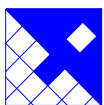




**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA**



INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais



**PROJETO SÃO FRANCISCO
ÁGUA PARA TODOS**

**PROJETO BÁSICO DE TRANSPOSIÇÃO
DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO
PARA O NORDESTE SETENTRIONAL**

EIXO NORTE – TRECHO I

R6 - BARRAGENS E VERTEDORES



Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

PROJETO BÁSICO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

EIXO NORTE – TRECHO I

R6 - BARRAGENS E VERTEDORES

Dezembro/2000

PROJETO TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica

Ministro de Estado da Integração Nacional: Fernando Luiz Gonçalves Bezerra

Secretário de Infra-Estrutura Hídrica: Rômulo de Macedo Vieira

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Diretor: Márcio Nogueira Barbosa

Vice Diretor: Volker W. J. H. Kirchhoff

FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais

Gerente: José Armando Varão Monteiro

Coordenador: Antônio Carlos de Almeida Vidon

ENGEORPS/HARZA

Coordenadores: Marcos Oliveira Godoi

Fábio Luís Ramos de Abreu

Murillo Dondici Ruiz

Brasília, dezembro de 2000.

ENGEORPS/HARZA.

Projeto Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional;
Relatório R6 – BARRAGENS E VERTEDORES – São Paulo: ENGEORPS/HARZA, 2000.
50 p.

1. Transposição de Águas;
2. Eixo Norte – Trecho I – R6 - BARRAGENS E VERTEDORES -

CDU - 556.5:627.82+627.831

FUNCATE:

Av. Dr. João Guilhermino, 429, 11º Andar – Centro

São José dos Campos – SP

CEP: 12210-131

Telefone: (0XX 12) 341 1399

Fax: (0XX 12) 341 2829

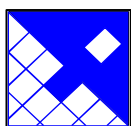
Projeto						Data	
HK APR ACP						15/12/2000	
Verificação						Data	
APR						15/12/2000	
Aprovação						Data	
MOG CMN						15/12/2000	
Aprovação						Data	
MDR						15/12/2000	
Rev.	Data	Folha	Descrição	Aprovação		FUNCATE	
						Data	Aprovação
0/B	11/04/01		Correções de formatação	MOG			
0/C	08/05/01		Correções de formatação	MOG			

**PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS
DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O
NORDESTE SETENTRIONAL
*PROJETO BÁSICO***

EIXO NORTE - TRECHO I

R6 - BARRAGENS E VERTEDORES

Dezembro / 2000



FUNCATE

*Fundação de Ciências
Aplicações e Tecnologias
Espaciais*

Verificação	Data
Aprovação	Data
Aprovação	Data
Código FUNCATE	Data
Substitui	Substituído
Número Empresa	Revisão
261-FUN-TSF-RT-B0012	0/C

**PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O
NORDESTE SETENTRIONAL
EIXO NORTE – TRECHO I
EQUIPE PRINCIPAL DO CONSÓRCIO ENGEORPS-HARZA**

- ***Coordenação Geral***
 - Marcos Oliveira Godoi
 - Murillo Dondici Ruiz
 - Fábio Luís Ramos de Abreu

- ***Hidráulica e Hidrologia***
 - Antônio Eurides Conte
 - Alberto Lang Filho
 - Luís Antônio Villaça de Garcia
 - Carlos Lloret Ramos
 - Flávio Tonelli Pimenta
 - Marcelo Ferreira Maximiano
 - Mauro Toscano

- ***Geologia e Geotecnia***
 - Claudio Michel Nahas
 - Fernão Paes de Barros
 - Ary Paulo Rodrigues
 - Andréa Cristina Parreira
 - Frederico Bohland Neto
 - Hiromit Nakao
 - Tays Ribeiro

- ***Levantamentos Topográficos Complementares***
 - Ivan Bustamante
 - Ualfrido Del Carlo Jr.

- ***Estruturas e Fundações***
 - Tetsuo Kawano
 - Flavio Rubin

- ***Eletromecânica***
 - Bernd Dieter Lukas
 - Coaraci Inajá Ribeiro
 - Angel Jimenez Murillo
 - José Sussumo Komatsu
 - Leonardo Cavalcanti Netto
 - José Orlando Paludetto Silva

- ***Planejamento e Orçamento***
 - José Armando Del Grecco Peixoto
 - Luis Edmundo França Ribeiro

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O presente documento se constitui no Relatório R6 – BARRAGENS E VERTEDORES, parte integrante do PROJETO BÁSICO DO EIXO NORTE – TRECHO I, referente ao PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL, elaborado pelo Consórcio ENGEORPS-HARZA, dentro do contrato com a FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais.

O Projeto Básico do Eixo Norte – Trecho I é apresentado nos seguintes relatórios:

- R1 - Descrição do Projeto.
- R2 - Critérios de Projeto.
- R3 - Sistema de Captação no Rio São Francisco.
- R4 - Estações de Bombeamento.
- R5 - Sistema Adutor – Canais, Aquedutos, Tomadas D'água para Usos Difuso Estruturas de Controle.
- R6 - Barragens e Vertedores.
- R7 - Sistema de Drenagem.
- R8 - Topografia e Cadastramento.
- R9 - Geologia e Geotecnia.
- R10 - Estudos Hidrológicos.
- R11 - Sistema de Supervisão, Controle e Telecomunicações.
- R12 - Modelo Hidrodinâmico e Esquema Operacional.
- R13 - Sistema Elétrico, Subestações Auxiliares e Sistema de Transmissão.
- R14 - Acessos, Vilas e Canteiros.
- R15 - Cronogramas, Orçamento e Planejamento.
- R16 - Caderno de Desenhos.
- R17 - Dossiê de Licitação.

FUNCATE – FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA,
APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS

PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO
FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

PROJETO BÁSICO

R6 – BARRAGENS E VERTEDORES

261-FUN-TSF-RT-B0012

REVISÃO 0/B

ÍNDICE

	PÁG.
1. OBJETIVO	3
2. CONCEPÇÃO BÁSICA	3
3. SÍNTESE DOS ESTUDOS DESENVOLVIDOS.....	5
3.1 GEOLOGIA-GEOTECNIA	5
3.1.1 <i>Aspectos Gerais</i>	5
3.1.2 <i>Seleção dos Tipos de Barramentos</i>	6
3.1.2 <i>Estudos Geotécnicos Desenvolvidos</i>	8
3.2 HIDROLOGIA E SEDIMENTOLOGIA	9
3.2.2 <i>Hidrologia</i>	13
3.3 HIDRÁULICA.....	13
3.3.1 <i>Barragens</i>	14
3.3.1.1 Critérios Gerais Adotados	14
3.3.1.2 Resultados do Dimensionamento Hidráulico	15
3.3.2 <i>Vertedouros</i>	16
3.3.2 <i>Tomadas D'água</i>	17
3.4 ESTRUTURAS.....	18
3.5 ELETROMECAÂNICA.....	19
4. FICHA TÉCNICA DOS BARRAMENTOS.....	20
ANEXO 1 - DIMENSIONAMENTOS GEOTÉCNICOS.....	1
1. ANÁLISE DE ESTABILIDADE	3
1.1 INTRODUÇÃO	3
1.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE.....	3
1.3 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS.....	4
1.4 ANÁLISES EFETUADAS.....	5
1.5 RESULTADOS OBTIDOS	5
1.6 CONCLUSÕES	6
2. ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO	7
2.1 INTRODUÇÃO	7
2.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE.....	7
2.3 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS.....	8
2.4 ANÁLISES EFETUADAS.....	8
2.5 RESULTADOS OBTIDOS	9
ANEXO 2 - DIMENSIONAMENTOS ESTRUTURAIS.....	42

1. OBJETIVO

Este relatório tem por objetivo apresentar a descrição geral das obras dos barramentos e vertedores do Trecho I – Cabrobó – Jati, do Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco, para o Nordeste Setentrional (PTSF).

2. CONCEPÇÃO BÁSICA

No Trecho I – Cabrobó – Jati do PTSF o Projeto Básico desenvolvido previu a implantação de 7 barramentos, cujas funções compreendem a formação de reservatórios de compensação, passagem, derivação do sistema e regularização.

Na Tabela 1 são apresentadas as características gerais dos 7 barramentos previstos, bem como a sua principal função no PTSF.

Para o desenvolvimento dos projetos dessas barragens foram executadas diversas investigações e estudos básicos cuja síntese está apresentada no item 3 deste relatório, e detalhadamente no Relatório R9 - Geologia e Geotecnia.

A concepção básica dessas obras está intimamente ligada ao estudo operacional do Trecho I do PTSF, principalmente no que se refere à paralisação sistemática do sistema de bombeamento nos horários de pico do sistema de geração elétrica regional (das 20:00 às 23:00 horas), quando o custo de energia é muito elevado. Com o objetivo de minimizar os efeitos dos transitórios gerados por essas paralisações, foram projetados reservatórios ao longo do trecho, localizados próximos às estações de bombeamento.

Dessa forma, a grande maioria das barragens projetadas para o Trecho I é para a formação de reservatórios de compensação.

Esses reservatórios também apresentam a função de promover o suprimento regularizado de água às bacias atravessadas pelo PTSF, uma vez que em todos os barramentos foram incorporadas tomadas d'água para descarga de até 2,0 m³/s nos rios e/ou riachos interceptados por essas estruturas.

TABELA 1
CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS BARRAMENTOS DO TRECHO I

CARACTERÍSTICA	UN.	TUCUTU	TERRA NOVA	SERRA DO LIVRAMENTO	MANGUEIRA	NEGREIROS	MILAGRES	JATI
Função	-	Compensação	Compensação	Compensação	Compensação e Derivação	Compensação	Passagem	Regularização
Tipo de estrutura	-	ENA	ENA	ENA	ENA	CCR	ENA	HOM
Cota de coroamento	m	362,20	357,00	410,50	407,70	496,40	493,60	488,20
N.A. máx. normal	m	359,73	354,04	408,07	405,11	493,83	490,83	486,72
N.A. máx. maximorum	m	361,00	355,64	409,35	406,46	495,06	492,13	487,79
N.A. mín. minimorum	m	356,73	350,95	405,07	402,44	491,06	488,05	484,73
Área do Reservatório	km ²	3,12	1,87	1,54	2,77	2,25	10,50	1,32
Área de Drenagem do Barramento	km ²	8,10	23,3	2,50	32,40	12,20	83,50	2,30
Descarga Máxima	m ³ /s	99	99	99	99	99	111	131
Capacidade da Tomada d'água	m ³ /s	2,00	2,00	2,00	2,00 + 10,00 para o Trecho VI	2,00	2,00	89

CCR - Concreto Compactado com Rolo, ENA - Enrocamento com Núcleo Argiloso, HOM - Homogênea de Solo Compactado

Como ganho marginal, permitem o amortecimento de cheias que ocorrem nos períodos chuvosos, evitando conseqüentemente potenciais erosões provocadas pelos fluxos de água à jusante desses barramentos.

3. SÍNTESE DOS ESTUDOS DESENVOLVIDOS

3.1 GEOLOGIA E GEOTECNIA

3.1.1 Aspectos Gerais

Para o desenvolvimento dos projetos dos barramentos foram executadas investigações e estudos geológico-geotécnicos que permitiram caracterizar em nível de Projeto Básico as principais estruturas associadas a essas obras.

Assim, numa fase inicial procurou-se tomar partido das investigações disponíveis das fases anteriores dos estudos do PTSF, notadamente do Estudo de Viabilidade Técnico Econômico desenvolvido pelo CONSÓRCIO ENGEORPS-HARZA em 2000, bem como do Projeto Básico desenvolvido pelo Ministério da Integração Regional em 1994.

Desses estudos foi possível a obtenção de mapeamentos geológico-geotécnicos em nível regional e local, e dados que permitiram avaliar em primeiro grau de aproximação as condições geológico-geotécnicas da fundação e a disponibilidade de materiais naturais de construção.

Outros dados que foram importantes nos desenvolvimentos dos estudos correspondem a informações obtidas nos projetos de diversas obras já executadas e/ou em execução na região de abrangência do PTSF, como por exemplo as Usinas Hidrelétricas Itaparica e Sobradinho, da CHESF, os Projetos Pontal Sul, Salitre, Terra Nova e Arco Íris, e o Açude Serrinha da CODEVASF e a Barragem Atalho do DNOCS.

Como pontos importantes destes estudos pode-se destacar a dificuldade de avaliar a disponibilidade de materiais naturais de construção, através de investigações convencionais de sondagens a trado, percussão e poços manuais, bem como a de correção de umidade natural dos potenciais solos disponíveis, em face da escassez de água na região.

A partir dessas interpretações e avaliações foram feitas visitas de reconhecimento à área do projeto por geólogos e engenheiros geotécnicos em todo o Trecho I e, em especial, aos sítios dos barramentos projetados.

Na seqüência, foram programadas investigações geológico-geotécnicas complementares, que compreenderam a execução de sondagens rotativas, execução de levantamentos sísmicos, abertura de poços de inspeção e ensaios de laboratório.

Informações importantes foram obtidas em trincheiras abertas nas principais litologias atravessadas pelo Trecho I do PTSF.

No Relatório R9 – Geologia e Geotecnia são apresentados os resultados dessas investigações e levantamentos, bem como as principais conclusões obtidas.

3.1.2 Seleção dos Tipos de Barramentos

Tendo em vista as características peculiares da área de abrangência do empreendimento, foram selecionados os tipos de barramento para cada sítio específico. Nessas análises foram levadas em consideração as condições de fundação, a disponibilidade de materiais de construção obtidos das escavações obrigatórias do próprio barramento e seu vertedor, como também de materiais disponíveis de escavações de estações de bombeamento no seu entorno, além de volumes não compensados dos balanceamentos dos canais de adução.

Procurou-se evitar o emprego de barramentos com seção homogênea de solo compactado, face principalmente à escassez de solos coluvionares e/ou saprolíticos, como também pelo elevado custo previsto para correção da umidade desses solos, dada a deficiência de água na região.

Desta forma, a solução natural foi a adoção de barramentos com seção de enrocamento com núcleo argiloso para grande parte dos barramentos, a saber: nos sítios de Tucutú, Terra Nova, Serra do Livramento, Mangueira, Negreiros e Milagres. Nestes locais, em função da grande disponibilidade de escavações obrigatórias de solos, saprolitos e rocha, bem como à sobra de materiais das obras do canal de adução e das estações elevatórias, as adoções de barramentos com núcleo argiloso tenderam a ser mais atraentes.

Para os núcleos argilosos foi previsto o emprego de grande parte dos saprolitos disponíveis, através de escavação por escarificação com tratores munidos de "ripper", sendo os blocos com dimensões maiores do que 15cm removidos previamente ao lançamento, nas praças de compactação, através de seleção nas frentes de escavação, processamentos através de peneiramentos por "Grizzly" ou mediante remoção manual nas praças de compactação. Alternativamente poderá ainda ser empregada motoniveladoras providas de grades apropriadas.

O material obtido através desse procedimento apresenta uma granulometria muito bem graduada com porções areia + silte entre 10 a 25 % e areia entre 40 e 75 % (areias fina+média+grossa). Esta graduação confere ao material quando compactado adequadamente, permeabilidades em geral inferiores a 10^{-6} cm/s, e resistências ao cisalhamento elevadas (c' entre 0,2 a 1,1 kg/cm² e ϕ' entre 35° a 40°).

Como vantagem adicional, este material, por apresentar umidade ótima de compactação relativamente baixa (entre 8 a 12%) e por apresentar uma grande porcentagem de areias, permite uma correção de umidade com um consumo de água muito reduzido. Para este tipo de solo a correção de umidade pode ser feita com muita facilidade na própria praça de compactação ou, alternativamente, através de usinas do tipo "Pug-Mill".

O emprego desse tipo de solo em obras de barramentos foi feito com muito sucesso na construção da UHE Itaparica, conforme apresentado no trabalho "Utilização de Saprolito de Granito Decomposto em Núcleo Impermeável de Barragem" de Aragão, C.J.G. et. al., no VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Recife, 1982, e no AM Manso, conforme abordado no trabalho "Aproveitamento Múltiplo de Manso - Aplicação de Materiais Não Convencionais" de Monte, H.C., et. al. no Seminário Nacional de Grandes Barragens de 1998.

Para a Barragem principal de Negreiros, os estudos desenvolvidos demonstraram que a adoção de uma seção de Concreto Compactado com Rolo é economicamente mais atraente, e permiti agrupar o vertedor, visto que o vale apresenta ombreiras muito íngremes.

Já para a Barragem Jati, face à pequena disponibilidade de escavação obrigatória de rocha, e pela conformação e condições de fundação do sítio do barramento, a solução que prevaleceu foi a de seção homogênea de solo compactado.

Quanto aos materiais granulares para construção de filtros, transições e para obtenção de agregados para o concreto, previu-se que estes serão oriundos de processamentos em britadores instalados junto aos locais onde serão efetuadas as grandes escavações. Os estudos demonstraram que a obtenção de areia natural em jazidas, a exceção de áreas próximas ao Rio São Francisco, poderá ser bastante onerosa por necessitar explorar várias jazidas de pequeno volume ou por necessitar correções do módulo de finura e exigir grandes volumes de água para remoção de finos.

No que se refere a cascalhos, os levantamentos desenvolvidos não demonstraram jazidas de grande monta que poderiam ser empregadas na construção das obras.

Obviamente, o projeto não previu que o Construtor que venha a executar as obras empregue esses materiais, caso demonstre a adequabilidade de sua utilização através de estudos detalhados.

3.1.2 Estudos Geotécnicos Desenvolvidos

Para a definição das principais características geométricas dos barramentos como inclinações de taludes, dimensões de filtros e transições, foram desenvolvidos estudos de estabilidade de taludes, de percolação, de deformabilidade e de dimensionamento das camadas de proteção de taludes.

Para a execução desses estudos foram empregados “softwares” específicos, para análises de estabilidade dos taludes e percolação, respectivamente.

Nas avaliações necessárias para a deformabilidade dos maciços compactados foi empregada a Teoria Clássica de Adensamento.

Para o dimensionamento das camadas de enrocamento de proteção foram desenvolvidos estudos de ondas, cujos critérios de cálculo estão descritos no item 3.3 deste relatório.

A partir desses cálculos foram determinadas as dimensões das pedras necessárias através do emprego das metodologias do US Army Engineers Water Ways Experiment Station, e US Army Coastal Engineering Research Center.

No Anexo 1 apresentam-se os diversos dimensionamentos desenvolvidos.

3.2 HIDROLOGIA E SEDIMENTOLOGIA

3.2.1 SEDIMENTOLOGIA

Os estudos hidro-sedimentológicos desenvolvidos visaram avaliar o potencial de assoreamento dos reservatórios.

A densidade dos sedimentos depositados depende, basicamente, dos seguintes fatores:

- a operação do reservatório;
- a textura e o tamanho das partículas dos sedimentos depositados; e
- as taxas de compactação e de consolidação dos sedimentos depositados.

Lara e Pemberton (no trabalho "Initial Unit Weight of Deposited Sediments", Lara, J. M. and E.L. Pemberton, Proceedings of Federal Interagency Sedimentation Conference, 1963, Miscellaneous Publication n. 970, USDA, Agriculture Research Service, June 1965) analisaram 1.300 amostras de sedimentos depositados em reservatórios, concluindo que a massa específica W_1 pode ser avaliada por:

$$W_1 = W_{\text{areia}} \cdot p_{\text{areia}} + W_{\text{silte}} \cdot p_{\text{silte}} + W_{\text{argila}} \cdot p_{\text{argila}} \quad (1)$$

em que:

p_{areia} , p_{silte} e p_{argila} são as percentagens de areia, silte e argila, respectivamente, presentes no sedimento afluyente;

W_{areia} , W_{silte} e W_{argila} são as massas específicas de areia, silte e argila, respectivamente, dos sedimentos afluentes.

Através de análise sistemática das amostras, diversos autores verificaram que os volumes depositados em cada ano nos reservatórios apresentam diferentes tempos de compactação. Assim, Miller (no trabalho “Determination of the Unit Weight of Sediment for Use in Sediment Volume Computations”, Bureau of Reclamation, Denver, CO, 1953) desenvolveu uma equação que, integrando os resultados obtidos permite determinar a densidade média dos sedimentos depositados no reservatório após T anos de operação (W_T), onde:

$$W_T = W_1 + 0,4343 \cdot K \cdot [T \cdot \ln T / (T - 1) - 1] \quad (2)$$

em que:

K é uma constante que depende do tipo de operação do reservatório e da composição dos sedimentos, principalmente quanto ao tamanho das partículas.

