



Julho de 2003

**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**



SRH Secretaria dos Recursos Hídricos

Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - PROGERIRH

Contrato

Nº 02/ PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH 2001

Estudos de Alternativas, EIAS/RIMAS, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais, Planos de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra / Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi, e dos Projetos das Adutoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada

VOLUME III - DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM CEARÁ

Tomo 3 - Memória de Cálculo



MONTGOMERY WATSON



GOVERNADOR DO ESTADO DO CEARÁ

Lúcio Gonçalo de Alcântara

SECRETÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS

Ednardo Ximenes Rodrigues

SUB-SECRETÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS

Francisco José Coelho Teixeira

COORDENADOR GERAL DOS PROJETOS ESPECIAIS

Francisco Hoilton Rios Araripe

**CONTRATO Nº 002/PROGERIRH – PILOTO/SRH/CE/2001****EQUIPE DE ELABORAÇÃO**

| CONSÓRCIO MONTGOMERY WATSON ENGESOFT | ACOMPANHAMENTO E FISCALIZAÇÃO DA SRH |
|---|--|
| João F. Vieira Neto Engº. Civil Diretor Técnico Engesoft | Ivoneide Ferreira Damasceno Engª. Civil Presidente da Comissão |
| William Moler Geólogo Gerente do Contrato | Lucrecia Nogueira de Sousa Geóloga Membro da Comissão |
| Walmir Fernando Duarte Jardim Engº. Civil Coordenador do Projeto | Thereza Cristina Citó Rêgo Engª. Civil Membro da Comissão |
| José Ribamar Pinheiro Barbosa Engº. Civil Geotecnia e Barragem | Osvan Menezes de Queiroz Engº. Civil Membro da Comissão |
| Waldir Barbosa de Souza Rodrigues Engº. Civil Barragem | Maria Alice Guedes Geóloga Membro da Comissão |
| Alysson César Azevedo da Silva Engº. Civil Estudos Básicos e Topografia | Francisco José de Sousa Engº. Agrônomo Membro da Comissão |
| José Osmar Coelho Saraiva Engº. Civil Hidráulica e Adutora | Maria Elaine Bianchi Geógrafa Membro da Comissão |
| Sérgio Pontes Engº. Civil Hidráulica e Adutora | Francisco Dário Silva Feitosa Engº. Agrônomo Membro da Comissão |
| Naimar Gonçalves Barroso Severiano Economista Meio Ambiente e Reassentamento | Nelson L. de S. Pinto Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH |
| Marcos César Feitosa Geólogo Levantamento Cadastral | Paulo Teixeira da Cruz Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH |
| Paulo Silas de Sousa Engº. Agrônomo Levantamento Cadastral | Ronei Vieira de Carvalho Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH |
| Hermano Câmara Campos Geólogo Geologia e Geotecnia | |
| Raimundo Eduardo Silveira Fontenele Economista Avaliação Financeira e Econômica | |



MONTGOMERY WATSON



EngeSoft
Engenharia e Construção S/C Ltda

MEMÓRIA DE CÁLCULO



MONTGOMERY WATSON



ÍNDICE



ÍNDICE

| | Páginas |
|---|----------------|
| MEMÓRIA DE CÁLCULO..... | 3 |
| ÍNDICE | 4 |
| 1. INTRODUÇÃO | 6 |
| 2. CÁLCULO DA FOLGA..... | 11 |
| 3. CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO..... | 13 |
| 4. CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO | 15 |
| 5. ESCOLHA DA INCLINAÇÃO DOS TALUDES..... | 17 |
| 6. DIMENSIONAMENTO DO RIPRAP | 20 |
| 7. DETERMINAÇÃO DA LINHA FREÁTICA..... | 25 |
| 8. DETERMINAÇÃO DA REDE DE FLUXO | 29 |
| 9. DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL..... | 34 |
| 10. DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL | 36 |
| 11. ANÁLISE DA ESTABILIDADE..... | 40 |
| 12. COTA DO VOLUME DE ALERTA | 68 |
| 13. TOMADA D'ÁGUA..... | 70 |
| <i>13.1. Dimensionamento Hidráulico da galeria.....</i> | <i>71</i> |
| <i>13.2. Dimensionamento Estrutural.....</i> | <i>76</i> |
| 14. ANÁLISE DOS RECALQUES | 78 |



MONTGOMERY WATSON



1. INTRODUÇÃO



1. INTRODUÇÃO

O Consórcio Montgomery-Watson/Engesoft e a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE) celebraram o Contrato N° 02/PROGERIRH-PILOTO /CE/SRH 2001, que tem como objetivo o Estudo de Alternativas, EIAs/RIMAs, Levantamentos Cadastrais, Plano de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra, Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi e dos Projetos das Adutoras de Madalena, Lagoa do Mato, Iracema e Amontada. A ordem de serviço foi emitida em 05 de março de 2001.

O presente trabalho compõem o Volume III – Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem Ceará, integrante das Bacias Metropolitanas, para reforço do abastecimento da população do município de Caucaia, Ceará, que é formado por sete Tomos, a saber:

- Tomo 1 – Relatório Geral do Projeto;
- Tomo 2 – Desenhos
- **Tomo 3 – Memória de Cálculo;**
- Tomo 4 – Especificações Técnicas;
- Tomo 5 – Quantitativos e Orçamento;
- Tomo 6 – Planos de Operação e Manutenção;
- Tomo 7 – Relatório Síntese.

O Tomo 3, aqui apresentado, consiste na Memória de Cálculo do Projeto Executivo e aborda os seguintes capítulos:

- Cálculo de Folga;
- Cálculo da Cota do Coroamento;
- Cálculo da Largura do Coroamento;
- Escolha da Indicação dos Taludes;
- Dimensionamento do Riprap;



- Determinação da Linha Freática;
- Determinação da Rede de Fluxo;
- Dimensionamento do Filtro Vertical;
- Dimensionamento do Tapete Horizontal;
- Análise da Estabilidade;
- Dimensionamento do Sangradouro;
- Dimensionamento da Bacia de Dissipação;
- Dimensionamento dos muros Laterais e Frontais;
- Cota do Volume Morto;
- Tomada d'água;
- Análise dos Recalques.

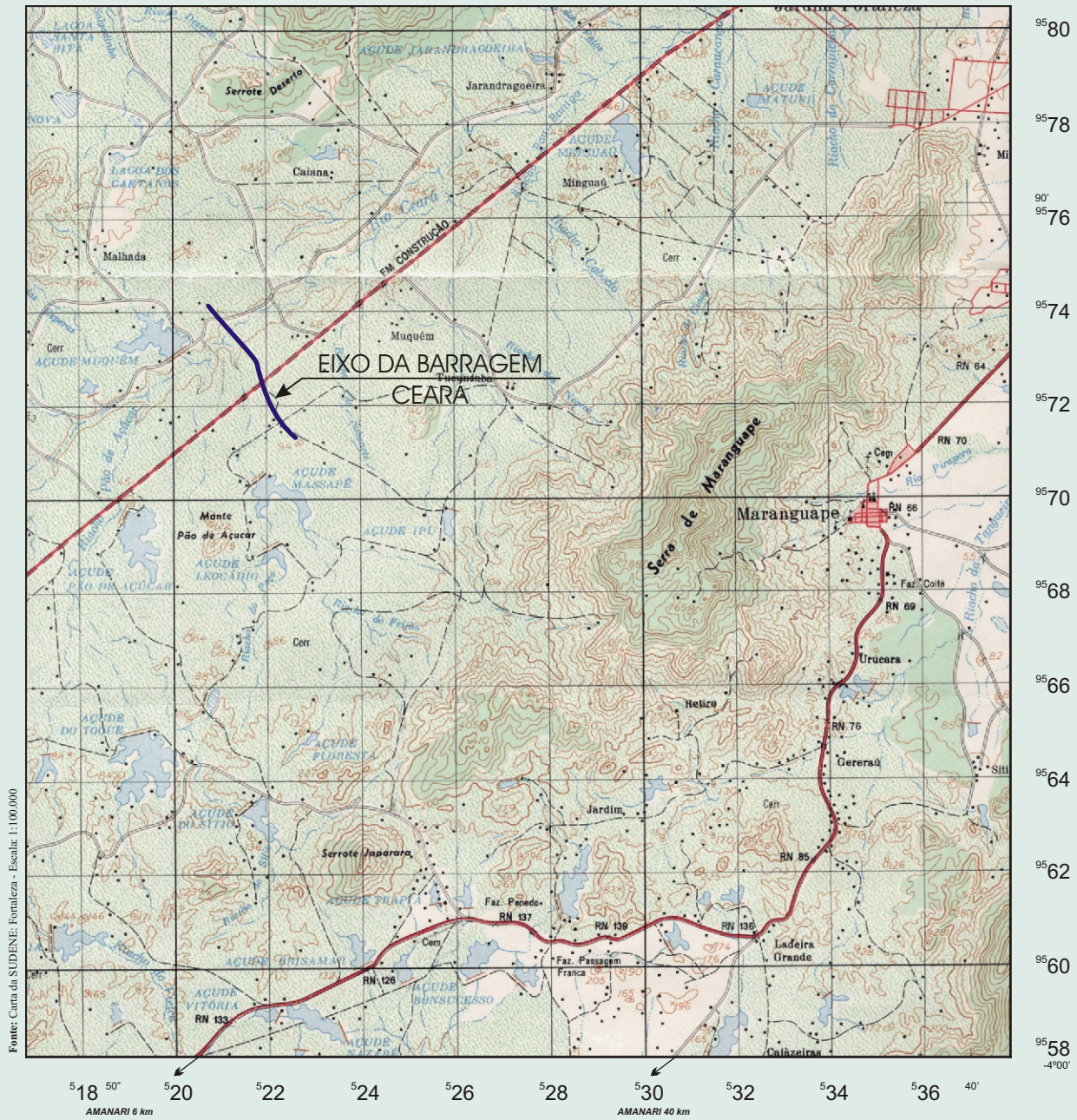
A seguir apresentamos a localização do empreendimento a nível estadual e regional.



Fonte: Atlas do Ceará - IPLANCE.

FIGURA - 2.1
MAPA DE LOCALIZAÇÃO E ACESSO

Figura 2.2
Mapa de Localização da Barragem no âmbito Regional
 (Sem Escala)





MONTGOMERY WATSON



2. CÁLCULO DA FOLGA



2. CÁLCULO DA FOLGA

A folga da barragem é a diferença de cota entre o coroamento e o nível máximo das águas. A folga é dada pela expressão:

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

Onde h é a altura da onda formada pela ação dos ventos sobre o espelho d'água do lago, enquanto h é dado por :

$$h = 0,75 + 0,34f^{1/2} - 0,26f^{1/4} \text{ (m) para } F < 18\text{Km}$$

$$h = 0,34f^{1/2} \text{ (m) para } F > 18\text{Km}$$

Onde F = distância máxima (em km) em linha reta entre qualquer extremidade do lago e um ponto qualquer sobre o barramento (fecht).

V = Velocidade da onda em m/s dado pela fórmula:

$$V = 1,5 + 2h \text{ (m/s)}$$

Para o lago da barragem Ceara tem-se $F = 7,28\text{Km}$, logo:

$$h = 0,75 + 0,34 \times 7,28^{1/2} - 0,26 \times 7,28^{1/4}$$

$$h = 1,24\text{m}$$

$$V = 1,5 + 2 \times 1,24 = 3,98\text{m/s}$$

$$f = 0,75 \times 1,29 + \frac{3,98^2}{2 \times 9,81} = 1,77\text{m}$$



MONTGOMERY WATSON



3. CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO



3. CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO

A cota do Coroamento da Barragem é dada pela expressão:

$$C_c = C_s + L + f$$

Onde:

C_c = Cota do Coroamento.

C_s = Cota da Soleira = 43,00m.

L = Lâmina vertente na cheia milenar = 1,00m.

f = folga = 1,77m.

$$C_c = 43,00 + 1,77 + 1,00 = 45,77m$$

Foi fixado a cota do coroamento igual a 46,00 m.



MONTGOMERY WATSON



4. CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO



4. CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO

Adotando-se a fórmula de Preece à seção de maior altura tem-se:

$$L_c = 1,10\sqrt{H_b} + 0,9 (m)$$

Onde:

L_c = Largura da barragem (m);

H_b = Altura da barragem (m).

Para a seção da Estaca 9 tem-se, após a remoção do solo orgânico, $H_b = 18m$ e

$$LC = 1,10x\sqrt{18} + 0,90 = 5,24m,$$

foi adotado $L_c = 6,0m$.



MONTGOMERY WATSON



5. ESCOLHA DA INCLINAÇÃO DOS TALUDES



5. ESCOLHA DA INCLINAÇÃO DOS TALUDES

A fixação dos taludes foi resultado de análise da estabilidade. Entretanto foi necessário se fazer uma escolha inicial para em seguida se fazer a análise.

O Bureau of Reclamation apresenta a tabela abaixo:

| CASO | SUJEITO A ESVAZIAMENTO RÁPIDO | CLASSIFICAÇÃO 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 |

Terzaghi apresentou, para efeito de anteprojeto, as inclinações aconselháveis que são mostrados no quadro a seguir:

| TIPO DE MATERIAL | TALUDES | |
|---|----------|---------|
| | MONTANTE | JUSANTE |
| Seção Homogênea – Solo bem graduado | 1 : 2,5 | 1 : 2 |
| Seção Homogênea – Silte grosso | 1 : 3 | 1 : 2,5 |
| Seção Homogênea – Argila ou argila siltosa, altura menor que 15m | 1 : 2,5 | 1 : 2 |
| Seção Homogênea – Argila ou argila siltosa, altura maior que 15m | 1 : 3 | 1 : 2,5 |
| Areia ou Pedregulho e areia com núcleo de Argila | 1 : 3 | 1 : 2,5 |
| Areia ou Pedregulho com cortina de concreto armado | 1 : 2,5 | 1 : 2 |



O engenheiro Paulo Teixeira da Cruz em sua obra 100 Barragens Brasileiras sugere os seguintes taludes preliminares que são mostrados na tabela abaixo:

| TIPO DE MATERIAL | MONTANTE | JUSANTE |
|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Solos Compactados | 2:5(H) : 1,0(V) 3,0(H) : 1,0(V) | 2:0(H) : 1,0(V) |
| Solos Compactados Argilosos | 2:0(H) : 1,0(V) 3,0(H) : 1,0(V) | 2:0(H) : 1,0(V) 2,5(H) : 1,0(V) |
| Solos Compactados Siltosos | 3,5(H) : 1,0(V) | 3,0(H) : 1,0(V) |
| Enrocamentos | 1:3(H) : 1,0(V) 1,6(H) : 1,0(V) | 1:3(H) : 1,0(V) 1,6(H) : 1,0(V) |

Os solos das Jazidas J-01 a J-05 são do Tipo SC-SM, portanto analisando as tabelas juntamente com os materiais que serão usados na construção adotou-se para análise os taludes de Montante de 1:2,5 (V:H) e Jusante de 1:2 (V:H) com berma de 4,0m de largura na cota 36,00m.



MONTGOMERY WATSON



6. DIMENSIONAMENTO DO RIPRAP



6. DIMENSIONAMENTO DO RIPRAP

Adotando a fórmula recomendado pelo Tennessee Valley Authority (TVA) tem-se:

$$e = CV^2$$

Onde:

e = Espessura do riprap (m);

C = Coeficiente, função da inclinação do talude e da densidade da rocha;

V = Velocidade da onda (m/s).

Tem-se :

$$V = 3,98m/s$$

$$C = 0,030m$$

$$e = 0,030 \times 3,98^2 = 0,475m$$

Será adotado $e = 0,70m$.

Os blocos empregados na construção do riprap devem ter no mínimo 50% de pedras com peso igual a:

$$P_{50\%} = 0,52 \cdot \gamma \cdot e^3$$

Onde:

$P_{50\%}$ = Peso do que compõem 50% do riprap (tf);

γ = Peso específico da rocha = 2,50 tf/m³;

e = Espessura do riprap em (m).

Portanto tem-se:



$$P_{50\%} = 0,52 \times 2,5 \times 0,70^3 = 0,45tf$$

Tem-se ainda:

$$P_{MAX} = 3 \times P_{50\%} = 1,35tf$$

$$P_{MIN} = 0,25 \times P_{50\%} = 0,1tf$$

$$D_{50\%} = \left[\frac{P_{50\%}}{0,75 \times \gamma} \right]^{1/3} \cong 0,62m$$

$$D_{max} = \left[\frac{P_{max}}{0,75 \times \gamma} \right]^{1/3} \cong 0,90m$$

Adotou-se:

$$D_{max} = 0,70m$$

$$D_{min} = \left[\frac{P_{min}}{0,75 \times \gamma} \right]^{1/3} \cong 0,39m$$

O riprap será assente sobre uma camada de transição com 0,20m de espessura obtida de produto de britagem, atendendo aos seguintes requisitos:

- Material filtrante x Solo Compactado

$$(D_{15})_{FILTRO} \leq 5 \times (D_{85})_{SOLO}$$

- Material filtrante x Riprap

Como a altura da onda varia entre 1,20 e 3,0m então deve-se ter:

$$3,8 \leq (D_{85})_{FILTRO} \leq 5,1cm$$

- Apresentar curvas granulométricas aproximadamente paralelas.



