = \frac{1}{3} \times 6,09 = 2,03 \quad \text{OK!}$$

12.3 – Verificação ao Tombamento



- Momento Resistente

$$M_R = 50,26 \times 4,02 - 21,31 \times 4,06$$

$$M_R = 115,52 \text{ tf}_{m/m}$$

- Momento Tombador

$$M_T = 24,5 \times 2,33 = 57,08$$

$$F_S = \frac{115,52}{57,08} = 2,02 \quad \text{OK!}$$

12.4 – Verificação ao Escorregamento

$$F_s = \frac{\text{tg}\phi V}{H}$$

$$V = 28,95$$

$$\text{tg}\phi = 0,80$$

Usando um redente na base do muro de 1,0m de profundidade e usando um coeficiente de empuxo passivo $K_p = 10$ tem-se

$$K_p = \frac{2 \times E_p}{\gamma \times h^3}$$

Para $h = 1,0\text{m}$ $\gamma = 2,0 \text{ tf/m}^3$ encontra-se $E_p = 10 \text{ tf/m}$

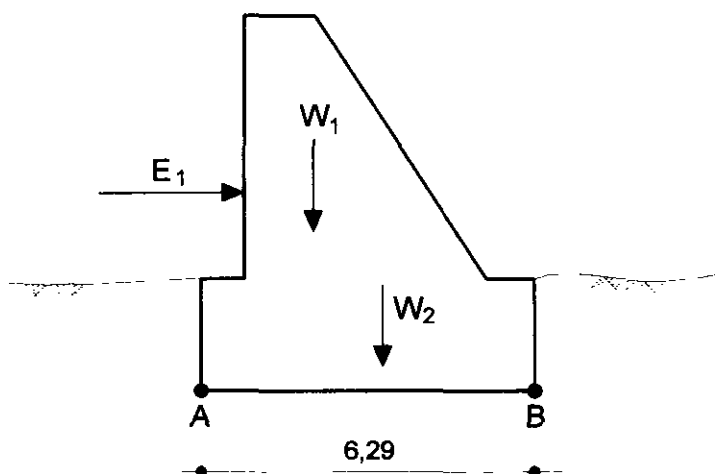
logo

$$H = E_1 - E_p = 14.5 \text{ tf/m}$$

$$FS = \frac{0,80 \times 28,95}{14,5} = 1,59$$

12.5 – Cálculo das Tensões na Base

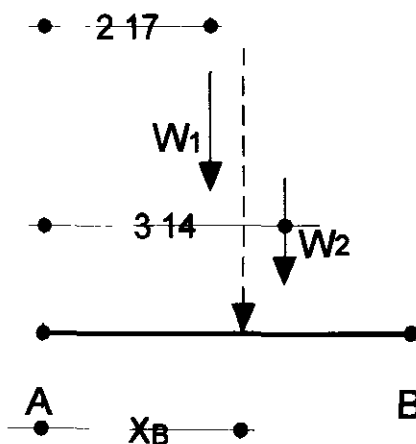
Hipótese – Enchimento rápido sem que haja formação da subpressão.

