

GOVERNO DO ESTADO



**CEARÁ**

AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS**

**COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS COGERH  
PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS  
DO ESTADO DO CEARÁ PROURB/CE**

**PROJETO EXECUTIVO DO PARAMENTRO CENTRAL DA  
BARRAGEM CASTANHÃO EM CONCRETO  
COMPACTADO A ROLO**

**VOLUME 1 - Projeto Executivo da Barragem**

**ENGESOFT**

**FORTALEZA  
DEZEMBRO DE 1999**





GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ



SECRETARIA DOS  
RECURSOS HÍDRICOS

Contrato nº 06/99-SRH

**PROJETO EXECUTIVO DO PARAMENTO CENTRAL DA BARRAGEM  
DO CASTANHÃO EM CONCRETO COMPACTADO À ROLO**

Município de Jaguaribara-CE

**VOLUME 1  
RELATÓRIO DO PROJETO EXECUTIVO**

Lote: 01357 - Prep () Scan () Index ( )  
Projeto Nº 0133/01/E  
Volume 1  
Qty A4 89 Qty A3 \_\_\_\_\_  
Qty A2 \_\_\_\_\_ Qty A1 \_\_\_\_\_  
Qty A0 \_\_\_\_\_ Outros \_\_\_\_\_

EngeSoft

ABRIL DE 2000

0133/01/E  
ex.1





---

UNIVERSITY OF CALIFORNIA

## SUMÁRIO

Página

<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>2</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>4</b>
1.1. Apresentação.....	5
1.2. Antecedentes.....	5
<b>2. HISTÓRICO</b> .....	<b>6</b>
2.1. O Projeto Original.....	9
2.2. A Construção.....	13
2.3. Situação atual das Obras.....	18
2.4. Previsões de Conclusão das Obras.....	19
<b>3. ANÁLISE ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS DE CONSTRUÇÃO DO PARLAMENTO CENTRAL DA BARRAGEM CASTANHÃO</b> .....	<b>22</b>
3.1. Considerações Iniciais.....	23
3.2. Faturamento de Obras e Benefícios Líquidos das Obras Múltiplas.....	24
3.3. Análise Comparativa de Custo-Benefício.....	28
<b>4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E QUANTITATIVAS DO PROJETO EXECUTIVO</b> .....	<b>33</b>
4.1. Estrutura Básica.....	34
4.2. Dados Hidrológicos nas Barragens.....	34
4.3. Vertedouros.....	38
4.4. Torções D'água.....	50
4.5. Barragem de Terra.....	56
4.6. Barragem de Concreto.....	55
4.6.1. Introdução.....	55
4.6.2. Localização do Eixo.....	55
4.6.3. Fundação.....	59

4.6.4. Maciço de Concreto .....	41
4.7. Densidade do Ar e Alças Construídas .....	46
4.8. Instrumentação .....	48
4.9. Situação dos Quantitativos Propostos .....	50
<b>6. ESTUDOS GEOTÉCNICOS .....</b>	<b>53</b>
<b>6.1. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS .....</b>	<b>56</b>
<b>7. ESTUDOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS .....</b>	<b>64</b>
7.1. Introdução .....	68
7.2. Aspectos Hidrológicos .....	69
7.3. Os Estudos Hidráulicos do Açude Intercomunal .....	80
7.4. Os Aspectos Ambientais .....	83
7.5. Considerações Finais e Conclusões .....	83
<b>8.0 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO MACIÇO DE CONCRETO .....</b>	<b>84</b>
8.1. Introdução .....	85
8.2. Geometria do açude transversal tipo .....	85
8.3. Condições de carregamento .....	86
8.4. Critérios de Análise .....	86
8.5. Resultados de Análise .....	87
8.6. Conclusões .....	88
<b>9. CROQUIGRAMA DAS OBRAS .....</b>	<b>76</b>
<b>10. QUANTITATIVOS DE SERVIÇOS .....</b>	<b>74</b>
<b>11. EQUIPAMENTO MÍNIMO PARA EXECUÇÃO DAS OBRAS .....</b>	<b>80</b>
<b>12. DOCUMENTOS QUE COMPÕEM O PROJETO EXECUTIVO .....</b>	<b>68</b>

## 1. INTRODUÇÃO

---

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Apresentação**

A EngSoft Engenharia e Consultoria Ltda. vem apresentar a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, o **Volume 1 – Relatório do Projeto Executivo** do projeto de Parâmetros Críticos da Barragem de Castanhão, em concreto compactado a rolo (CCR), no município de Jaguaribara – CE, mediante contrato nº 06/09 – 2004.

No Capítulo 2 desse relatório é apresentado um histórico do empreendimento, desde sua fase inicial de concepção até o momento atual das obras.

Uma análise econômica entre as alternativas de construção da barragem em seção de terra e em seção de concreto é elaborada no item 3.

Uma descrição resumida das características técnicas de cada aspecto do projeto da barragem em CCR e de seus quantitativos principais encontra-se no capítulo 4.

Os estudos geotécnicos, topográficos, hidrológicos e hidráulicos e de estabilidade da margem encontram-se descritos nos capítulos 5, 6, 7 e 8.

O cronograma das etapas construtivas da obra e o equipamento mínimo para sua execução são indicados nos capítulos 9 e 10.

### **1.2. Localização**

A barragem de Castanhão e o seu reservatório situam-se na região do médio Jaguaribe, no Estado do Ceará, abrangendo os municípios de Alto Santo, Jaguaribara, Jaguaribe e Jaguaribara. A região encontra-se entre os paralelos 5° 20' e 5° 45' sul e os meridianos 38° 25' e 38° 50' oeste.

O eixo planejado terra e no Jaguaribe na região conhecida como boqueirão da Cunha, a 5,0 km da localidade de Castanhão, no município de Alto Santo. Esse boqueirão fica a aproximadamente 57 km a NE da cidade de Jaguaribe e 54 km a SW de Limoeiro do Norte.

O acesso ao local das barragens, a partir de Fortaleza, é feito através da rodovia Federal BR-116, percorrendo-se cerca de 260 km até o acesso em terra que sai à direita, onde trafegando-se por mais 3,0 km chega-se ao leito do rio Jaguaribe.

No mapa da figura 1.1 é apresentada a localização da obra no contexto regional.





MAPA DO  
CEARÁ

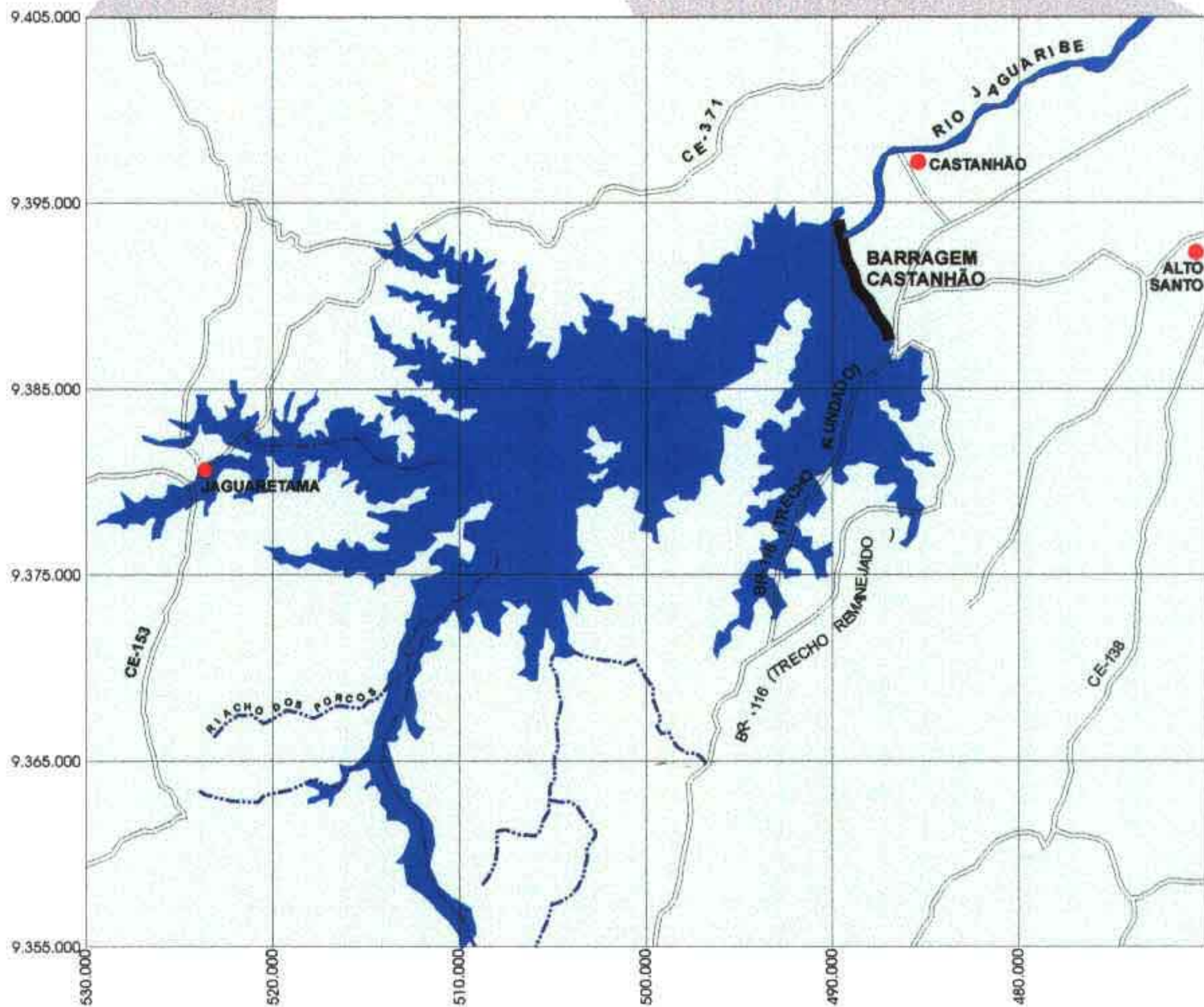


FIGURA 1.1

**MAPA DE LOCALIZAÇÃO REGIONAL**



## 2. método

---



## 2. HISTÓRICO

### 2.1. O PROJETO ORIGINAL

Datam de 1910 os primeiros estudos desenvolvidos pela Inspectoria de Obras-Civis, as Secas (anexa DNOC5), visando a escolha de um local vantajoso para a construção de um açude de grande porte, na região do médio Jaguaribe. Nessa época o engenheiro Roberto Cruzado identificou o local conhecido como Boqueirão do Curuba e fixando acompanhamento nesse ponto, iniciou os estudos preliminares de sítio.