O solo compactado do maciço apresenta a seguinte granulometria média, mostrado no quadro a seguir:

| SOLO COMPACTADO | |
|-----------------|-------------------------|
| Peneiras (mm) | Faixa Granulometria (%) |
| 19,10 | 100 |
| 12,70 | 100 |
| 9,52 | 98 |
| 4,80 | 92 |
| 2,00 | 85 |
| 0,42 | 58 |
| 0,15 | 44 |
| 0,075 | 37 |

Tem-se:

$$(D_{85})_{SOLO} = 2,0mm$$

$$(D_{15})_{FILTRO} \leq 6,0mm$$

Com essas informações, e recorrendo-se ao traçado das curvas granulométricas obtém o material de transição que deve ser produzido de britagem de rochas de pedreira.

| MATERIAL DE CONSTRUÇÃO | |
|------------------------|-------------------------|
| Peneiras (mm) | Faixa Granulometria (%) |
| 200 | 100 |
| 100 | 80 – 91 |
| 50,8 | 33 – 68 |
| 38,10 | 61 – 77 |
| 25,4 | 53 – 70 |
| 19,10 | 44 – 66 |
| (Nº 4) 12,27 | 26 – 57 |
| (Nº 10) 9,5 | 15 – 50 |
| 4,76 | 4 – 36 |
| 2,0 | - |

O material do riprap deve ser produzido com a seguinte granulometria:



| MATERIAL DO RIPRAP | |
|---------------------------|----------------------------|
| Peneiras (mm) | Faixa Granulometria |
| 700 | 100 |
| 600 | 74 – 98 |
| 500 | 10 – 82 |
| 400 | - |



MONTGOMERY WATSON



7. DETERMINAÇÃO DA LINHA FREÁTICA

7. DETERMINAÇÃO DA LINHA FREÁTICA

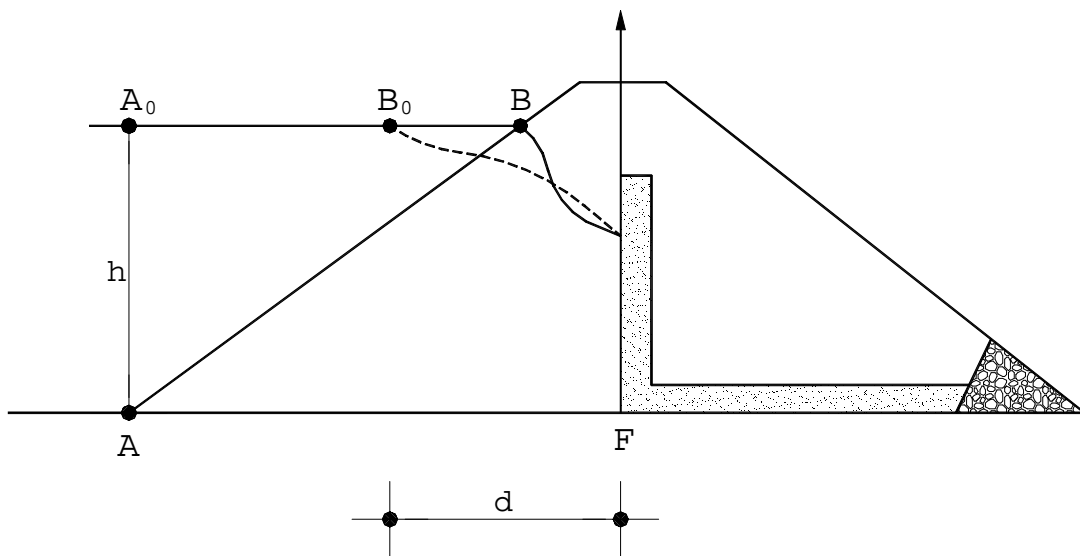
Para o traçado da linha freática utiliza-se a parábola de Kozeny dada por:

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

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 tem-se $B_0B = \frac{1}{3}A_0B$



Adotando uma anisotropia de $\frac{K_h}{K_v} = 9$, e fazendo uma mudança de variável tal que

$X = X_t$, onde $X_t = \sqrt{\frac{K_v}{K_h}} \cdot X$. Pode-se tratar o problema no sistema $(X_t ; Y)$ de

coordenadas como isotrópico. Desta forma tem-se :

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



para $X_t = d$ e $Y = h$, tem-se :

$$P = \sqrt{d^2 + h^2} - d$$

Para $d = 7,6$ e $h = 15,00$ tem-se:

$$p = 9,21m$$

Rearranjando a equação básica obtém-se:

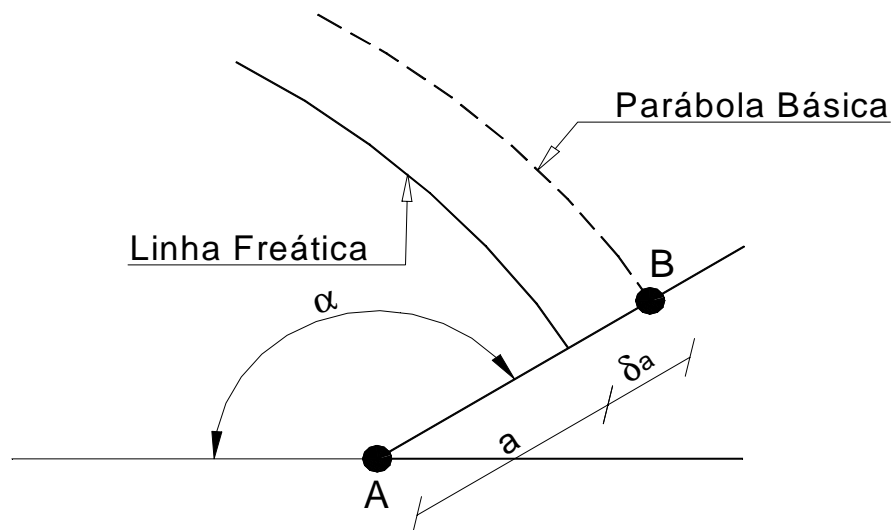
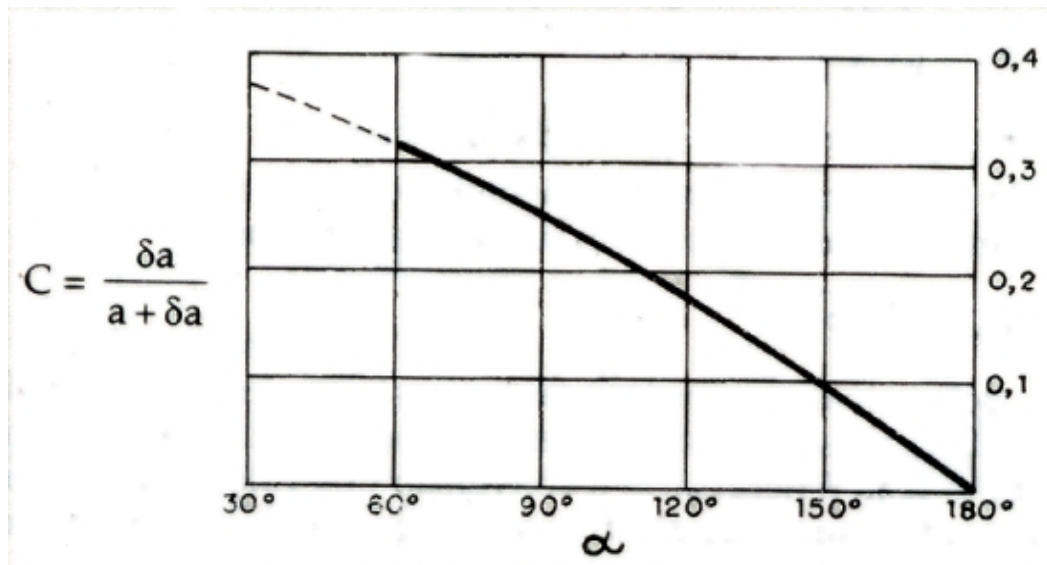
$$Y = \sqrt{P^2 + 2 \cdot X_t \cdot P}$$

Atribuindo valores a X_t obtém-se Y , conforme planilha a seguir:

| X_t | Y |
|-------|-------|
| 0 | 9,21 |
| 2,00 | 11,03 |
| 4,00 | 12,58 |
| 6,00 | 13,97 |
| 7,60 | 15,00 |

$Y_{\text{corrigido}}$ correspondente 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 :

$$a + \delta a = AB$$

Para $\alpha = 90^\circ$, tem-se $C = 0,25$

$$a + \delta a = 9,21m$$

$$\delta a = 2,30m$$

$$a = 6,91m$$



MONTGOMERY WATSON



8. DETERMINAÇÃO DA REDE DE FLUXO



8. DETERMINAÇÃO DA REDE DE FLUXO

O traçado da Rede de Fluxo foi feito sobre a seção deformada considerando o maciço da Barragem e fundação com a mesma permeabilidade para facilidade da construção.

O traçado da Rede de Fluxo obedeceu às condições de contorno. Embora o problema trate de um fluxo não confinado, ou seja, aquela onde a Linha Freática não é definida, foi adotado a Linha Freática obtida da parábola de Kozeny, fazendo as condições de entrada e saída.

A Rede de Fluxo para as seções transformada e verdadeira são mostradas nas figuras a seguir.

A carga de 15,00m foi dividida em oito saltos de queda de potencial. Foi considerada um maciço rochoso permeável com 12,0 metros de espessura e permeabilidade de $k_f = 2,0 \times 10^{-7} m / s$.

O Fluxo pelo maciço da Barragem se dá desde o paramento de montante até o filtro vertical em 5,0 canais de fluxo. Já no maciço de fundação o fluxo se dá desde de montante até a saída em jusante em 4,85 canais de Fluxo.

As vazões no maciço da Barragem e no maciço de fundação são dados por:

$$Q = K \cdot H \cdot \frac{N_f}{N_d}$$

Para o maciço da Barragem tem-se:

$$K = 10^{-9} m / s$$

$$H = 15,00m$$

$$N_f = 5,0$$

$$N_d = 8$$



Logo:

$$Q_M = 1,0 \times 10^{-9} \times 15,00 \times \frac{5,0}{8} = 9,3 \times 10^{-9} m^3 / s \times m$$

Para o maciço de fundação tem-se:

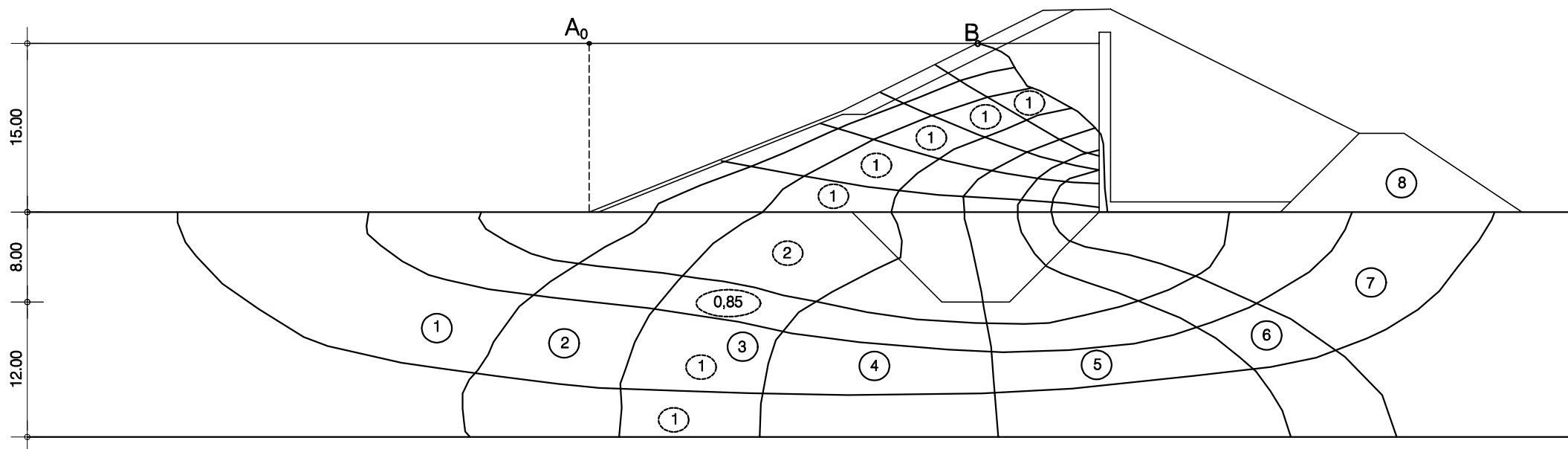
$$Q_f = 2,7 \times 10^{-7} \times 15,00 \times \frac{4,85}{8} = 2,4 \times 10^{-6} m^3 / s \times m$$

A vazão total que sairá no tapete horizontal será:

$$Q_t = Q_m + Q_f \cong Q_f = 2,41 \times 10^{-6} m^3 / s \times m$$

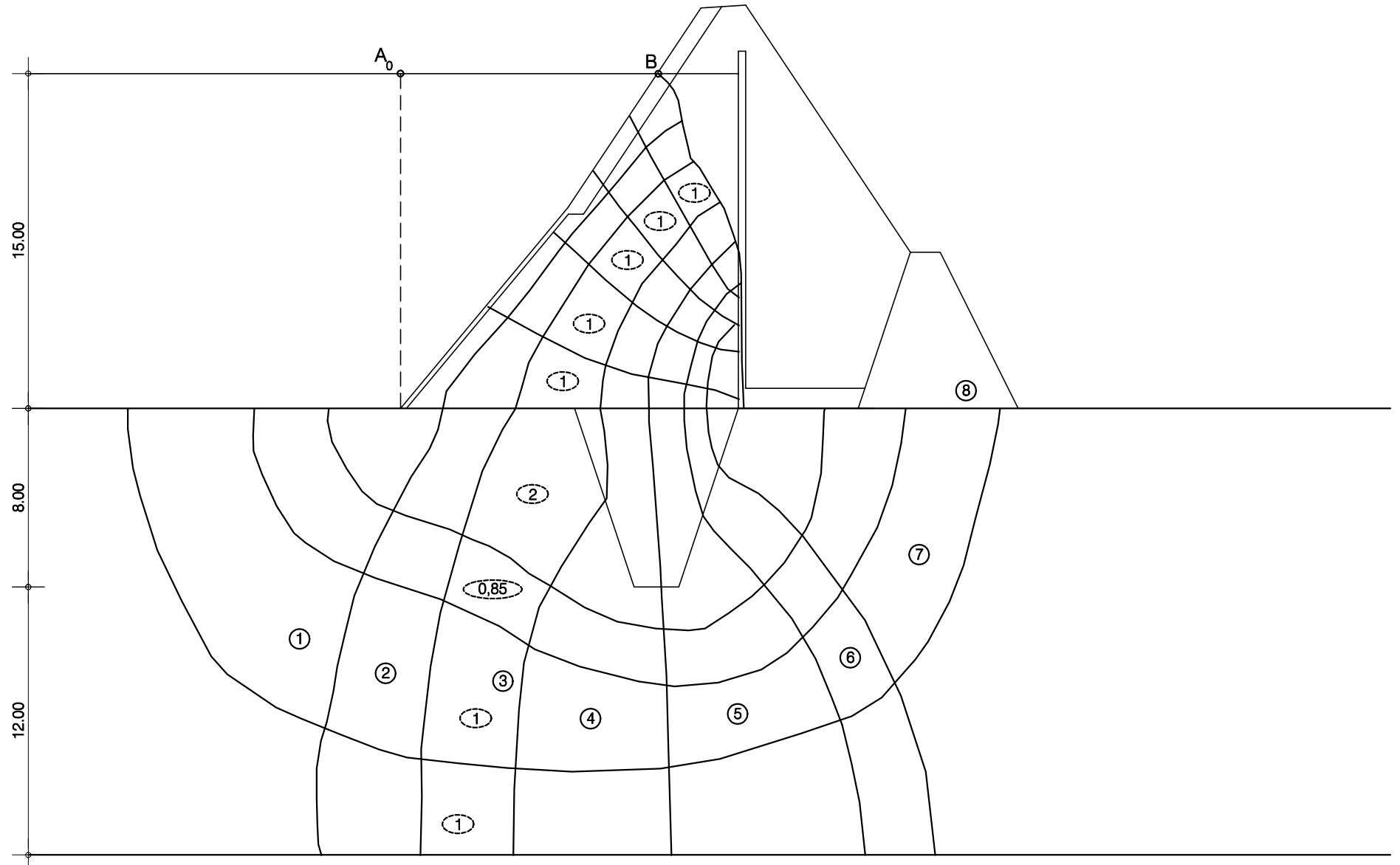
BARRAGEM CEARÁ
REDE DE FLUXO
SEÇÃO NORMAL

ESC. 1:500



BARRAGEM CEARÁ
REDE DE FLUXO
SEÇÃO DEFORMADA

ESC. 1:250





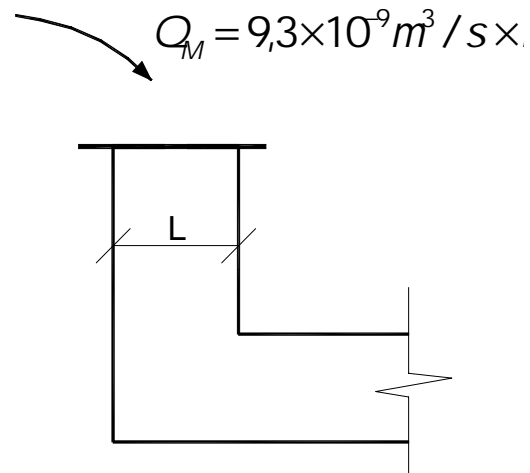
MONTGOMERY WATSON



9. DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL



9. DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL



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

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

$$i = 0,80$$

$$K_a = 9,0 \times 10^{-5} \text{ m / s}$$

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

$$L = \frac{Q}{K \cdot i} = \frac{9,3 \times 10^{-9}}{9,0 \times 10^{-5} \times 1,0} = 1,03 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Adotou-se $L = 0,80 \text{ m}$, por questões construtivas e principalmente devido a escassez do produto na região. Essa largura permite a execução escavando-se o maciço executado a cada 1,0 a 2,0 m de defasagem.