No estudo relativo ao PTSF considerou-se que os reservatórios terão uma operação com deplecionamentos que poderão ser moderados e até bem significativos. Em função deste tipo de operação, os trabalhos de Lara e Pemberton e Miller permitem determinar as massas específicas para a areia, a argila e o silte, bem como a constante K.

Com base nos dados característicos de cada reservatório e a área de drenagem e nas características operativas dos reservatórios, determinou-se através da massa específica inicial os sedimentos depositados (W_1). Com base nos mesmos dados foram determinados para os diversos reservatórios os valores da constante K, utilizando o trabalho de Miller.

Assim foi determinada a massa específica média em 25, 50 e 100 anos de operação dos reservatórios.

Estimou-se que em 100 anos de operação, a massa específica média tenderia a aumentar entre 2 e 12 % em relação ao valor inicial. De forma geral, os aumentos de massa específica são baixos, principalmente devido à pequena parcela de argila e à maior presença de areia na composição dos sedimentos.

Sabe-se que a eficiência de retenção de sedimentos no reservatório depende, principalmente, da velocidade de caimento da partícula e da vazão através do

reservatório. No trabalho “Discussion of Analysis and Use of Reservoir Sedimentation Data”, by L.C. Gottschalk, Proceedings of Federal Interagency Sedimentation Conference, Denver, CO, January, 1948, Churchill desenvolveu uma relação entre a porcentagem de sedimento afluente que passa através do reservatório e um parâmetro adimensional, utilizando os dados do Tennessee Valley Authority. O parâmetro adimensional é obtido pelo produto entre o índice de sedimentação, definido como a relação entre o período de detenção e a velocidade média de escoamento através do reservatório, e a aceleração da gravidade.

A avaliação dos volumes de assoreamento dos reservatórios foi desenvolvida valendo-se das formulações apresentadas acima. A Tabela 2 apresenta a taxa anual média de sedimentos depositados, obtida pelo produto da taxa anual média de produção de sedimentos pela área de drenagem da bacia hidrográfica.

TABELA 2
VOLUME DE SEDIMENTOS RETIDOS (10⁶ m³)

BARRAGEM	APÓS 25 ANOS	APÓS 50 ANOS	APÓS 100 ANOS
Tucutú	0,13	0,26	0,53
Terra Nova	0,25	0,49	0,97
Serra do Livramento	0,08	0,17	0,33
Mangueira	0,36	0,72	1,42
Negreiros	0,18	0,36	0,70
Milagres	0,88	1,74	3,41
Jati	0,05	0,09	0,19

A comparação da previsão dos volumes totais de sedimentos retidos com a capacidade volumétrica dos reservatórios, apresentada na Tabela 3, permite verificar que, em princípio, o assoreamento não tenderá a prejudicar o desempenho das funções dos reservatórios do Trecho I do PTSF.

TABELA 3
VOLUMES DOS RESERVATÓRIOS

BARRAGEM	VOLUME ÚTIL DOS RESERVATÓRIOS (10⁶m³)
Tucutú	15,20
Terra Nova	2,60
Serra do Livramento	14,15
Mangueira	11,50
Negreiros	16,00
Milagres	70,00
Jati	25,00

Os resultados dos estudos demonstram que, em princípio, não são esperados problemas de assoreamento dos reservatórios. Alguma preocupação poderia ser atribuída ao Reservatório Terra Nova por apresentar uma relação Volume Útil / Volume Assoreado baixa (menor do que 3), enquanto os demais reservatórios apresentam valores significativamente maiores. Este valor poderia sugerir a necessidade de alguns trabalhos de manutenção periódica, para evitar principalmente que os sedimentos depositados atinjam as saídas do canal, o que, conseqüentemente, tenderia ao carreamento para o interior do sistema adutor.

Em virtude dos estudos terem sido desenvolvidos com base em hipóteses simplificadoras, em função da falta de dados na região, seria recomendável que, durante o projeto executivo, seja desenvolvida uma campanha sedimentométrica, com o objetivo de determinar parâmetros realistas, para melhor prever o volume de sedimentos a serem depositados nos reservatórios. Esta campanha poderia compor-se basicamente, de topobatimetria de reservatórios e açudes existentes na área, da elaboração de curvas cota x área x volume atualizadas, da comparação com a curva cota x área x volume original ou de projeto e a determinação das taxas anuais médias de produção de sedimentos. Recomenda-se que esta campanha inclua, entre outros, os Açudes Entremontes, Chapéu, Atalho, além de alguns pequenos açudes existentes na região.

Os dados dessas campanhas poderão agregar parâmetros realistas e locais e permitirá avaliar a real potencialidade de assoreamento dos reservatórios, bem como proceder ao ajuste das curvas cota x área x volume em função do período

de operação. Outro aspecto que poderia trazer dados e parâmetros importantes para o PTSF seria o desenvolvimento de um modelo reduzido em laboratório composto por alguns reservatórios e trechos do canal a montante e a jusante. Este modelo reduzido permitiria estudar o comportamento hidrodinâmico do trecho para diversas situações, fornecendo subsídios para a modelagem matemática hidrodinâmica do sistema.

3.2.2 Hidrologia

Os estudos hidrológicos desenvolvidos para o projeto dos barramentos tiveram por finalidade definir a vazão de projeto do vertedor.

Para se chegar aos valores empregados no projeto foi feita inicialmente uma classificação geomorfológica de cada bacia de contribuição dos barramentos. Esta classificação setorizou as bacias em sub-regiões afins que apresentem características morfológicas e litológicas similares.

De posse desta classificação, e com base em dados específicos da região semi-árida nordeste, foi possível definir com precisão adequada os coeficientes de "run-off" de cada bacia e, conseqüentemente, dos tempos de concentração de vazões.

Como critério para se definir a vazão do vertedor, adotou-se uma tormenta com período de recorrência de 1.000 anos.

No Relatório R10 - Estudos Hidrológicos são apresentados os detalhes destes estudos, bem como os resultados obtidos.

3.3 HIDRÁULICA

Os estudos hidráulicos desenvolvidos no Projeto Básico dos barramentos compreenderam os dimensionamentos dos Vertedouros e Tomadas D'água.

3.3.1 Barragens

3.3.1.1 Critérios Gerais Adotados

O dimensionamento hidráulico para fixação da cota de coroamento das barragens levou em conta os critérios de laminação da cheia de projeto apresentados no Relatório R2 - Critérios de Projeto e conforme detalhes apresentados no Relatório R12 - Modelo Hidrodinâmico e Esquema Operacional.

De acordo com os critérios fixados, os seguintes passos orientaram a fixação das cotas de coroamento dos barramentos:

- Determinação do máximo N.A. normal do reservatório, levando em conta a operação normal do sistema;
- Fixação da crista do vertedor de emergência na cota do topo do revestimento de concreto da última seção do canal de entrada;
- Determinação do N.A. máximo maximorum, considerando:
 - Acima do N.A. máximo normal, foram laminadas as condições do hidrograma de cheia para $T=1.000$ anos, considerando sua ocorrência conjunta com a máxima vazão bombeada vinda de montante;
 - Nos reservatórios onde existirá uma estrutura de controle de descargas do canal, considerou-se a situação mais desfavorável para o coroamento da barragem que consiste do impedimento operacional das quatro comportas previstas nessa estrutura, que estariam totalmente fechadas, durante a ocorrência de eventos hidrológicos mais críticos;
 - Nos reservatórios de compensação, localizados a montante das Estações de Bombeamento, o hidrograma total de vazões afluentes também considerou as defluências da cheia do reservatório de montante (comportas abertas), além da contribuição da cheia milenar da bacia hidrográfica do próprio reservatório.

Uma vez fixado o N.A. máximo maximorum do reservatório, foram considerados os efeitos de "run-up" sobre os taludes de montante das barragens, decorrentes da ação de ondas geradas pelos ventos.

Para a fixação da cota de coroamento das barragens, foi adotado o maior valor resultante das seguintes considerações adicionais de ventos soprando sobre a superfície dos reservatórios:

a) Cota de coroamento = N.A. máximo normal + ΔH_{120} (m) + min. 0,30 m

b) Cota de coroamento = N.A. máx.maximorum + ΔH_{80} (m) + min. 0,30 m

onde: ΔH_{120} => efeito de "run-up" decorrente de um vento de 120 km/h

ΔH_{80} => efeito de "run-up" decorrente de um vento de 80 km/h

Os efeitos de "run-up" R_2 , sobre o talude de montante dos barramentos, gerados pelas ondas de vento, foram determinados, com base na metodologia proposta por Saville et. al. no trabalho "Freeboard Allowances for Waves in Inland Reservoirs" Paper 3138 - Journal of the Waterways and Harbors Division - Proceedings ASCE Vol 88, May 1962, adotando a altura de onda $H_2 = 1,4 \cdot H_S$, sendo:

H_S , é a altura de onda significativa que pode ser ultrapassada durante 33% do tempo e

H_2 , é a altura de onda que pode ser ultrapassada durante apenas 2% do tempo.

3.3.1.2 Resultados do Dimensionamento Hidráulico

De acordo com os critérios estabelecidos, resultaram os seguintes níveis característicos de projeto nos diversos reservatórios apresentados na Tabela 4:

TABELA 4
NÍVEIS CARACTERÍSTICOS

LOCAL	VAZÃO MÁXIMA AFLUENTE (m ³ /s)		Máxima Descarga (m ³ /s)	CRISTA DO VERTE-DOURO	N.A. MÁX. NORMAL	N.A. MÁX. MÁX. [1]	ONDA H ₂ (m)	RUN-UP 0,5*R ₂ (m)	FOLGA (m)	COTA COROA-MENTO [1] + [2] + [3]
	BOMBE-ADA	TR 1000 ANOS								
Tucutú	99	37	99	360,50	359,73	361,00	0,74	0,86	0,34	362,20
Terra Nova	99	71	99	355,40	354,04	355,64	0,68	0,79	0,57	357,00
S.Livramento	99	47	99	408,85	408,07	409,35	0,72	0,83	0,32	410,50
Mangueira	99	137	99	406,10	405,11	406,46	0,73	0,85	0,39	407,70
Negreiros	89	66	99	494,60	493,83	495,06	0,83	0,96	0,38	496,40
Milagres	89	205	111	491,60	490,88	492,13	0,94	1,09	0,38	493,60
Jati	89	55	131	487,20	486,72	487,79	0,71	0,57	0,44	488,80

3.3.2 Vertedouros

Para atender os critérios de dimensionamento estabelecidos, todos os reservatórios foram projetados com um sistema extravasor para promover condições de segurança do sistema de barragens e canais, contra o galgamento dessas estruturas, nas situações operacionais mais desfavoráveis fixadas.

Tal sistema constará de uma soleira vertente livre com uma largura de 160 m, cujas condições de dimensionamento foram impostas pelos aspectos de coroamento dos canais a montante.

O conceito para a fixação da cota de coroamento ao longo dos diversos trechos de canais está diretamente relacionado com os critérios estabelecidos para definir a altura do canal a ser revestida e com o conceito de extravasão de cheias em cada reservatório.

A altura revestida do canal foi fixada com base na profundidade normal do escoamento que é de 5,25 m para a vazão de dimensionamento igual a 99 m³/s e de 5,00 m para a vazão de 89 m³/s. A altura revestida será de 6,00 e 5,70 m, mantendo uma borda-livre normal de 0,75 m e 0,70 m, num e no outro caso, respectivamente. Os valores de borda-livre foram adotados de acordo com recomendações do US Bureau of Reclamation, conforme constam nos critérios de projeto estabelecidos no início dos trabalhos.

Os excessos de água afluyente aos reservatórios devem ser laminados através da soleira livre para originar uma lâmina d'água vertente máxima fixada em 0,50 m, correspondente à máxima descarga de dimensionamento igual a 99 m³/s, justamente para não exigir cotas de coroamento elevadas nos canais de montante dos reservatórios, uma vez que a declividade do canal é de 0,01%. Somente no reservatório de Jati, a máxima lâmina de água atingiu 0,60 m, devido às altas descargas vindas de Milagres.

As descargas do vertedor livre deverão se dar preferencialmente nas calhas naturais de córregos ou rios situados à jusante, que tenham capacidade de descarga igual ou superior à máxima descarga prevista nos reservatórios.

Normalmente, os vertedouros foram posicionados em alguma das ombreiras dos barramentos, para minimizar custos de concreto. Será escavado um canal de aproximação ao vertedor, com largura suficiente para proporcionar boas condições de funcionamento. O perfil vertente constará de uma soleira de concreto com 1,0 m de altura. Nos locais onde a geologia se mostrou mais favorável, não foram previstos revestimentos de concreto até o ponto mais baixo de devolução das águas. Onde se julgou necessário, após o perfil vertente, e já descendo a encosta, o canal rápido foi reduzido de 160 m para 40 m de largura, no ponto mais baixo, onde deverá haver uma bacia de dissipação com extensão de 11,0 m, com muros laterais de 2,50 m de altura. A única exceção a essas características gerais dos extravasores de emergência refere-se ao vertedor do Reservatório Negreiros, que se situará sobre o próprio maciço galgável da barragem a ser construída em CCR, porém com iguais dimensões da soleira vertente.

3.3.3 Tomadas D'água

Todos os reservatórios e barragens deverão dispor de uma tomada d'água e um sistema de descarga para atender as seguintes finalidades básicas:

- Garantir a descarga igual a 2,0 m³/s para atendimento de usos difusos; e
- Agilizar as operações de esvaziamento dos reservatórios por alguma necessidade operacional de rebaixamento total ou parcial dos níveis d'água normais.

Os eixos das tomadas d'água foram posicionados para apresentar uma submergência de 4,0 m, abaixo do N.A. mínimo excepcional fixado para cada reservatório. O sistema de descarga deverá constar de uma tubulação de ferro fundido e duas válvulas dispersoras. Para garantir a descarga para usos difusos, a tubulação e a válvula deverão ter um diâmetro mínimo de 0,70 m. Nestas condições de carga mínima, tem-se a garantia da descarga de 1,0 m³/s em cada uma das duas válvulas.

Conforme definição do N.A. mínimo minimorum descrita nos critérios de projeto, a garantia de funcionamento das estruturas de captação para usos difusos nos reservatórios a montante das EB's será dada pela fixação de uma altura mínima operacional de água igual a 3,0 m nas tomadas d'água das Estações de Bombeamento. Nos reservatórios a jusante das EB's, esta mesma garantia poderá ser assegurada pelo fechamento total ou parcial das comportas da estrutura de controle do fluxo, ou pela própria altura do perfil vertente da estrutura de controle, que foi fixada em 3,0 m em todos os reservatórios de passagem do PTSF.

3.4 ESTRUTURAS

No desenvolvimento do Projeto Básico, as estruturas de concreto associadas aos barramentos foram, num primeiro instante, concebidas valendo-se de obras similares de comprovada eficiência e segurança ao porte das estruturas do PTSF, bem como empregando os critérios de projeto definidos para o empreendimento.

Na seqüência dos estudos foram feitos ajustes nas dimensões básicas de cada estrutura, a partir de análises de estabilidade e de estudos simplificados de tensões.

Basicamente, a estrutura que foi objeto de análise detalhada foi a Barragem Negreiros, concebida em Concreto Compactado com Rolo, e as Tomadas D'Água de cada barramento.

No Anexo 2 apresentam-se os diversos dimensionamentos desenvolvidos.

3.5 ELETROMECAÂNICA

Nos reservat3rios de todos as barragens 3 exce33o de Jati, foi prevista a implanta33o de uma tomada d'3gua para assegurar uma vaz3o 3 jusante do barramento, com capacidade de vaz3o de 2 m³/s, considerando uma carga m3nima de 4 m.

As tomadas d'3gua foram projetadas em uma estrutura em forma de uma torre, instalada dentro do reservat3rio, com acesso atrav3s de uma passarela, desde a crista da barragem.

Foi prevista uma grade met3lica remov3vel com malha fina de 25mm, para impedir a entrada de detritos.

Na mesma ranhura de opera33o desta grade met3lica, poder3 ser colocada uma comporta ensecadeira, para fechamento e manuten33o da tomada d'3gua e de seus equipamentos.

O acesso ao interior da torre ser3 poss3vel a partir de uma escada tipo marinhaeiro, desde a passarela at3 o fundo da torre.

Da torre sair3 uma tubula33o com di3metro de 700mm at3 uma bifurca33o a jusante da barragem. A tubula33o prevista ser3 fabricada em a3o, e ser3 totalmente envelopada em concreto, na sua passagem pelo fundo da barragem.

A montante da bifurca33o prev3-se a instala33o de um medidor de vaz3o eletromagn3tico (DN 700mm).

Em cada ramal (DN 500 mm) da bifurca33o ser3o instaladas uma v3lvula de isolamento, tipo borboleta e uma v3lvula de controle de vaz3o do tipo dispersora. O controle da vaz3o est3 previsto para ser operado a dist3ncia, n3o se necessitando de um operador local.

A descarga de 3gua da v3lvula dispersora ser3 ligeiramente inclinada para cima, permitindo a sua dispers3o plena na atmosfera, acima do canal de des3g3e.

As características principais dos equipamentos mecânicos de cada tomada d'água são as seguintes:

- Dimensões abertura da tomada d'água (HxL)..... 3x1m
- Comprimento do conduto embutido no fundo da barragem (DN=700mm) var.
- Número de medidores de vazão eletromagnético (DN=700mm)..... 1
- Número de válvulas de isolamento tipo borboleta (DN=500mm)..... 2
- Número de válvulas de controle (DN=500 mm) 2
- Carga mínima de projeto 4m
- Vazão unitária das válvulas 1 m³/s
- Tipo de comando e controle à distância

4. FICHA TÉCNICA DOS BARRAMENTOS

A Tabela 5 apresenta a ficha técnica dos barramentos do Trecho I do PTSF, enquanto que a Tabela 6 os principais quantitativos das obras civis.