Entre os anos 1962/1964 o Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) deu início aos estudos para a estabilização da Barragem de Castanhão, no mesmo local do Boqueirão do Curuba, como parte da transposição de águas do Rio São Francisco para as Regiões semi-áridas do Nordeste.

Em 1965 o DNOS através da Comissão Noronha-Hidroterra, elaborou um Anteprojeto da Barragem com os seguintes objetivos: I) Derivação de águas para a Chapada do Apodi, para irrigação de 200.000 ha; II) Derivação de águas para Fortaleza; III) Proteção contra inundações do Baixo Vale Jaguaribe e IV) Geração de energia.

Em 1967 foi contratado pelo DNOC a Consórcio Hidroservios - Noronha para a concepção do Projeto Básico e Executivo da barragem, alterando-se uma das premissas básicas do Anteprojeto considerando que numa primeira etapa a barragem iria abstrair uma área de 75.000 ha na Chapada do Apodi e, numa 2ª etapa, os restantes 125.000 ha com as águas derivadas do Rio São Francisco.

Em 1968 o DNOC interveio junto ao DNOS para que a barragem tivesse como prioridade o atendimento de áreas irrigáveis no vale do Rio Jaguaribe, definidas no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Ceará. Nessa direção foi dada aos estudos hidrológicos e a operabilidade da barragem, abstrato-se a possibilidade de irrigar uma área de 58.000 ha no vale do Jaguaribe e 30.000 na Chapada do Apodi.

Com a extinção do DNOS o projeto sofreu uma suspensão de continuidade por quase dois anos, sendo reiniciado, sob a gerência do DNOC5, em 1982.

Em junho de 1986 a Consórcio Hidroservios-Noronha entregou o Projeto Executivo da Barragem de Castanhão, detalhando as seguintes finalidades básicas:

- 1- Desenvolvimento hidroagrícola com irrigação de 40.000 ha na Chapada do Castanheiro e de 30.000 ha na Chapada do Apodi;
- 2- Abastecimento de água suplementar da grande Fortaleza, composto o sistema Castanheiro – Marabão – Pedra Branca – Ceará – Fortaleza;
- 3- Controle das enchentes do Baixo Vale do Jaguaribe;
- 4- Geração de energia elétrica de 22,5 Mw.

A seguir, sob o título Ficha Técnica do Projeto, apresenta-se os principais dados técnicos e quantitativos do Projeto Original.

#### FICHA TÉCNICA DO PROJETO ORIGINAL.

##### **Reservatório**

- Nível de enchente máxima provável (EMFP) = 110,33 m.
- Nível máximo maximum = 108,90 m.
- Volume de acumulação máxima = 6,7 bilhões de m<sup>3</sup>.
- Nível máximo para abastecimento de enchentes = 106,90 m.
- Volume de acumulação no nível 106,9 m = 6,0 bilhões de m<sup>3</sup>.
- Nível máximo para regularização de vazões = 100,90 m
- Volume de acumulação no nível 100,90 m = 4,46 bilhões de m<sup>3</sup>.
- Nível mínimo para regularização de vazões = 71,00 m.
- Volume morto = 250 milhões de m<sup>3</sup>.
- Área na cota 100,00 m = 325,00 Km<sup>2</sup>.
- Comprimento do reservatório = 48,0 Km
-



### **Diques Principais:**

- Tipo: terra homogênea em praticamente toda a sua extensão, com exceção de segmento com TE em seu encaixamento com diágalo núcleo angular inclinado para montante
- Cota de coroamento: 111,00 m
- Largura da crista: 10,00 m
- Extensão pelo coroamento: 3,45 km
- Altura máxima do maciço acima do depósito elevatório: 60,00 m
- Inclinação do talude de montante: 1:2,5
- Inclinação do talude de jusante: 1: 3,0 com 2 bermas de 3,0 m de largura cada
- Trincheira de ventação (cut-off) : na região central do maciço com 900 m de largura na base e taludes de 1:1,5
- Volume total do maciço: 7.720.000 m<sup>3</sup>

### **Diques Auxiliares:**

- Tipo: Terra homogênea
- Quantidade: 9
- Extensão pelo coroamento: 4.320 m

### **Diques Paralelos:**

- Cota do coroamento: 110,00 m
- Largura da crista: 10,00 m
- Extensão: 790,00 m
- Altura máxima do maciço: 5,00 m

### **Vertedouro:**

- Tipo: superficial, de cascata, dotado de um ripido de descarga e um trampolim para arremesso das vazões extravasadas num poço de amortecimento
- Localização: Margem direita
- Cota da crista: 85,00 m
- Extensão do Vertedouro: 151,00 m
- Tipo de comporta: Segmente
- Quantidade de comportas: 12
- Largura das comportas: 10,00 m
- Altura das comportas: 11,00 m
- Lanterna máxima de sangria: 11,00 m
- Capacidade de vazão: 12.345 m<sup>3</sup>

### **Tomada d'água:**

- Tipo: turo-galeria
- Localização: Margem direita
- Comprimento da galeria: 128 m
- Cota da Galeria: 67,00 m
- Número de condutos: 2
- Diâmetro dos condutos: 5,70 m
- Válvulas dispersoras: 4 unidades com 1500mm de diâmetro
- Desocagem máxima pela tomada d'água: 100,00 m<sup>3</sup>
- Altura da turo: 44,50 m



### **Casa de Força:**

- Número de turbinas: 2
- Potência total instalável: 22,50 Mw
- Queda bruta: 38,8 MCA

O arranjo do Projeto Original foi idealizado em três etapas construtivas relacionadas com o curso do rio, que resumem-se em:

#### **1ª Etapa**

Execução de enrocamentos no lado direito da calha do rio, em cotas 56,0 a montante e 54,5 jusante, com construção de parte das fundações da barragem no leito do rio, parte do maciço da barragem nas duas margens, do dique fustel e início das estruturas da tomada d'água e Vertedouro. Esta fase foi prevista para o período Junho-Ago/Julho - Ago/

#### **2ª Etapa**

Condição de enrocamentos do lado esquerdo do rio, nas cotas 58,0 a montante e 57,0 a jusante, com a construção do restante da fundação da barragem no leito e demais partes da obra nas subscritas. Permanecendo a parte central da barragem aberta para a passagem das vazias do rio Jaguaribe. Esta fase foi prevista para o período Junho - Ago/Julho - Ago/

#### **3ª Etapa**

Construção de uma enrocadeira na cota 61,00, dentro do rio pela galeria da tomada d'água e construção do maciço na parte central do leito do rio. Esta fase foi prevista para o período Julho - Ago/Dezembro - Ago/

### **2.2. A Construção**

O complexo de obras do Castanhete faz parte do convênio firmado entre o DNOCS e o Governo do Estado do Ceará com participação financeira de 71% e 29%, respectivamente.

Antes de Concorrência Pública, realizada em 1999 pelo DNOC5, foi celebrado o contrato n.º PGE 09/91 com a Construtora Andrade Gutierrez S.A., para a construção da barragem do Castanhola num prazo de 1440 dias.

As obras tiveram início no dia 10 de novembro de 1995.

Para o gerenciamento da obra foi contratado o consórcio Aguanilios-Hidroterra, que iniciou seus trabalhos em novembro de 1996, com o serviço de escavação da fundação e escarpas do maciço terrestre, no leito do rio, em andamento.

Verificou-se então que no trecho entre as estacas 113 e 117, o substrato rochoso apresentava uma depressão pontual no leito do rio, com dimensões e características bastante peculiares, não previstas no Projeto Executivo. Essa depressão foi rotulada como uma “Poça Cochonera” ou “Palcocanal”, que desde um cotação da cota 47,0 m, no pé de montante do projeto da barragem, até a cota 21,8 m na área de esco, com largura variável entre 30,0 e 60,0 m. As paredes apresentaram-se verticalizadas, com grandes irregularidades, fraturas abertas e alguns taludes negativos.

A Gerenciadora procurando otimizar a fundação da trincheira de vedação à situação de topo rochoso, na área do palcocanal, procedeu a levantamentos e sondagens, com o objetivo de elaborar uma solução emergencial, visto que o nível da estação elevatória estava muito próximo.