MONTGOMERY WATSON

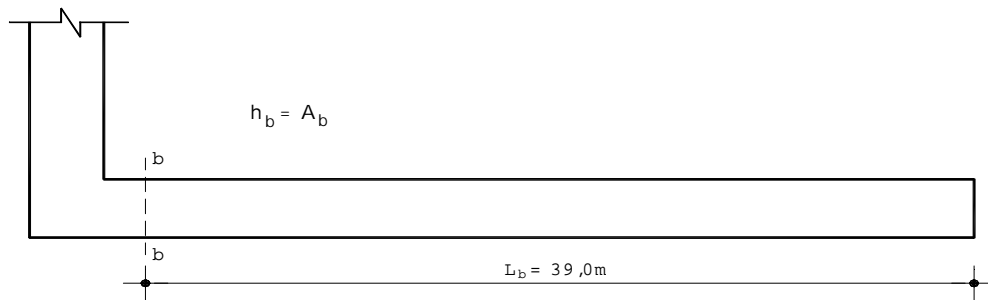


10. DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL



10. DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL

A vazão na seções final do tapete é de $2,41 \times 10^{-5} m^3 / s \times m$.



$$K_b = \frac{Q}{i \cdot A_b}$$

$$h_b = A_b$$

$$i = \frac{h_b}{L_b}$$

$$K_b = \frac{Q_b}{\left(\frac{h_b}{L_b}\right) \cdot A_b} = \frac{Q_b \cdot L_b}{A_b^2}$$

$$A_b^2 = \frac{Q_b \cdot L_b}{K_b}$$

$$A_b = \sqrt{\frac{2,41 \times 10^{-5} \times 39}{K_b}}$$

$$A_b = \sqrt{\frac{9,4 \times 10^{-5}}{K_b}}$$

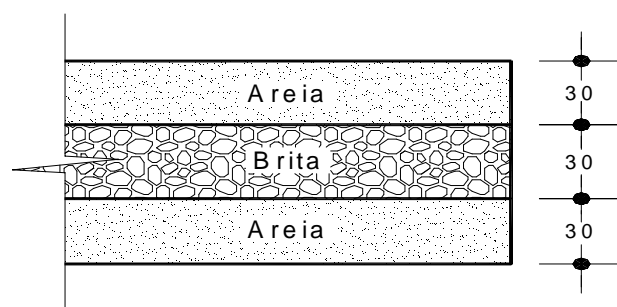
Usando apenas areia com $K_A = 9,0 \times 10^{-5} m / s$, tem-se :



$$A_b = \sqrt{\frac{9,4 \times 10^{-5}}{9,0 \times 10^{-5}}} = 1,02m.$$

Adotando um tapete drenante formado por duas camadas de areia grossa e uma de brita. As camadas tem 0,30m de espessura.

A permeabilidade da brita é de $K_b = 10^2 m / s$.



A permeabilidade equivalente do dreno Sandwich será:

$$K_{eq} = \frac{0,60K_A + 0,3K_b}{0,90} = 3,3 \times 10^{-3} m / s$$

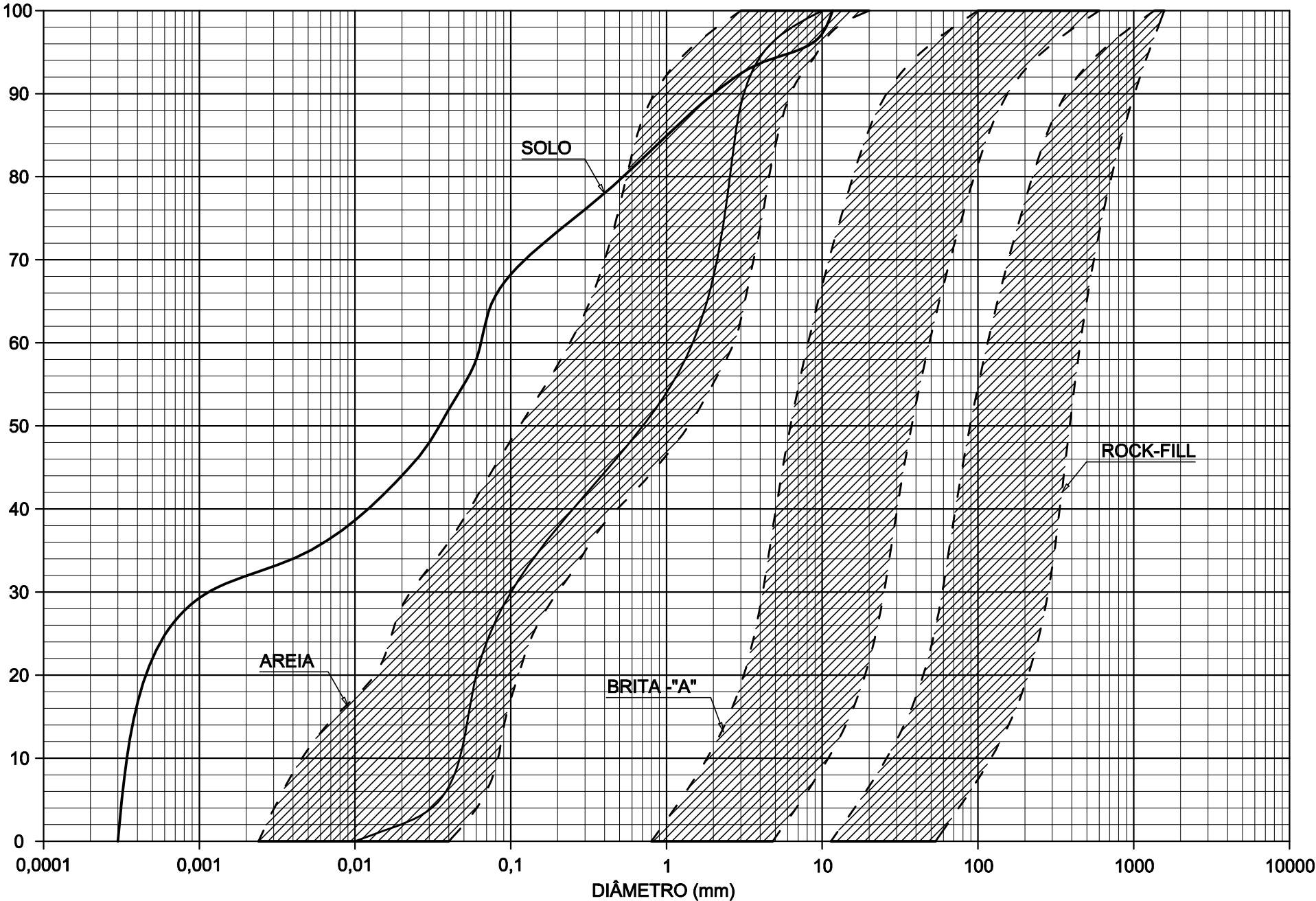
Para essa permeabilidade a espessura necessária será:

$$A_b = h_b = \sqrt{\frac{9,4 \times 10^{-5}}{3,3 \times 10^{-3}}} = 0,17m \text{ OK!}$$

As curvas granulométricas para as camadas de areia e brita são apresentadas na figura a seguir. As curvas granulométricas foram definidas a partir dos princípios de Bertram¹

¹ Bertram, G.E, " Na Experimental Investigation of Protective Filters", Public. Grad. Sch. Of Eng. Harvand Univ., Cambridge, 1940.

FAIXA GRANULOMÉTRICA AREIA / BRITA - "A" / ROCK-FILL





MONTGOMERY WATSON



11. ANÁLISE DA ESTABILIDADE



11. ANÁLISE DA ESTABILIDADE

A análise da estabilidade foi verificada para as situações estática e sísmica. Utilizou-se o programa 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 da gravidade. Para as análises de Regime Permanente adotou-se o fator igual a 0,10.

Para as análises de Final de Construção e rebaixamento rápido adotou-se o fator igual a 0,10.

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 Ceará - Estabilidade

| SITUAÇÃO | TALUDE | FATOR DE SEGURANÇA | | | FS _{min} |
|---------------------------------|----------|--------------------|---------------|----------|-------------------|
| | | Determinado | | | |
| | | Superficial | Intermediária | Profunda | |
| Final de Construção | Montante | 1,444 | 1,367 | 1,319 | 1,3 |
| | Jusante | 1,435 | 1,326 | 1,446 | 1,3 |
| Final de Construção - Terremoto | Montante | 1,138 | 1,074 | 1,045 | 1,0 |
| | Jusante | 1,132 | 1,099 | 1,144 | 1,0 |
| Reservatório Cheio | Jusante | 1,592 | 1,523 | 1,517 | 1,5 |
| Reservatório Cheio - Terremoto | Jusante | 1,256 | 1,216 | 1,204 | 1,0 |
| Esvaziamento Rápido | Montante | 1,143 | 1,126 | 1,114 | 1,1 |
| Esvaziamento Rápido - Terremoto | Montante | 1,095 | 1,015 | 1,022 | 1,0 |



Todos os fatores de segurança encontrados foram superiores aos coeficientes de segurança mínimos recomendados em bibliografia.

Na tabela a seguir é mostrado os parâmetros geotécnicos adotados para a análise de estabilidade da barragem.

PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

| Material | γ (kN/m ³) | C (kPa) | ϕ (graus) | Ru |
|---------------|-------------------------------|---------|----------------|------|
| Riprap | 18,0 | 0,00 | 38° | 0,00 |
| Espaldar | 18,5 | 8,00 | 27° | 0,10 |
| Filtro | 18,0 | 0,00 | 35° | 0,10 |
| Rock-fill | 20,0 | 0,00 | 38° | 0,00 |
| Núcleo | 18,5 | 10,00 | 27° | 0,10 |
| Cutoff | 20,2 | 10,00 | 27° | 0,10 |
| Aluvião | 17,0 | 0,00 | 28° | 0,10 |
| Solo Residual | 21,0 | 0,00 | 37° | 0,10 |

Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: SEÇÃO TIPO DE ESTABILIDADE
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 19:28:55

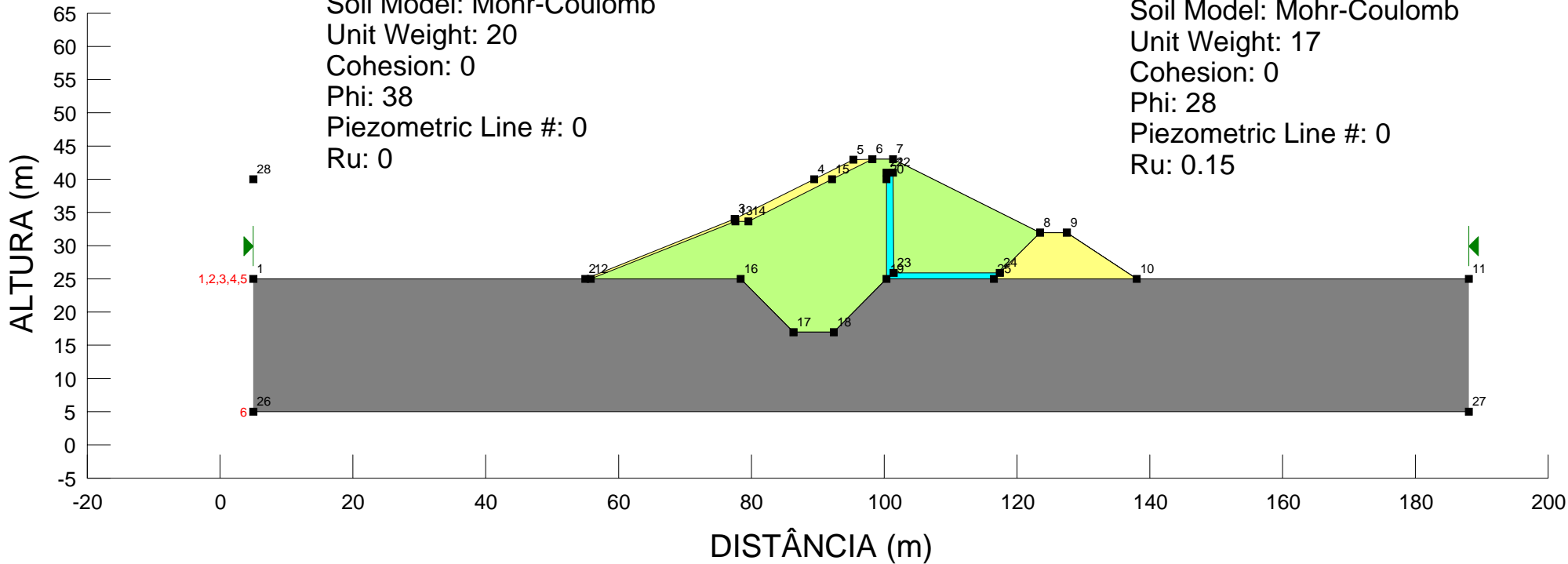
Soil: 1
 Description: RIPRAP
 Soil Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 18
 Cohesion: 0
 Phi: 38
 Piezometric Line #: 0
 Ru: 0

Soil: 2
 Description: MACIÇO E CUTOFF
 Soil Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 18.5
 Cohesion: 8
 Phi: 27
 Piezometric Line #: 0
 Ru: 0.15

Soil: 3
 Description: FILTRO/TAPETE
 Soil Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 18
 Cohesion: 0
 Phi: 35
 Piezometric Line #: 0
 Ru: 0

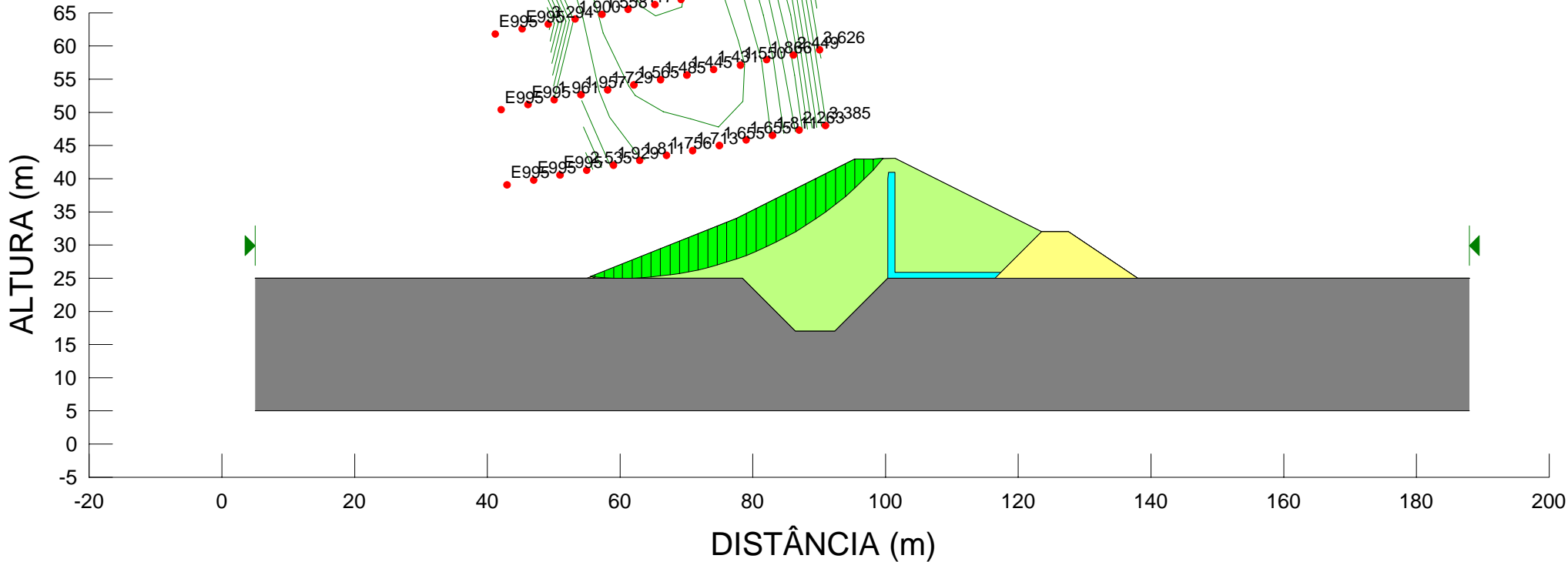
Soil: 4
 Description: ROCK-FILL
 Soil Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 20
 Cohesion: 0
 Phi: 38
 Piezometric Line #: 0
 Ru: 0