DESCRIÇÃO	UN.	BARRAGENS										TOTAL (m³)
		TUCUTU	TERRA NOVA	SERRA DO LIVRAMENTO	MANGUEIRA	NEGREIROS - CCR	NEGREIROS - Dique 1	NEGREIROS - Dique 2	MILAGRES Barragem	MILAGRES Dique	JATI	
1 - LOCALIZAÇÃO												
Riacho		Rcho Tucutu	Rcho da Cacimbina	--	Rcho da Barra	Rcho dos Negreiros			Rcho dos Milagres	Rcho Baião		
Sub-Bacia		Tucutu	Terra Nova	Terra Nova	Salgueiro / T. Nova	Salgueiro / T. Nova			Salgueiro / T. Nova	Salgado		
Bacia		São Francisco	São Francisco	São Francisco	São Francisco	São Francisco			São Francisco	Jaguaribe		
Latitude		9.063.500	9.085.500	9.091.600	9.098.800	9.105.000			9.124.100	9.148.300		
Longitude		449.200	460.650	464.500	475.500	480.100			491.200	499.750		
Estaca do Sistema do PTSF		9+100 - 11+600	46+080 - 49+460	53+760 - 56+050	73+390 - 76+970	82+760 - 86+290			106+705 - 119+200	141+140 - 142+031		
UF		PE	PE	PE	PE	PE			PE	CE		
2 - DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS												
Área de Drenagem	km²	8,10	23,30	2,50	32,40		12,20		83,50		2,30	
Prec. Méd. Anual (Bacia)	mm	572	607	627	639		572		604		660	
Prec. Méd. Anual (Zona Reserv.)	mm	572	607	627	639		572		604		660	
Evap. Méd. Anual (Zona Reserv.)	mm	2.200	2.100	2.100	2.100		2.100		2.000		2.000	
Vazão de Enchente (TR: 1000 anos)	m³/s	37,10	71,00	47,40	137,40		66,70		203,10		55,30	
3 - RESERVATÓRIO												
N.A. de Montante:												
N.A. Min. Oper.	m	357,48	351,00	405,82	402,52		491,74		488,74		484,73	
N.A. Min. Min.	m	356,73	350,95	405,07	402,44		491,06		488,05		484,73	
N.A. Normal	m	359,73	354,04	408,07	405,11		493,83		490,83		486,72	
N.A. Máx. Oper.	m	359,73	354,55	408,07	405,34		493,83		491,42		486,72	
N.A. Máx. Max.	m	361,00	355,64	409,35	406,46		495,06		492,13		487,79	
Áreas:												
Inundada (N.A. Máx. Maximorum)	km²	3,47	2,20	1,57	3,20		2,49		11,35		1,35	
No N.A. Máx. Oper.	km²	3,12	1,87	1,54	2,77		2,25		10,50		1,32	
No N.A. Min. Oper.	km²	2,53	1,05	1,47	1,93		1,95		8,40		1,22	
Volumes:												
No N.A. Máx. Oper.	x 10 ⁶ m³	24,40	8,20	19,10	19,30		23,00		96,00		28,20	
Útil	x 10 ⁶ m³	15,20	2,60	14,15	11,50		16,00		70,00		25,00	
Vida Útil Reserv. (Prevista)	anos	>100	>100	>100	>100		>100		>100		>100	
4 - BARRAGEM												
Tipo		ENA	ENA	ENA	ENA	CCR	ENA	ENA	ENA	ENA	HOM	
Comprim. Total na Crista	m	2.340	2.389	3.097	1.018	229	412	652	816	308	1.704	
Altura Máxima	m	27,50	20,00	27,50	26,40	36,80	23,30	31,20	36,40	26,80	57,00	
Cota na Crista	m	362,20	357,00	410,50	407,70	496,40	496,40	496,40	493,60	493,60	488,80	
Volumen Principais:												
Enrocamento	m³	-	430.257	899.808	242.195	-	170.619	335.192	458.748	98.689	72.349	
Terra	m³	-	404.162	778.529	78.874	-	49.853	100.886	125.436	28.995	2.455.923	
Concreto	m³	320.500	-	-	-	58.750	-	-	300	-	7.570	
Filtros e Transições	m³	-	116.525	176.644	38.938	-	22.791	41.687	46.310	13.183	186.769	
5 - SISTEMA EXTRAVASOR												
Tipo		Livre	Livre	Livre	Livre	Livre			Livre		Livre	
Vazão de Projeto	m³/s	99	99	99	99	99			89		89	
Cota da Soleira	m	360,50	355,40	408,85	406,10	494,60			491,60		487,20	
Comprim. da Soleira	m	160	160	160	160	160			160		160	
Volumen:												
Escavação Comum	m³	-	300.640	57.915	57.865	-	-	-	79.140	-	129.317	
Escavação em Rocha	m³	-	55.465	2.880	480	-	-	-	303.580	-	260	
Concreto	m³	-	590	13.115	5.060	-	-	-	-	-	18.765	
6 - TOMADA D'ÁGUA												
Tipo		Incorp . CCR	Torre	Torre	Torre	Incorp . CCR	-	-	Torre	-	NP	
Altura	m	3,20	9,94	9,5	9,18	3,20	-	-	12,00	-	NP	
Altura da Abertura	m	3	3	3	3	3	-	-	3	-	NP	
Largura da Abertura	m	1	1	1	1	1	-	-	1	-	NP	
Controle	-	VD	VD	VD	VD	VD	-	-	VD	-	NP	
Diâmetro Tubulação	mm	700	700	700	700	700	-	-	700	-	NP	
Diâmetro Válvulas	mm	700	700	700	700	700	-	-	700	-	NP	
Válvula de isolam. tipo borboleta	un.	2	2	2	2	2	-	-	2	-	NP	
Válvula de Controle	un.	2	2	2	2	2	-	-	2	-	NP	
Medidor de Vazão Eletromagnético	un.	1	1	1	1	1	-	-	1	-	NP	
Acionamento	-	Telecomando	Telecomando	Telecomando	Telecomando	Telecomando	-	-	Telecomando	-	NP	
Volumen:												
Escavação Comum	m³	-	1696	2715	5264	-	-	-	489	-	10164	
Escavação em Rocha	m³	-	568	120	68	-	-	-	692	-	1448	
Concreto	m³	410	420	400	400	60	-	-	420	-	2110	

ENA - Enrocamento com Núcleo Argiloso HOM - Homogênea de Solo Compactado CCR - Concreto Compactado a Rolo VD - Válvula Dispensora

TABELA 6 - QUANTITATIVOS DAS OBRAS CIVIS

Atividade	Un	Tucutu	Terra Nova	Serra do Livramento	Mangueira	Negreiros				Milagres			Jati
		Quant	Quant	Quant	Quant	Negreiros Dique 1	Negreiros Barr. CCR	Negreiros Saída EB	Quant Total	Milagres Barragem	Milagres Dique	Quant Total	Quant
Comprimento	m	2.340	2.390	2.940	1.340	415	233	680		595	220		1.704
Altura Máxima	m	27,50	20,00	27,50	26,40	23,30	36,80	31,20		36,40	26,80		56,00
Altura Representativa	m	18,33	13,33	18,33	17,60	15,53	24,53	20,80		24,27	17,87		37,33
Largura representativa da base	m	59,17	44,67	59,17	57,04	51,05	31,63	66,32		76,37	57,81		114,27
Desapropriação	há	363	272	162	360	271	-	-	271	1.532			139
Limpeza e Desmatamento	há	332	222	158	316	251	-	-	251	1.383			136
Escavação Comum	m³c	200.460	764.620	212.980	155.039	34.100	14.750	62.000	110.850	42.030	62.180	104.210	125.130
Escavação de material de 2a	m³c	305.910	103.335	203.340	211.370	64.330	25.540	65.000	154.870	40.150	86.750	126.900	115.410
Escavação em Rocha	m³c	4.330	570	3.000	550	-	210	-	210	881.430	-	881.430	260
Limpeza e Tratamento do Nucleo	m²	62.300	48.040	78.280	19.110	5.300	-	11.270	16.570	11.360	3.180	14.540	19.470
Limpeza e Tratamento do Concreta Nucleo	m²	76.150	58.710	95.670	57.330	15.890	-	33.820	49.710	34.080	9.540	43.620	175.240
Limpeza e Tratamento de Estruturas de Concreto	m²	930	320	3.360	8.240	-	7.369	-	7.369	45.442	12.719	58.161	5.000
Solo Compactado	m³s	451.770	404.160	778.530	78.880	49.860	-	100.890	150.750	125.440	29.000	154.440	2.455.930
Filtro Horizontal de Areia	m³s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	146.000
Transição Fina Compactada (Vertical / Inclinada)		49.260	55.340	84.590	17.550	10.640	-	19.680	30.320	21.760	6.090	27.850	12.600
Transição Grossa	m³s	54.040	61.190	92.060	21.400	12.150	-	22.020	34.170	24.560	7.100	31.660	28.180
Enrocamento Compactado	m³s	521.230	430.260	899.810	242.200	170.620	-	335.200	505.820	458.750	98.690	557.440	-
Enrocamento de Proteção	m³s	19.490	25.240	31.870	9.000	4.330	-	4.090	8.420	7.940	2.750	10.690	72.350
Revestimento de Crista	m³s	2.420	2.960	3.780	1.240	520	-	810	1.330	950	340	1.290	2.045
Injeções Exploratórias	m	2.011	1.494	2.527	1.106	302	268	663	1.233	677	184	861	2.982
Injeções de Contato/Consolidação	m	800	800	800	800	-	3.685	-	3.685	800	-	800	800
Furo de Drenagem	m	-	-	-	-	-	905	-	905	-	-	-	-
Pizômetros Pneumáticos	un	18	18	18	18	18	-	18	36	18	18	36	54
Marcos Superficiais	un	70	72	88	40	12	-	20	33	18	7	24	51
Medidores de Recalque	un	3	3	3	3	3	-	3	6	3	3	6	9
Plantio de Grama	m²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	127.232
Concreto Estrutural	m³	500	290	3.035	3.960	-	10.460	-	10.460	-	-	-	3.900
Concreto Massa	m³	1.120	300	10.080	1.100	-	-	-	-	300	-	300	3.670
Concreto Compactado a Rolo	m³	-	-	-	-	-	60.409	-	60.409	-	-	-	-
Concreto de Face	m³	-	-	-	-	-	1.550	-	1.550	-	-	-	-
Cimento	t	284	123	2.120	1.320	-	3.603	-	3.603	36	-	36	1.610
Armadura	t	51	26	344	328	-	1.170	-	1.170	3	-	3	349
Formas	m²	474	205	3.534	2.200	-	18.862	-	18.862	60	-	60	2.684
Fibras Sintéticas	t	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escavação em Área de Empréstimo	m³c	347.199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	109.682	2.969.809
Escavação em Pedreira	m³c	451.328	46.283	176.641	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bota Fora de Solo	m³s	40.092	152.924	42.596	31.008	-	-	-	22.170	-	-	20.842	25.026
Bota Fora de Material de 2a Categoria	m³s	30.591	10.334	20.334	21.137	-	-	-	15.487	-	-	12.690	11.541
Bota Fora de Rocha	m³s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	468.838	-
Momento de Transporte de Solo	mc³*km	205.632	325.287	45.153	62.052	-	-	-	124.564	-	-	-	-
Momento de Transporte de Mat 2a Categoria	m³c*km	200.710	-	108.967	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Momento de Transporte de Rocha	m³c*km	-	1.687.060	2.861.529	1.248.938	-	-	-	1.088.131	-	-	-	710.780
Usos Difusos	Un	Tucutu	Terra Nova	Serra Livramento	Mangueira	Negreiros Principal	Negreiros Dique CCR	Negreiros Saída EB	Negreiros Total	Milagres Barragem	Milagres Dique	Milagres Total	Jati
Concreto da Torre	m³	270	280	260	260	-	-	-	-	280	-	280	-
Concreto de Envelope da Tubulação	m³	60	60	60	60	-	-	-	-	60	-	60	-
Concreto da Caixa de Válvulas	m³	80	80	80	80	-	60	-	60	80	-	80	-
Cimento	t	123	126	120	120	-	18	-	18	126	-	126	-
Armadura	t	33	34	32	32	-	5	-	5	34	-	34	-
Formas	m²	410	420	400	400	-	60	-	60	420	-	420	-
Limpeza e Tratamento de Estruturas de Concreto	m²	130	130	130	130	-	40	-	40	130	-	130	-
Injeções de Contato	m	140	136	136	128	-	-	-	-	136	-	136	-

ANEXO 1
DIMENSIONAMENTOS GEOTÉCNICOS

ÍNDICE

	PÁG.
1. ANÁLISE DE ESTABILIDADE.....	3
1.1 INTRODUÇÃO.....	3
1.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE.....	3
1.3 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS.....	4
1.4 ANÁLISES EFETUADAS.....	5
1.5 RESULTADOS OBTIDOS.....	5
1.6 CONCLUSÕES.....	6
2. ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO.....	7
2.1 INTRODUÇÃO.....	7
2.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE.....	7
2.3 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS.....	8
2.4 ANÁLISES EFETUADAS.....	8
2.5 RESULTADOS OBTIDOS.....	9

1. ANÁLISE DE ESTABILIDADE

1.1 INTRODUÇÃO

As análises de estabilidade desenvolvidas, tiveram por objetivo confirmar as inclinações dos taludes das barragens de terra e de enrocamento das obras do Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional.

Foram analisadas as seções típicas de maior altura de cada barramento, tendo sido analisadas as seguintes barragens:

- Barragem de Enrocamento de Tucutú;
- Barragem de Enrocamento de Terra Nova;
- Barragem de Enrocamento de Serra do Livramento;
- Barragem de Enrocamento de Mangueira;
- Barragem de Enrocamento de Negreiros;
- Barragem de Enrocamento de Milagres;
- Barragem de Terra de Jatí.

1.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE

As análises de estabilidade foram realizadas utilizando-se o programa computacional Geo-Slope, que admite pesquisa de superfícies circulares e poligonais.

Para a Barragem de Terra, foram pesquisadas superfícies circulares de ruptura adotando-se o método de Bishop, que admite o equilíbrio de momentos em relação ao centro do círculo.

Para as Barragens de Enrocamento, foram pesquisadas superfícies de ruptura adotando-se o método de Morgenstern & Price, que admite o equilíbrio de momentos e das forças horizontais e verticais.

1.3 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento - coesão (c'), ângulo de atrito (ϕ') - assim como os pesos específicos dos materiais de construção dos maciços das barragens utilizados nas análises de estabilidade, foram os apresentados na Tabela 1.

O parâmetro de pressão neutra (B) utilizado nas análises de estabilidade para a situação de final de construção, foi estimado com base na experiência com materiais semelhantes.

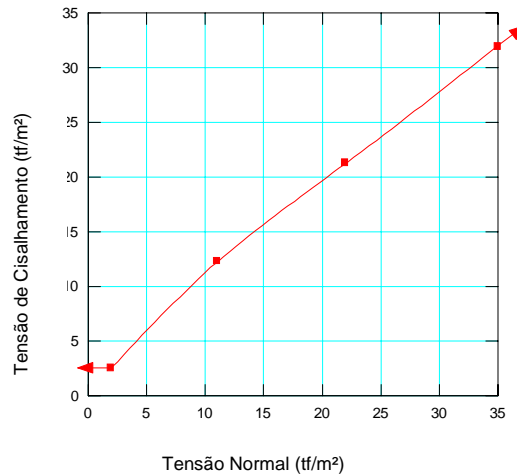
TABELA 1
PARÂMETROS ADOTADOS

ZONA	PESOS ESPECÍFICOS (t/m ³)		PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO		B = $\frac{u}{\sigma_1}$
	Úmido	Saturado	Coesão (C') (tf/m ²)	Ângulo de Atrito (ϕ') em graus	
Solo Compactado	1,80	1,90	1,0	28	0,10
Transição Fina	1,90	2,00	0,0	28	-
Transição Grossa	2,00	2,10	0,0	35	-
Enrocamento	2,20	2,30	0,0	Nota 1	-
Saprolitos (fundação)	1,80	1,90	0,0	30	-
Rocha (fundação)	2,60	2,60	10,0	45	-

Nota 1: Para o enrocamento foi adotado um parâmetro de resistência ao cisalhamento que varia com as tensões confinantes de acordo com a barragem em estudo, variando o ângulo de atrito de 42°, 44°, 48° e 52°.

O gráfico a seguir, apresenta a título de exemplo uma das variações adotadas, onde:

$$\tau_n = \sigma_n \cdot \text{tang}\phi \text{ (tf/m}^2\text{)}$$



1.4 ANÁLISES EFETUADAS

As análises foram desenvolvidas considerando as seguintes condições:

final de construção – onde foram analisados os taludes de montante e jusante, considerando o parâmetro de pressão neutra (B) no maciço compactado da barragem de terra e no núcleo argiloso das barragens de enrocamento;

regime permanente - para o talude de jusante, com nível de água a montante na elevação normal relativo a cada barragem, considerando-se dissipação total do excesso de pressão neutra no maciço compactado;

rebaixamento rápido – não foi considerado por não ocorrer em nenhum dos casos estudados.

Os fatores de segurança mínimos admissíveis considerados foram: 1,30 para a situação de final de construção e 1,50 para regime.

1.5 RESULTADOS OBTIDOS

A tabela a seguir apresenta os resultados das análises de estabilidade desenvolvidas:

BARRAGEM ANALISADA	MÉTODO DE ANÁLISE	CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO SITUAÇÃO	TALUDE	FATOR DE SEGURANÇA OBTIDO	FIGURA N°
TUCUTÚ	Morgenstern & Price	Regime Permanente	Jusante	1,614	1
		Final de construção	Jusante	1,700	2
		Final de construção	Montante	1,862	3
TERRA NOVA	Morgenstern & Price	Regime Permanente	Jusante	1,547	4
		Final de construção	Jusante	1,663	5
		Final de construção	Montante	1,775	6
SERRA DO LIVRAMENTO	Morgenstern & Price	Regime Permanente	Jusante	1,665	7
		Final de construção	Jusante	1,740	8
		Final de construção	Montante	1,819	9
MANGUEIRA	Morgenstern & Price	Regime Permanente	Jusante	1,754	10
		Final de construção	Jusante	1,826	11
		Final de construção	Montante	1,938	12
NEGREIROS	Morgenstern & Price	Regime Permanente	Jusante	1,692	13
		Final de construção	Jusante	1,700	14
		Final de construção	Montante	1,798	15
MILAGRES	Morgenstern & Price	Regime Permanente	Jusante	1,627	16
		Final de construção	Jusante	1,673	17
		Final de construção	Montante	1,746	18
JATÍ	Bishop	Regime Permanente	Jusante	1,443	19
		Final de construção	Jusante	1,374	20
		Final de construção	Montante	1,544	21
		Regime Permanente	Jusante	1,505(ver nota1)	22

Nota 1: Foi considerado nesta análise a execução de um berma estabilizante na elevação 444,0 m com 10,0 m de largura.

As figuras das análises estão apresentadas em anexo.

1.6 CONCLUSÕES

Para as barragens de Negreiros e Serra do Livramento, foi considerado, a escavação total da camada de saprolito na fundação.

Para as barragens de Mangueira, Milagres e Tucutú, foi considerado nas análises de estabilidade, a escavação do solo saprolítico da fundação, somente no espaldar de jusante.

Já para as barragens de Terra Nova e Jati, não foi considerado a escavação do horizonte saprolítico presente na fundação.

A escavação parcial do horizonte saprolítico nas barragens citadas acima, objetivou melhorar as condições de estabilidade destes barramentos, uma vez que as superfícies de ruptura passavam por este material de baixa resistência, reduzindo os fatores de segurança pesquisados.

Levando-se em consideração que os horizontes saprolíticos presentes nas fundações das barragens encontram-se com espessuras variando de 1,0 a 2,0 m, tornou-se recomendável a remoção parcial deste material.

O fator de segurança obtido na barragem de terra de Jati para a condição de regime permanente, ficou abaixo do mínimo admissível, tornando-se necessário o acréscimo de uma berma estabilizante na elevação 444,0 m com 10,0 m de largura na seção, como pode ser visto na figura 22 em anexo. Desta forma o fator de segurança obtido encontra-se acima do mínimo admitido.

Para as demais barragens, as análises efetuadas mostraram que os taludes propostos estão em conformidade com os fatores de segurança mínimos admissíveis.

2. ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO

2.1 INTRODUÇÃO

A análise de percolação desenvolvida, objetivou determinar as vazões percoladas pelo maciço e pela fundação da barragem de terra de Jati, com intuito de posteriormente, avaliar as dimensões do filtro vertical e do tapete horizontal.

Foi analisada a seção de maior altura da barragem, sobre fundação de saprolito com espessura média de 4,0 m sobreposto à rocha sã (xisto), com altura de 55,4 m e carga hidráulica de 52,7 m.

2.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE

A análise de percolação foi realizada utilizando-se o programa computacional Geo-Slope – Seep / W, que permite a estimativa das vazões percoladas através

da fundação e do maciço, subsidiando assim o dimensionamento da drenagem interna da barragem.

2.3 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

- Maciço Compactado

O parâmetro de permeabilidade do maciço compactado foi adotado como $1,00 \times 10^{-6}$ cm/s ou seja, $1,00 \times 10^{-8}$ m/s.

- Fundação

Foi considerado como permeável, apenas o horizonte saprolítico com uma espessura média de 4,0 m, onde a permeabilidade adotada foi de $5,00 \times 10^{-6}$ cm/s ou seja, $5,00 \times 10^{-8}$ m/s.

- Areia para Filtro

A permeabilidade da areia foi adotada como sendo $5,00 \times 10^{-2}$ cm/s ou seja, $5,00 \times 10^{-4}$ m/s.

2.4 ANÁLISES EFETUADAS

As análises foram desenvolvidas considerando a seguinte condição:

- regime permanente - com nível de água a montante no máximo normal 481,74 m;
- gradiente hidráulico no tapete horizontal de 10%.

As figuras das análises estão apresentadas em anexo.

2.5 RESULTADOS OBTIDOS

As vazões encontradas na análise de percolação foram:

- Vazão pelo maciço compactado chegando ao filtro vertical de $Q = 2,98 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$;
- Vazão pela fundação chegando ao tapete horizontal de $Q = 9,60 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$;
- Vazão total que aporta ao tapete horizontal de:

$$Q_t = (2,98 \times 10^{-7} + 9,60 \times 10^{-8}) \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} \therefore Q_t = 3,94 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

As vazões encontradas são relativamente baixas em função das baixas permeabilidades, tanto do maciço compactado como da fundação da barragem.