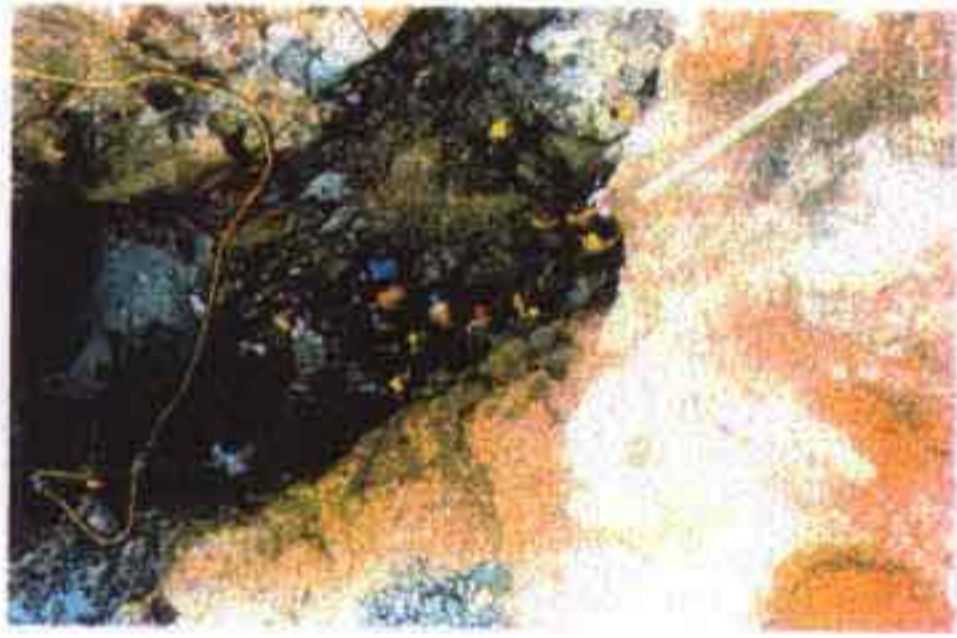
A solução indicada e materializada em campo, foi o deslocamento da zona de vedação (cut-off) para montante, com o eixo coincidindo com a regiva onde a rocha de forão do canal apresentava-se em cotas mais elevadas. A área do canal a partir do eixo da barragem até a montante, foi parcialmente escavada até a rocha-v, à 40 metros do eixo. Foi executado um muro de concreto, com cota de 32,0 m de elevação e 14,0 m de largura da crista, entre as cotas 38,3 e 44,3m. À montante do muro a área foi preenchida com cascalho-argila, proveniente das mesmas jazidas para o maciço, e a jusante com areia compactada. Sob a areia compactada permaneceu a areia natural numa espessura de cerca de 5,0 m. Uma documentação fotográfica sobre os serviços realizados no palcocanal é apresentada na Figura 2.1, na página seguinte.

Com a presença do palcocanal deslocou-se a tomada d'água da estaca 122+0,99 para 124, com escavação de um maciço constituído de rochas graníticas com juntas e falhas preenchidas por material silteoso.

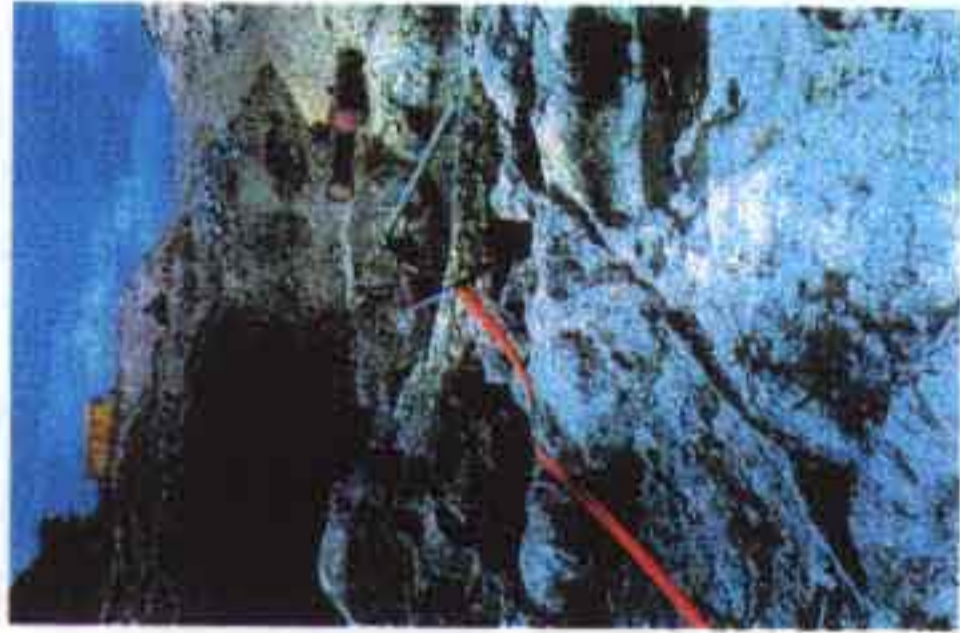




Escavação de material abaixo do N.A. à montante do muro.



Tratamento de fundação à montante do muro.



Bombeamento para tratamento da fundação à montante do muro.



Vista do canal a montante do muro durante tratamento da fundação



Execução de concreto durante a montante do muro.



Execução do concreto do muro visto de jusante.



Execução do enchimento de areia a jusante do muro.



Lançamento de concreto de enchimento a jusante do muro.



Aterro com cascalho argiloso à montante do muro

FIGURA 2.1

# DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA DOS TRABALHOS EXECUTADOS NO PALEOCANAL



Foram realizadas várias campanhas adicionais de sondagens a péssimo na leita do rio em geral e na área do paleovisual, em particular.

Em novembro de 1997 a ENOCS contratou um corpo de Consultores para a obra composto pelos engenheiros Sandro Sandroni, Guy Bordenau e o geólogo Guido Guidicini, que fez a primeira visita à obra no dia 21/11.

Decidiu-se substituir, na zona da tomada d'água, a seção da barragem originalmente projetada em enrocamento por uma seção de terra homogênea, visto que as escavações obrigatórias de rocha forneceram valores inferiores aos previstos.

Para maior conhecimento das características geológicas e topográficas da fundação afluente foram realizados ensaios de cone sísmico (CPT) e sísmicos de refração.

Os resultados das sondagens foram analisados pela Gerenciadora, que no seu memorando nº 226/98 sintetizou os resultados assim:

- No universo de ensaios SPT realizados, cerca de 60% dos valores de SPT apresentaram-se inferiores a 10 golpes, indicando a existência de grande quantidade de areia fofa.
- No universo de ensaios CPT cerca de 74% indicam valores  $< 10.000$  kpa, confirmando a existência de areia fofa em volume bastante representativo.
- No universo dos ensaios "in situ" para a determinação da compactação relativa em diversas partes de parede afluente, cerca de 45,5 % dos valores obtidos apresentaram uma compactação relativa abaixo de 30%.

Concluiu, nesse mesmo documento, que:

- As irregularidades e as situações de desabios abruptos do substrato rochoso propiciam a ocorrência de uma região com deformações diferenciais extremamente complexas;
- A ocorrência de um universo de 45,5% de material arenoso, com compactação relativa abaixo de 30%, associada a probabilidade de deformações da fundação, infere a um risco significativo e não remota de ocorrência do fenômeno de liquefação do parete afluente.



Para verificar a questão de estabilidade do maciço e a possibilidade de liquefação da areia da fundação skeltonar, os consultores do DSOCS procederam a uma análise sísmica, com parâmetros de aceleração horizontal de 0,07g e vertical de 0,03g e concluíram que: “As acelerações obtidas na análise preliminar foram comparadas com os critérios recentes de risco, a luz das características da areia natural de fundação, considerando-se que, apesar do conservadorismo da análise sísmica, a obra incide na faixa de aumento de risco de liquefação”.

A empresa Construtora, através da Vector Projetos Ltda, elaborou um estudo de tensão-deformação do maciço, potencial de liquefação e análise de estabilidade sísmica com  $K_h = 0,20g$  e  $K_v = 0,05g$  e concluiu que:

- As análises de estabilidade revelaram, para as condições críticas, fatores de segurança interpretados como inaceitáveis na região do paleossítio; fora dessa região os fatores de segurança ficaram próximos, mas ligeiramente inferiores, aos limites de aceitabilidade da prática corrente, sob situação de sismo estudado.
- As análises tensão-deformação tridimensionais revelaram que, em função da presença do paleossítio, o corpo da barragem pode vir a sofrer recalques diferenciais estimados em 1:100, ainda aceitáveis para barragens desse tipo;
- O potencial de liquefação das areias de fundação é significativo. Sabendo, todavia, que essas análises foram utilizadas curvas de tensão-círculo obtidas na literatura.
- O conjunto dos estudos sugere uma situação pouco confortável em termos de nível de segurança indesejável para a barragem.

O engenheiro Paulo Trincin da Cruz, contratado pela Gerenciadora para opinar sobre os estudos e pareceres anteriormente descritos, emitiu um relatório em 25 de agosto de 1995, que, no item V – “Atenção Especial para a Segurança da Barragem”, discorreu de manutenção do abutido na área de montante da fundação, bem como no trecho central, considerando que: “Sempre existirá um risco potencial de liquefação parcial ou total nas camadas fôss de aluvião. A quantificação deste risco é complexa, depende de estudos e ensaios especiais de laboratório e podem ser inconclusivos”. “Os estudos de estabilidade mostram claramente que a manutenção dos abutidos fôss da fundação, podem resultar a

fatores de segurança inadequados. Por outro lado a substituição do alívio por terra compactada, melhora substancialmente a segurança da barragem”.

As discussões sobre as possibilidades de liquidação do estuário acentuou na zona do leito do rio e a adoção de uma solução mais ampla e final para a zona do galeão, acarretaram na interrupção da construção da barragem nessa região. Para a edificação do mesmo terreno no leito do rio é necessário, ainda, um volume de cerca de 5.000.000 m<sup>3</sup> de solo compactado, impossível e ser realizado até o final do prazo contratual (dezembro/2004). Pelos níveis de produtividade idealizados para o obra, na concepção original do projeto, seriam necessários 3 anos para a conclusão do maciço.