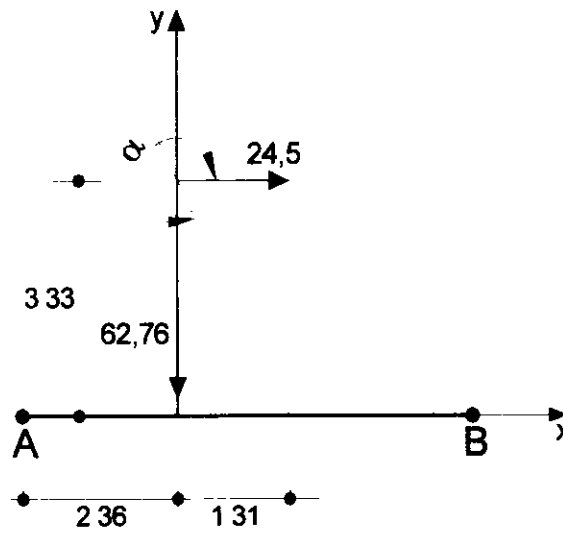


$$W_1 = 50.26$$

$$W_2 = 12.5$$

Posição do peso na base AB





$$\alpha = 270 + 21,32 =$$

$$\text{tg}\alpha = 2,56$$

$$Y - 3,33 = -2,56X$$

Para $Y = 0 \Rightarrow X = 1,30$

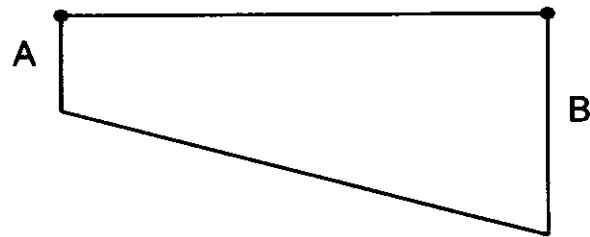
A excentricidade será

$$e = \frac{B}{2} - X_R$$

$$X_R = 3,66$$

$$e = 3,14 - 3,66 = -0,52\text{m}$$

A resultante passa à direita do centro e o diagrama de tensão tem a forma abaixo.



$$\sigma_A = \frac{V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B} \right)$$

$$\sigma_A = \frac{62,76}{6,29} \times \left(1 - \frac{6 \times 0,52}{6,29} \right) = 5,02 \text{ tf/m}^2$$

OK!

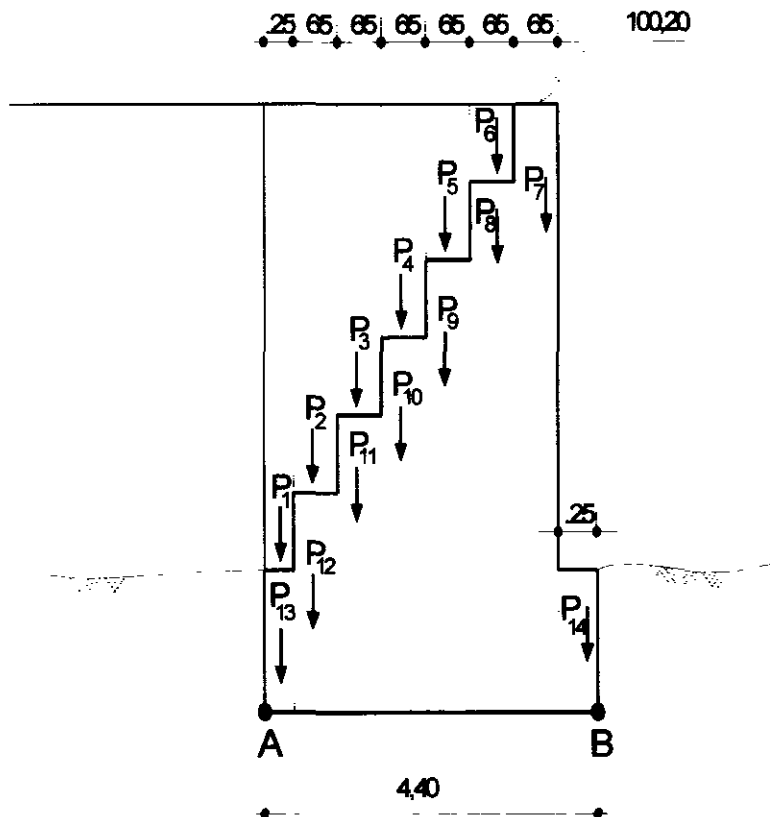
$$\sigma_B = \frac{62,76}{6,29} \times \left(1 + \frac{6 \times 0,52}{6,29} \right) = 14,92 \text{ tf/m}^2$$

OK!

13.0 – DIMENSIONAMENTO DOS MUROS LATERAIS

13.0 – DIMENSIONAMENTO DOS MUROS LATERAIS

Transversal ao vertedouro “Creager” sendo executados dois muros laterais. A cota do terreno no eixo da barragem é 94,0 metros. Os muros ficarão assente na cota 93,00 metros. serão em alvenaria de pedra com seção mostrada abaixo



13.1 – Verificação ao Tombamento

$P_1 = 0,65 \times 6,0 \times 2,0 = 3,0$	$d_1 = 4,15$
$P_2 = 0,65 \times 5,0 \times 2,0 = 6,50$	$d_2 = 3,70$
$P_3 = 0,65 \times 4,0 \times 2,0 = 5,20$	$d_3 = 3,05$
$P_4 = 0,65 \times 3,0 \times 2,0 = 3,90$	$d_4 = 2,40$
$P_5 = 0,65 \times 2,0 \times 2,0 = 2,60$	$d_5 = 1,75$
$P_6 = 0,65 \times 1,0 \times 2,0 = 1,30$	$d_6 = 1,10$
$P_7 = 0,65 \times 7,0 \times 2,2 = 10,01$	$d_7 = 0,45$
$P_8 = 0,65 \times 6,0 \times 2,2 = 8,58$	$d_8 = 1,10$
$P_9 = 0,65 \times 5,0 \times 2,2 = 7,15$	$d_9 = 1,75$
$P_{10} = 0,65 \times 4,0 \times 2,2 = 5,72$	$d_{10} = 2,40$