Soil: 5
 Description: ALUVIÃO
 Soil Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 17
 Cohesion: 0
 Phi: 28
 Piezometric Line #: 0
 Ru: 0.15



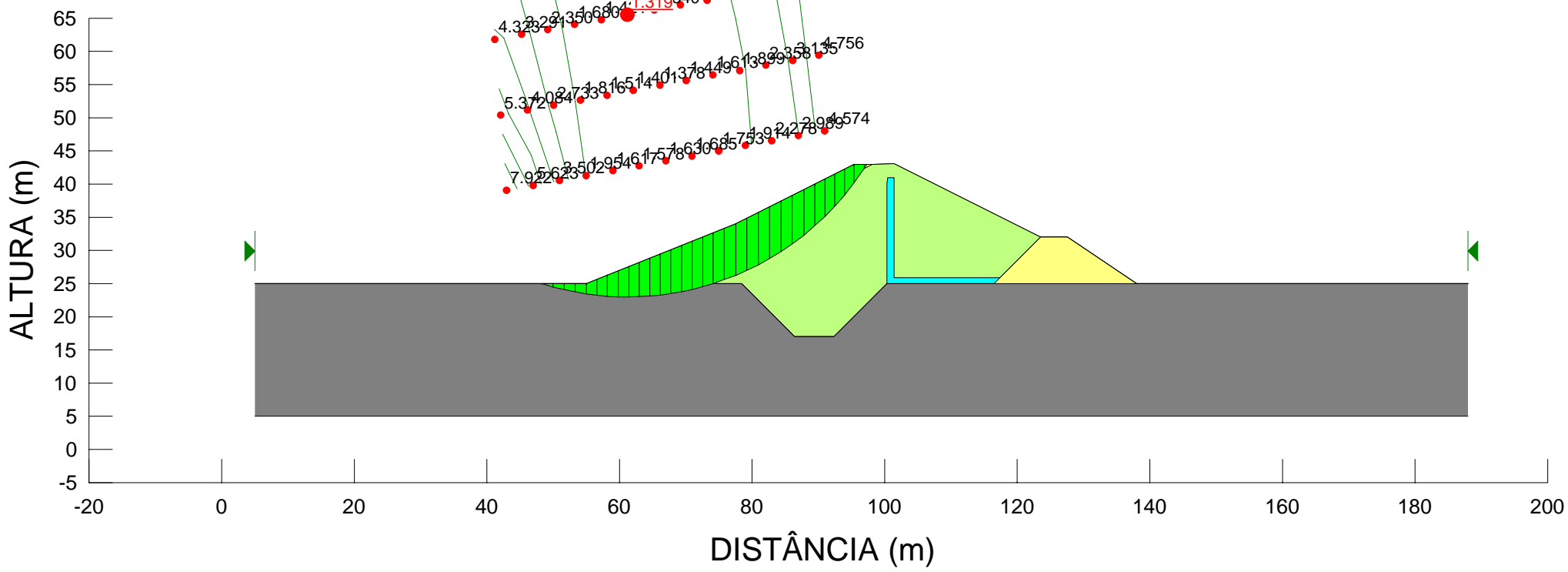
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA
 File Name: CEFCMI.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 18:29:09
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Right to Left
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)

FINAL DE CONSTRUÇÃO
 TALUDE DE MONTANTE
 CAMADA INTERMEDIÁRIA



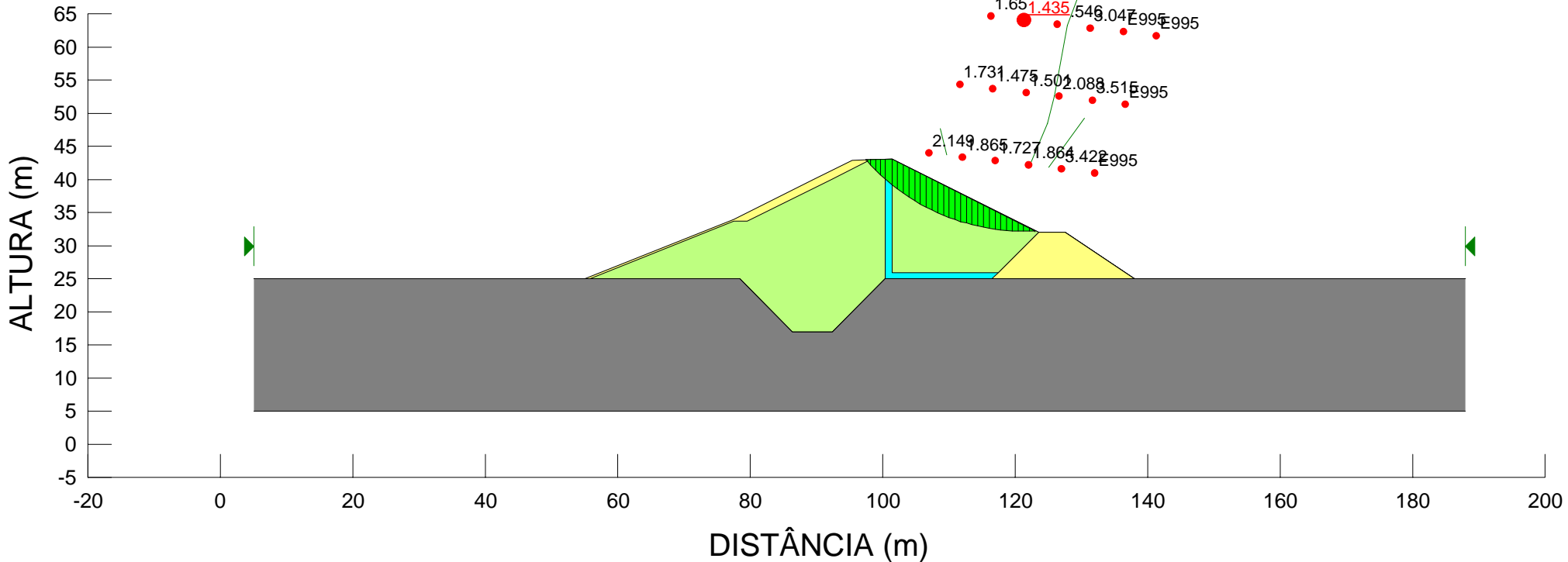
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA
 File Name: CEFCMP.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 18:32:26
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Right to Left
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)

FINAL DE CONSTRUÇÃO
 TALUDE DE MONTANTE
 CAMADA PROFUNDA



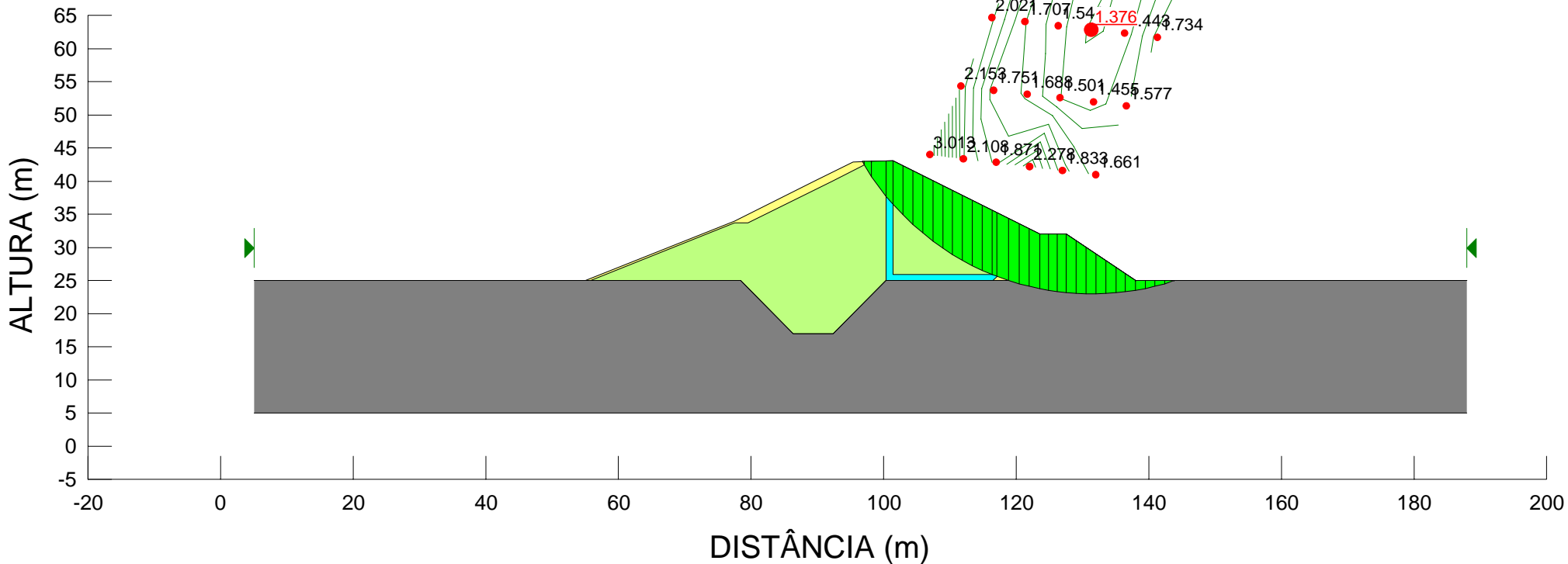
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA
 File Name: CEFCJS.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 18:46:08
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Left to Right
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)

FINAL DE CONSTRUÇÃO
 TALUDE DE JUSANTE
 CAMADA SUPERFICIAL



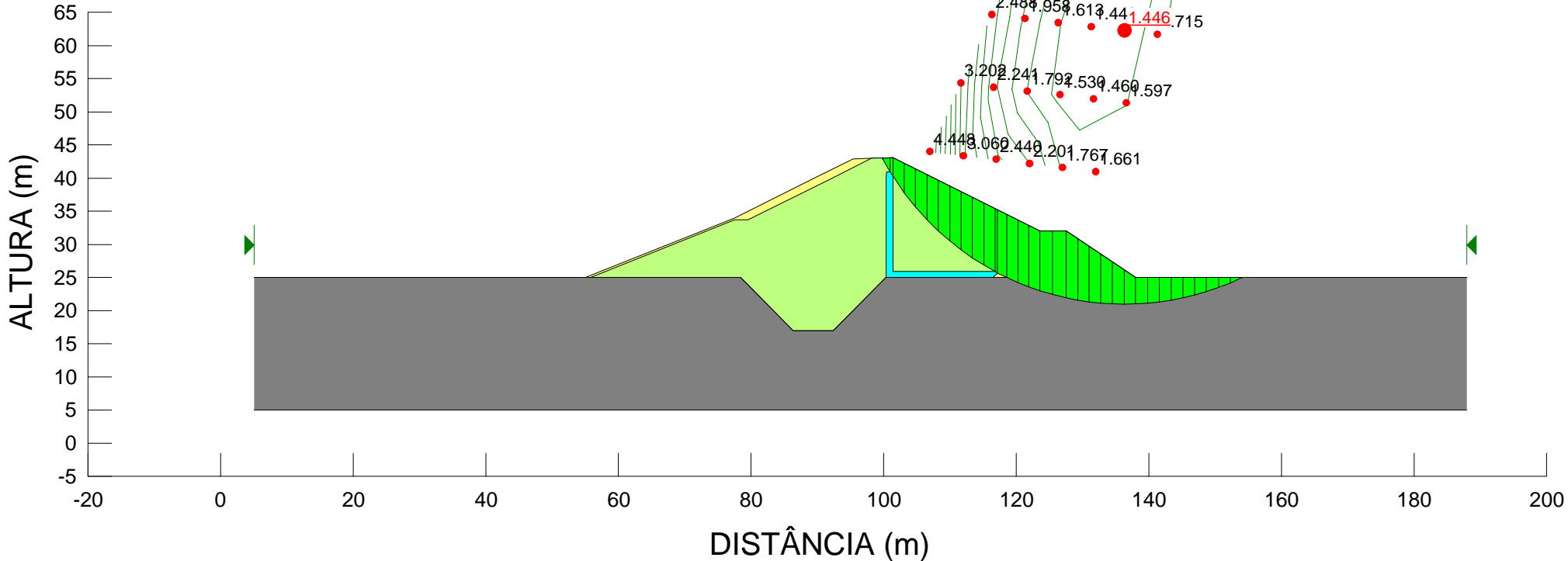
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA
 File Name: CEFCJI.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 18:44:41
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Left to Right
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)

FINAL DE CONSTRUÇÃO
 TALUDE DE JUSANTE
 CAMADA INTERMEDIÁRIA



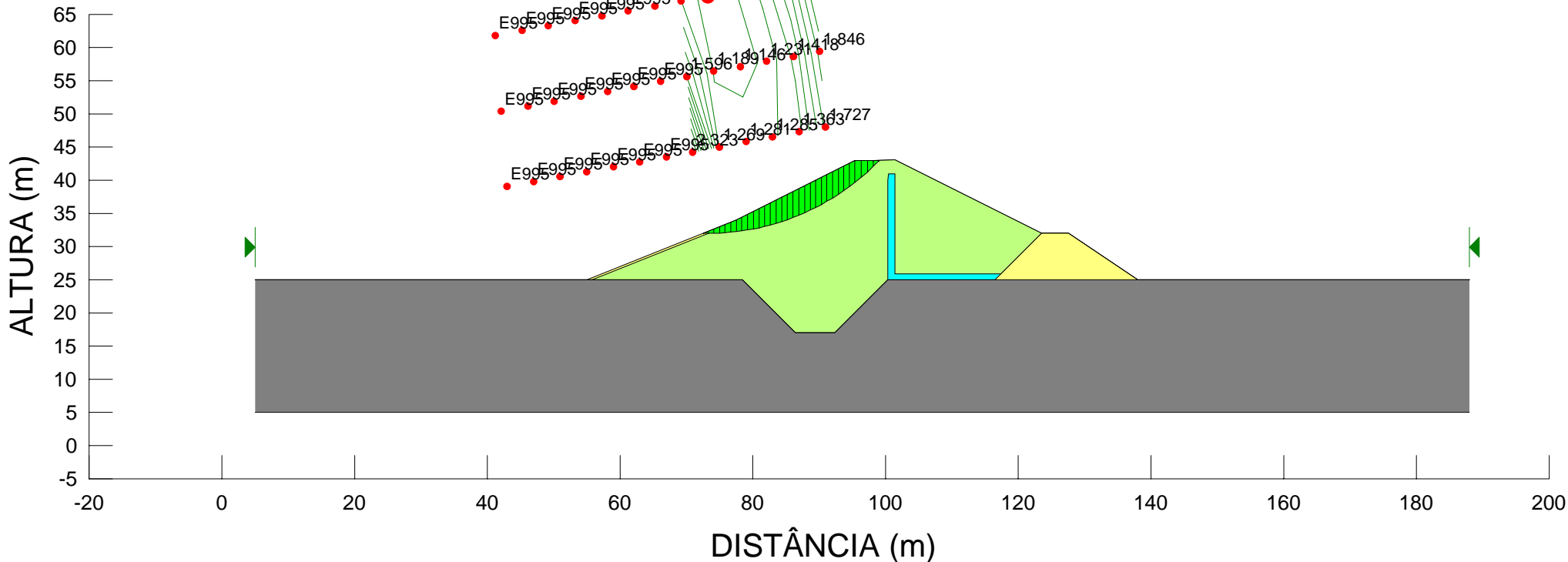
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA
 File Name: CEFCJP.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 18:47:32
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Left to Right
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)