Para antecipar a conclusão das obras, iniciar o enchimento do reservatório na relação c/afreixo de 2000 e satisfazer os impasse do caso acentuou da Fundação, pensou-se na alternativa de construção do troço da barragem no leito do rio em concreto compactado a vácuo (CCPV).

### **2.3. SITUAÇÃO ATUAL DAS OBRAS**

#### **Barragem de terra**

Atualmente a barragem se encontra em vários estágios de construção. A ombreira direita, junto ao bloco de transição direita do vertedouro está completa até a cota 111,00 m.

A barragem entre o bloco de transição esquerda do vertedouro (estaca 153+14) e a galeria da tomada d'água (estaca 124), apresenta um segmento entre as estações 128+10 e 137 completo até a cota 100,00 m, faltando 11,0 m para alcançar a cota final, porém com juntas de construção de 4:1 em direção as duas estruturas que serão completadas no futuro.

A barragem de terra na margem esquerda está completa na cota 111,00m até a estaca 81, com uma junta de construção de 4:1 que alcança o terreno de fundação na estaca 93+10.

#### **Tomada D'Água e Galeria de Desvio**

A torre da tomada d'água, construída com concreto estrutural no lado de montante do maciço, está praticamente completa até a cota 111,00 m.

A galeria de envolvimento dos condutos da tomada d'água, que também tem função de galeria de desova, confeccionada em concreto estrutural, também encontra-se pronta.

As estruturas a jusante da galeria para dissipar energia estão sendo construídas.

No momento só foi implantada parte dos talões da tomada d'água porém, faltam os demais equipamentos hidromecânicos previstos como , por exemplo, as comportas e as válvulas de controle e descarga.

### **Vertedouros**

O vertedouro de serviço localizado na margem direita está praticamente pronto. As estruturas de concreto, compreendendo blocos de gravidade de transição com a barragem de terra em cada extremidade do dispositivo, a soleira do vertedouro, os pilares da ponte, a calha do ripão de descarga e o tanqueim de amortecimento estão concluídas. As vigas protendidas e protendidas, que formam a tabuleira da ponte sobre o vertedouro, estão quase todas colocadas.

A escavação em rocha do canal de descarga está completa, faltando apenas a escavação do canal de descarga em solo até o rio. Está em fase de instalação as comportas móveis e outras estruturas hidromecânicas.

O vertedouro festivo, localizado na extremidade da margem esquerda, está completo.

### **2.4. PRÉVIA DE CONCLUSÃO DAS OBRAS**

A barragem do Castanhão possui importância estratégica no desenvolvimento de uso dos recursos hídricos do estado do Ceará. Planejada inicialmente com o objetivo principal de irrigar e proteger o Sítio Jaguaribe contra as cheias, hoje aparece como principal recurso de abastecimento de água da Região Metropolitana de Fortaleza e da região industrial de Fortaleza.

Com o cronograma de construção atrasado por atrasos na resolução de aspectos técnicos da fundação da barragem, a obra do Castanhão demandaria ainda aproximadamente 3 anos para ser concluída em total, o que representaria um adiamento dessa ordem da utilização da capacidade de armazenamento do açude.

A situação atual do sistema que abastece a RMF, mostrado no quadro seguinte, é bastante preocupante, tendo em vista a pequena recarga que recebeu no período chuvoso de 1999, podendo-se concluir que haverá uma total dependência da vazão transposta do Jaguaribe via Canal do Trabalhador. Ou seja, o próprio canal do trabalhador e sua capacidade se tornarão um fator limitante.

Situação dos Açudes que Abastecem Fortaleza (final de Nov./99)

<b>Açude</b>	<b>% da Capacidade de Acumulação</b>
Acarape do Meio	19,9%
Gavião	71,3%
Pacajus	19,5%
Pacoti	6,55
Riachão	22,25
<b>Total Geral dos Açudes</b>	<b>15,0%</b>

Tendo em vista esse fato, a Secretaria dos Recursos Hídricos preocupou-se com o reforço imediato do sistema de açudes de perenização que localizam-se no Jaguaribe, tendo adotado como meta a pronta conclusão do Castanhão.

Como consequência dessa decisão a SRH firmou o contrato nº06/99-SRH, com a Engesoft, para a elaboração do Projeto do paramento central da barragem do Castanhão em CCR.

A mudança para CCR permitirá, basicamente, a solução dos seguintes problemas identificados para um futuro imediato:

- Ao longo da obra, a seção em CCR poderá ser fechada sem a preocupação com as enchentes que transbordarem, pois o material permite o galgamento;
- Isso resultará na possibilidade de na estação chuvosa de 2000 o açude começar a encher, portanto dois períodos chuvosos antes do previsto para a solução de barragem de terra (ver esquema da figura 2.2)

Devido ao porte da obra de terra necessária ao fechamento do maciço, os recursos financeiros necessários para esse fechamento deveriam estar disponíveis em um curto espaço de tempo, para que a obra não parasse e não houvesse o risco de galgamento antes da sua conclusão. No caso do CCR, uma eventual desaceleração financeira da obra não resultaria em perda do que já foi executado, pois o CCR suporta bem uma eventual passagem de cheia.



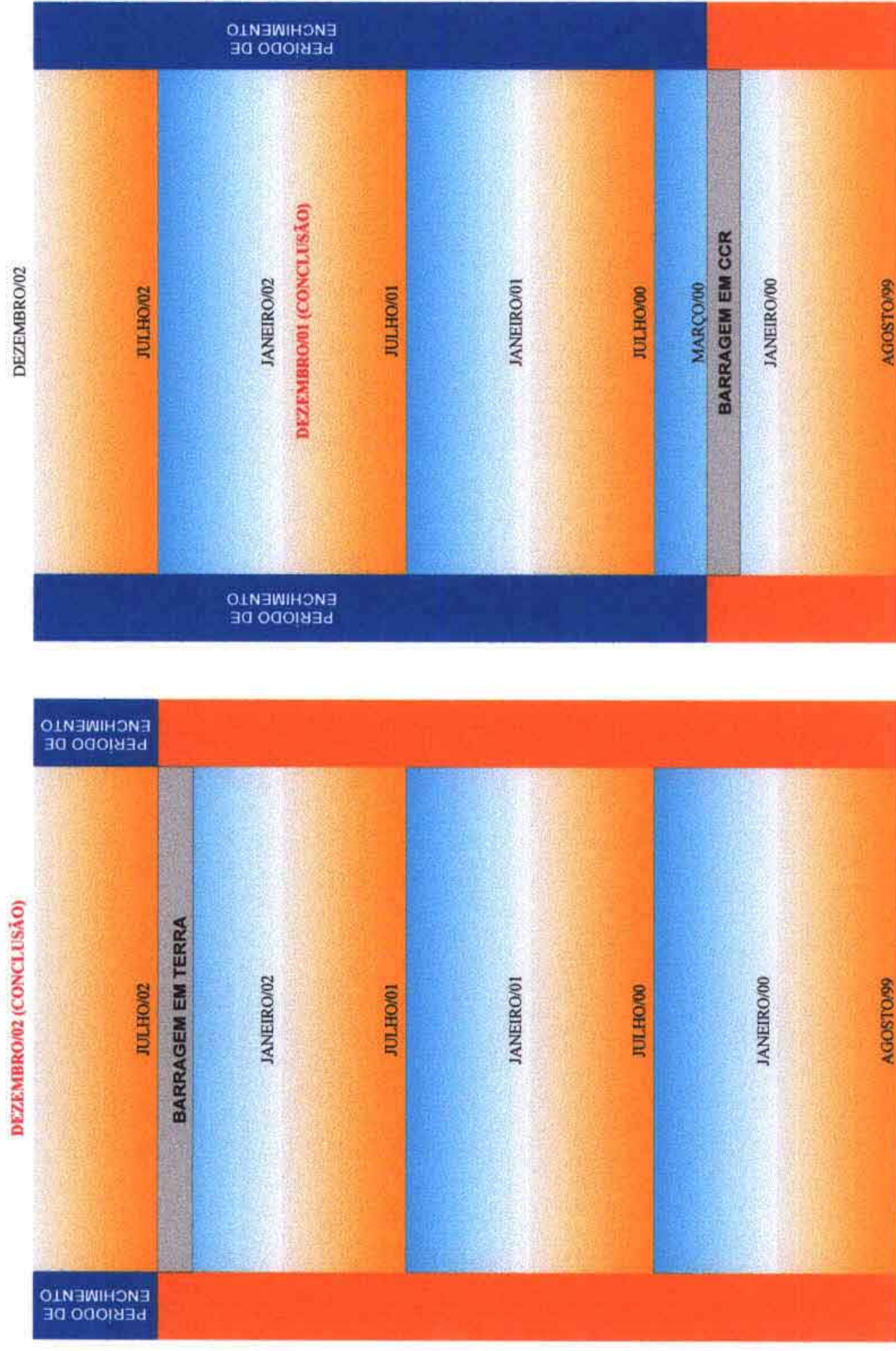


FIGURA 2.2

**PREVISÃO DE ACUMULAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE BARRAMENTO**



**3. ANÁLISE ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS DE CONSTRUÇÃO DO PARLAMENTO  
CENTRAL DA BARRAGEM CASTANHÃO**

---

## 2. ANÁLISE ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS DE CONSTRUÇÃO DO PARAMENTO CENTRAL DA BARRAGEM CASTANHÃO

### 2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente capítulo do Projeto Executivo do Paramento Central da Barragem Castanhão tem por objetivo elaborar um estudo comparativo da viabilidade econômica da barragem para as duas alternativas de construção do paramento central: barragem de terra e barragem de CCR, esta última mais cara quando comparada com o projeto atual, porém com a vantagem de ser construída mais rapidamente e, portanto, capaz de economizar milhões de metros cúbicos de água para prazos relativamente mais curtos.