$$P_{11} = 0,65 \times 3,0 \times 2,2 = 4,29$$

$$d_{11} = 3,05$$

$$P_{12} = 0,65 \times 2,0 \times 2,2 = 2,86$$

$$d_{12} = 3,70$$

$$P_{13} = 0,25 \times 1,0 \times 2,2 = 0,55$$

$$d_{13} = 4,15$$

$$P_{14} = 0,25 \times 1,0 \times 2,2 = 0,55$$

$$d_{14} = 0,125$$

- Cálculo do Momento Resistente

$$M_R = \sum_{i=1}^{14} P_i \cdot d_i$$

$$M_R = 133,90$$

- Cálculo do Momento Tombador

$$M_T = \frac{1}{2} \times 0,33 \times 2,0 \times 7,0^2 \times \frac{1}{3} \times 7 = 37,73$$

- Cálculo do Fator de Segurança

$$F_S = \frac{133,90}{37,73} = 3,54 \quad \text{OK!}$$

13.2 – Verificação ao Escorregamento

$$F_S = \frac{\text{tg}\phi V}{H}$$

$$\text{tg}\phi = 0,60$$

$$V = 62,21 \text{ (Resultante Vertical)}$$

$$H = 16,17 \text{ (Resultante Horizontal)}$$

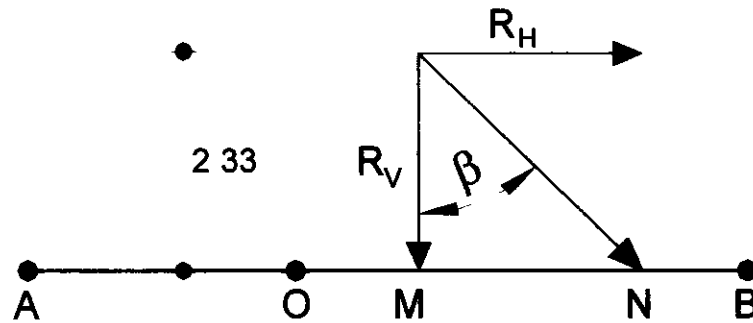
$$F_S = \frac{0,60 \times 62,21}{16,17} = 2,30 \text{ OK!}$$

13.3 – Cálculo das Tensões N Base \overline{AB}

- Determinação do ponto onde a resultante vertical atravessa a base \overline{AB} O afastamento do ponto B é dado por

$$X_B = \frac{\sum_{i=1}^{14} P_i \cdot d_i}{\sum P_i} = \frac{133,90}{62,21} = 2,15$$

• Determinação da Excentricidade



$$AO = OB \quad R_v = 62,21$$

$$OM = 0,05 R_h = 16,17$$

$$\text{tg}\beta = \frac{16,17}{62,21} = 0,26$$

$$e = OM + MN$$

$$MN = 2,33 \times 0,26 = 0,60$$

$$e = 0,65\text{m}$$

$$\frac{B}{6} = \frac{4,40}{6} = 0,73$$

logo

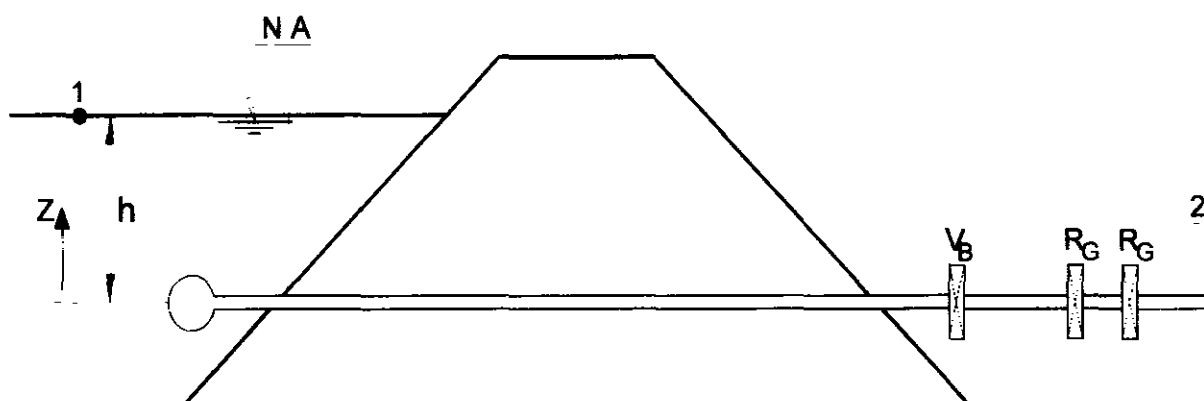
$$e < 0,73 \quad \text{OK!}$$

A resultante cai no terço central.