FINAL DE CONSTRUÇÃO
 TALUDE DE JUSANTE
 CAMADA PROFUNDA



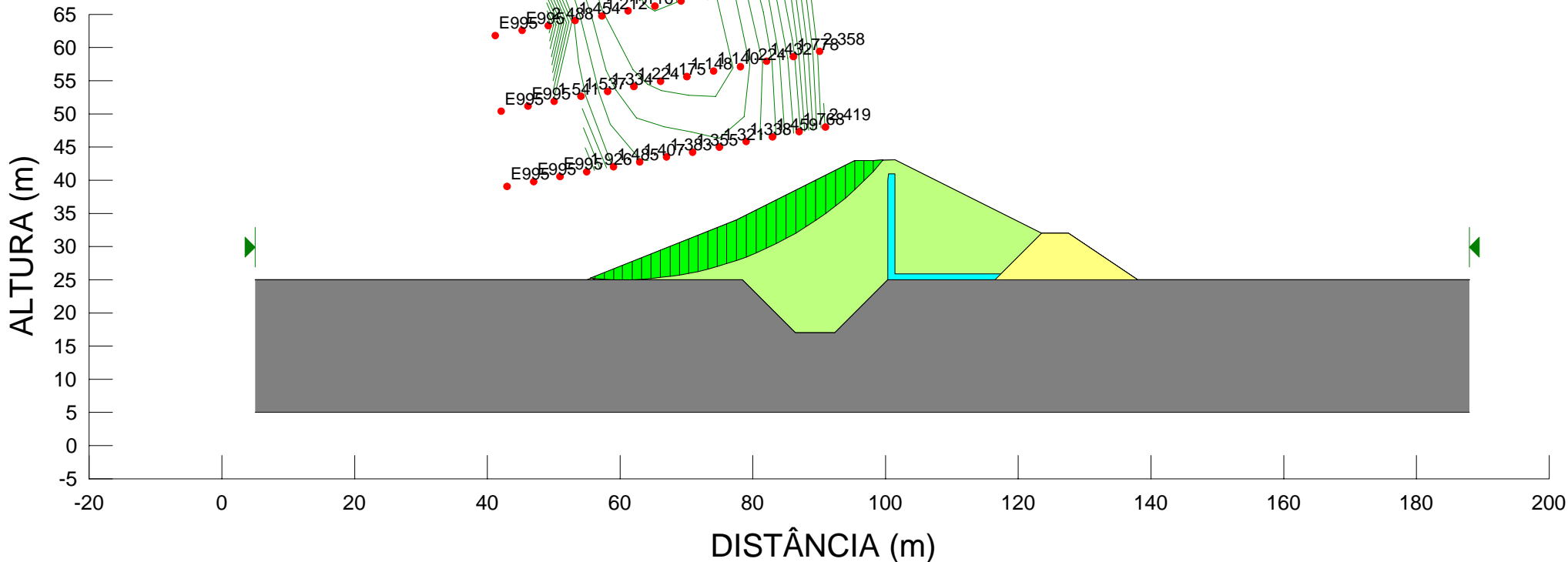
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO
 File Name: CSFCMS.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 18:36:18
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Right to Left
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical

FINAL DE CONSTRUÇÃO
 TALUDE DE MONTANTE
 CAMADA SUPERFICIAL



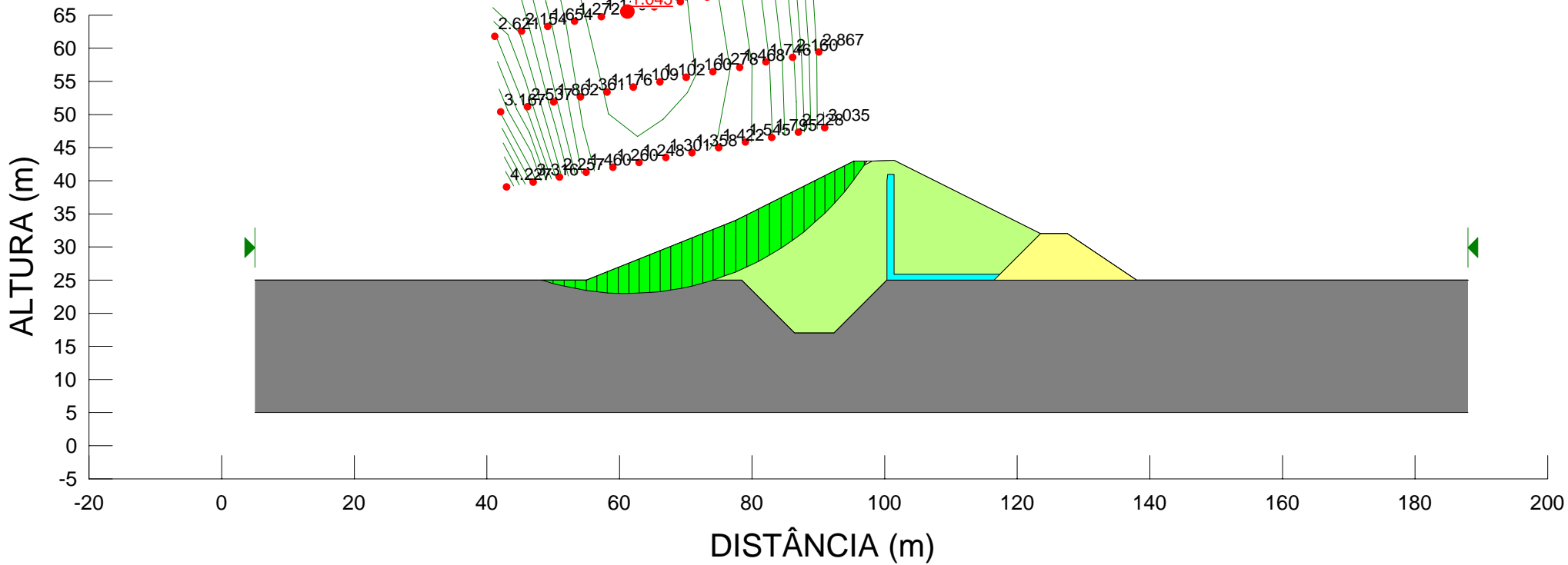
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO
 File Name: CSFCMI.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 18:35:23
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Right to Left
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical

FINAL DE CONSTRUÇÃO
 TALUDE DE MONTANTE
 CAMADA INTERMEDIÁRIA



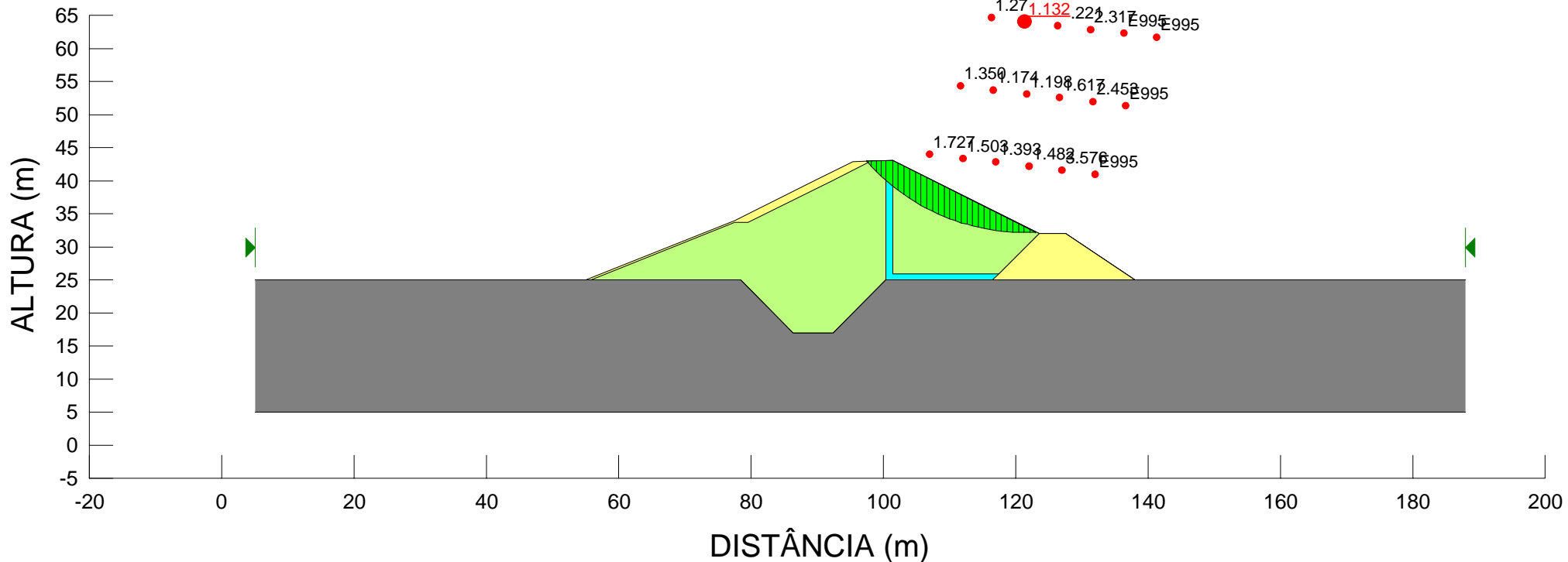
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO
 File Name: CSFCMP.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 18:33:40
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Right to Left
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical

FINAL DE CONSTRUÇÃO
 TALUDE DE MONTANTE
 CAMADA PROFUNDA



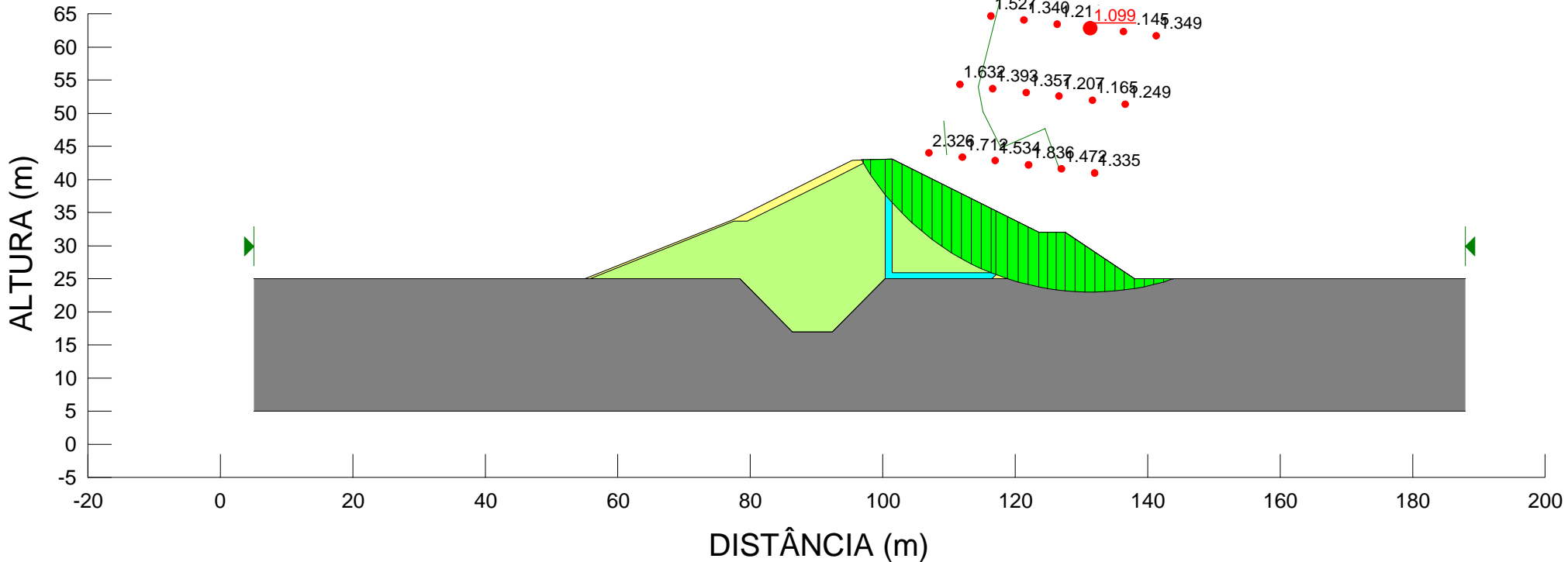
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO
 File Name: CSFCJS.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 18:53:59
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Left to Right
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical

FINAL DE CONSTRUÇÃO
 TALUDE DE JUSANTE
 CAMADA SUPERFICIAL



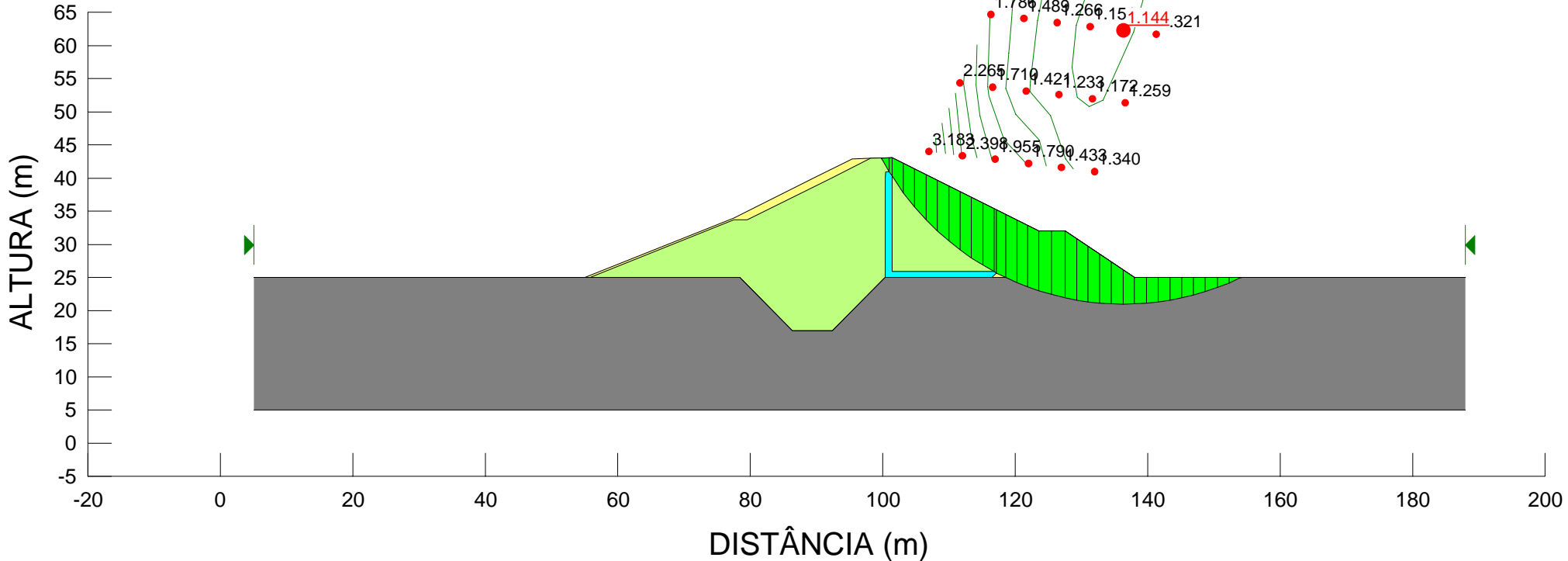
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO
 File Name: CSFCJI.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 18:50:18
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Left to Right
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical

FINAL DE CONSTRUÇÃO
 TALUDE DE JUSANTE
 CAMADA INTERMEDIÁRIA



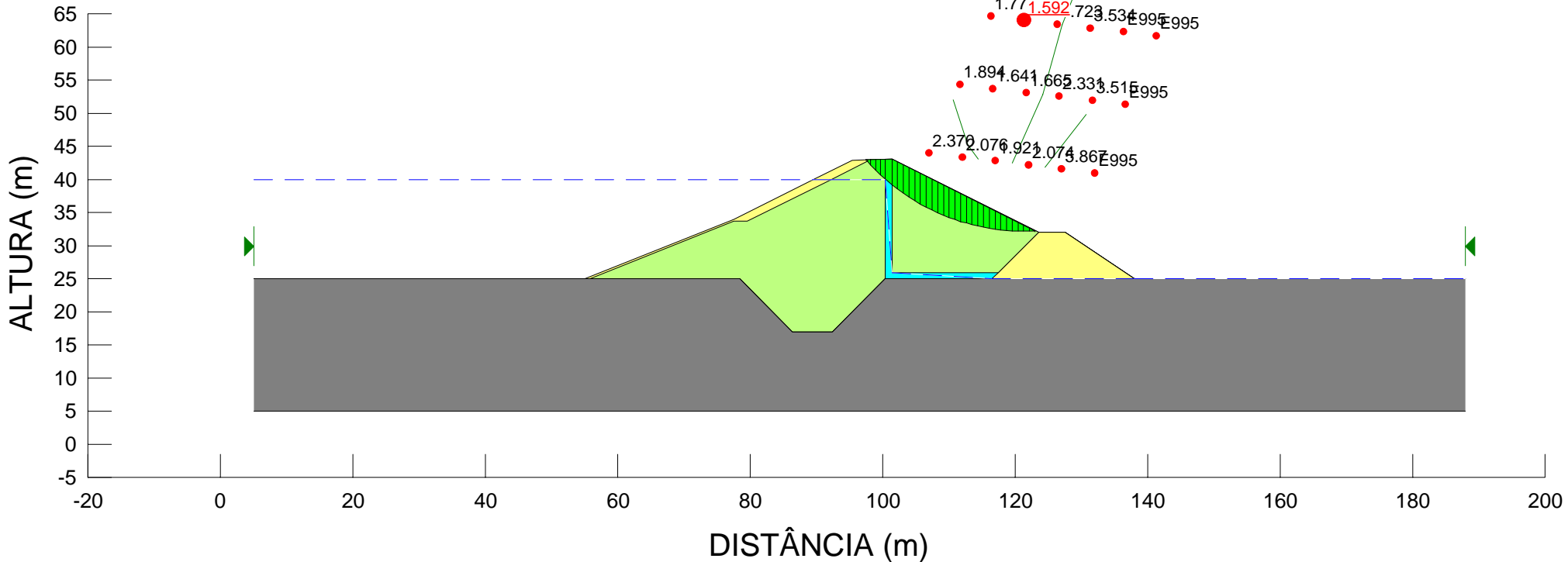
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO
 File Name: CSFCJP.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 18:48:58
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Left to Right
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical

FINAL DE CONSTRUÇÃO
 TALUDE DE JUSANTE
 CAMADA PROFUNDA



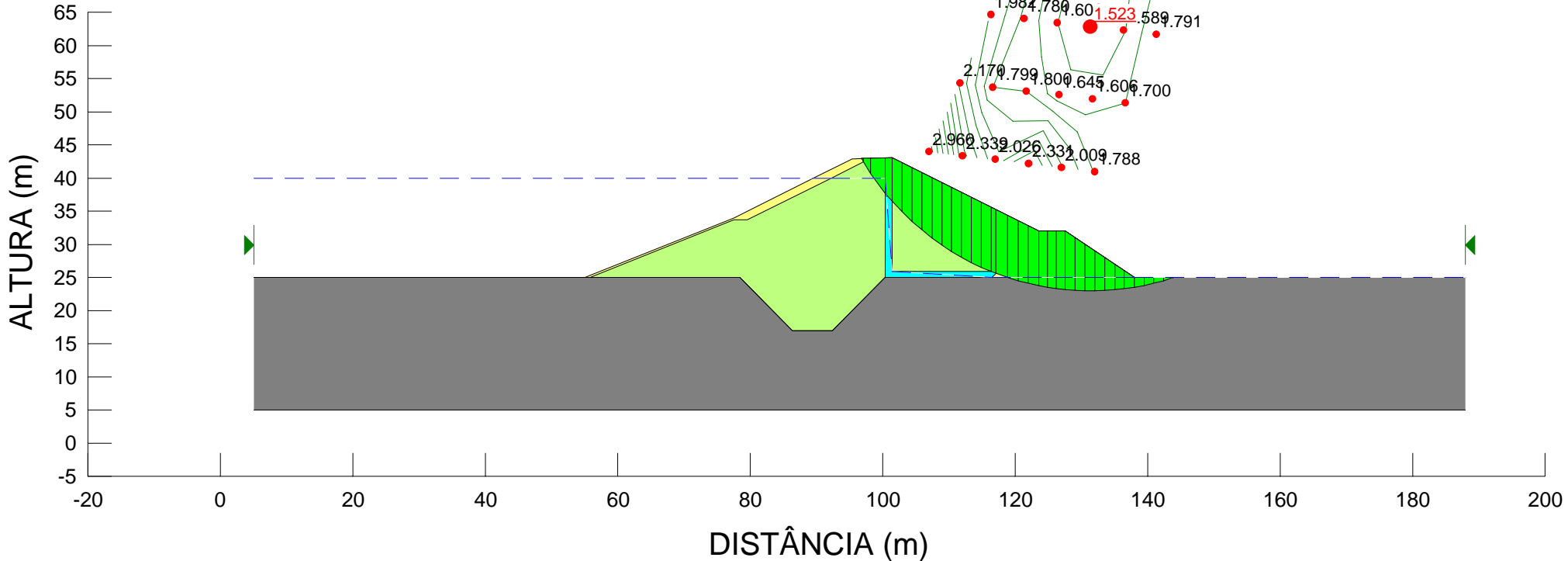
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA
 File Name: CERCJS.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 19:02:46
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Left to Right
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)

RESERVATÓRIO CHEIO
 TALUDE DE JUSANTE
 CAMADA SUPERFICIAL



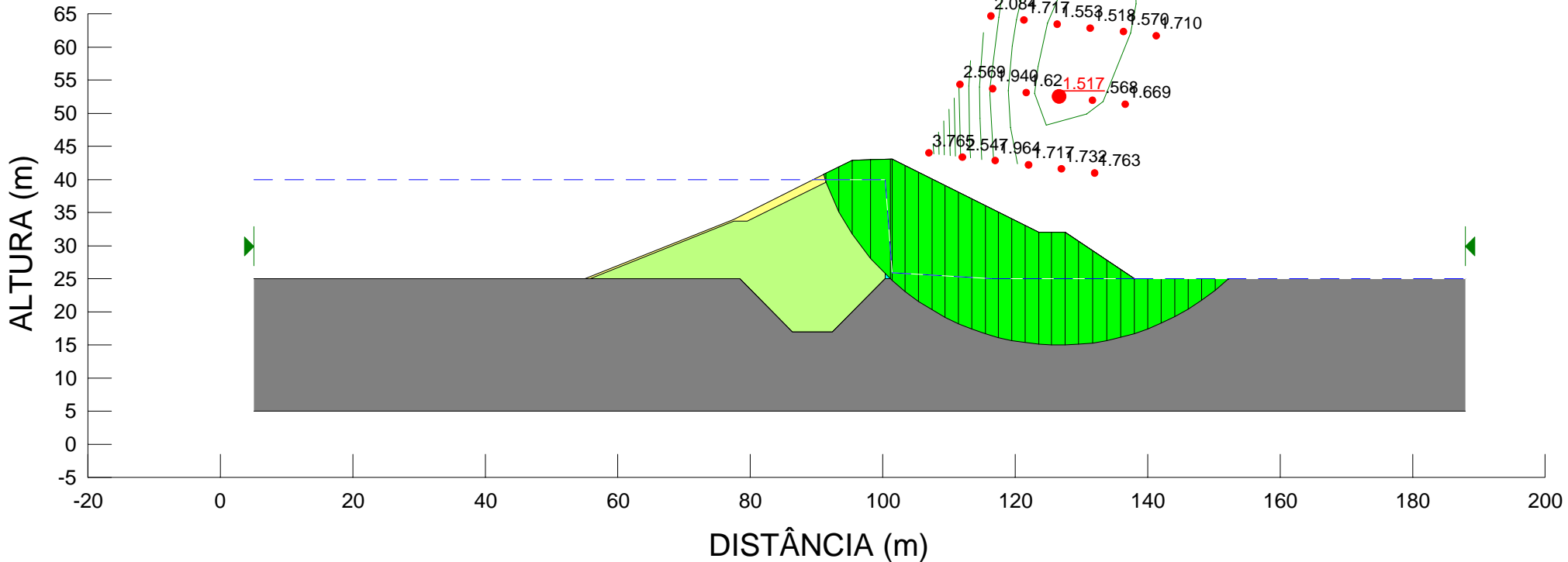
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA
 File Name: CERCJI.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 19:01:12
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Left to Right
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)

RESERVATÓRIO CHEIO
 TALUDE DE JUSANTE
 CAMADA INTERMEDIÁRIA



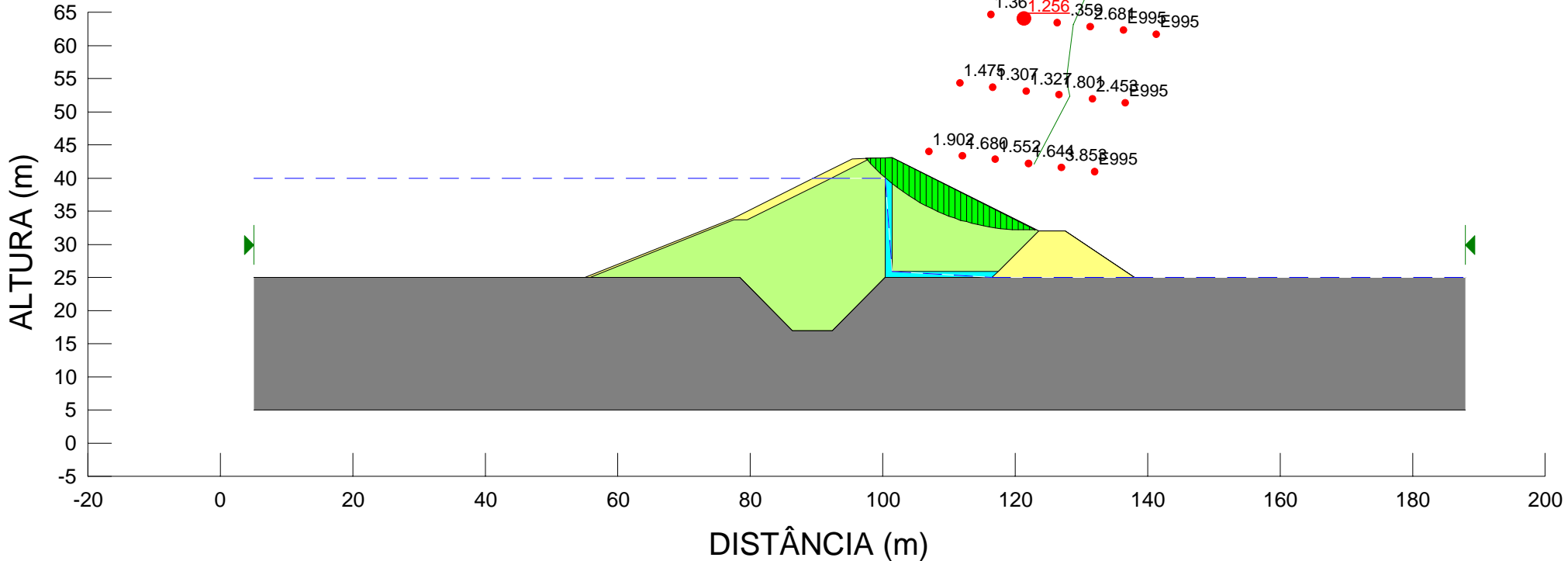
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA
 File Name: CERCJP.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 19:05:37
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Left to Right
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)

RESERVATÓRIO CHEIO
 TALUDE DE JUSANTE
 CAMADA PROFUNDA



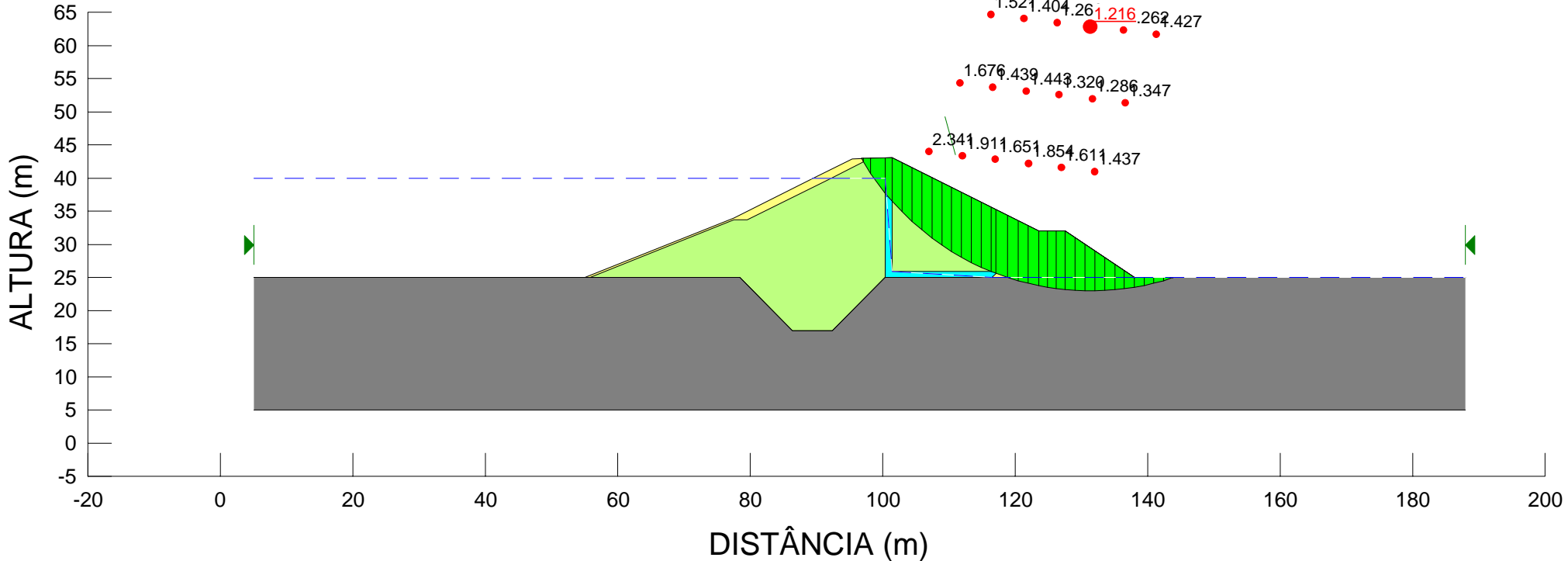
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO
 File Name: CSRCJS.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 19:08:28
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Left to Right
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical

RESERVATÓRIO CHEIO
 TALUDE DE JUSANTE
 CAMADA SUPERFICIAL



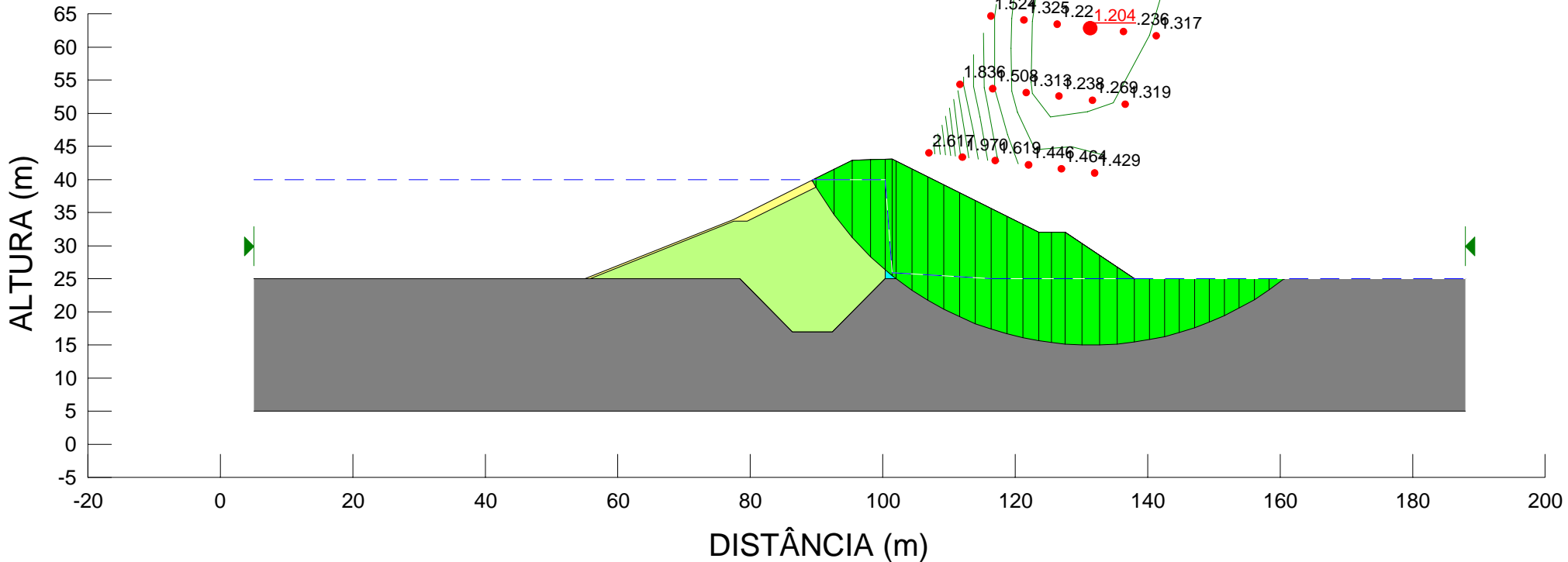
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO
 File Name: CSRCJI.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 19:07:47
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Left to Right
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical

RESERVATÓRIO CHEIO
 TALUDE DE JUSANTE
 CAMADA INTERMEDIÁRIA



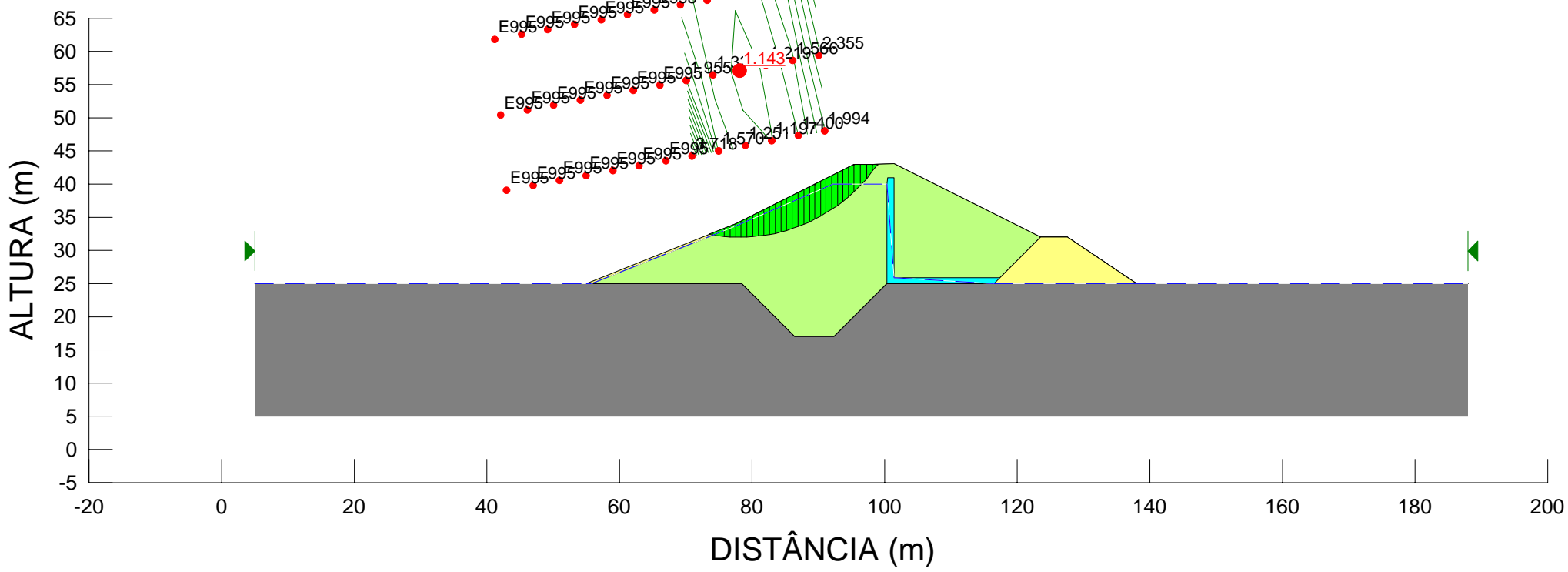
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO
 File Name: CSRCJP.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 19:06:02
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Left to Right
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical

RESERVATÓRIO CHEIO
 TALUDE DE JUSANTE
 CAMADA PROFUNDA



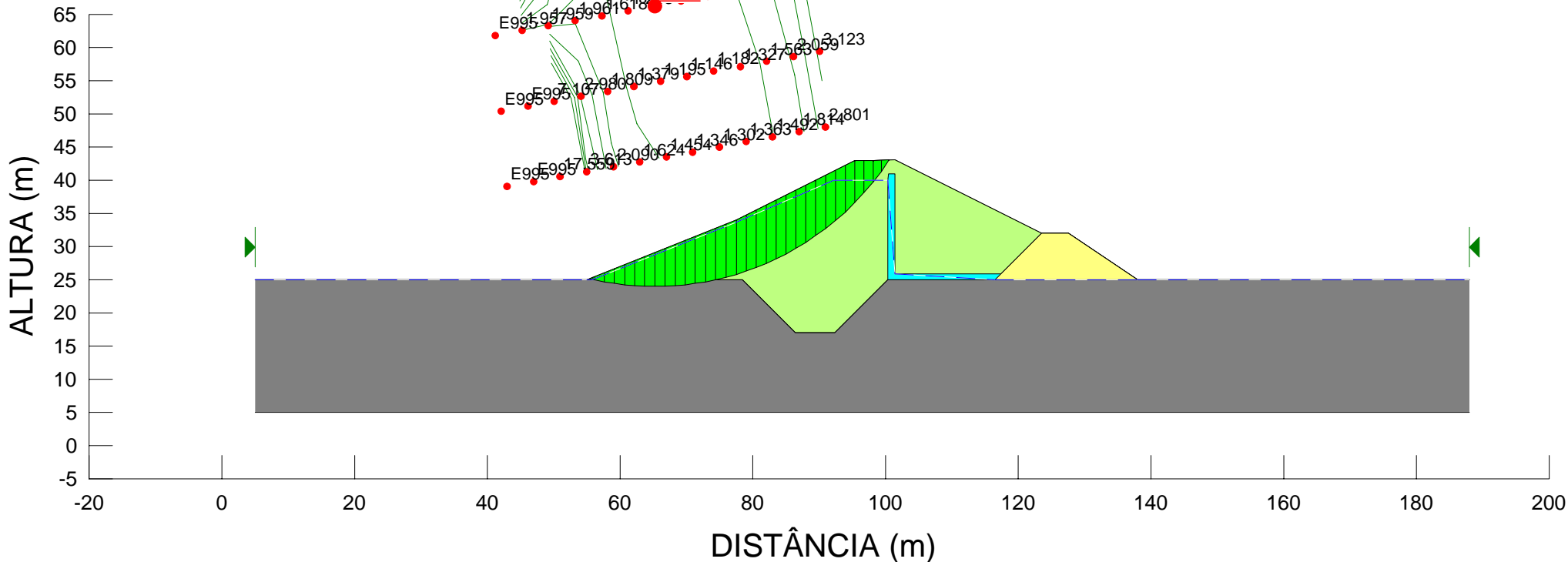
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA
 File Name: CEERMS.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 19:14:39
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Right to Left
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)

ESAZIAMENTO RÁPIDO
 TALUDE DE MONTANTE
 CAMADA SUPERFICIAL



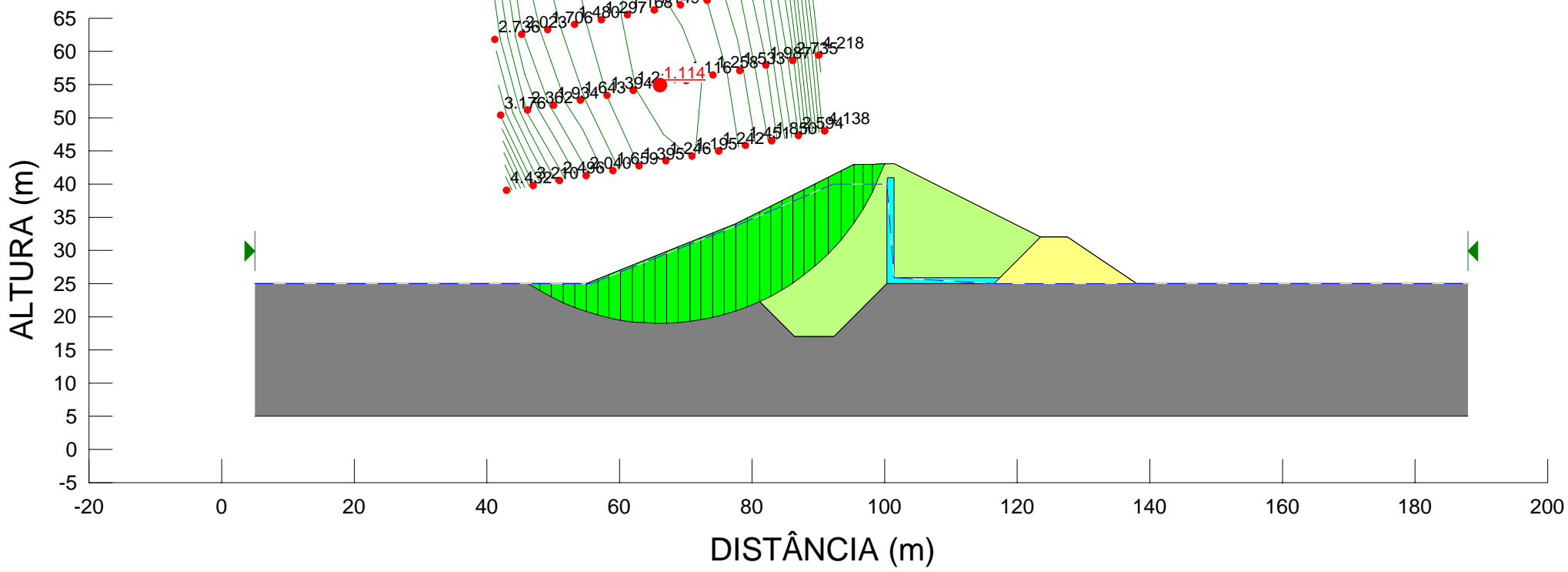
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA
 File Name: CEERMI.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 19:17:46
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Right to Left
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)

ESVAZIAMENTO RÁPIDO
 TALUDE DE MONTANTE
 CAMADA INTERMEDIÁRIA



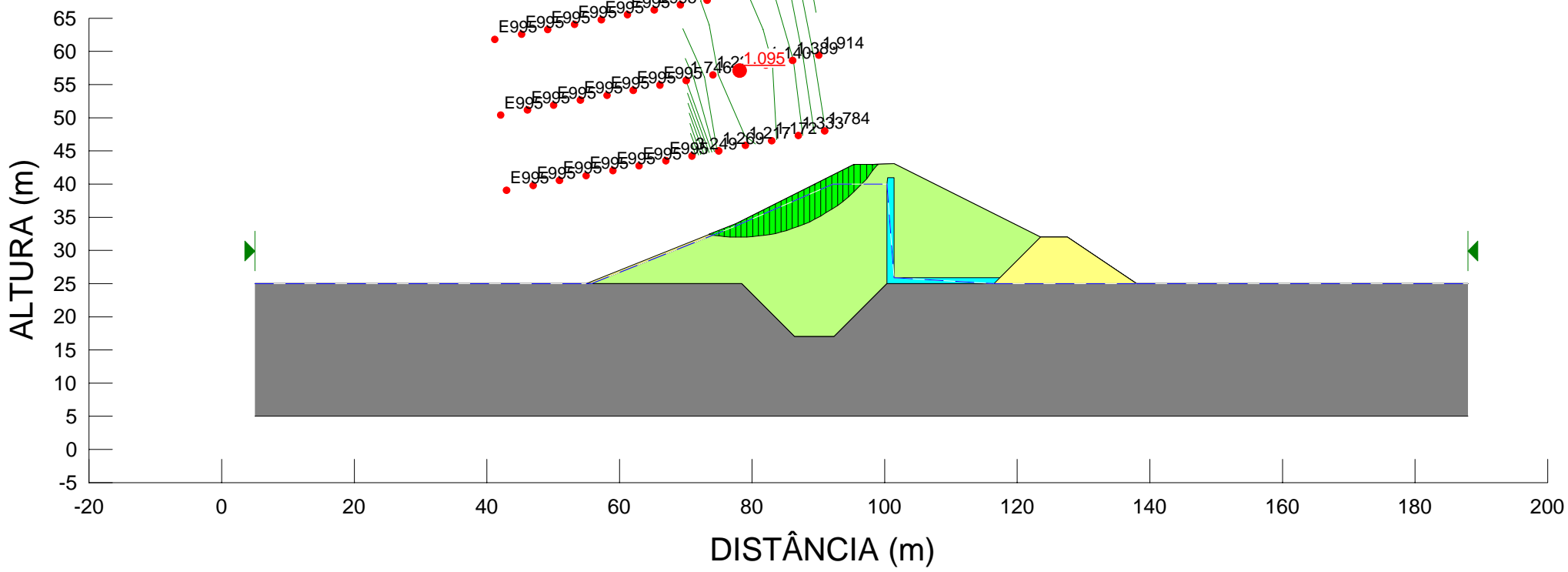
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA
 File Name: CEERMP.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 19:19:09
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Right to Left
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)

ESAZIAMENTO RÁPIDO
 TALUDE DE MONTANTE
 CAMADA PROFUNDA



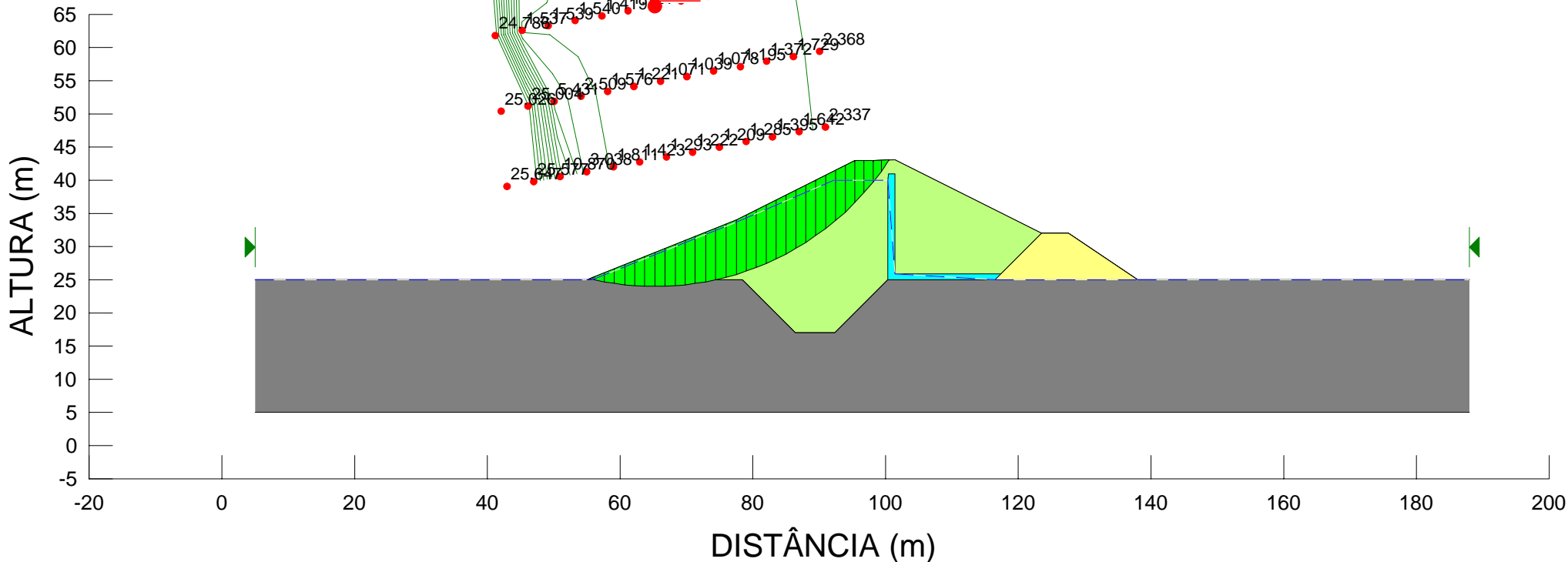
Description: BARRAGEM CEARÁ
Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO
File Name: CSERMS.slp
Last Saved Date: 07/02/03
Last Saved Time: 19:24:35
Analysis Method: Bishop
Direction of Slip Movement: Right to Left
Slip Surface Option: Grid and Radius
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
Tension Crack Option: (none)
Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical

ESVAZIAMENTO RÁPIDO
TALUDE DE MONTANTE
CAMADA SUPERFICIAL



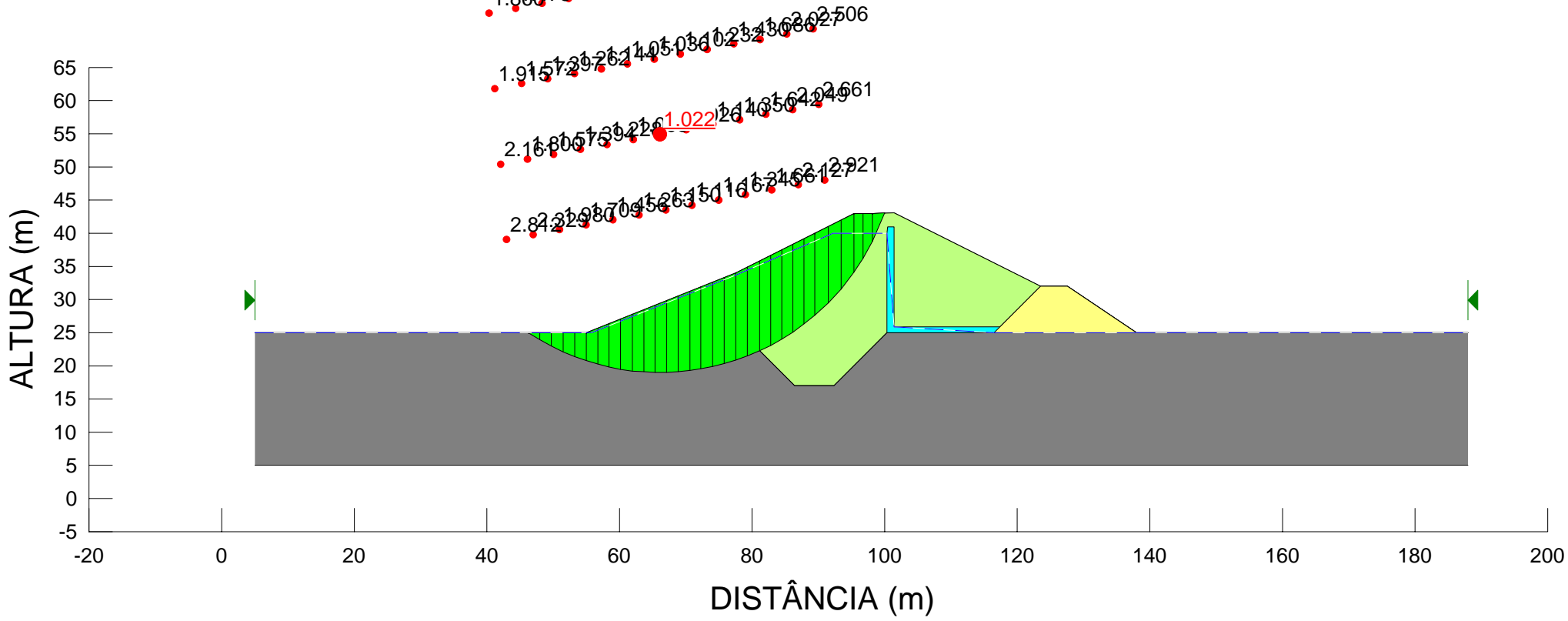
Description: BARRAGEM CEARÁ
 Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO
 File Name: CSERMI.slp
 Last Saved Date: 07/02/03
 Last Saved Time: 19:22:00
 Analysis Method: Bishop
 Direction of Slip Movement: Right to Left
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical

ESVAZIAMENTO RÁPIDO
 TALUDE DE MONTANTE
 CAMADA INTERMEDIÁRIA



Description: BARRAGEM CEARÁ
Comments: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO
File Name: CSERMP.slp
Last Saved Date: 07/02/03
Last Saved Time: 19:20:13
Analysis Method: Bishop
Direction of Slip Movement: Right to Left
Slip Surface Option: Grid and Radius
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
Tension Crack Option: (none)
Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical

ESVAZIAMENTO RÁPIDO
TALUDE DE MONTANTE
CAMADA PROFUNDA





MONTGOMERY WATSON



12. COTA DO VOLUME DE ALERTA



12. COTA DO VOLUME DE ALERTA

A cota do volume de alerta foi definida em 38,50m acumulando 12,21 hm³ correspondente à cerca 23,7 % do volume máximo.