Em síntese, o estudo visa fornecer elementos necessários para justificar economicamente uma mudança no projeto original da barragem. Ou seja, com o cronograma de construção delineado ainda seria necessários 3 anos para ser concluída a obra de Castanhão, o que representa também um adiantamento no armazenamento de água e sua devida utilização. A meta de antecipar a construção da barragem através da modificação do trecho central da barragem para uma seção de CCR se justificaria não apenas em termos econômicos, mas como uma alternativa de caráter estratégico frente ao risco de não ter água disponível, no começo do próximo século, para o abastecimento da região metropolitana de Fortaleza e da região industrial do Pólo.

Frente ao cenário limitado de suprimento d'água para o conjunto da RMB e do complexo portuário do Pólo, pelas bacias metropolitanas, a situação atual do sistema tem de obrigatoriamente ser feita pela vasta transposta do Jaguaribe via Canal de Trabalhador. Com a infra-estrutura local atual e prevista para o ano 2000 um déficit de 4,138 m<sup>3</sup>/s e a partir do cenário futuro das demandas hídricas das bacias metropolitanas, sem considerar a futura existência do Castanhão, estima-se que este valor atinja 12,042 m<sup>3</sup>/s no ano 2020<sup>1</sup>. Diante, ainda, das áreas potencialmente disponibilizadas para a irrigação no baixo Jaguaribe, e contando-se igualmente as áreas irrigáveis nas bacias metropolitanas, principalmente para fruticultura tropical de boas perspectivas de mercado, representa mais uma justificativa para a presença de análise das obras.

<sup>1</sup> SBR/COGEM/PROLBE-CE, Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas, Relatório Técnico III, WBA Consultoria, março/98.

Ante o exposto e utilizando os mesmos procedimentos adotados na análise econômico-social desenvolvida no volume original do RIMA<sup>2</sup>, elaborou-se um estudo comparativo do fluxo líquido de caixa para as duas alternativas de construção do paramento central da barragem - a barragem de terra e a barragem de OCR.

Deve-se ressaltar, porém, que as análises realizadas no presente estudo buscam evidenciar a ordem de grandeza dos custos e benefícios do empreendimento diante das duas alternativas de construção, permitindo estabelecer, em caráter comparativo, a importância relativa da antecipação da operação do reservatório.

Para tanto, buscou-se adotar as mesmas premissas adotadas com relação aos usos múltiplos do empreendimento para efeito da formação dos diferentes fluxos monetários envolvidos, adotando apenas o cenário de distribuição no tempo dos valores concernentes as duas alternativas em função da previsão de acumulação das alternativas de barramento.

Desta forma, a consolidação das estimativas de custos e de valores de benefícios múltiplos do empreendimento baseia-se nos elementos descritos a seguir.

### **3.2. PAGAMENTO DE CUSTOS E BENEFÍCIOS LÍQUIDOS COM USOS MÚLTIPLOS**

#### **a) Barragem**

O DNOC/S prevê que seriam ainda necessários aproximadamente 5 anos para conclusão das obras do barramento em seu projeto original, a partir de 1999 inclusive, sendo 2003, então, a data de acumulação efetiva do reservatório. Para a solução proposta de uma barragem de OCR o tempo necessário para construção é prevista para 2 anos, já possibilitando na relação chaveira de 2000 o início do enchimento do açude, com um volume pequeno, e em 2001 com um volume substancial.

Assim, considerando o tempo previsto para implantação da barragem nas duas alternativas de construção de paramento central, a distribuição temporal dos dispêndios ao longo do

---

<sup>2</sup> DNOC/S, Relatório de Impacto no Meio Ambiente - Barragem Castanhão, Cap. 8 - Justificativa econômica e social do empreendimento, SEPAC, 1999.

preço de construção e um custo de operação e manutenção das estruturas de 1% ao ano sobre o custo da obra principal da barragem de terra e 0,5% da barragem de CCR é apresentado nas Tabelas 3.1 e 3.2.

### **h) Usos Múltiplos - Fluxos de Benefícios Líquidos**

Conforme definido na versão original do RIMA, os custos de empreendimento para efeito de análise econômica e social são representados pelos gastos com a implantação de barramento em si - inclusive ações complementares - e pelo custo de oportunidade das terras da bacia de inundação.

A exemplo do que se fez em relação aos custos da barragem, a metodologia adotada para quantificação dos benefícios foi a mesma da descrita na versão original do RIMA, onde os diferentes usos múltiplos (irrigação, abastecimento d'água, energia, pesca no reservatório e proteção contra cheias no baixo (aqueduto)) são representados algebricamente em termos de saldos líquidos de seus respectivos benefícios, levando em consideração:

- investimentos e custos operacionais de obras específicas de cada uso múltiplo e/ou comuns a mais de um propósito;
- receitas obtidas com a exploração de recursos proporcionada pelo projeto;
- custos de produção diretos necessários à obtenção destas receitas;
- outros vantagens e prejuízos criados (caso específico da construção de obras).

Para efeito do presente estudo, as formas de agregação desses valores variam de acordo com a disponibilidade hídrica observada por cada alternativa, sendo importante esclarecer que o lançamento dos custos e benefícios obedecem os mesmos procedimentos adotados no capítulo 6 da versão original do RIMA.



AÇUDE PÚBLICO CASTANHÃO  
ALTERNATIVA I - BARRAGEM DE TERRA

TABELA 3.1  
FLUXO DE CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DA BARRAGEM

(R\$ 10<sup>6</sup>)

ANOS	INVESTIMENTOS		AÇÕES COMPLEM.	OPER. E MANUT.	TOTAIS
	BARRAGEM (*)	DESAPROPRIAÇÃO			
1999	100,9	42,0	20,0	-	142,9
2000	25,6	-	20,0	-	45,6
2001	30,4	-	20,0	-	50,4
2002	20,8	-	20,0	-	40,8
2003	-	-	-	1,8	1,8
2004	-	-	-	1,8	1,8
2005	-	-	-	1,8	1,8
2006	-	-	-	1,8	1,8
2007	-	-	-	1,8	1,8
2008	-	-	-	1,8	1,8
2009	-	-	-	1,8	1,8
2010	-	-	-	1,8	1,8
2011	-	-	-	1,8	1,8
2012	-	-	-	1,8	1,8
2013	-	-	-	1,8	1,8
2014	-	-	-	1,8	1,8
2015	-	-	-	1,8	1,8
2016	-	-	-	1,8	1,8
2017	-	-	-	1,8	1,8
2018	-	-	-	1,8	1,8
2019	-	-	-	1,8	1,8
2020	-	-	-	1,8	1,8
2021	-	-	-	1,8	1,8
2022	-	-	-	1,8	1,8
2023	-	-	-	1,8	1,8
2024	-	-	-	1,8	1,8
2025	-	-	-	1,8	1,8
2026	-	-	-	1,8	1,8
2027	-	-	-	1,8	1,8
2028	-	-	-	1,8	1,8
2029 (**)	(75,8)	-	-	1,8	(74,0)

(\*) Inclusive investimentos já realizados.

(\*\*) Valor residual calculado para uma vida útil de 50 anos.



AÇUDE PÚBLICO CASTANHÃO  
ALTERNATIVA II - BARRAGEM DE CCR

TABELA 3.2

FLUXO DE CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DA BARRAGEM

(R\$ 10<sup>6</sup>)

ANOS	INVESTIMENTOS		AÇÕES COMPLEM.	OPER. E MANUT.	TOTAIS
	BARRAGEM (*)	DESAPROPRIAÇÃO			
1999	104,7	42,0	26,7	-	146,7
2000	62,0	-	26,7	-	88,7
2001	31,0	-	26,7	-	57,7
2002	-	-	-	1,0	1,0
2003	-	-	-	1,0	1,0
2004	-	-	-	1,0	1,0
2005	-	-	-	1,0	1,0
2006	-	-	-	1,0	1,0
2007	-	-	-	1,0	1,0
2008	-	-	-	1,0	1,0
2009	-	-	-	1,0	1,0
2010	-	-	-	1,0	1,0
2011	-	-	-	1,0	1,0
2012	-	-	-	1,0	1,0
2013	-	-	-	1,0	1,0
2014	-	-	-	1,0	1,0
2015	-	-	-	1,0	1,0
2016	-	-	-	1,0	1,0
2017	-	-	-	1,0	1,0
2018	-	-	-	1,0	1,0
2019	-	-	-	1,0	1,0
2020	-	-	-	1,0	1,0
2021	-	-	-	1,0	1,0
2022	-	-	-	1,0	1,0
2023	-	-	-	1,0	1,0
2024	-	-	-	1,0	1,0
2025	-	-	-	1,0	1,0
2026	-	-	-	1,0	1,0
2027	-	-	-	1,0	1,0
2028	-	-	-	1,0	1,0
2029 (**)	-84,4	-	-	1,0	-83,4

(\*) Inclusive investimentos já realizados.

(\*\*) Valor residual calculado para uma vida útil de 50 anos.



Sendo indicados os incrementos da série histórica, decorrentes da construção da barragem nas duas hipóteses de construção do parâmetro central, os benefícios líquidos foram compostos considerando-se o estabelecimento do mesmo cenário futuro estabelecido no projeto original. Assim, para efeito de uma análise comparativa entre as duas hipóteses de construção do parâmetro central, o resultado se manifesta na inflexão da antecipação da construção da barragem em relação aos usos múltiplos – conforme capítulo 2 (Ver figura 2.2) – e nos custos envolvidos com as duas alternativas de projeto (Tabela 3.1 e 3.2), incluindo-se ainda os custos já realizados (barragem e desapropriação) e os dispêndios com ações complementares (relações das populações urbana e rural, instalação da BR-116 e construção das estações climatológicas, meteorológicas e ecológicas), estes últimos estimadas em R\$ 80 milhões. Todavia, no que se refere ao benefício da contribuição do Castanhão para o controle das enchentes no Baixo Jaguaribe, considerou-se para as duas alternativas o mesmo cenário evolutivo do fluxo de benefício líquido, uma vez que há pouca probabilidade de ocorrência de enchentes durante o período de construção da barragem.