**RESULTADOS GRÁFICOS DAS ANÁLISES DE
ESTABILIDADE E DA PERCOLAÇÃO**

BARRAGEM TUCUTU

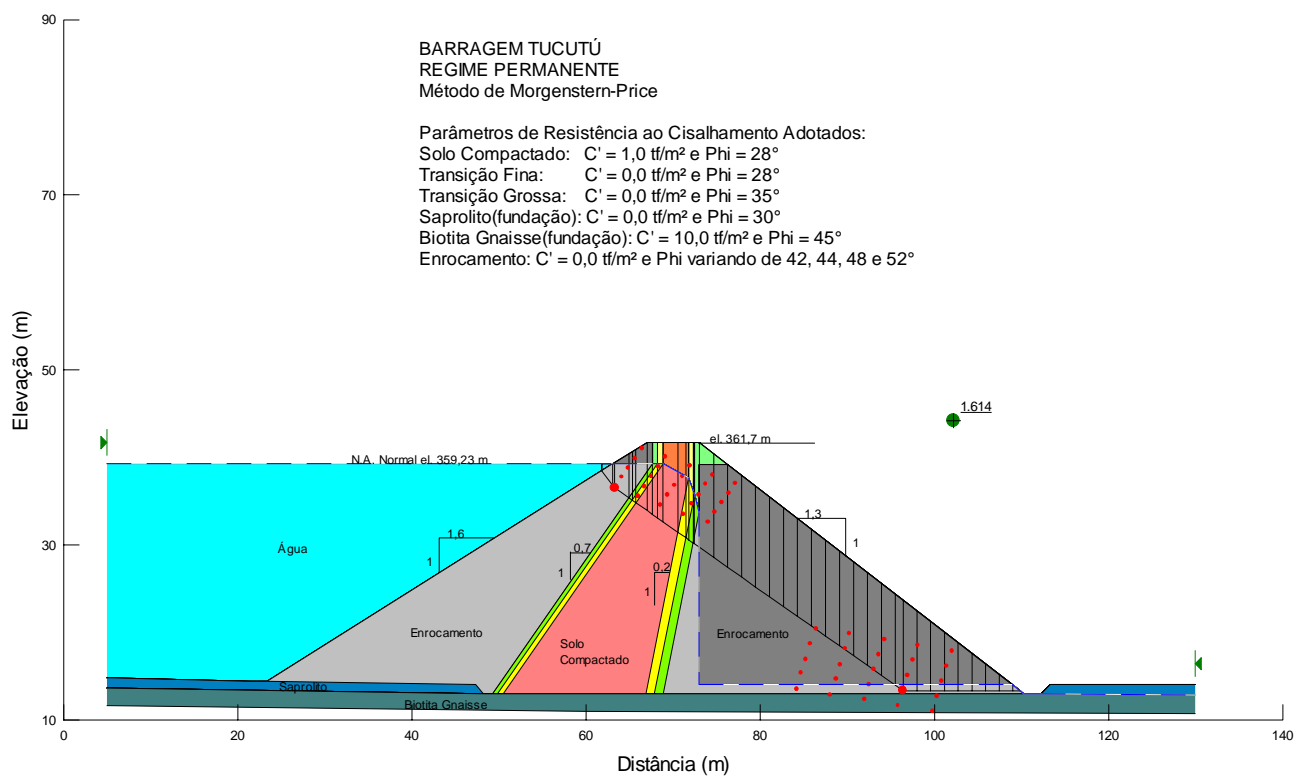


FIGURA 1

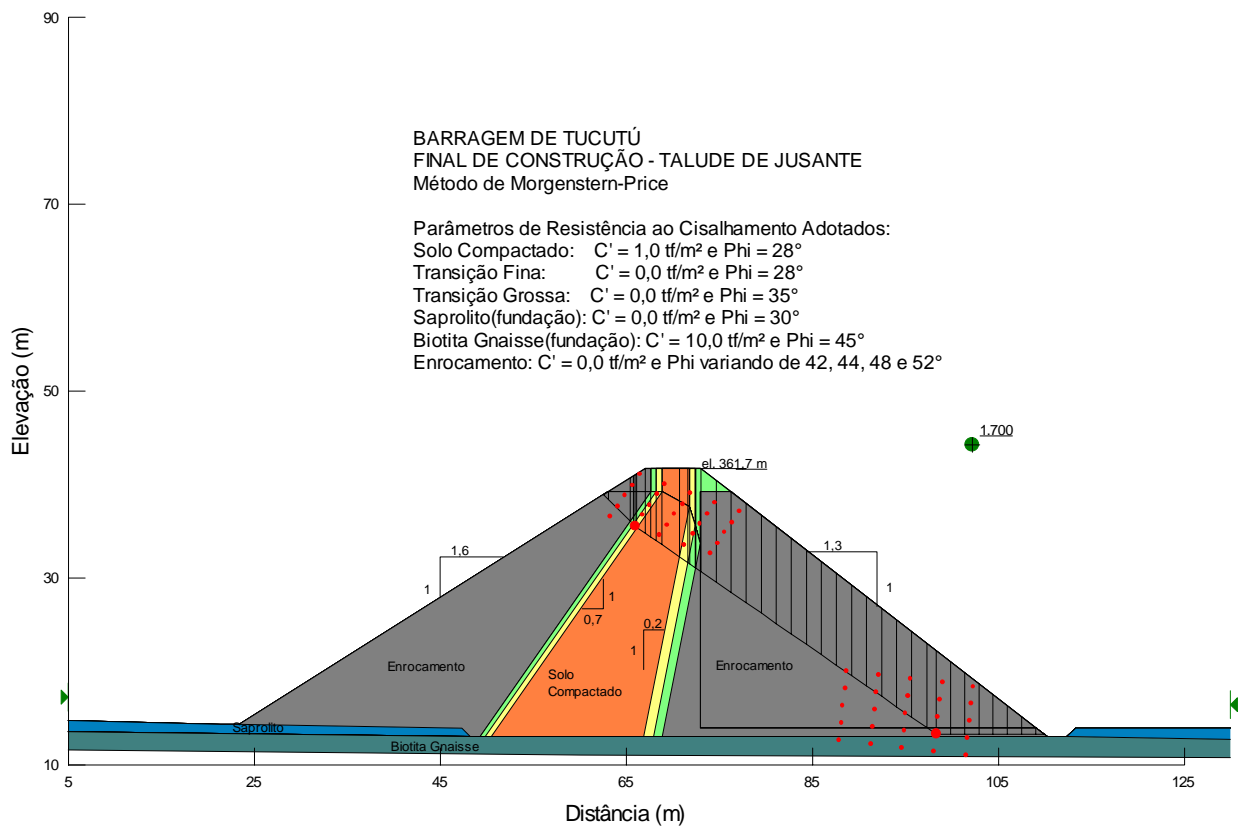


FIGURA 2

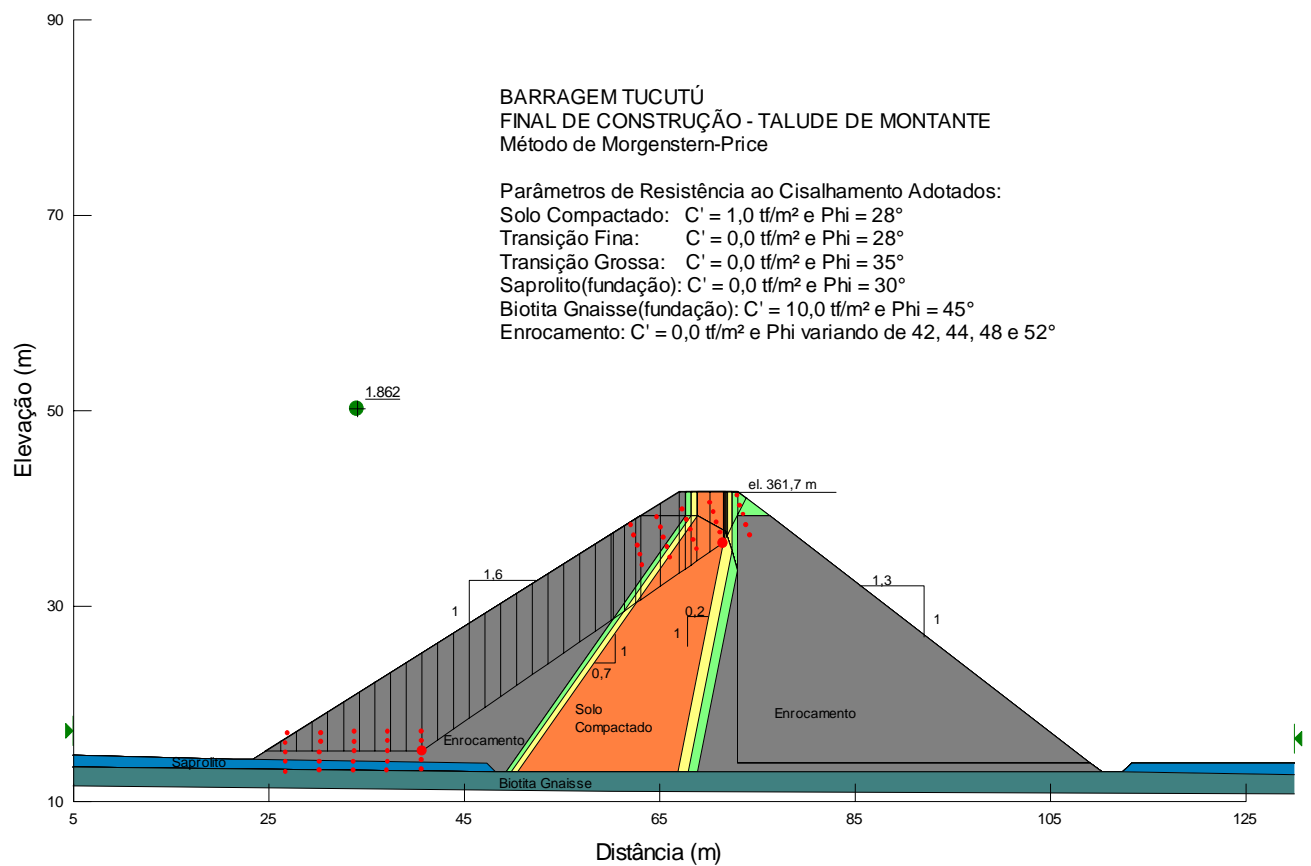


FIGURA 3

BARRAGEM TERRA NOVA

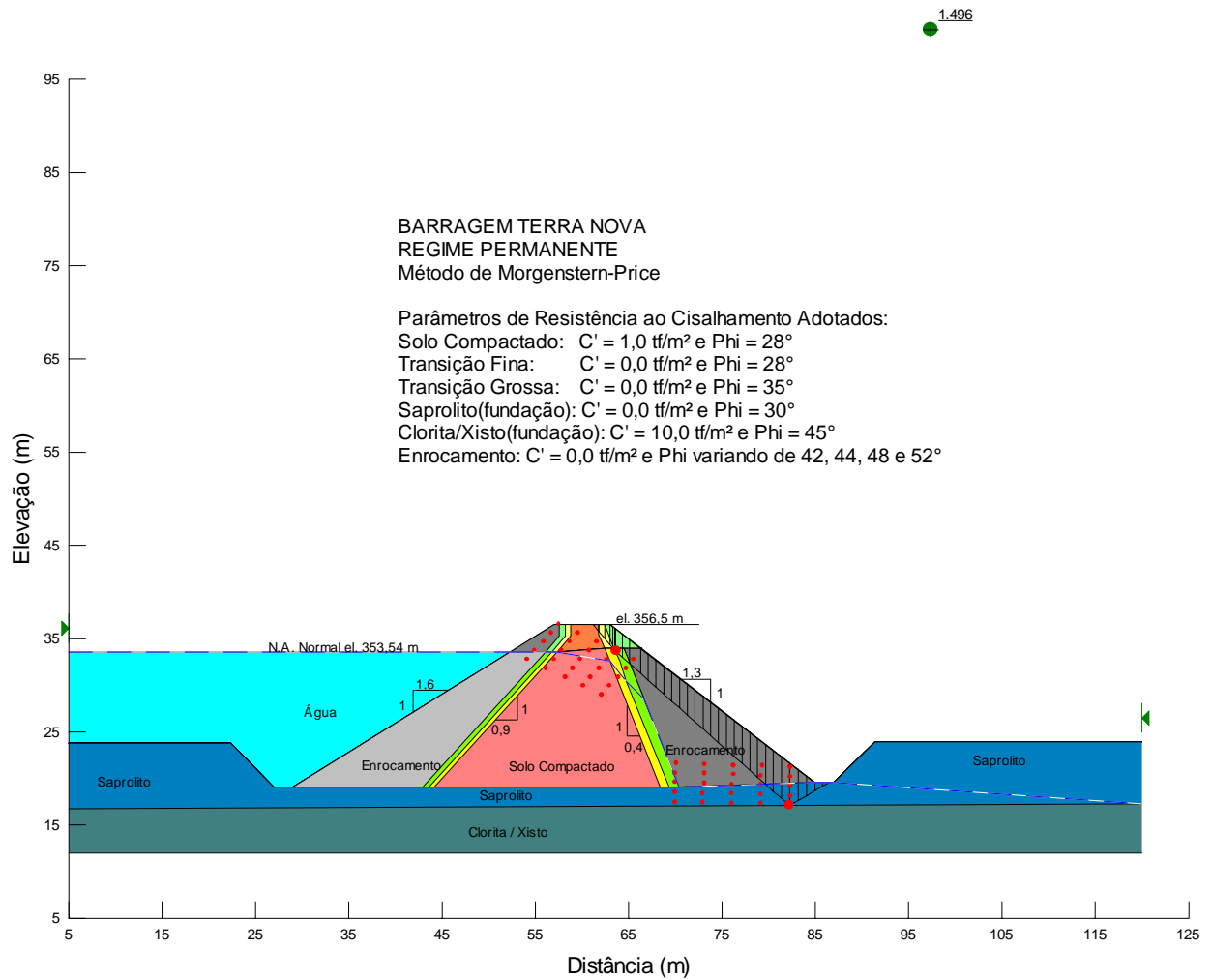


FIGURA 4

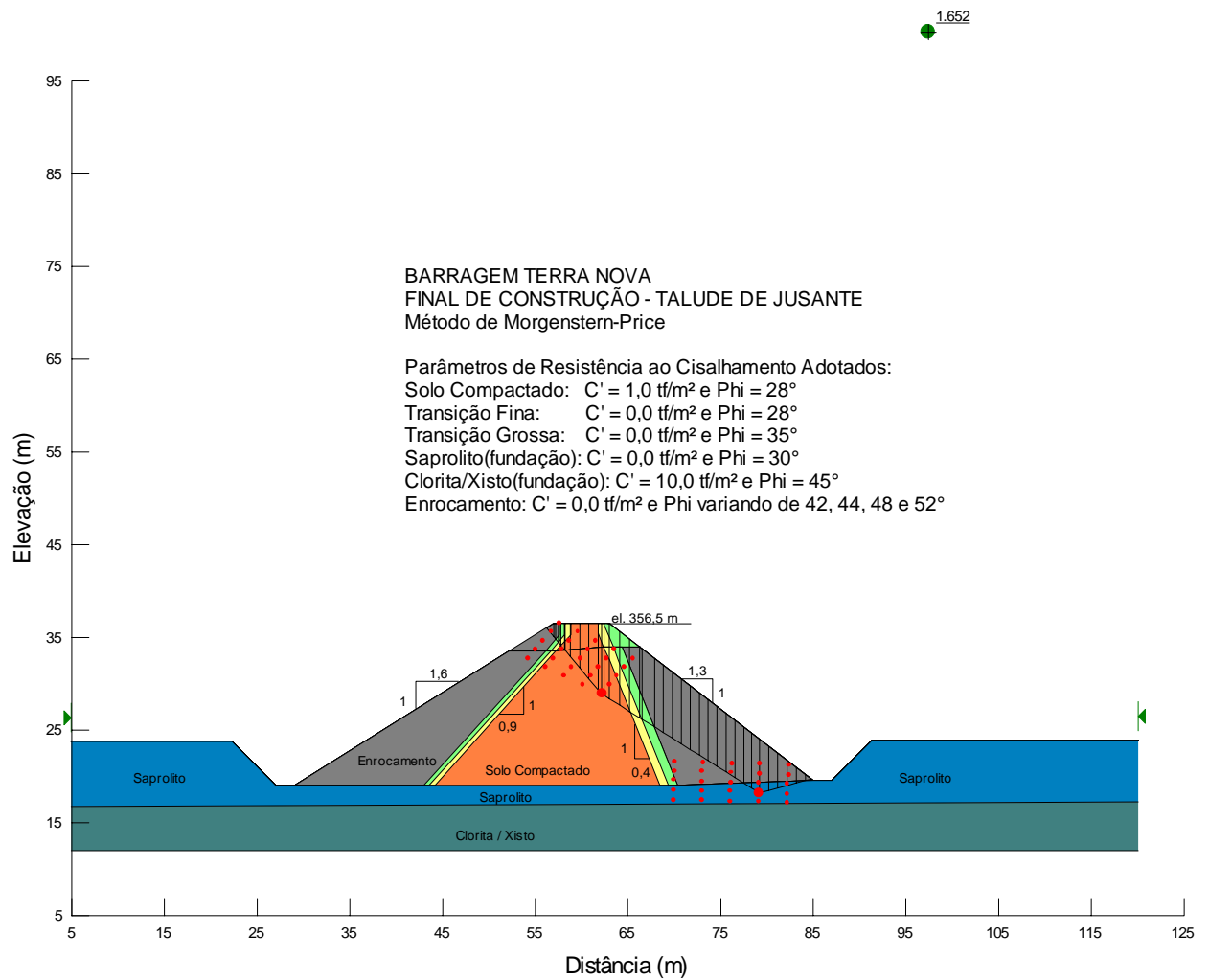


FIGURA 5

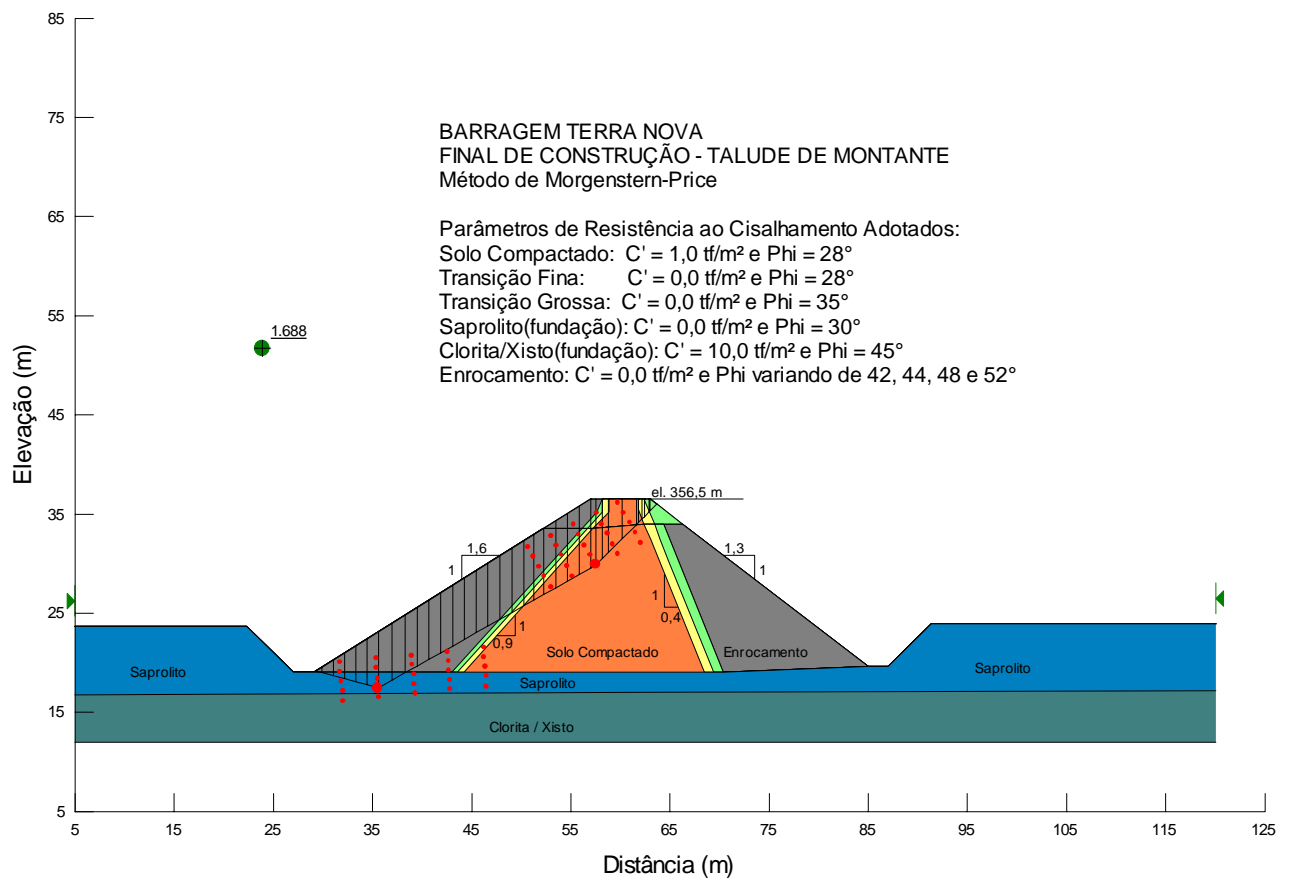


FIGURA 6

BARRAGEM SERRA DO LIVRAMENTO

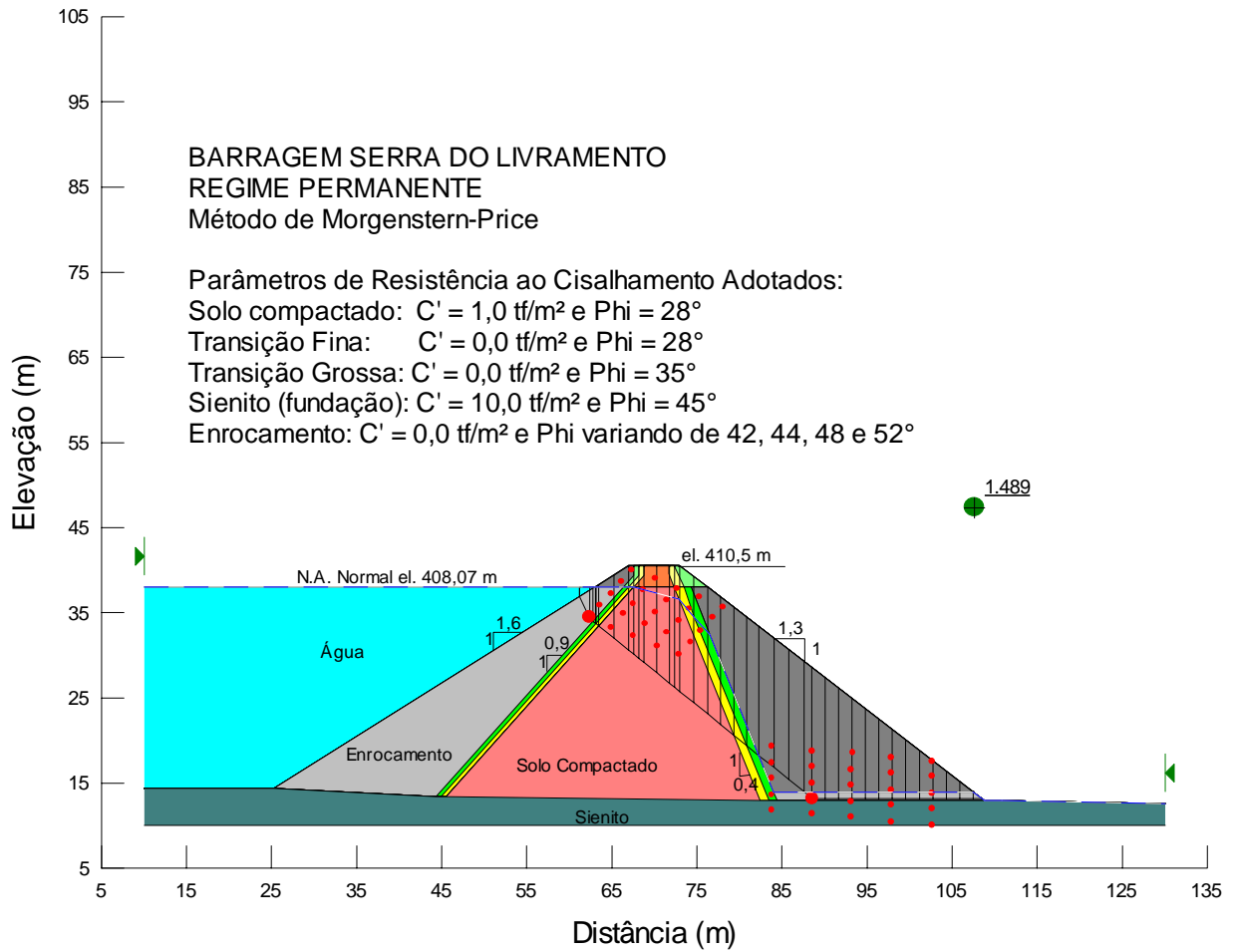


FIGURA 7

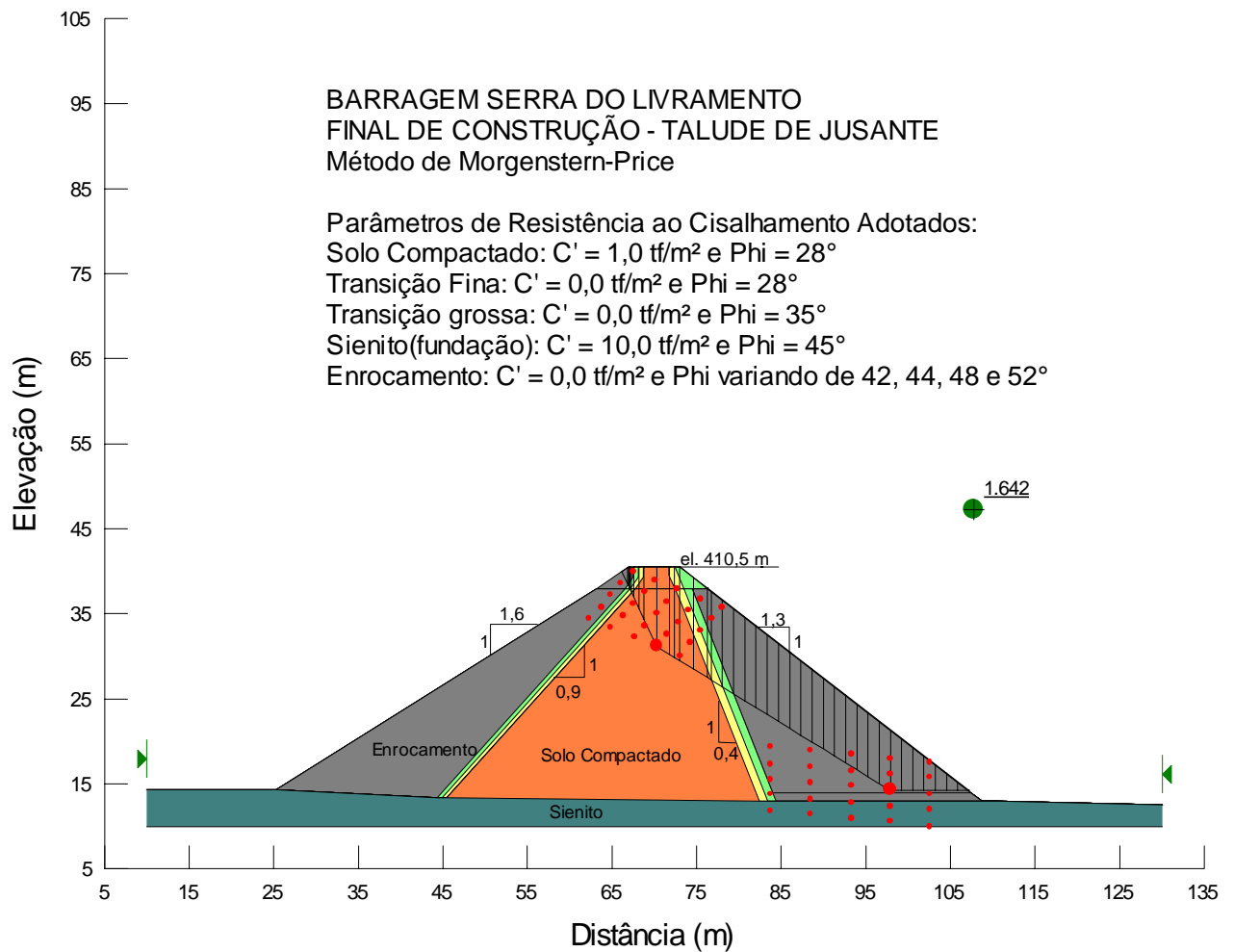


FIGURA 8

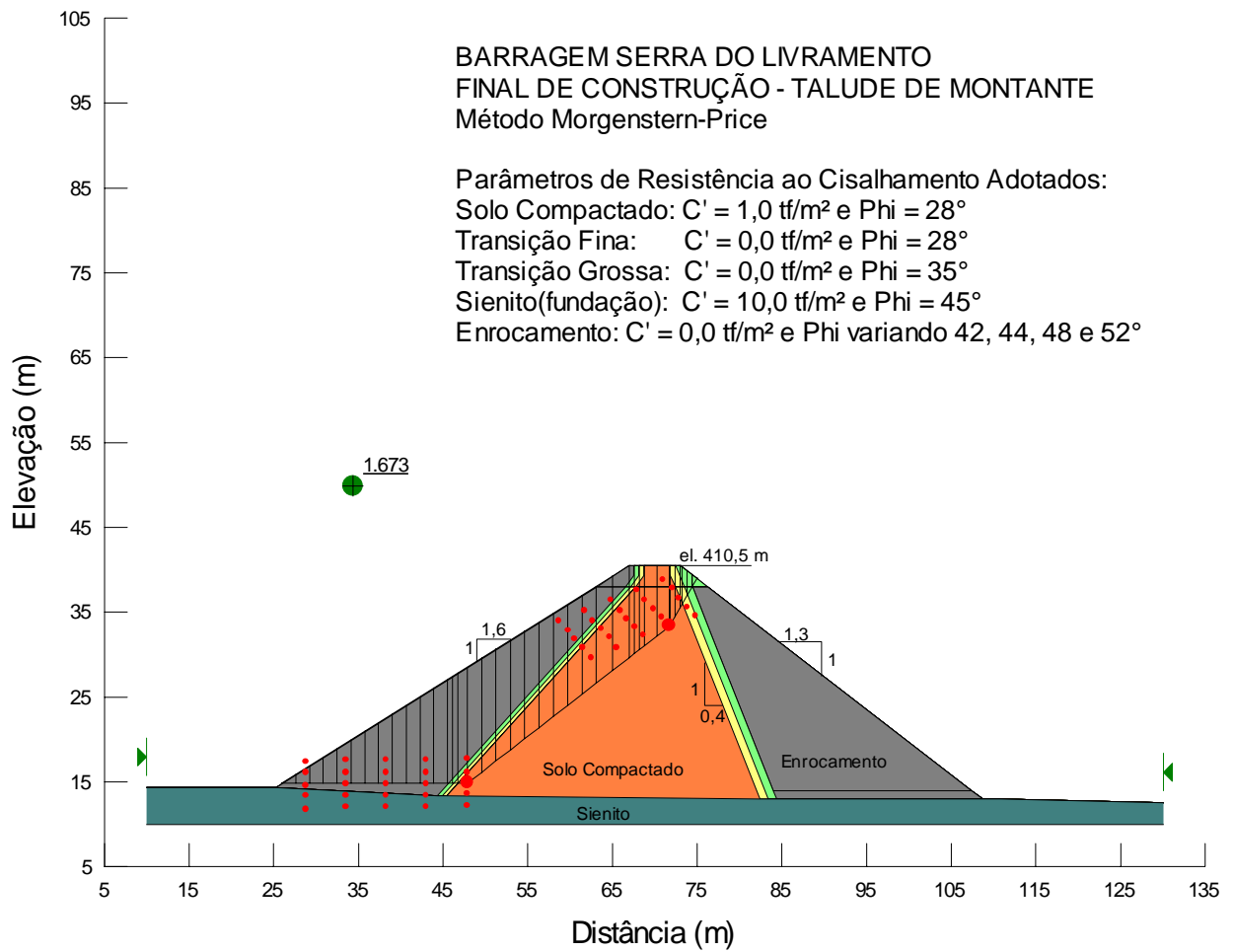


FIGURA 9

BARRAGEM MANGUEIRA

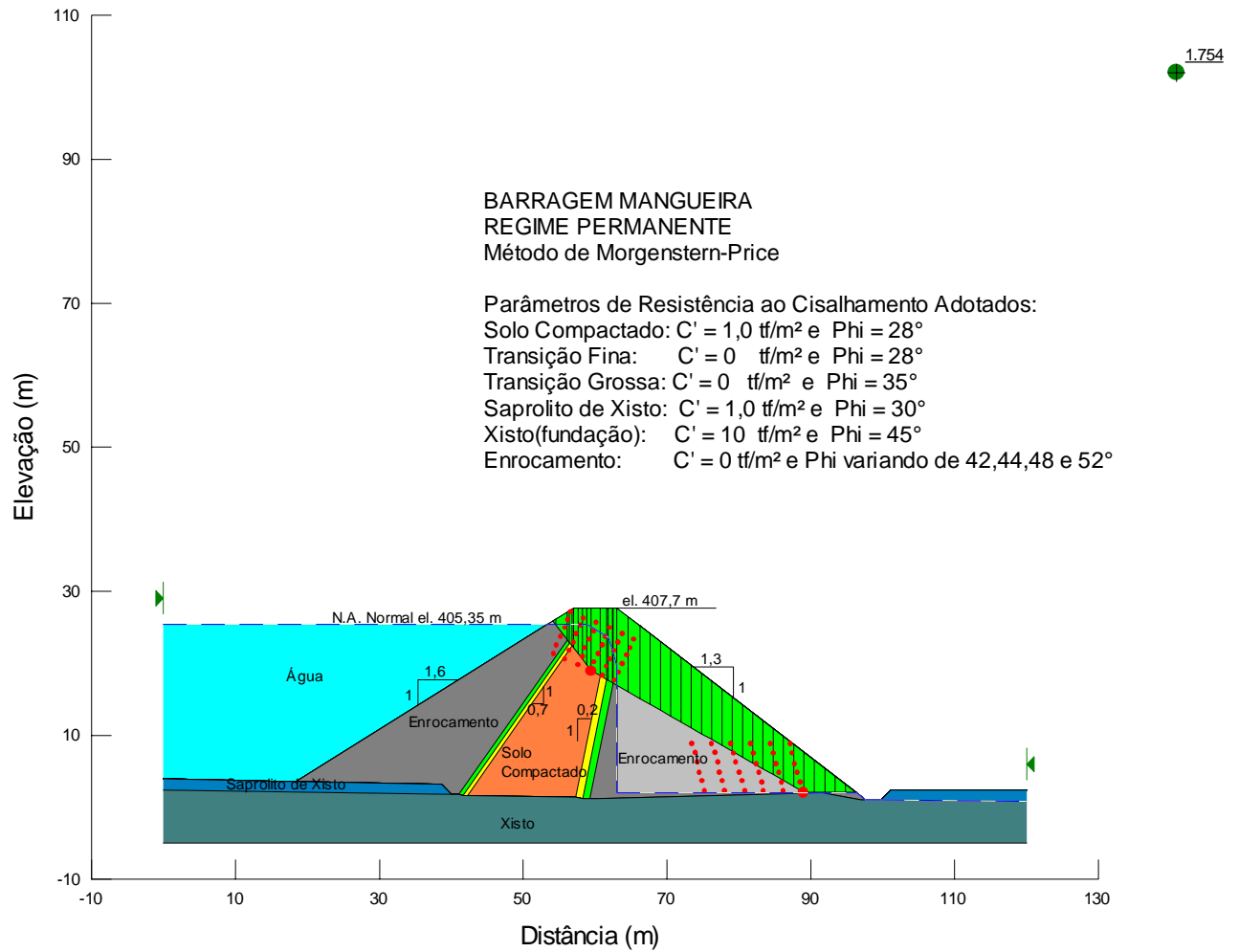


FIGURA 10

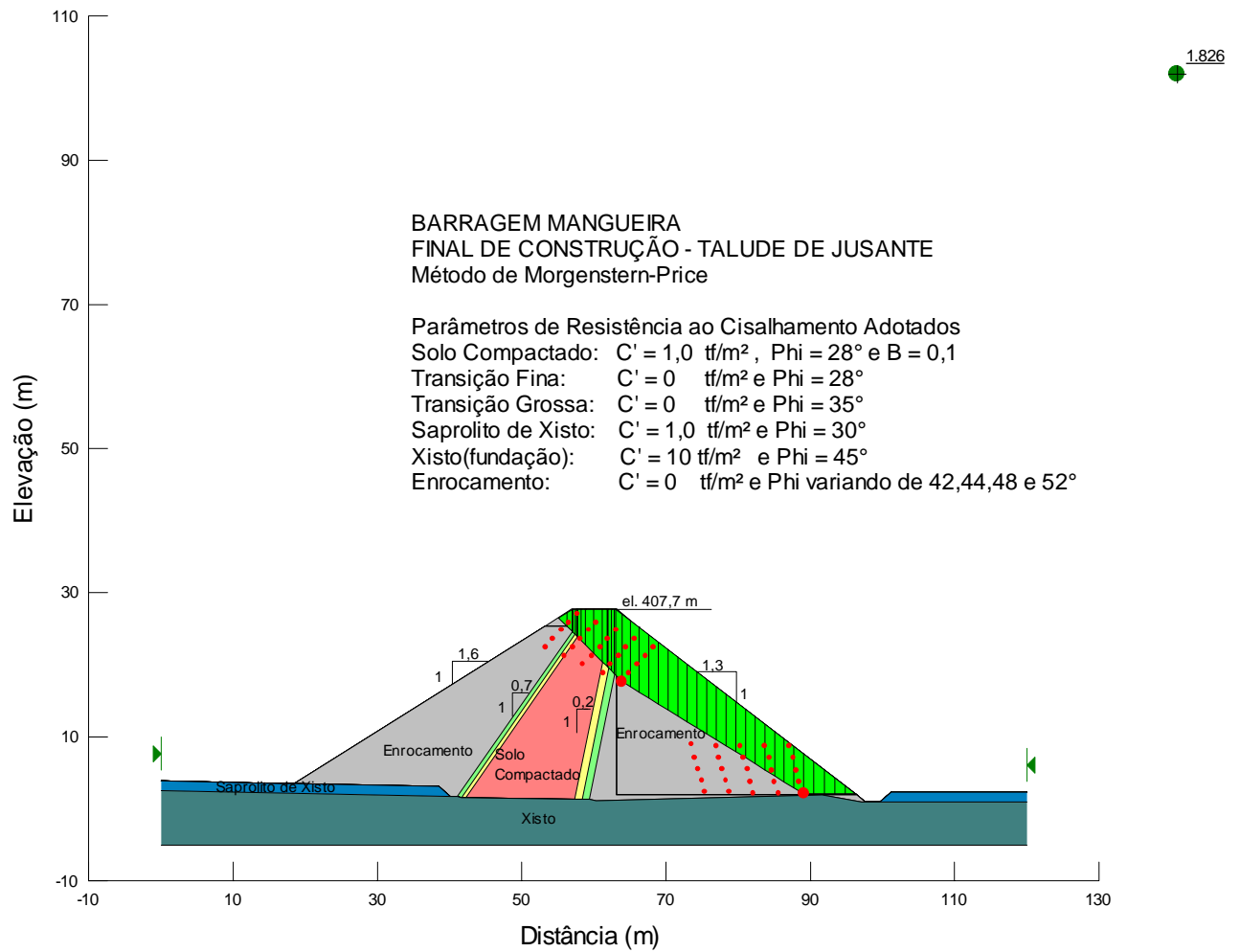


FIGURA 11

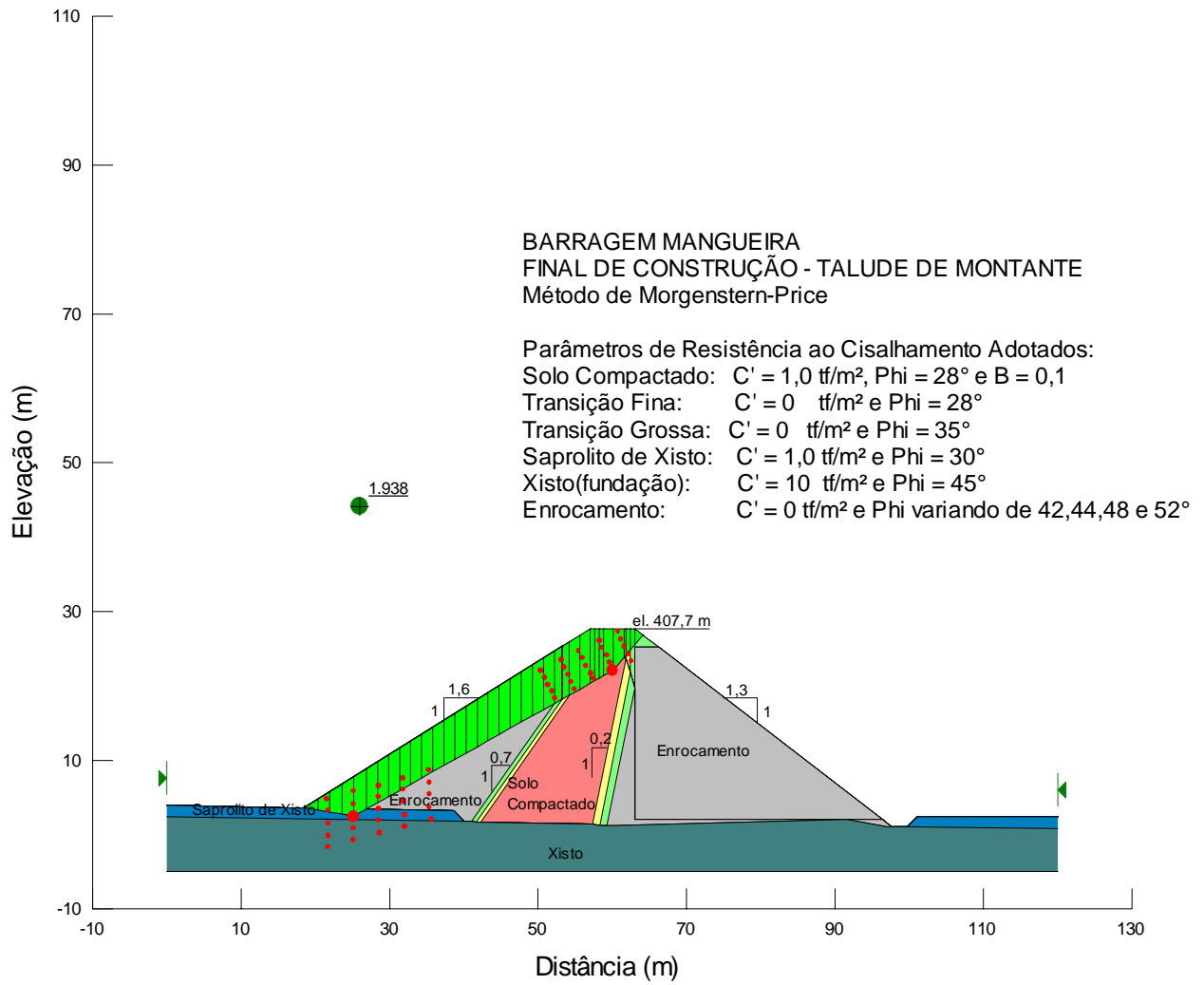


FIGURA 12

BARRAGEM NEGREIROS

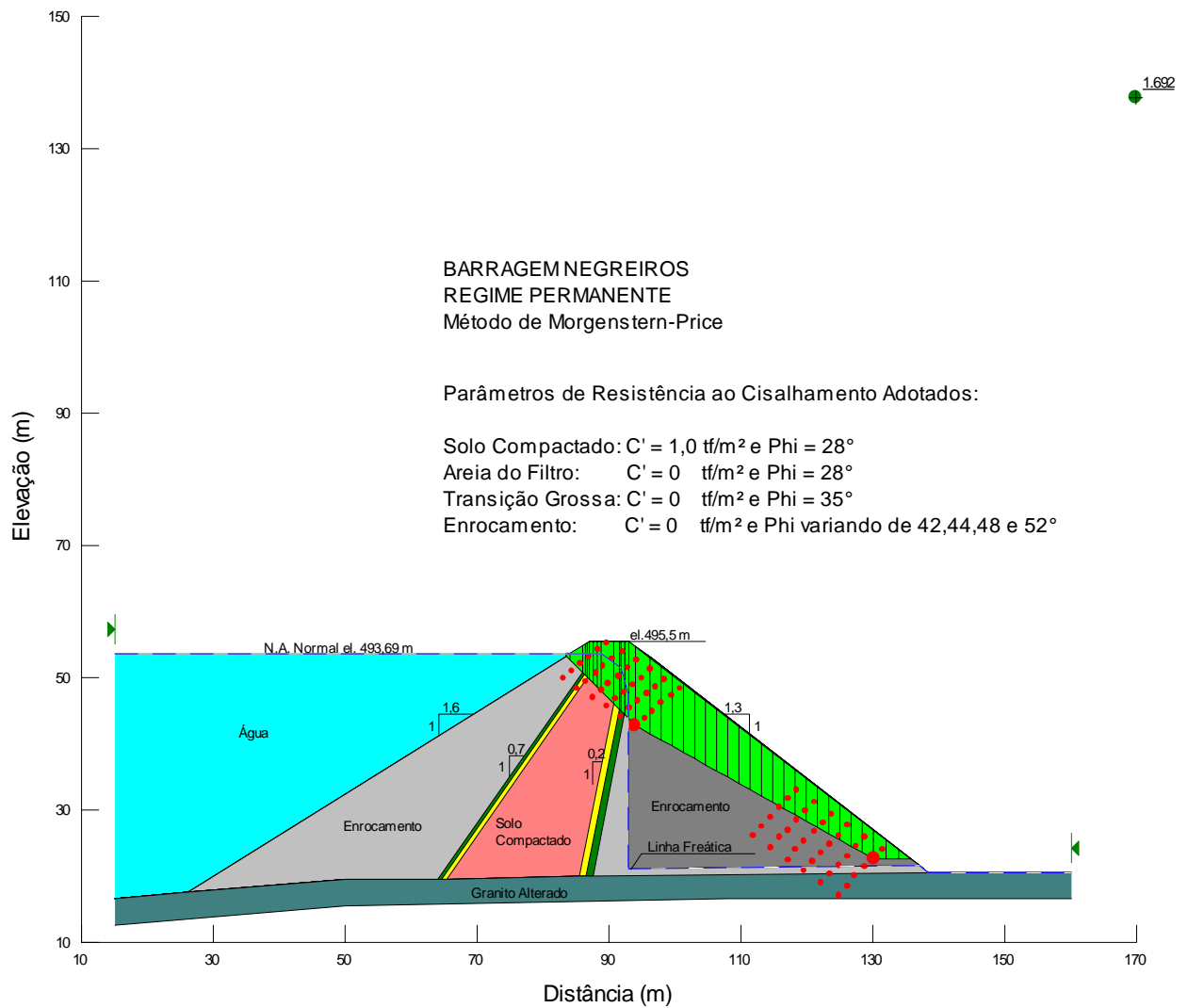


FIGURA 13

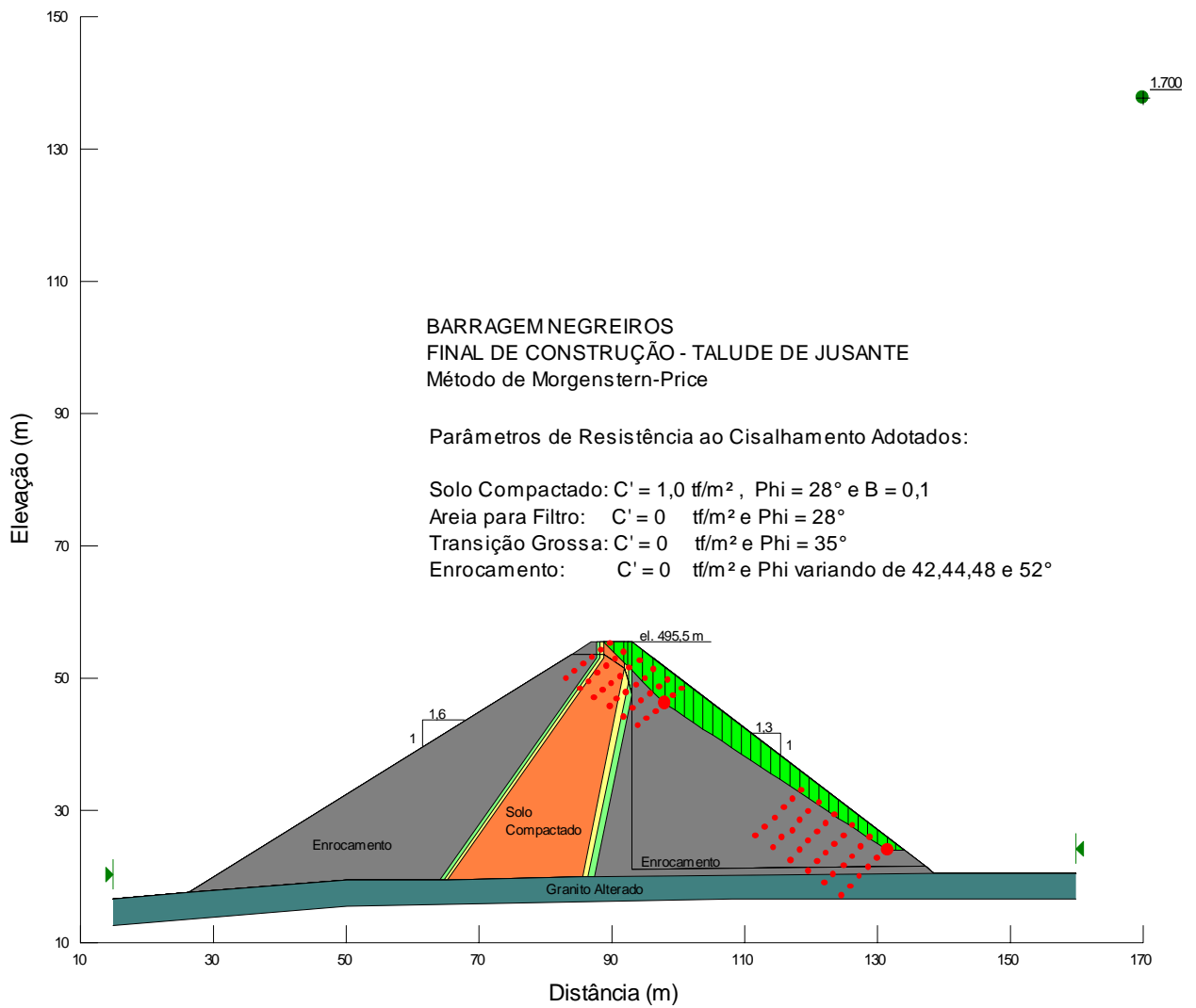


FIGURA 14

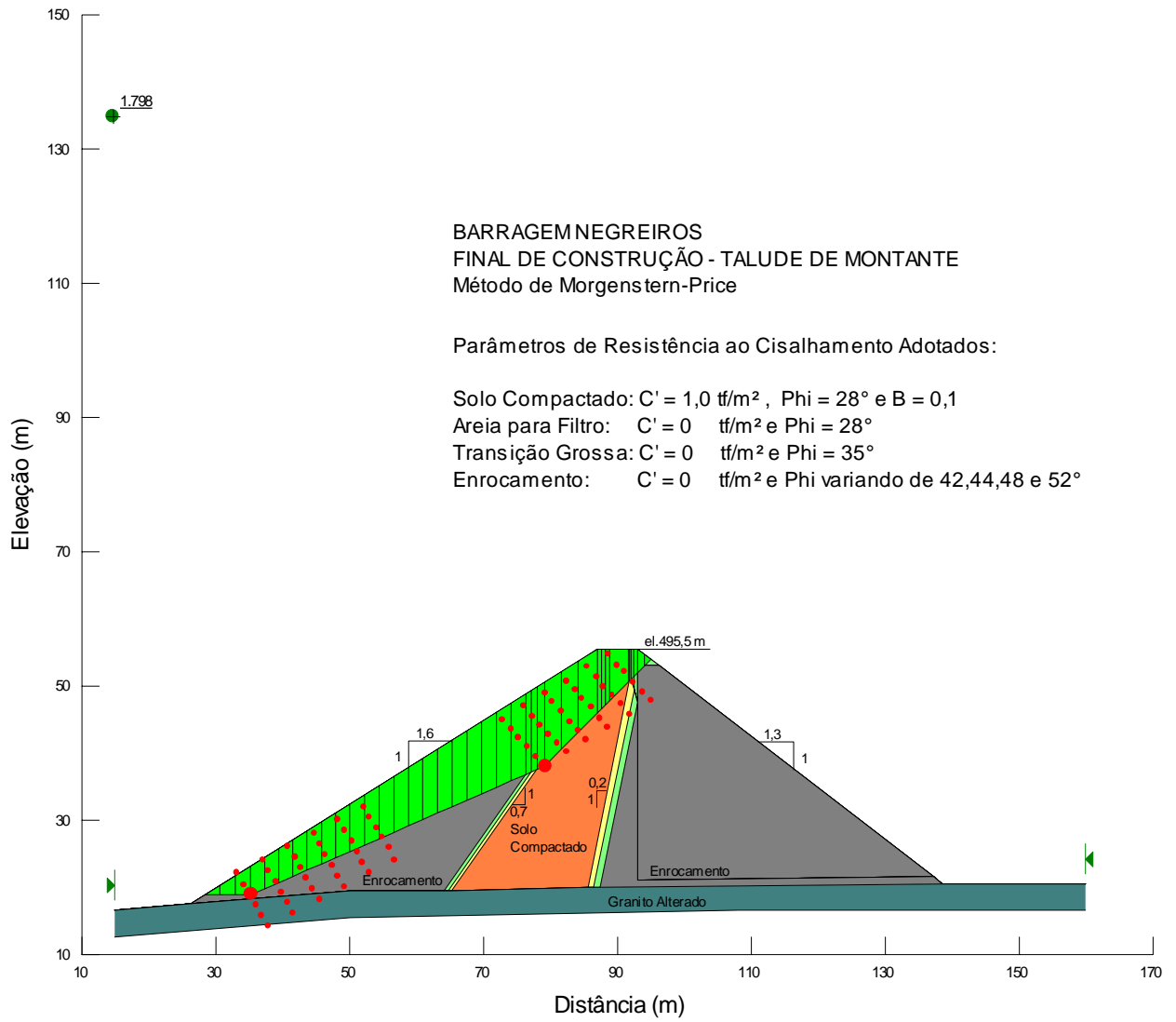


FIGURA 15

BARRAGEM MILAGRES

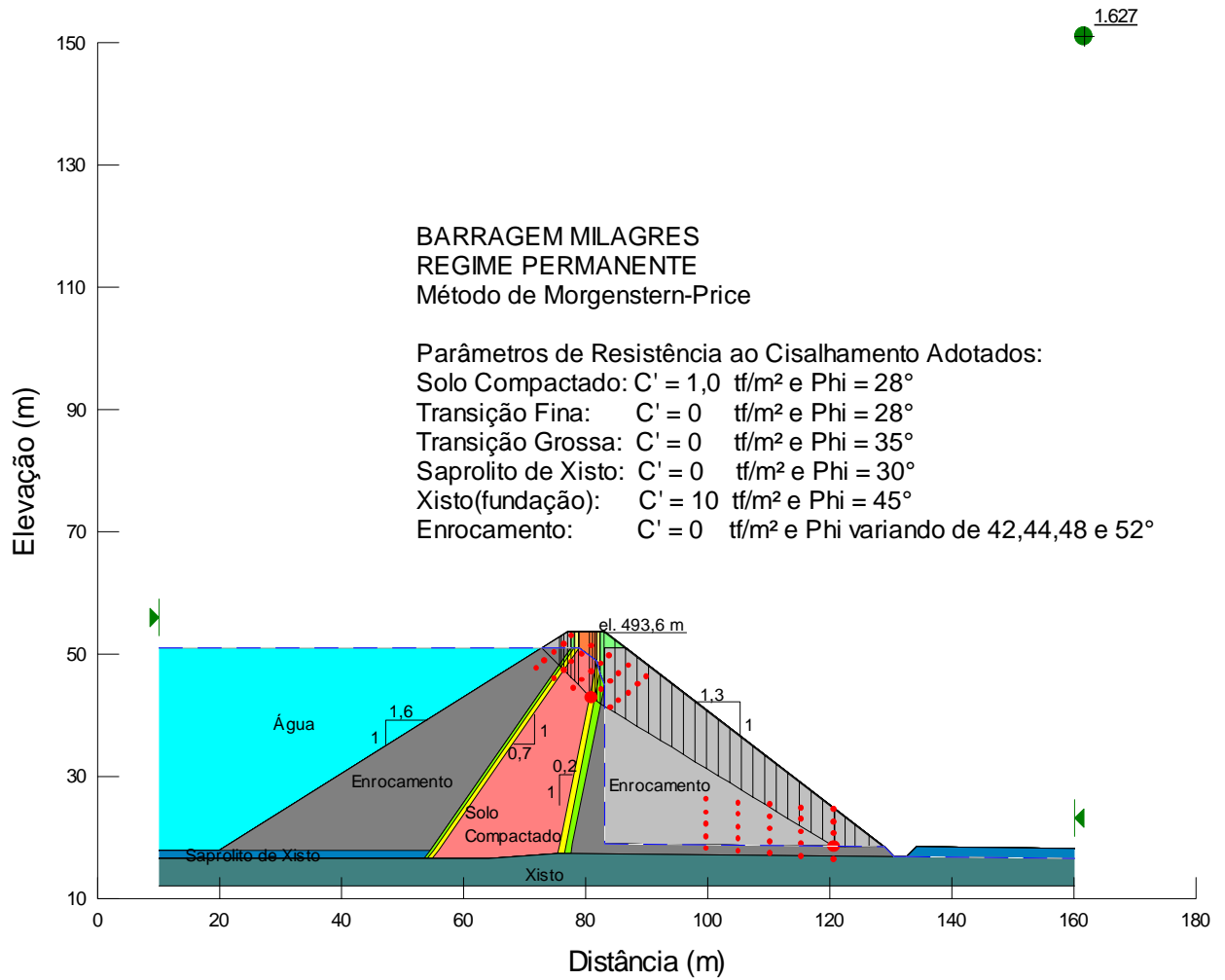