14.0 - TOMADA D'ÁGUA

14.0 – TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água é uma galeria de F^oF^o de $\varnothing = 250\text{mm}$ que tem a montante um crivo e a jusante será colocado dois registros de gaveta e uma válvula borboleta para controle de vazão. A extensão total de tubulação é de 112,0m



Considerando a válvula borboleta e os registros de gaveta, totalmente abertos, obtendo-se as vazões de operação da tomada d'água. A curva de vazão é obtida aplicando a equação de Benoulli entre os pontos 1 e 2

$$\frac{P_1}{\gamma} + h + \frac{\bar{V}_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + 0 + \frac{\bar{V}_2^2}{2g} + h_f + h_L$$

onde

$$P_1 = P_2 = P_{\text{atm}}$$

$$\bar{V}_1 \cong 0$$

h_f = perda de carga por fricção

h_L = perda de carga localizada

h_f é determinada pela expressão de Darcy-Weisbach dada por

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{\bar{V}_2^2}{2g}$$

$$h_L = \sum K_i \frac{\bar{V}_2^2}{2g}$$

K_1 = perda de carga localizada

L_e = crivo = 6,50m (comprimento equivalente)

K_2 = válvula borboleta = 0,24

K_3 = registro de gaveta = 0,2

K_4 = perda de saída = 1,0

$h_T = h_f + h_L$

$$h_T = f \frac{177}{0,25} \times \frac{\bar{V}_2^2}{19,62} + 1,64 \frac{V_2^2}{19,62}$$

$$h_T = 36,08 \cdot f \cdot \bar{V}_2^2 + 0,08 \bar{V}_2^2$$

$$h_T = (36,08 f + 0,08) \bar{V}_2^2$$

substituindo na equação de Bennoulli obtém-se

$$h = 0,05 V_2^2 + (36,08 f + 0,08) \cdot V_2^2$$

$$V_2 = \left[\frac{h}{36,08 f + 0,13} \right]^{1/2}$$

tem-se a velocidade como função de f. O processo para resolução deste problema é pelo método da convergência. Atribui-se valor a f e determina-se \bar{V}_2 , com \bar{V}_2 determina-se f e novamente obtém-se V_2 o processo prossegue até a convergência

$$R_e = \frac{PVD}{\mu} = \frac{\bar{V}D}{\nu}$$

onde

R_e = número de Reynold

ν = viscosidade cinemática

Para a água a 30°C tem-se $\nu = 8,04 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$

Como a tubulação já é usada será usado uma rugosidade relativa igual ao dobro da calculada.

Do Ábaco de rugosidade obtém $\frac{e}{D} = 0,01$ será adotado $\frac{e}{D} = 0,002$.

Para $h = 98,0 - 84,0 = 14,0\text{m}$ de carga e adotando $f = 0,03$ tem-se.

$$V_2 = \left[\frac{14}{36,08 \cdot 0,03 + 0,13} \right]^{1/2} = 3,39\text{m/s}$$

$$R_e = \frac{3,39 \times 0,25}{8,04 \times 10^{-7}} = 1,0 \times 10^6$$

Para $R_e = 1,0 \times 10^6$ e $\frac{e}{D} = 0,002$ do Ábaco de Moody encontra-se $f = 0,024$

Para $f = 0,024$

encontra-se $V_2 = 3,74$

$$R_e = \frac{3,74 \times 0,25}{8,04 \times 10^{-7}} = 1,16 \times 10^8$$

Para $R_e = 1,16 \times 10^8$ obtém $f = 0,024$ OK!

logo $V_2 = 3,74\text{m/s}$

A área da tubulação é

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,25^2}{4} = 0,049\text{m}^2$$