### 3.3. ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO-BENEFÍCIO

A consolidação das estimativas de custo e de valores dos benefícios múltiplos do Aquele Público Castanhão para as duas alternativas de construção do parâmetro central é apresentada nas Tabelas 3.3 e 3.4.

Observa-se que o valor presente líquido, para uma taxa de desconto de 10%, do fluxo diferencial de benefícios e custos é de cerca de R\$ 345,0 milhões para a barragem de CCR, mantendo-se este que supera, com certa margem, o valor presente líquido apropriado para a barragem de terra, estimado em R\$ 243,0 milhões. Ou seja, a construção do parâmetro central em CCR, apesar de alocar maiores recursos em um prazo de tempo mais curto, porém com a vantagem de antecipar a operação dos benefícios múltiplos do projeto, contribui, comparativamente ao projeto original de barragem de terra, em cerca de R\$ 101,2 milhões para a economia nacional. Verifica-se que este montante, representado pelo fluxo diferencial de benefício líquido atualizado das duas alternativas de barramento, corresponde aproximadamente ao investimento necessário para construção da barragem em CCR.



ACUDE PÚBLICO CASTANHÃO  
ALTERNATIVA I - BARRAGEM DE TERRA  
TABELA 3.3  
ANÁLISE CUSTO - BENEFÍCIO

000031

(R\$ 10<sup>6</sup>)

ANOS	CUSTOS			BENEFÍCIOS					TOTAL (B)	FLUXO LÍQUIDO DE CAIXA (B-A)
	BARRAGEM	CUSTOS DE OPORTUNIDADE DA ÁREA INUNDADA	TOTAL (A)	IRRIGAÇÃO	ABASTECIMENTO D'ÁGUA	CONTENÇÃO DE CHEIAS	GERAÇÃO DE ENERGIA	PESCA		
1.999	142,9	1,6	144,5	-	-	-	-	-	-	-144,5
2.000	45,6	1,6	47,2	-	-	-	-	-	-	-47,2
2.001	50,4	1,6	52,0	-	-	-	-	-	-	-52,0
2.002	40,8	1,6	42,4	-	-	-	-	-	-	-42,4
2.003	1,8	1,6	3,4	-26,3	34,9	1,9	-3,1	-0,5	6,8	3,5
2.004	1,8	1,6	3,4	-28,6	41,4	2,0	2,4	0,1	17,4	14,0
2.005	1,8	1,6	3,4	-15,8	41,9	2,1	2,4	0,3	30,8	27,4
2.006	1,8	1,6	3,4	-20,0	45,1	2,1	2,4	0,5	30,2	26,8
2.007	1,8	1,6	3,4	-20,1	24,3	2,2	2,4	0,7	9,6	6,3
2.008	1,8	1,6	3,4	-6,4	42,2	2,3	2,4	1,0	41,6	38,2
2.009	1,8	1,6	3,4	31,8	45,6	2,4	2,4	1,3	83,5	80,1
2.010	1,8	1,6	3,4	42,7	61,4	2,6	2,4	1,5	110,5	107,1
2.011	1,8	1,6	3,4	49,1	61,1	2,7	2,4	1,8	117,2	113,8
2.012	1,8	1,6	3,4	55,9	68,0	2,8	2,4	1,8	130,9	127,5
2.013	1,8	1,6	3,4	57,3	67,8	2,9	2,4	1,8	132,3	128,9
2.014	1,8	1,6	3,4	57,2	74,7	3,0	2,4	1,8	139,2	135,8
2.015	1,8	1,6	3,4	54,3	73,2	3,2	2,4	1,8	135,0	131,6
2.016	1,8	1,6	3,4	57,0	81,4	3,3	2,4	1,8	146,0	142,6
2.017	1,8	1,6	3,4	56,9	81,2	3,4	2,4	1,7	145,8	142,4
2.018	1,8	1,6	3,4	56,8	88,1	3,6	2,4	1,8	152,8	149,4
2.019	1,8	1,6	3,4	56,7	87,9	3,8	2,4	1,8	152,6	149,2
2.020	1,8	1,6	3,4	56,6	87,7	3,9	2,4	1,8	152,6	149,2
2.021	1,8	1,6	3,4	56,6	93,8	4,1	2,4	1,8	158,7	155,3
2.022	1,8	1,6	3,4	56,5	101,4	4,3	2,4	1,8	166,5	163,1
2.023	1,8	1,6	3,4	56,4	69,8	4,5	-0,7	1,6	131,6	128,2
2.024	1,8	1,6	3,4	47,9	69,6	4,7	2,4	1,7	126,4	123,0
2.025	1,8	1,6	3,4	51,7	69,4	4,9	2,4	1,8	130,2	126,8
2.026	1,8	1,6	3,4	41,6	66,7	5,1	2,4	1,8	117,6	114,2
2.027	1,8	1,6	3,4	47,5	65,3	5,3	2,4	1,8	122,3	118,9
2.028	1,8	1,6	3,4	46,1	68,5	5,5	2,4	1,8	124,4	121,0
2.029	-74,0	1,6	-72,4	164,5	44,3	5,8	4,6	2,1	221,3	293,8
<b>VPL a 10%</b>	<b>240,6</b>	<b>15,3</b>	<b>255,9</b>	<b>114,6</b>	<b>349,3</b>	<b>17,4</b>	<b>11,8</b>	<b>6,5</b>	<b>499,7</b>	<b>243,8</b>
<b>TIR (%)</b>										<b>15,45</b>
<b>B/C a 10%</b>										<b>1,95</b>



ACUDE PÚBLICO CASTANHÃO  
ALTERNATIVA II - BARRAGEM DE CCR  
TABELA 3.4  
ANÁLISE CUSTO - BENEFÍCIO

000032

ANOS	CUSTOS			BENEFÍCIOS					TOTAL (B)	FLUXO LÍQUIDO DE CADA (B-A)
	BARRAGEM	CUSTOS DE OPORTUNIDADE DA ÁREA INUNDADA	TOTAL (A)	IRRIGAÇÃO	ABASTECIMENTO D'ÁGUA	CONTENÇÃO DE CHEIAS	GERAÇÃO DE ENERGIA	PESCA		
1.999	146,7	1,6	148,3	-	-	-	-	-	-	-148,3
2.000	88,7	1,6	90,3	-	-	-	-	-	-	-90,3
2.001	57,7	1,6	59,3	-26,3	34,9	-	-3,1	-0,5	5,0	-54,3
2.002	1,0	1,6	2,6	-28,6	41,4	-	2,4	0,1	15,4	12,8
2.003	1,0	1,6	2,6	-15,8	41,9	1,9	2,4	0,3	30,7	28,1
2.004	1,0	1,6	2,6	-20,0	45,1	2,0	2,4	0,5	30,0	27,4
2.005	1,0	1,6	2,6	-20,1	24,3	2,1	2,4	0,7	9,5	6,9
2.006	1,0	1,6	2,6	-6,4	42,2	2,1	2,4	1,0	41,4	38,8
2.007	1,0	1,6	2,6	31,8	45,6	2,2	2,4	1,3	83,3	80,7
2.008	1,0	1,6	2,6	42,7	61,4	2,3	2,4	1,5	110,3	107,7
2.009	1,0	1,6	2,6	49,1	61,1	2,4	2,4	1,8	116,9	114,3
2.010	1,0	1,6	2,6	55,9	68,0	2,6	2,4	1,8	130,7	128,1
2.011	1,0	1,6	2,6	57,3	67,8	2,7	2,4	1,8	132,1	129,5
2.012	1,0	1,6	2,6	57,2	74,7	2,8	2,4	1,8	139,0	136,4
2.013	1,0	1,6	2,6	54,3	73,2	2,9	2,4	1,8	134,7	132,1
2.014	1,0	1,6	2,6	57,0	81,4	3,0	2,4	1,8	145,7	143,1
2.015	1,0	1,6	2,6	56,9	81,2	3,2	2,4	1,7	145,5	142,9
2.016	1,0	1,6	2,6	56,8	88,1	3,3	2,4	1,8	152,5	149,9
2.017	1,0	1,6	2,6	56,7	87,9	3,4	-0,7	1,8	149,2	146,6
2.018	1,0	1,6	2,6	56,6	87,7	3,6	2,4	1,8	152,2	149,6
2.019	1,0	1,6	2,6	56,6	93,8	3,8	2,4	1,8	158,3	155,8
2.020	1,0	1,6	2,6	56,5	101,4	3,9	2,4	1,8	166,1	163,5
2.021	1,0	1,6	2,6	56,4	69,8	4,1	2,4	1,6	134,3	131,7
2.022	1,0	1,6	2,6	47,9	69,6	4,3	2,4	1,7	126,0	123,4
2.023	1,0	1,6	2,6	51,7	69,4	4,5	2,4	1,8	129,8	127,2
2.024	1,0	1,6	2,6	41,6	66,7	4,7	2,4	1,8	117,2	114,6
2.025	1,0	1,6	2,6	47,5	65,3	4,9	2,4	1,8	121,9	119,3
2.026	1,0	1,6	2,6	46,1	68,5	5,1	2,4	1,8	123,9	121,3
2.027	1,0	1,6	2,6	46,1	68,5	5,3	2,4	1,8	124,2	121,6
2.028	1,0	1,6	2,6	46,1	68,5	5,5	2,4	1,8	124,4	121,8
2.029	-83,4	1,6	-81,8	164,5	44,3	5,8	4,6	2,1	221,3	303,1
<b>VPL a 10%</b>	<b>252,5</b>	<b>15,3</b>	<b>267,8</b>	<b>142,5</b>	<b>430,4</b>	<b>17,4</b>	<b>14,4</b>	<b>8,1</b>	<b>612,7</b>	<b>345,0</b>
<b>TIR (%)</b>										<b>17,75</b>
<b>B/C a 10%</b>										<b>2,29</b>



Comparando-se, ainda, em termos de taxa interna de retorno, verifica-se que as estimativas de custos e de valores dos benefícios múltiplos da barragem em CCR permite registrar uma TIR implícita no fluxo de caixa da ordem de 17,72%,ável este acima do valor encontrado para projeto original de barragem de terra (15,45%).