FIGURA 16

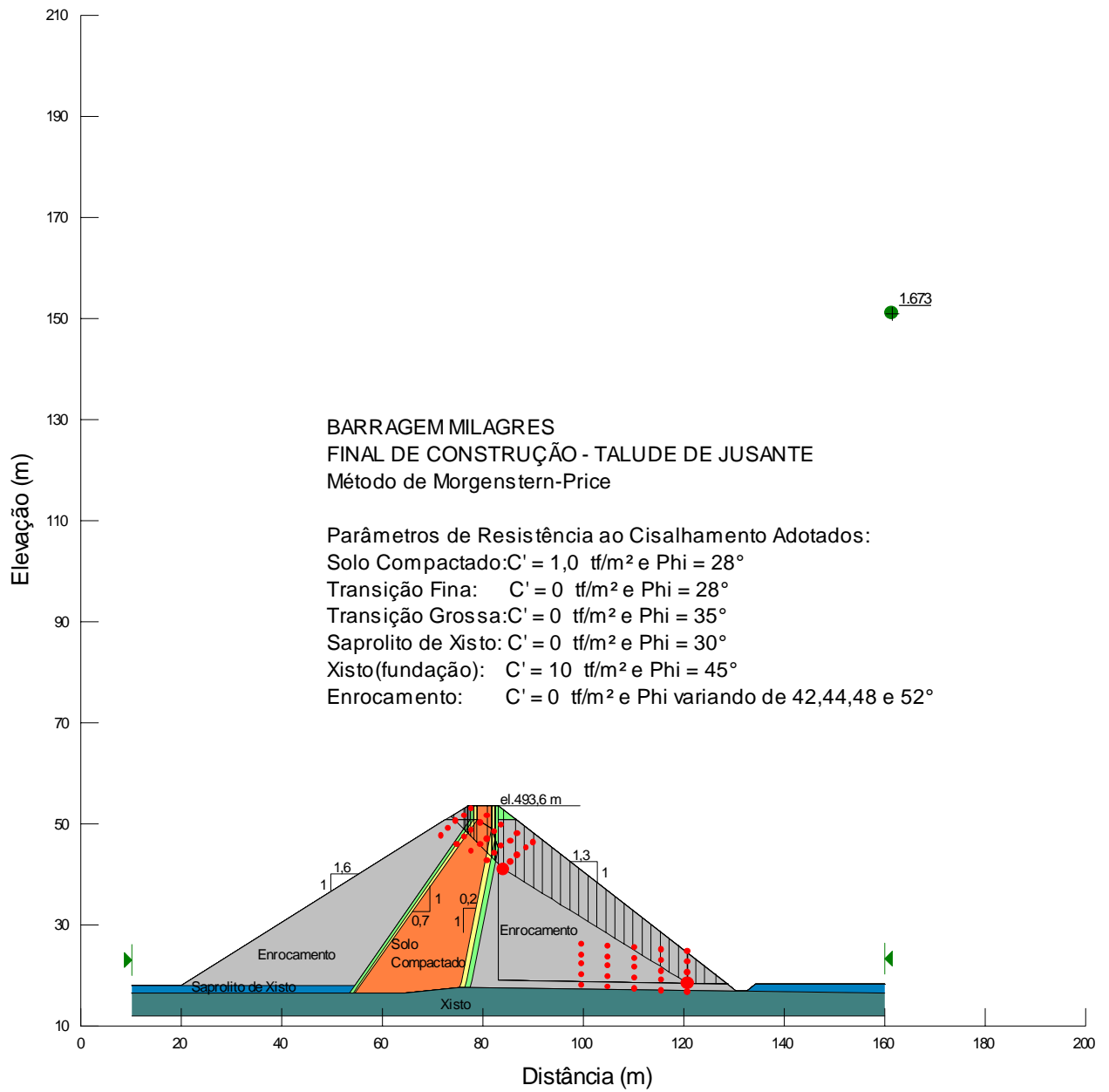


FIGURA 17

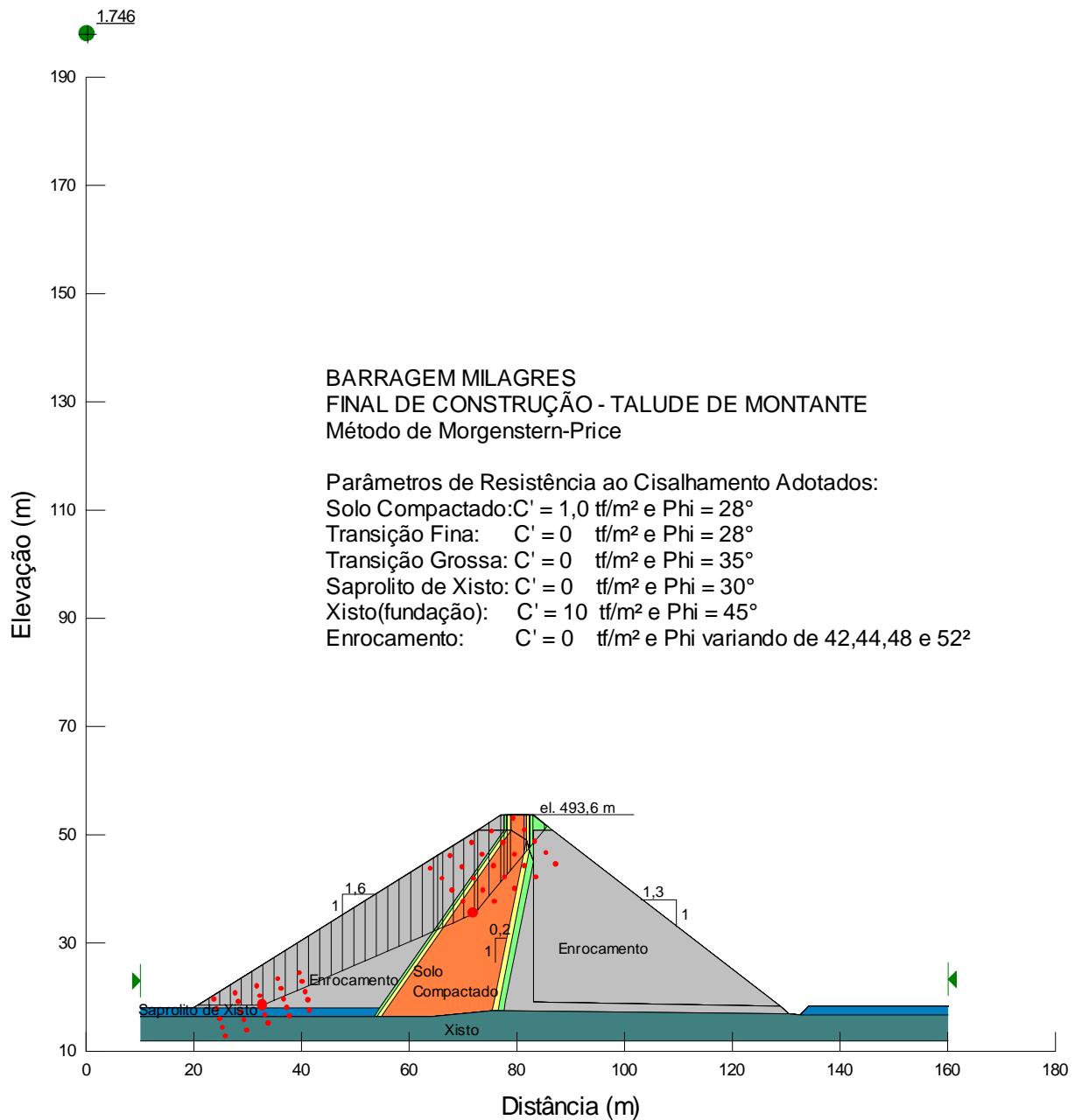


FIGURA 18

BARRAGEM JATI

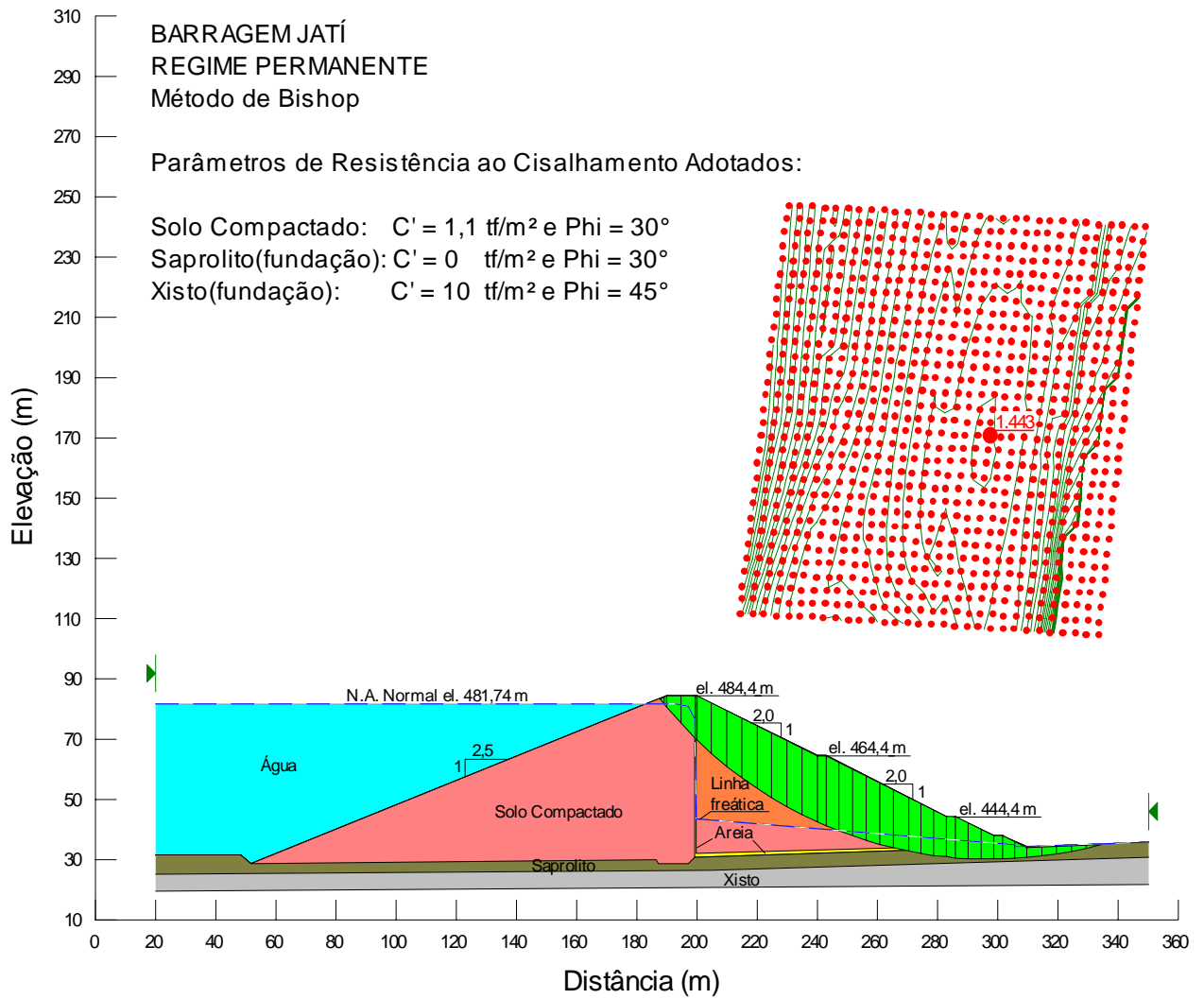


FIGURA 19

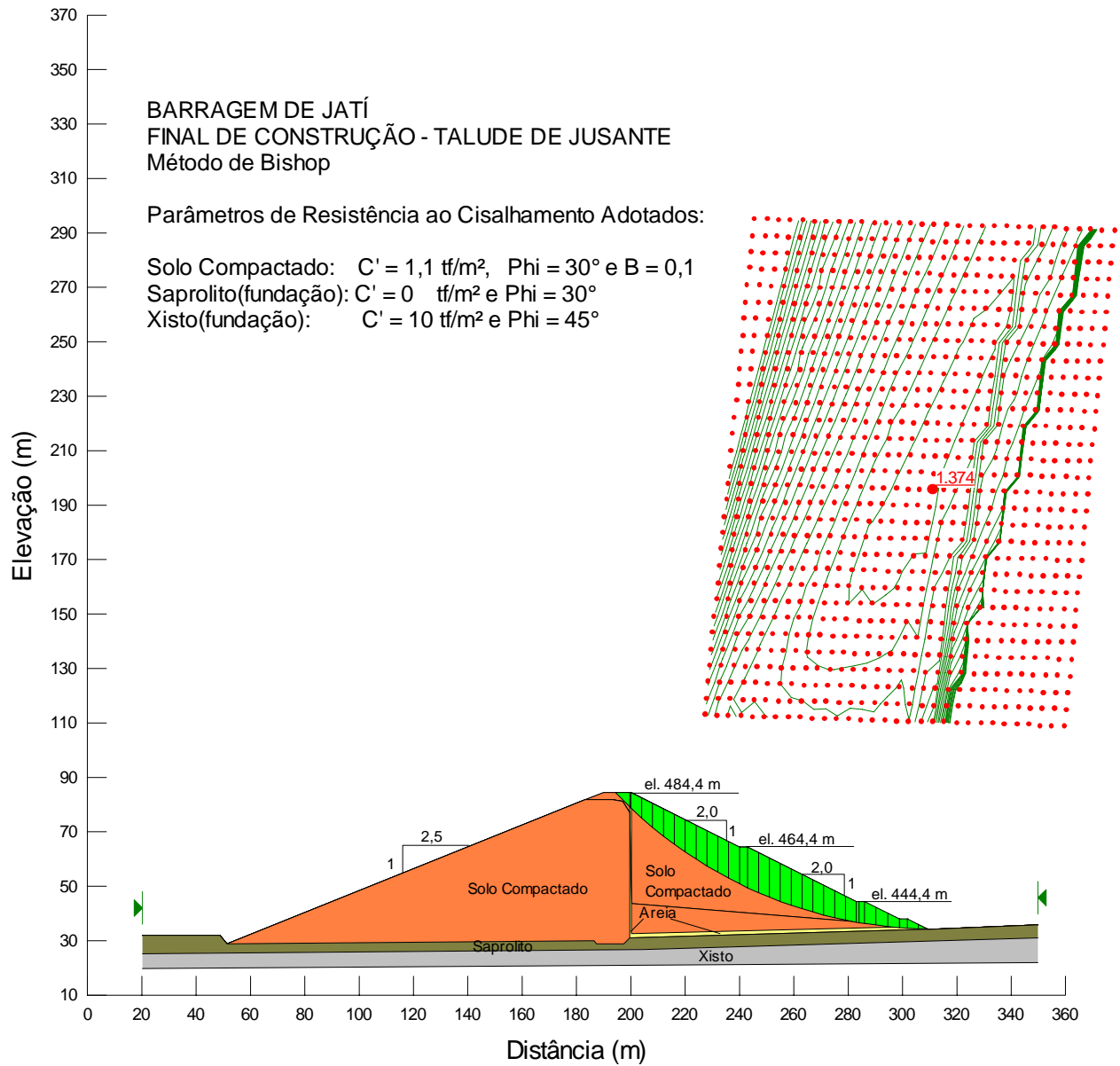


FIGURA 20

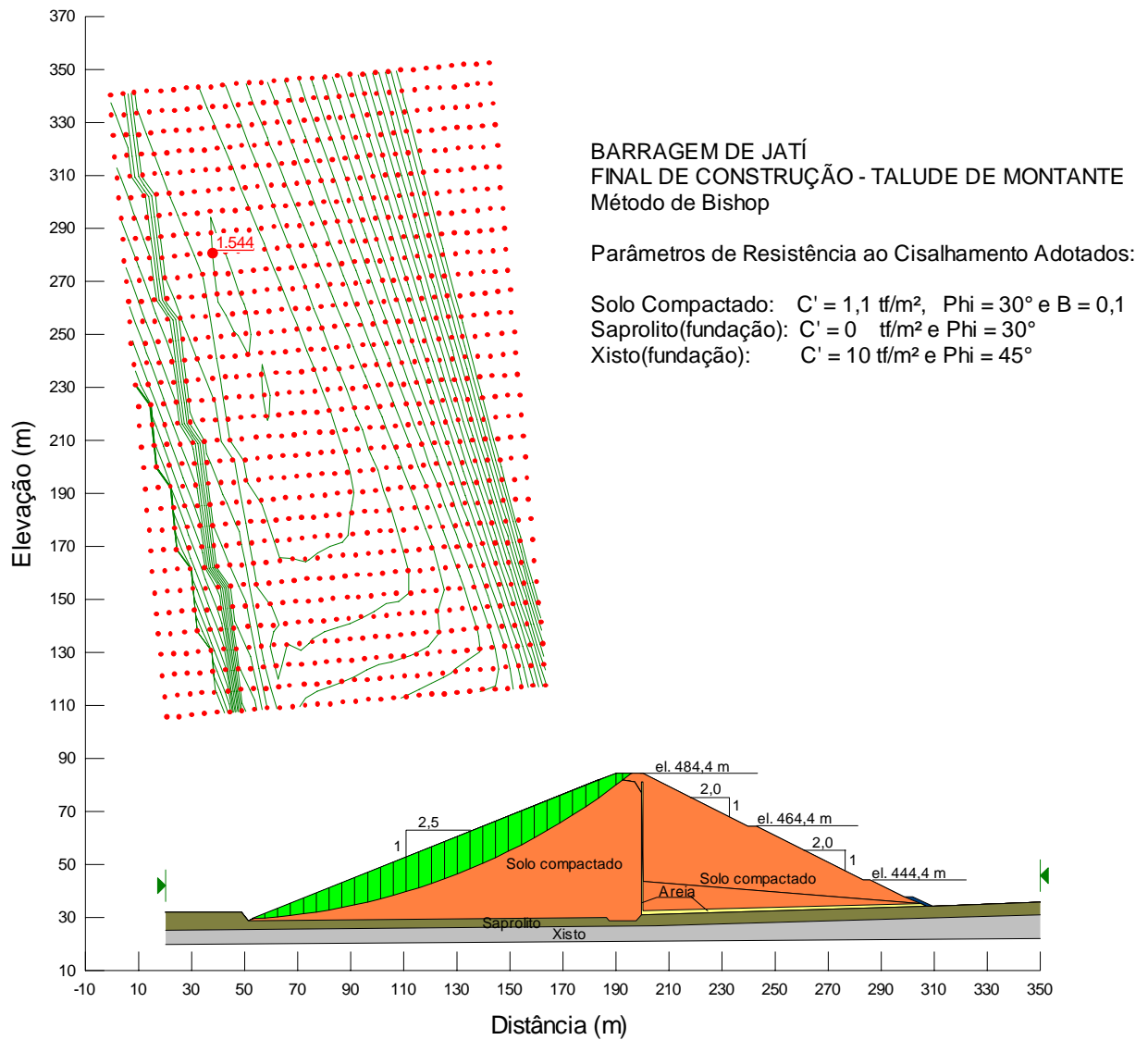


FIGURA 21

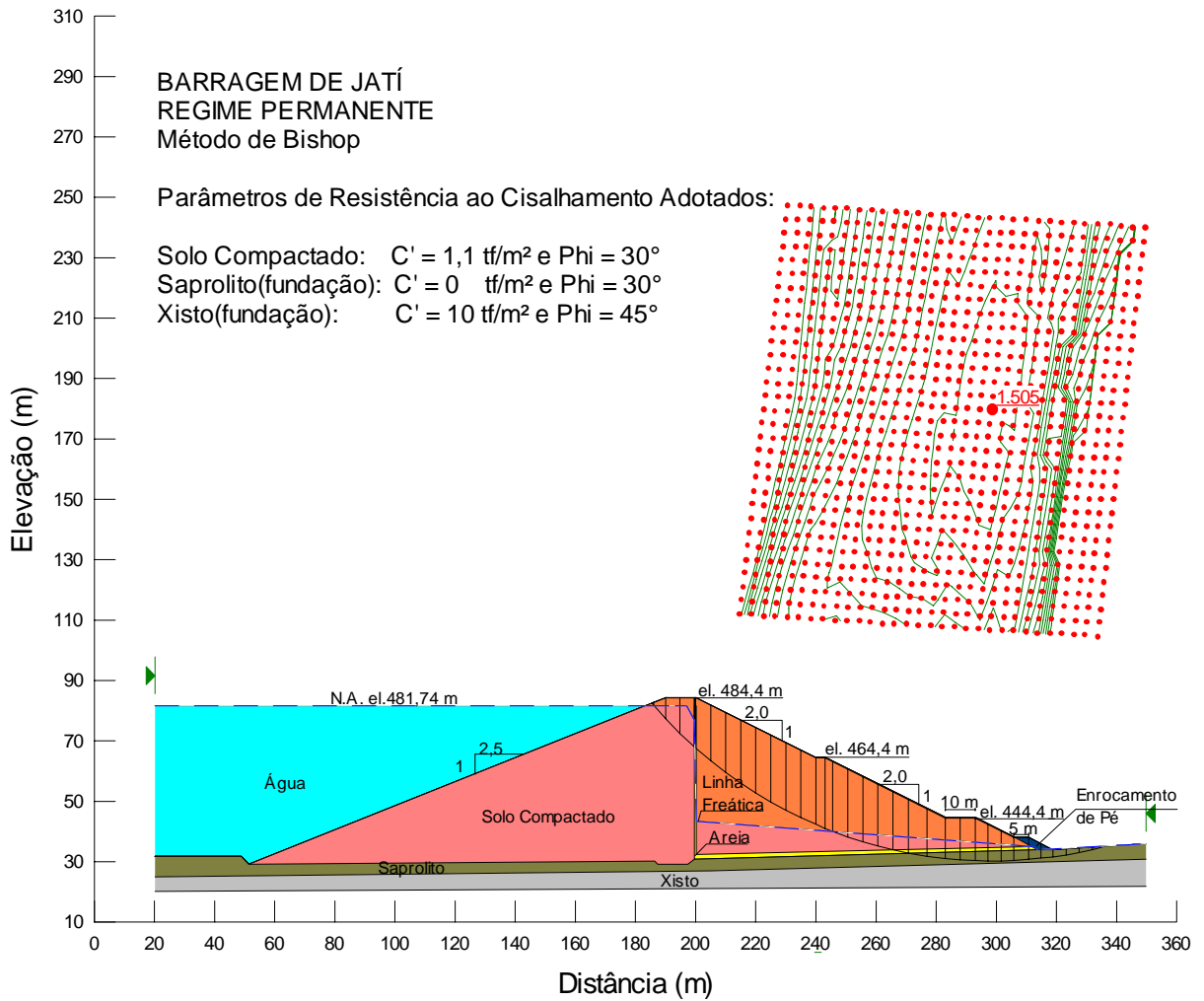


FIGURA 22

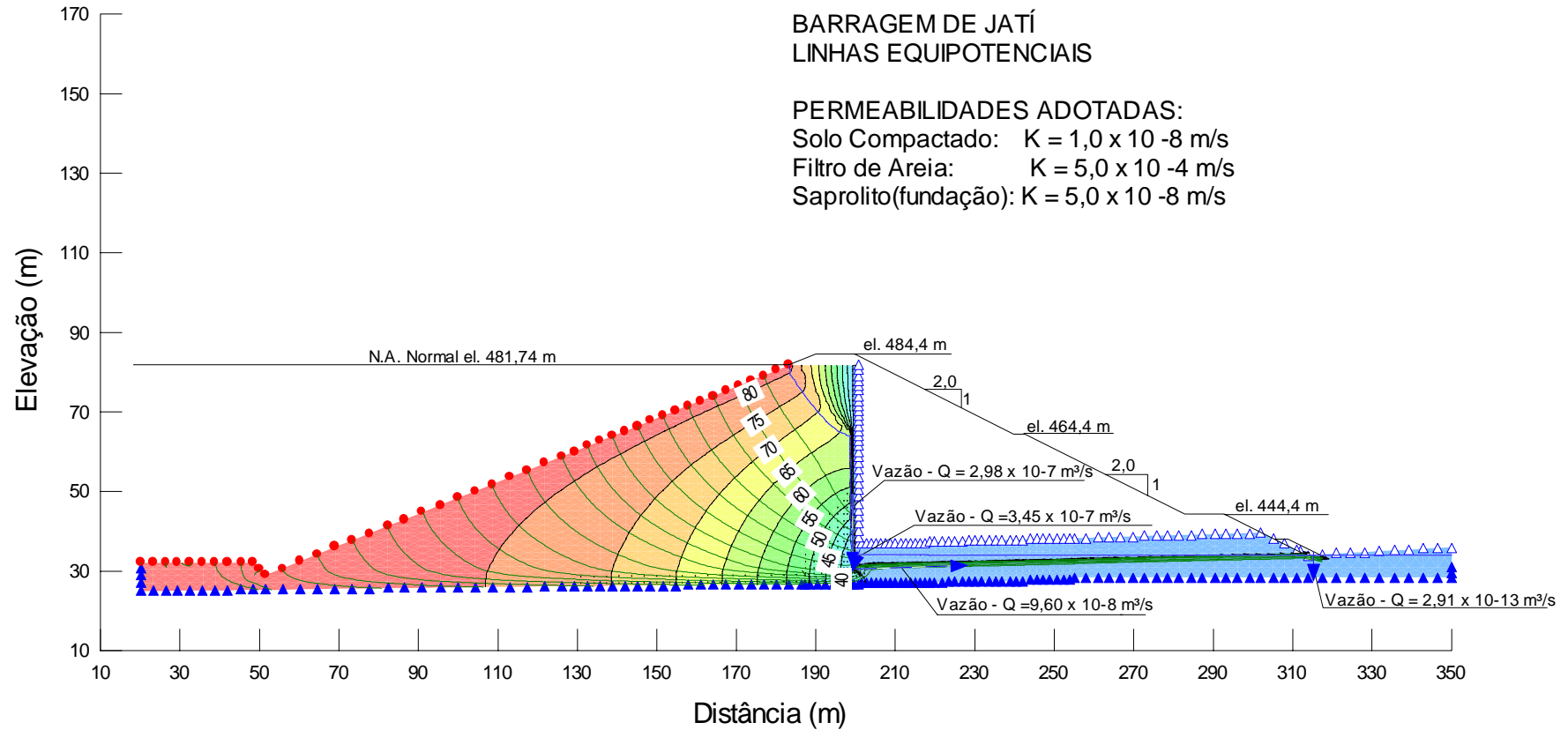


FIGURA 23

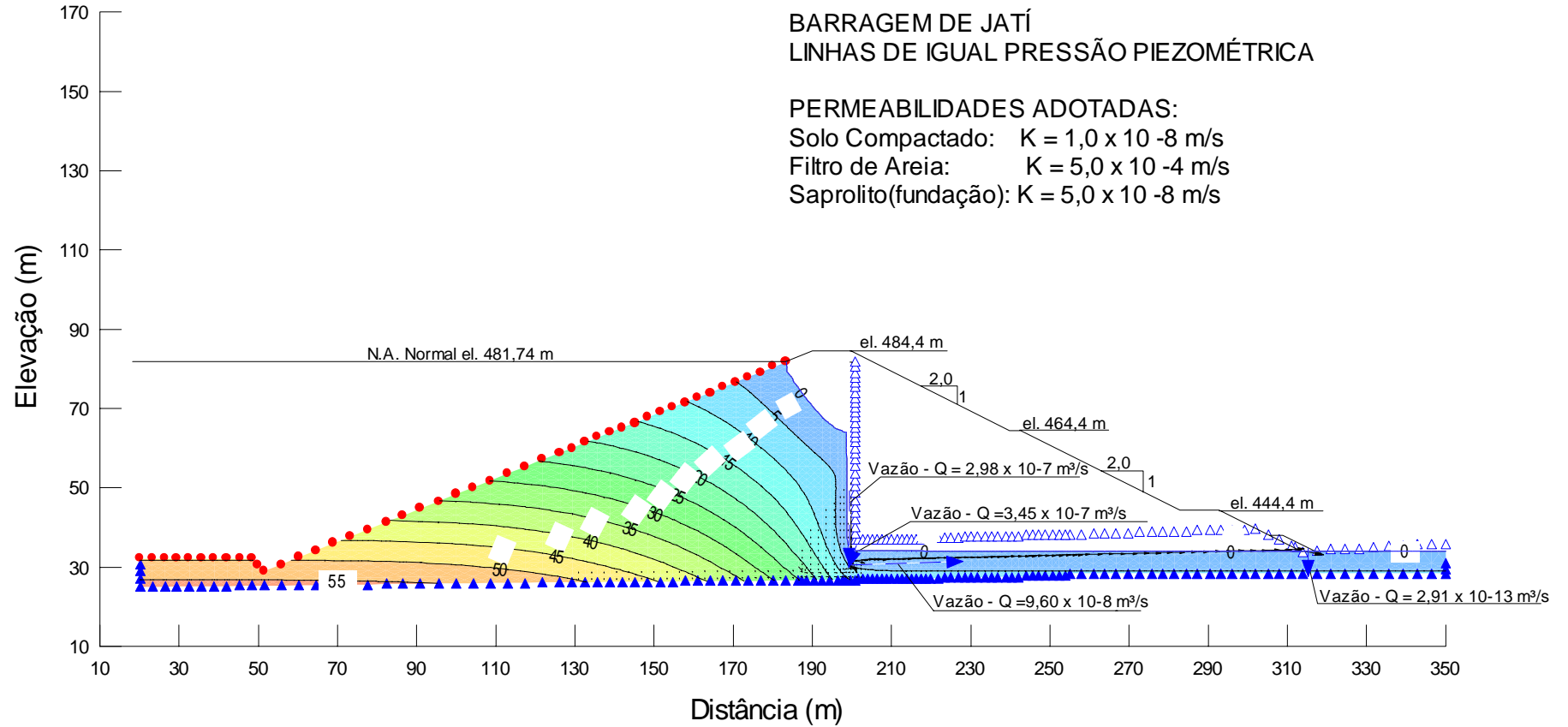


FIGURA 24

ANEXO 2
DIMENSIONAMENTOS ESTRUTURAIS

**BARRAGEM NEGREIROS
CCR**



PROJETO P13F

ASSUNTO BARRAGEM NEGREIRO - CCK

CALCULADO

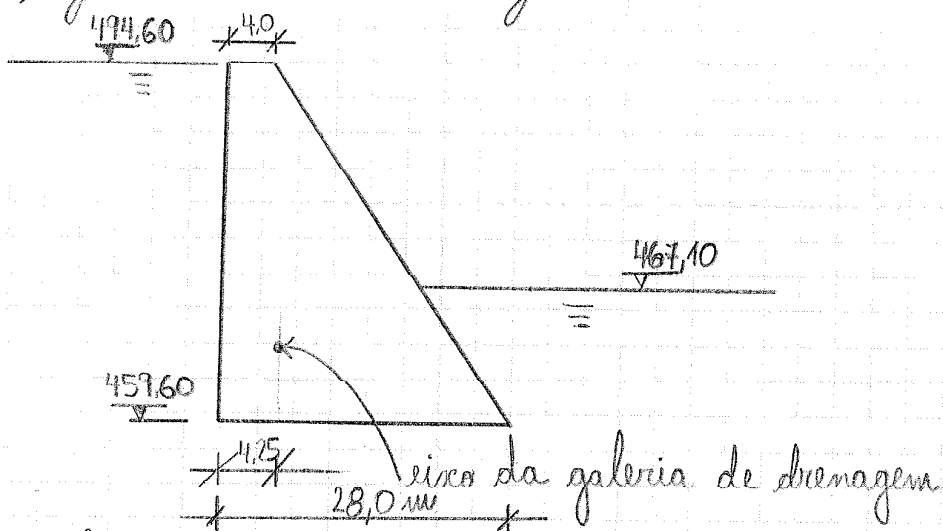
CONFERIDO

APROVADO

[Signature]

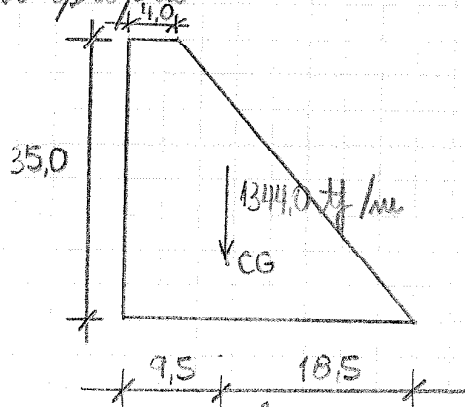
Análise da estabilidade

1) Geometria e nível d'água



2) Cargamentos

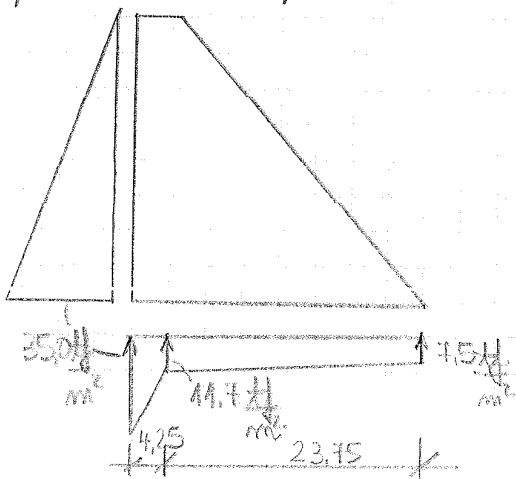
Peso próprio



$$\gamma = 2,4 \text{ tf/m}^3$$

$$P = 2,4 \times \left(\frac{4,0 + 28,0}{2} \right) \times 35,0 = 13440 \text{ tf/m}$$

Empuxo e subpressão





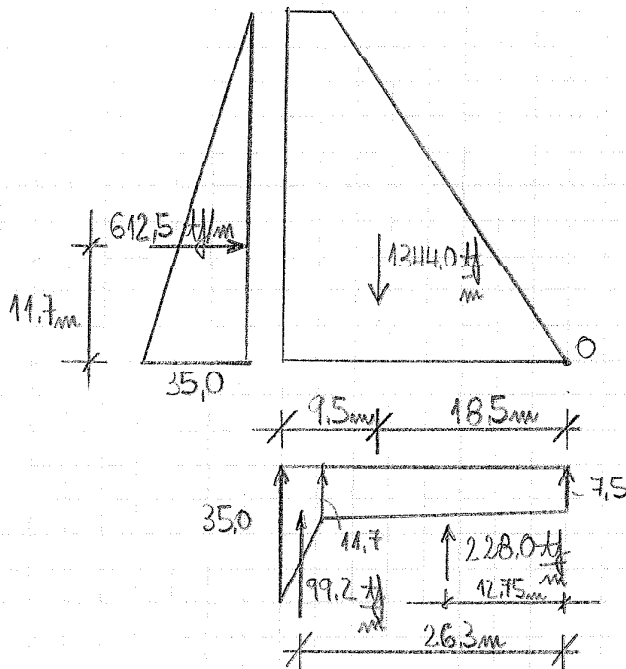