A vazão nessa carga será

$$Q = 3,74 \times 0,049 = 0,184\text{m}^3/\text{s}$$

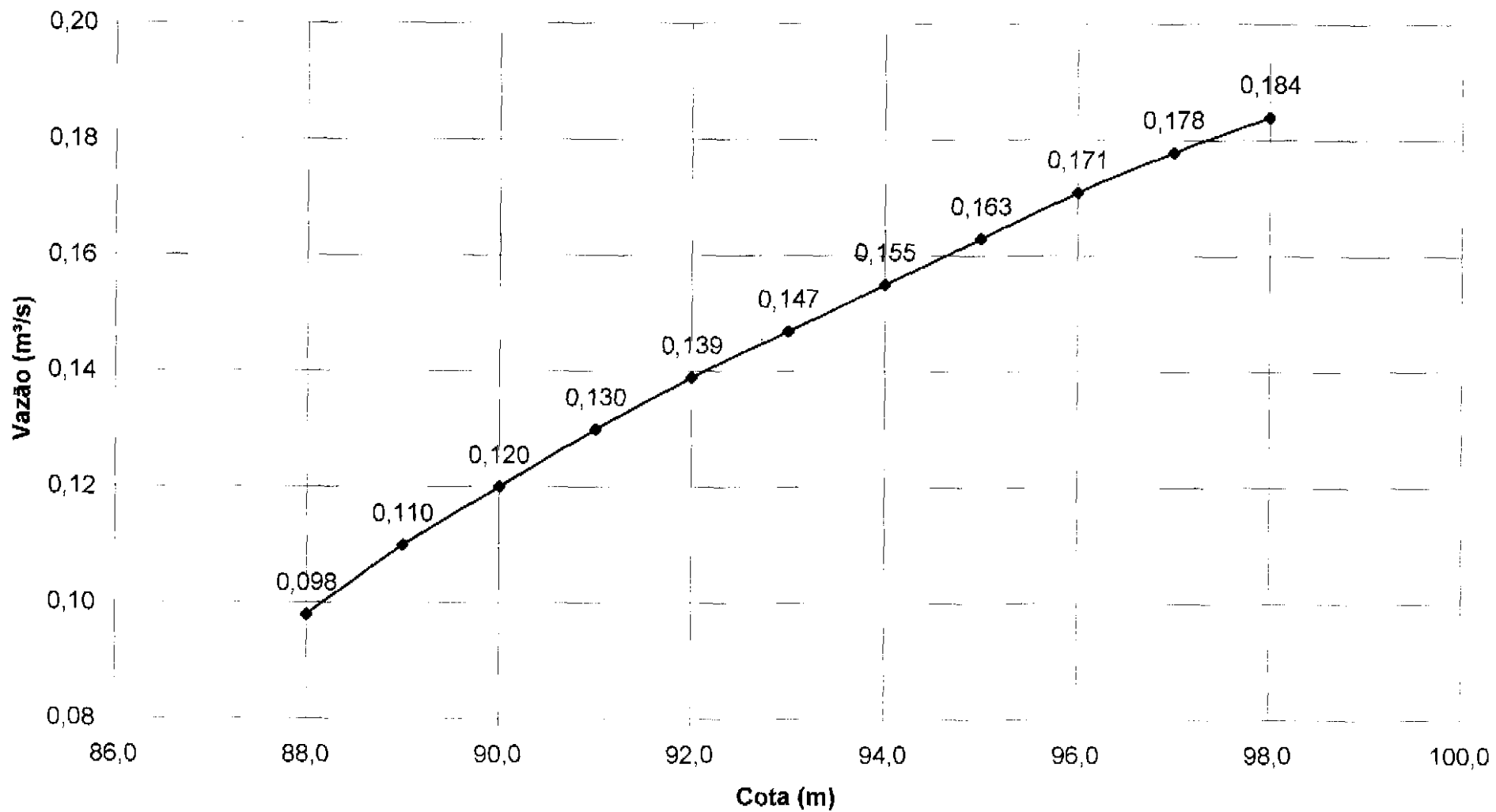
Esse procedimento foi repetido para carga variando de 14,0 metros a 4,0 metros e o resultado é mostrado na tabela a seguir.

COTA (m)	VAZÃO (m³/s)
98,00	0,184
97,00	0,178
96,00	0,1741
95,00	0,163
94,00	0,155
93,00	0,147
92,00	0,139
91,00	0,130
90,00	0,120
89,00	0,110
88,00	0,098

A extremidade da galeria descarrega uma caixa de dissipação de energia e que terá um vertedouro para medição de vazão.

Na Figura a seguir é apresentado a curva de operação COTA x VAZÃO.