A título de exercício de sensibilidade, pode-se notar que mesmo na presença de um elevado aumento de 50% nos custos da barragem em CCR, simulação esta que pode ser considerada como irrealista, tem-se lá ainda um valor presente líquido de R\$ 263,8 milhões e uma taxa interna de retorno de 16,27% (Tabela 2.5), superior ainda ao resultados do projeto em sua concepção original de barragem de terra.

As simulações apresentadas no presente estudo, mesmo que realizadas com valores ainda aproximativos em termos de custos, indicam que o empreendimento apresenta um maior potencial favorável de retorno do capital público com a solução proposta de uma barragem de CCR. Como dito anteriormente, esta alternativa se configura não somente como sendo a mais viável em termos econômicos, mas como uma garantia para reduzir o risco de não ter água disponível para o abastecimento da região metropolitana de Fortaleza e o complexo portuário do Porto no meio do próximo século.



ALTERNATIVA II - BARRAGEM DE CCR com um aumento de 50% nos custos previstos do paramento central

000034

TABELA 3.5  
ANÁLISE CUSTO - BENEFÍCIO

ANOS	CUSTOS			BENEFÍCIOS					TOTAL (B)	FLUXO LÍQUIDO DE CADA (B-A)
	BARRAGEM	CUSTOS DE OPORTUNIDADE DA ÁREA INUNDADA	TOTAL (A)	IRRIGACÃO	ABASTECIMENTO D'ÁGUA	CONTENÇÃO DE CHEIAS	GERAÇÃO DE ENERGIA	PESCA		
1.999	150,2	1,6	151,8	-	-	-	-	-	-	-151,8
2.000	119,7	1,6	121,3	-	-	-	-	-	-	-121,3
2.001	73,2	1,6	74,8	-26,3	34,9	-	-3,1	-0,5	5,0	-69,8
2.002	1,2	1,6	2,8	-28,6	41,4	-	2,4	0,1	15,4	12,5
2.003	1,2	1,6	2,8	-15,8	41,9	1,9	2,4	0,3	30,7	27,8
2.004	1,2	1,6	2,8	-20,0	45,1	2,0	2,4	0,5	30,0	27,1
2.005	1,2	1,6	2,8	-20,1	24,3	2,1	2,4	0,7	9,5	6,6
2.006	1,2	1,6	2,8	-6,4	42,2	2,1	2,4	1,0	41,4	38,6
2.007	1,2	1,6	2,8	31,8	45,6	2,2	2,4	1,3	83,3	80,5
2.008	1,2	1,6	2,8	42,7	61,4	2,3	2,4	1,5	110,3	107,4
2.009	1,2	1,6	2,8	49,1	61,1	2,4	2,4	1,8	116,9	114,1
2.010	1,2	1,6	2,8	55,9	68,0	2,6	2,4	1,8	130,7	127,9
2.011	1,2	1,6	2,8	57,3	67,8	2,7	2,4	1,8	132,1	129,2
2.012	1,2	1,6	2,8	57,2	74,7	2,8	2,4	1,8	139,0	136,1
2.013	1,2	1,6	2,8	54,3	73,2	2,9	2,4	1,8	134,7	131,8
2.014	1,2	1,6	2,8	57,0	81,4	3,0	2,4	1,8	145,7	142,9
2.015	1,2	1,6	2,8	56,9	81,2	3,2	2,4	1,7	145,5	142,6
2.016	1,2	1,6	2,8	56,8	88,1	3,3	2,4	1,8	152,5	149,6
2.017	1,2	1,6	2,8	56,7	87,9	3,4	-0,7	1,8	149,2	146,3
2.018	1,2	1,6	2,8	56,6	87,7	3,6	2,4	1,8	152,2	149,4
2.019	1,2	1,6	2,8	56,6	93,8	3,8	2,4	1,8	158,3	155,5
2.020	1,2	1,6	2,8	56,5	101,4	3,9	2,4	1,8	166,1	163,3
2.021	1,2	1,6	2,8	56,4	69,8	4,1	2,4	1,6	134,3	131,5
2.022	1,2	1,6	2,8	47,9	69,6	4,3	2,4	1,7	126,0	123,1
2.023	1,2	1,6	2,8	51,7	69,4	4,5	2,4	1,8	129,8	127,0
2.024	1,2	1,6	2,8	41,6	66,7	4,7	2,4	1,8	117,2	114,3
2.025	1,2	1,6	2,8	47,5	65,3	4,9	2,4	1,8	121,9	119,1
2.026	1,2	1,6	2,8	46,1	68,5	5,1	2,4	1,8	123,9	121,1
2.027	1,2	1,6	2,8	46,1	68,5	5,3	2,4	1,8	124,2	121,3
2.028	1,2	1,6	2,8	46,1	68,5	5,5	2,4	1,8	124,4	121,6
2.029	-104,4	1,6	-102,8	164,5	44,3	5,8	4,6	2,1	221,3	324,2
<b>VPL a 10%</b>	<b>293,6</b>	<b>15,3</b>	<b>308,8</b>	<b>142,5</b>	<b>430,4</b>	<b>17,4</b>	<b>14,4</b>	<b>8,1</b>	<b>612,7</b>	<b>303,9</b>
<b>TIR (%)</b>										<b>16,27</b>
<b>B/C a 10%</b>										<b>1,98</b>



## 4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E QUANTITATIVOS DO PROJETO EXECUTIVO

### 4.1. ESTRUTURAS BÁSICAS

Com o projeto do paramento central da barragem do Castanhão, o arranjo geral das obras ficou constituído das seguintes estruturas principais:

Barragem de concreto CCR  
 Barragem de terra  
 Diques auxiliares e fusível  
 Vertedouro  
 Tomada d'água  
 Casa de válvulas

### 4.2. DADOS HIDROLÓGICOS NA BARRAGEM

- Área de drenagem: 44.850 km<sup>2</sup>
- Vazão mínima mensal média registrada 0,2 m<sup>3</sup>/s
- Vazão média mensal 73 m<sup>3</sup>/s

Enchentes máximas calculadas

		Período de retorno (anos)							
		10	20	25	50	100	1000	10000	EMP
Vazões máximas afluentes	(m <sup>3</sup> /s)	2.941	3.928	4.228	5.356	6.484	11.182	17.350	23.200

- Volume compreendido entre os níveis 100,00 m e 106,00 m, previsto para controle de enchentes de até 100 anos de período de retorno: 2.300 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>
- Vazão afluente (TR 100 anos): 6.484 m<sup>3</sup>/s
- Vazão efluente correspondente: 2.480 m<sup>3</sup>/s
- Amortecimento das enchentes decamilenar e máxima provável a partir da cota 106 m.

Para a enchente decamilenar

- Vazão máxima afluente 17.350 m<sup>3</sup>/s
- Vazão máxima efluente 12 345 m<sup>3</sup>/s
- N.A. máx. max do reservatório 108,80 m
- Volume da enchente (\*)2 143 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

Para a enchente máxima provável (EMP)

- Vazão máxima afluente: 23.200 m<sup>3</sup>/s
- Vazão máxima efluente 14.820 m<sup>3</sup>/s
- N.A. EMP 110,33 m
- Volume da enchente (\*). 4.285 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

#### 4.3. VERTEDOURO

O vertedouro de serviço foi projetado e construído na ombreira direita entre as estacas 153+14 e 161+7, com 12 vãos para instalação de comportas segmento de 10 m x 11,55m, com uma largura total de 153m, uma capacidade máxima na EMP de 12.345 m<sup>3</sup>/s e composto dos seguintes elementos:

Canal de aproximação

Pilares de 3,0 m de largura, no total de 11 unidades

Soleira vertente na cota 95,00

Salto esqu

Muros guias laterais

Poço de amortecimento escavado em rocha

Estrada de acesso definitivo ao local da barragem

Embora o paramento central da barragem tenha sido substituído por um maciço de concreto CCR numa extensão de 630 metros, o vertedouro de serviço permanece com todas as funções idealizadas no projeto original, tendo em vista que a cota adotada para a crista do maciço CCR mantém-se a mesma da barragem de terra, ou seja, não foi considerada a possibilidade de vertimento pela barragem de CCR.

#### **4.4. TOMADA D'ÁGUA**

A tomada d'água projetada e construída é do tipo torre-galeria, constituída de galerias duplas de seção quadrada de 6,50 m de lado, com a função de desvio durante a construção e de descarga das vazões regularizadas do rio Jaguaribe, durante a operação do reservatório. Apenas uma galeria terá a função de controle das descargas regularizadas e será composta de uma tubulação de diâmetro de 3,70 m, com energia dissipada através de quatro válvulas dispersoras de 1,50 m, cada. A restituição do caudal regularizado à calha do rio será através de um canal aberto em solo aluvionar e revestido de enrocamento de pedra.