MONTGOMERY WATSON



13. TOMADA D'ÁGUA



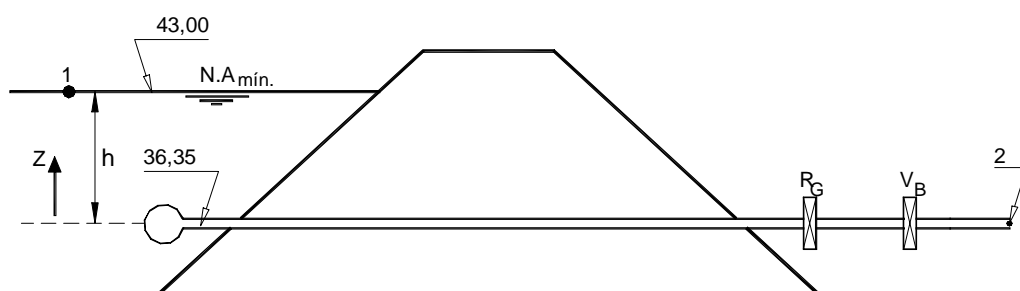
13. TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água ficará localizada na estaca 36+10,00 cujo terreno natural está na cota 37,81m. A tomada d'água terá extensão de 51,00m. A galeria será em tubo de ferro fundido de diâmetro $\phi = 700\text{mm}$. O corpo da galeria consistirá de um maciço de concreto ciclópico e sobre este ficará o corpo da galeria que terá um envoltório de concreto armado.

Na extremidade de montante terá uma caixa de concreto armado com uma grade de retenção e um crivo. Em jusante terá também uma caixa com três células, o primeiro acomodará a válvula borboleta e um registro de gaveta.

A segunda é um dissipador de energia. Finalmente a terceira célula é um tanque tranquilizador com um vertedouro triangular na extremidade.

13.1. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DA GALERIA.



Considerando a válvula borboleta e os registros de gaveta totalmente abertos. Considerando o nível mínimo de operação, cota 38,00m, e a vazão a ser regularizada de $0,930\text{m}^3/\text{s}$ com 95% dimensiona-se o tubo para passar essa vazão com velocidade de $2,50\text{m/s}$.



$$Q = V \cdot S$$

$$S = \frac{Q}{V}$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{Q}{V}$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,93}{\pi \times 2,5}} = 0,68m$$

Será adotado $D=700mm$.

A velocidade para a vazão será :

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0,93}{0,384}$$

Determinação das vazões e velocidade para as cotas de 43,00m a 38,50m com a válvula borboleta e o registro de gaveta totalmente abertos.

- Para a cota mínima 38,50m.

Aplicando a equação de Bernoulli entre os pontos 1 e 2.

$$\frac{P_1}{\gamma} + h + \frac{\overline{V_1^2}}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + 0 + \frac{\overline{V_2^2}}{2g} + h_f + h_L$$

tem-se:

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

$$V_1 \cong 0$$

h_f = perda de carga por fricção



h_L = perda de carga localizada.

h_f é determinada pela expressão de Darcy-Weisbach dada por:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_L = \sum Ki \frac{V_2^2}{2g}$$

Ki = coeficiente de perda de carga localizada.

$$K_1 = \text{Grade} = 1,45$$

$$K_2 = \text{Crivo} = 2,30$$

$$K_3 = \text{Válvula Borboleta} = 0,36$$

$$K_4 = \text{Registro de Gaveta} = 0,10$$

$$K_5 = \text{Saída} = 1,0$$

$$h_t = h_f + h_L$$

$$h_t = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_2^2}{2g} + \sum K_i \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_t = f \cdot \frac{51}{0,7} \cdot \frac{V_2^2}{19,62} + 5,21 \times \frac{V_2^2}{19,62}$$

$$h_t = 3,71 \cdot f \cdot V_2^2 + 0,26 \cdot V_2^2$$

Substituindo na equação de Bernoulli, obtém:

$$h = \frac{V_2^2}{2g} + 3,71 \cdot f \cdot V_2^2 + 0,26 V_2^2$$



$$h = 0,051 \cdot V_2^2 + (3,71f + 0,26) \cdot V_2^2$$
$$h = \left[\frac{h}{(3,71f + 0,31)} \right]^{1/2}$$

Tem-se a velocidade como função de f . O processo de resolução deste problema é pelo método da convergência. Atribui-se valor a f e determina-se V_2 . Com V_2 calcula f e determina-se novamente V_2 . O processo prossegue até a convergência aconteça.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Onde:

Re = Número de Reynold

ν = Viscosidade Cinemática

Para a água a 30° tem-se:

$$\nu = 8,04 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$$

Do ábaco de Rugosidade Relativa x Diâmetro tem-se para ferro fundido de $\phi=700\text{mm}$, $\frac{e}{D} = 0,0005$.

Para $h = 43,00 - 36,25 = 6,75\text{m}$, adotando $f = 0,03$ tem-se:

$$V_2 = \left[\frac{6,75}{3,71 \times 0,03 + 0,31} \right]^{1/2} = 4,00\text{m} / \text{s}$$

Para $V_2 = 4,00\text{m} / \text{s}$

$$Re = \frac{4,00 \times 0,7}{8,07 \times 10^{-7}} = 3,4 \times 10^6$$



Para $Re = 3,4 \times 10^6$ e $\frac{e}{D} = 0,005$.

Do ábaco de Moody tira-se:

$$f = 0,0175$$

Para $f = 0,0175$ tem-se:

$$V_2 = \left[\frac{6,75}{3,71 \times 0,0175 + 0,31} \right]^{1/2} = 4,24 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{4,24 \times 0,7}{8,07 \times 10^{-7}} = 3,6 \times 10^6$$

do Ábaco de Moody tira-se $f \cong 0,0175$ OK!

A vazão para a cota 48,00 é $Q = 4,24 \times 0,384 = 1,628 \text{ m}^3/\text{s}$.

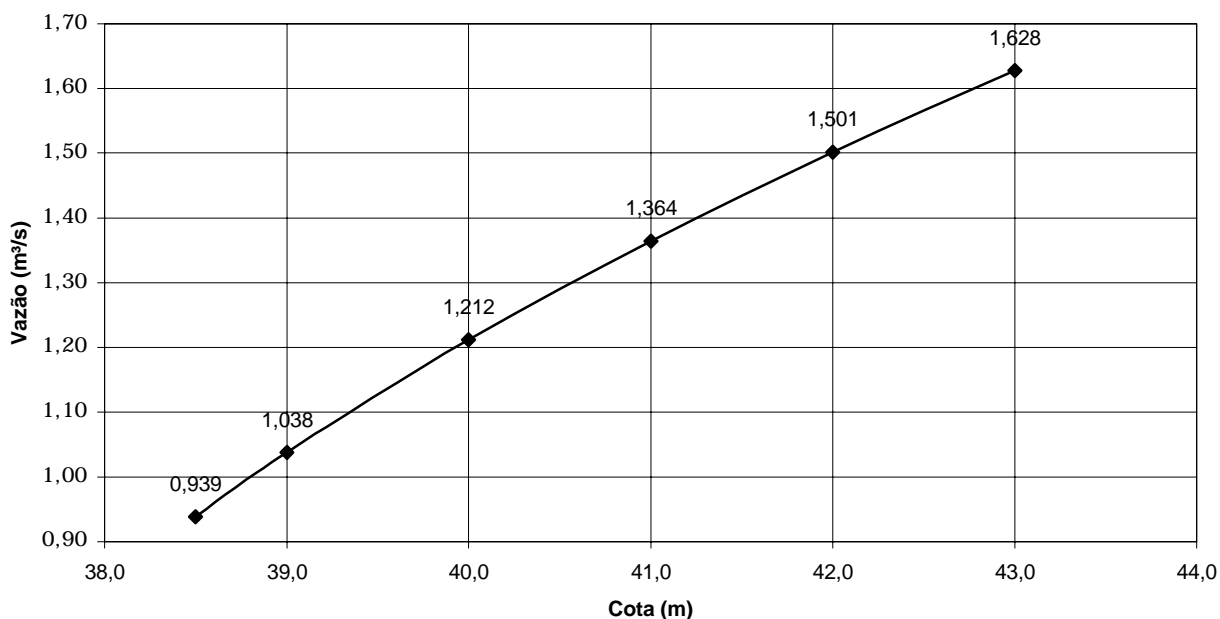
Esse procedimento foi repetido da Cota 43,00m a 38,50m, obtendo-se o quadro a seguir:

| COTA (m) | VAZÃO (m ³ /s) | VELOCIDADE (m/s) |
|----------|---------------------------|------------------|
| 43,00 | 1,628 | 4,24 |
| 42,00 | 1,501 | 3,91 |
| 41,00 | 1,364 | 3,55 |
| 40,00 | 1,212 | 3,158 |
| 39,00 | 1,038 | 2,704 |
| 38,50 | 0,939 | 2,446 |

Na figura a seguir é apresentada a curva de operação Cota x Vazão.

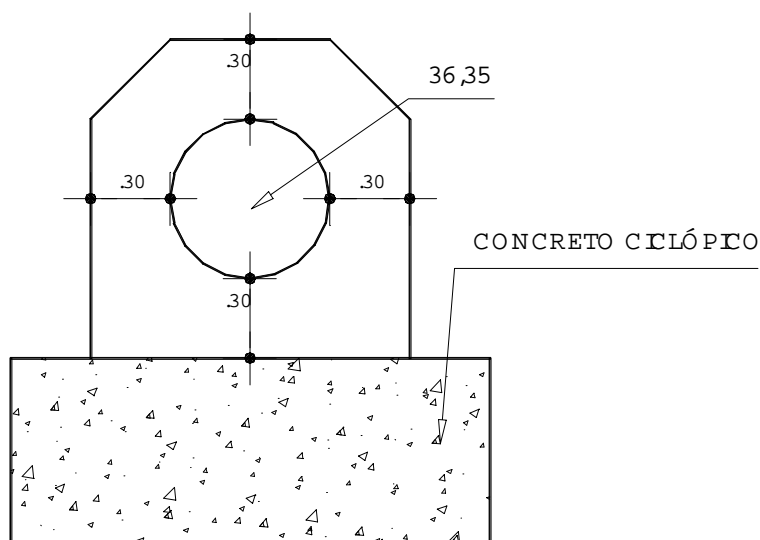


Gráfico: COTA x VAZÃO



13.2. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

A galeria foi dimensionada considerando a tubulação funcionando na seção mais carregada. Ver seção esquemática.



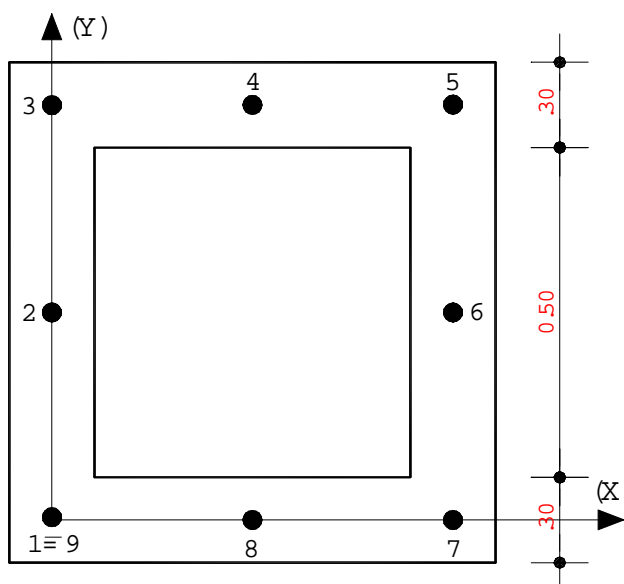
A galeria está submetida a tensão vertical $\sigma_v = 26,50tf / m^2$.



A modelagem foi feita considerando um quadro fechado e o cálculo foi feito pelo programa Sistrut.

Os resultados dos cálculos são mostrados a seguir.

O quadro da modelagem é apresentado a seguir.



O quadro tem nove nós e oito membros.



MONTGOMERY WATSON



14. ANÁLISE DOS RECALQUES



14. ANÁLISE DOS RECALQUES

Os materiais que formam o corpo da barragens são submetidos a deformação elásticas devido a ação do peso próprio. A avaliação desses recalques tem a finalidade de corrigir a cota do coroamento da barragem para compensar o abatimento. Para determinação deste recalque adotou-se uma forma simplificada de cálculo descrita a seguir:

- a) Dividiu-se o maciço, em sua seção máxima, em lamelas de 2,0m de espessura.
- b) Para cada lamela determinou-se a tensão vertical no meio da camada .
- c) Aplicou-se a expressão dada por :

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{mi}}{E_i} \cdot \Delta H_i$$

onde:

S = Recalque total em m.

σ_{mi} = Tensão vertical no meio de cada lamela.

ΔH_i = Espessura da lamela.

E_i = Módulo de elasticidade do material da lamela i.

O módulo de elasticidade foi obtido da análise das curvas de Tensão x Deformação, obtidos dos ensaios de compressão triaxial. Para facilidade de determinação, sem que isso implicasse em perda de precisão, pelo módulo secante.

Outro aspecto considerado foi a variação da pressão de confinamento com a altura da barragem.



Considerando as jazidas J-01, J-03 e J-04, que formarão o maciço e fundação da barragem principal, o peso específico aparente seco máxima obtido do ensaio de compactação encontra-se entre 1,83 e 1,85tf/m³ e a umidade ótima correspondente entre 10,4 e 13,1%. Observando-se estes valores adotou-se para o peso úmido o valor de 2,11tf/m³. Com base no peso úmido foi considerado para efeito de tensão confinante, as seguintes tensões medidas em função da altura da barragem, tomando como referência o eixo Z, com zero no coroamento e orientação para baixo:

Tabela 14.1 – Tensão Confinante

| Z (m) | TENSÃO CONFINANTE (kgf/cm²) |
|--------------------|---|
| Menor que 5,0m | 1,0 |
| Entre 5,0m e 10,0m | 2,0 |
| Maior que 10,0m | 4,0 |

Com base nas condições da acima citadas, foram determinados os módulos de elasticidade para uso no cálculo dos recalques. Esses resultados são mostrados a seguir:

Modulo de Elasticidade

| TENSÃO CONFINANTE (kgf/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDADE (Kn/m²) |
|---|--|
| | Jazida-02 |
| 1,0 | 12.000 |
| 2,0 | 16.000 |
| 4,0 | 18.000 |

Assim sendo:

| FATIA PLANO MÉDIO (m) | ESPESSURA (m) | TENSÃO MÉDIA (kN/m²) | E (kN/m²) | Si (mm) |
|------------------------------|----------------------|--|-----------------------------|----------------|
| 0,5 | 1,0 | 10,55 | 12.000 | 0,88 |
| 2,0 | 2,00 | 42,20 | 12.000 | 7.03 |
| 4,00 | 2,00 | 84,40 | 12.000 | 14.07 |



| FATIA PLANO MÉDIO (m) | ESPESSURA (m) | TENSÃO MÉDIA (kN/m ²) | E (kN/m ²) | Si (mm) |
|-----------------------|---------------|-----------------------------------|------------------------|---------|
| 6,0 | 2,00 | 126,60 | 16.000 | 15.83 |
| 8,0 | 2,00 | 168,80 | 16.000 | 21.10 |
| 10,0 | 2,00 | 211,00 | 16.000 | 26.37 |
| 12,0 | 2,00 | 253,20 | 18.000 | 28.13 |
| 14,0 | 2,00 | 295,40 | 18.000 | 32.82 |
| 16,0 | 2,00 | 337,60 | 18.000 | 37.51 |
| 18,00 | 2,0 | 379,80 | 18.000 | 42.20 |

O recalque elástico esperado é de $S = 225,95$ mm.

Esse rebaixamento do coroamento (22,6 cm) deve ser corrigido antes da colocação do revestimento primário.

Consórcio



MONTGOMERY WATSON



EngeSoft