PROJETO PTEA

ASSUNTO BARRAGEM DE RECOMPOSIÇÃO - CCR

CALCULADO

CONFERIDO

APROVADO

3) Verificação ao tombamento

momentos em relação ao ponto O

$$M_x = 1344,0 \times 18,5 = 24864 \text{ tfm/m}$$

$$M_y = 612,5 \times 11,7 + 99,2 \times 26,3 + 228,0 \times 12,75 = 12682 \text{ tfm/m}$$

$$FST = 1,96$$

4) Verificação ao escorregamento

$$N_x = 1344,0 - (99,2 + 228,0) = 1016,8 \text{ tf/m}$$

$$H_x = 612,5 \text{ tf/m}$$

$$\varphi = 45^\circ \quad c = 50 \text{ tf/m}^2$$

$$FSE = \frac{1016,8 \cdot \tan 45^\circ + 50 \cdot 28,0}{612,5} = 1,87 > 1$$



PROJETO PTEI

ASSUNTO BARRAGEM ALGEBRAS - CCR

CALCULADO

CONFERIDO

APROVADO

5) Verificação à flutuação

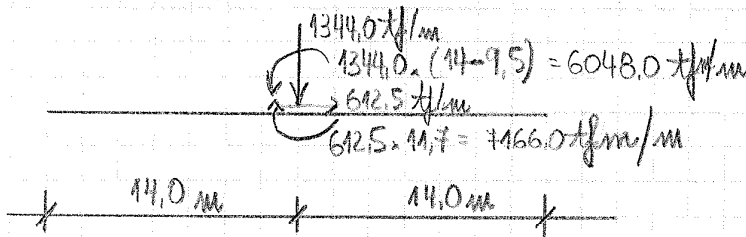
$$N_n = 1344,0 \text{ tf/m}$$

$$N_s = 99,2 + 228,0 = 327,2 \text{ tf/m}$$

$$FSF = 4,1$$

6) Verificação das tensões na base

• sem subpressão



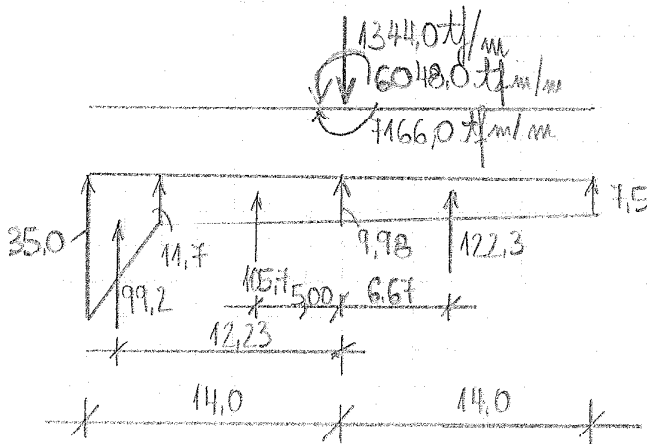
$$M = 7166,0 - 6048,0 = 1118,0 \text{ tfm/m}$$

$$N = 1344,0 \text{ tf/m}$$