Gráfico: COTA x VAZÃO



000082

15.0 - COTA DO VOLUME MORTO

15.0 – COTA DO VOLUME MORTO

O volume intangível para preservação das espécies aquáticas deve ser fixado na cota 88,00m com armazenamento de 1 296 420,00m³.

16.0 – ANÁLISE DOS RECALQUES

16.0 – ANÁLISE DOS RECALQUES

Considerando apenas as deformações elásticas do maciço e fundação um elemento rígido.

O maciço foi discretizado de 2,0 em 2,0 metros e considerado a tensão média atuando na fatia. Aplicou-se a expressão:

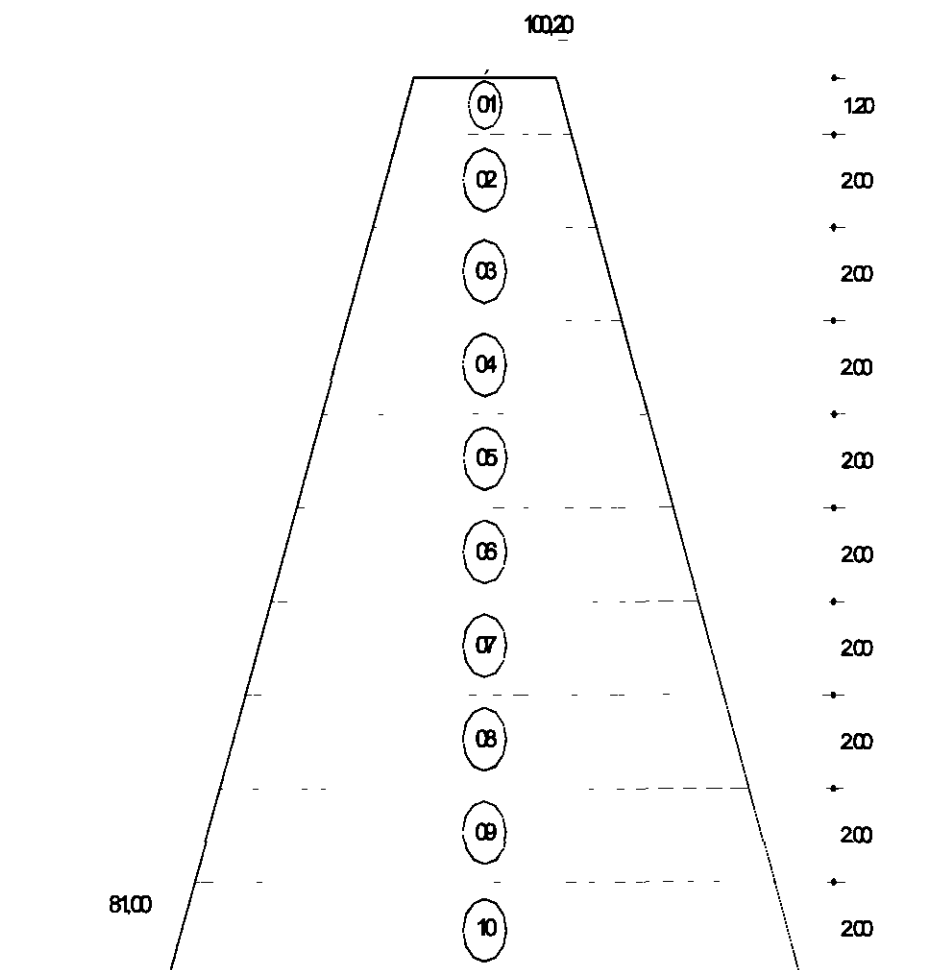
$$S = \sum_{i=1}^m \frac{\sigma_m}{E} \Delta H_i$$

O recalque foi avaliado no ponto situado no eixo coroamento na seção máxima.

Adotou-se

$$\gamma_{\text{solo}} = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$E = 15 \text{ MPa}$$



FATIA	ESPESSURA (m)	TENSÃO MÉDIA (kN/m²)	Si (mm)
1	1,20	12	0,96
2	2,00	44	5,86
3	2,00	84	11,20
4	2,00	124	16,53
5	2,00	164	21,86
6	2,00	204	27,20
7	2,00	244	23,53
8	2,00	284	37,86
9	2,00	324	43,20
10	2,00	364	48,53

O recalque elástico esperado é de $S = 245,7\text{mm}$.

Esse abaixamento do coroamento deve ser corrigido antes da colocação do revestimento primário.