$$e = \frac{M}{N} = \frac{1118,0}{1344,0} = 0,83 < \frac{28,0}{6} = 4,7 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{1344,0}{28,0} \pm \frac{1118,0 \times 6}{28,0^2} = 48,0 \pm 8,6 = \begin{cases} 56,6 \text{ tf/m}^2 \\ 39,4 \text{ tf/m}^2 \end{cases}$$

• com subpressão



**ENGECORPS****Memória de Cálculo**Nº 261-Fil-757-R-0001
FOLHA 4 DE 4 FOLHAS
DATA 16/01/01

PROJETO DTSE

ASSUNTO BARRAGEM Itaipava - CCR

CALCULADO

CONFERIDO

APROVADO *Ja*

$$M = 7166,0 + 99,2 \times 12,23 + 105,7 \times 5,0 - 122,3 \times 6,67 - 6048,0 = 2044,0 \text{ t/m}$$

$$N = 1344,0 - 327,2 = 1016,8 \text{ t/m}$$

$$e = 2,01 \text{ m} < \frac{28,0}{6} = 4,7 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{1016,8}{28,0} \pm \frac{2044,0 \times 6}{28,0^2} = 36,3 \pm 42,6 = \begin{cases} 51,9 \text{ t/m}^2 \\ 20,7 \text{ t/m}^2 \end{cases}$$

TOMADA D'ÁGUA PARA USO DIFUSO



PROJETO *PTSF*

ASSUNTO *TOMADA D'ÁGUA - FLUTUAÇÃO*

CALCULADO

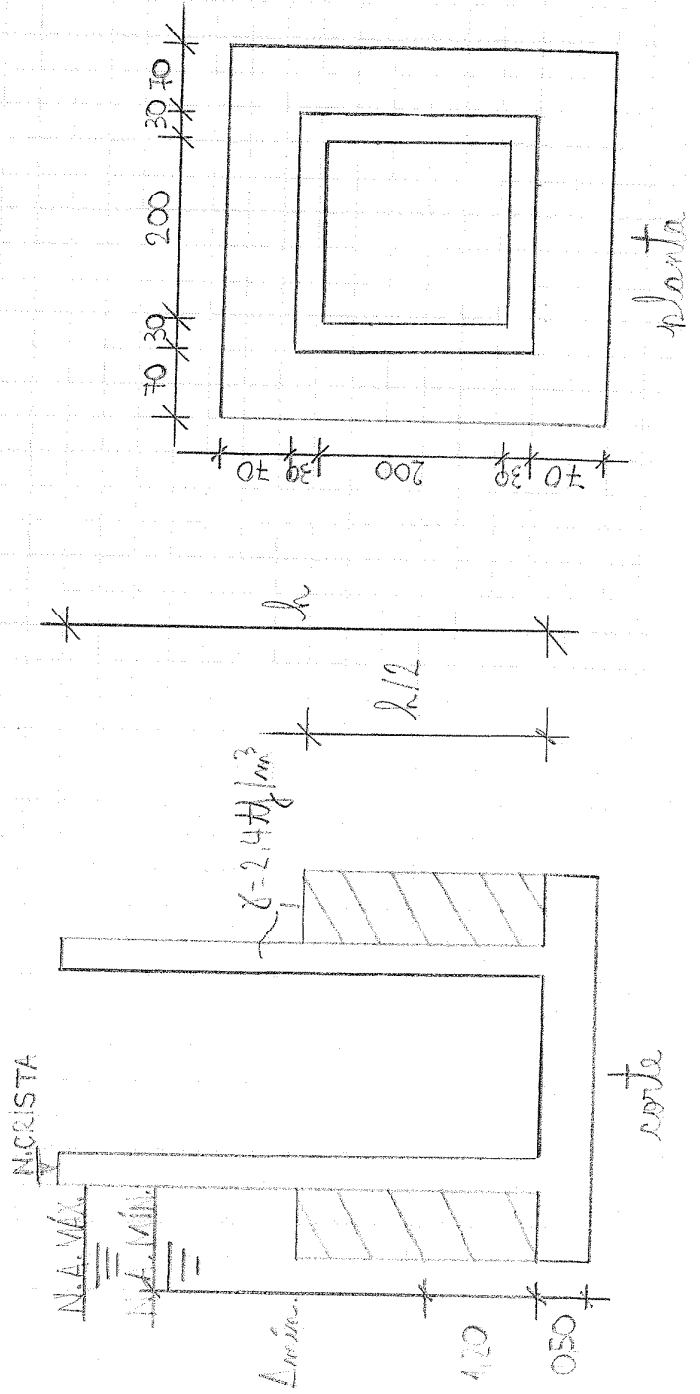
CONFERIDO

APROVADO *[Signature]*

Verificação da flutuação

- U - subpressão
- P.P. - peso próprio da estrutura
- P.E. - peso do enchimento
- P.A. - peso da água
- C.S. - coeficiente de segurança à flutuação

BARRAGEM	NA MAX (m)	NA MIN (m)	Δ mín. (m)	N. CRISTA (m)	h (m)	U (tf)	PP. (tf)	P.E. (tf)	P.A. (tf)	C.S.
Tucutú	361,00	356,73	4,38	362,20	11,05	165,6	89,97	91,89	52,73	1,42
Terra Nova	355,64	350,95	4	357	11,25	166,24	91,30	93,56	52,40	1,43
S. Livramento	409,35	405,1	4,1	410,5	10,7	160,8	87,65	88,98	51,17	1,42
Mangueira	406,47	402,56	4,04	407,7	10,38	154,4	85,53	86,32	48,58	1,43
Milagres	492,13	488,05	6,45	493,6	13,2	195,68	104,21	109,77	62,65	1,41





PROJETO

RTSE

ASSUNTO

TOMADA D'ÁGUA

CALCULADO

CONFERIDO

APROVADO

Tomadas d'água - Volumes

• Tucutú

$$V = \frac{89,97 + 91,89}{2,4} = 75,8 \text{ m}^3$$

• Terra Nova

$$V = \frac{91,30 + 93,56}{2,4} = 77,0 \text{ m}^3$$

• Serra do Livramento

$$V = \frac{87,65 + 88,98}{2,4} = 73,6 \text{ m}^3$$

• Mangueira

$$V = \frac{85,53 + 86,32}{2,4} = 71,6 \text{ m}^3$$

• Milagres

$$V = \frac{104,21 + 109,77}{2,4} = 87,2 \text{ m}^3$$