A tomada d'água foi construída com uma extensão compatível com uma barragem em seção de terra homogênea. Com o projeto do paramento central em CCR a galeria ficará na sua parte montante sob o maciço de concreto e com sua extremidade jusante sem solicitações significantes.

As principais características da estrutura da tomada d'água são assinaladas a seguir:

Localização . . . . .	...margem direita na estaca 124
Tipo . . . . .	. . . . . 2 condutos paralelos sob a barragem
Capacidade nominal . . . . .	. . . . . 100 m <sup>3</sup> /s
Cota da soleira: . . . . .	. . . . . 57,00 m
Extensão para montante: . . . . .	. . . . . 149,70 m
Extensão para jusante: . . . . .	. . . . . 104,90 m

#### **4.5. BARRAGEM DE TERRA**

Na ombreira esquerda entre as estacas 78 (projeto original) e 5 (projeto CCR), numa extensão de cerca de 380 m, a barragem será construída em uma seção de terra semelhante à indicada no projeto original e com abraços em terra e enrocamento. No entanto, como a largura do coroamento da barragem de terra foi idealizada com 10,00 m e a de concreto CCR com 7,00 m, nos últimos 60 metros que antecedem a barragem de concreto, será



necessária a adoção de seções em terra com transição da largura da crista, sem alteração da posição do eixo projetado.

Na ombreira direita entre as estacas 36 + 10 (novo estaqueamento) e 153+14, (do projeto original), portanto numa extensão de 529,4 m, o maciço será executado em terra da mesma forma que a concebida para a ombreira esquerda.

Vale salientar que a solução para os abraços da barragem de terra com o CCR é semelhante a adotada no projeto original para o maciço próximo ao muro de transição, nas extremidades do vertedouro, que consiste de um zoneamento onde os contranúcleos mudam de argila compactada para enrocamento compactado, à medida que se aproximam do vertedouro. Nessa situação o núcleo central argiloso mantém-se até tocar a face transversal dos muros de ligação, e contorna-los

O material de construção para execução das obras de terra será o solo do tipo argiloso da formação Faceira existente na jazida 7 do projeto original. Essa ocorrência embora já tenha sido parcialmente explorada possui um grande volume utilizável, suficiente para as necessidades da obra. A jazida 5, também do projeto original, situada na ombreira esquerda também contribuirá para a execução da seção em terra.

O sistema de drenagem interna da barragem homogênea constituído de um filtro vertical e de um tapete drenante horizontal instalado no contato com a fundação, será construído conforme o projeto original, com areia limpa (menos de 5% passando na # n° 200) obtida nas jazidas indicadas no Projeto do paramento central. Inicialmente deverá ser explorada a área situada à montante do eixo (AE-2), por ser mais próxima e situar-se dentro da região já desapropriada. O material dessa ocorrência encontra-se no leito do rio Jaguaribe, em área mundável nas estações chuvosas e por isto deverá ser explorada na primeira estação seca e acumulada em estoques situados em áreas elevadas

Somente em caso excepcional deverá ser utilizada a jazida de areia à jusante do eixo (AE-1), pela sua maior distância de transporte, por situar-se fora da área desapropriada e pelos conflitos com outras obras que encontram-se mais próximas dessa fonte de material.

Para a proteção dos taludes de montante e jusante, revestimento do coroamento, dreno de pé (rock-fill) e enrocamento com transições nos contatos com a extremidade da barragem de CCR e do vertedouro, deverá ser empregado o material rochoso originário das escavações obrigatórias do vertedouro, estocados em quatro áreas (3 no lado direito e 1 no lado

esquerdo). Para complementação dos volumes estocados deverá ser explorada a pedreira denominada no projeto original de J-12, situada próxima da ombreira direita a montante do eixo (cerca de 1,5 km para o britador).

Para a edificação da barragem de terra nos segmentos compreendidos entre a junta de construção na ombreira esquerda e a estaca inicial da barragem de CCR e entre o final desta e a extremidade direita do vertedouro, serão necessários os seguintes volumes de serviços:

#### VOLUME DE MATERIAIS NECESSÁRIOS NA BARRAGEM DE TERRA (m<sup>3</sup>)

MATERIAIS	OMBREIRA ESQUERDA	OMBREIRA DIREITA
Enrocamento selecionado p/ rip-rap	37.718	53.650
Enrocamento fino Ø máx = 0,30	56.903	62.429
Finos de pedreira Ø máx = 0,15	396	268
Areia para sistema de drenagem interna	31.048	24.448
Solo argiloso para corpo da barragem	1.178,456	910.943

## 4.6. BARRAGEM DE CONCRETO

### 4.6.1. Introdução

A solução de substituir o maciço da barragem de terra homogênea por um maciço em concreto CCR, na região do leito do rio Jaguaribe, tem por objetivo primeiro a antecipação do fechamento do rio e início de acumulação em meados da estação chuvosa de 2.000. Os reflexos econômicos da possibilidade de acumulação de dois deflúvios anuais integrais em relação a alternativa de maciço de terra são muito vantajosos, como mostrado anteriormente no item 3.

### 4.6.2. Localização do Eixo

Após o estudo de alternativas de posicionamento planimétrico do eixo da barragem em CCR, elegeu-se o que transcorre pela região a montante do paleocanal, de forma a englobar no maciço o muro de concreto e os tratamentos dos taludes já executados, além de passar o mais próximo possível da torre da tomada d'água, reduzindo substancialmente a extensão da estrutura de acesso à torre.

O eixo do projeto executivo tem início no PI-4 do projeto original, onde situa-se a estaca 0+0, com três curvas na seqüência montante-jusante-jusante, com o maciço de CCR iniciando-se na estaca 5 + 000 e finalizando-se na 36 + 10.

No quadro 4.1 a seguir são apresentados os elementos geométricos que definem o alinhamento do eixo do projeto executivo.

#### Quadro 4.1 - Elementos Geométricos do Eixo do Projeto Executivo

CURVA Nº	AC	R	T	D	ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DO EIXO DA BARRAGEM					
					PI		PC		PT	
					COORDENADAS		COORDENADAS		COORDENADAS	
				N	E	N	E	N	E	
1 (D)	1°47'37"	2.014,01	31,54	63,05	2393532,981	860887,048	2393564,4232	860889,1222	2393501,5874	860884,0113
2 (E)	28°36'18"	176,51	45,00	88,123	2393009,086	860836,372	2393036,990	860838,695	2392967,690	860854,00
3 (E)	23°19'10"	258,926	59,43	105,363	2392583,153	861040,864	2392669,150	860981,230	2392566,570	861001,950

#### 4.6.3. Fundação

No segmento da ombreira esquerda onde o maciço será executado em solo, a fundação já foi escavada até o substrato rochoso ou até o solo de alteração da rocha matriz. Portanto, nesse segmento as escavações para fundação do maciço terroso serão pouco significativas. Na ombreira direita a situação é semelhante, dispensando praticamente as escavações para fundação do maciço de terra, ficando necessárias apenas escavações para fundação do maciço de enrocamento nos abraços.

Na região da barragem de concreto a fundação será sobre o topo rochoso, ou concretos executados na área do paleocanal.

Com base nas sondagens e levantamentos topográficos executados no âmbito desse contrato, nas plantas das escavações elaboradas pela Supervisora das Obras, (consórcio Aguasolos - Hidroterra), estimou-se em cada estaca da barragem de concreto a cota do substrato rochoso e a conseqüente espessura do aluvião a ser escavado. No quadro seguinte são apresentados esses parâmetros ao longo do eixo da barragem.



**Quadro 4.2. Pacote Aluvionar no Eixo da Barragem**

<b>ESTACAS</b>	<b>COTA DO TERENO</b>	<b>COTA DO TOPO ROCHOSO</b>	<b>ESPESSURA DO ALUVIÃO</b>
5	55.91	55.91	0
6	53.16	53.16	0
7	50.90	50.9	0
8	55.88	49.05	6.83
9	53.22	47.9	5.32
10	52.9	47.30	5.60
11	53	48.65	4.35
12	53.12	47.9	5.22
13	53.27	48.45	4.82
14	49.44	48.40	1.04
15	49.49	48.00	1.49
16	50.33	45.30	5.30
17	55.09	48.10	6.99
18	58.12	47.50	10.62
19	57.65	49.40	8.25
20	55.82	49.14	6.68
21	56.15	48.45	7.7
22	56.57	48.86	7.71
23	55.75	48.63	7.12
24	55.17	46.8	8.37
25	52.8	42.2	10.6
26	49.22	42.9	6.32
27	53.35	47.6	5.75
28	54.56	47.13	7.43
29	54.20	48.00	6.20
30	57.32	49.00	8.32
31	52.52	47.00	5.52
32	50.06	47.50	2.50
33	64.68	52.00	12.68
34	64.70	53.00	11.20
35	65.43	57.00	8.43
36	65.69	61.50	4.19
36+10	65.80	62.20	3.60

Para escavação do material sobrejacente a fundação rochosa da barragem de concreto será necessário o bombeamento do lençol freático, de forma a rebaixá-lo o suficiente para que o tratamento da fundação seja realizado sem presença d'água. A adoção de trincheiras de vedação sob as enscadeiras tem como finalidade o controle do fluxo d'água pela fundação e reduzir substancialmente a operação de bombeamento. Essas trincheiras deverão ser escavadas até o N.A com tratores de esteira e abaixo desse nível com escavadeiras de esteiras até o limite do comprimento da lança.

#### 4.6.4. Maciço de Concreto

O maciço de concreto (CCR) foi projetado atendendo aos seguintes critérios, na sua ordem de prioridade

- 1ª prioridade:** Estabilidade em relação a todas as possíveis solicitações e situações de carregamentos, inclusive abalos sísmicos;
- 2ª prioridade:** Fechamento do rio e início de acumulação num menor tempo construtivamente possível,
- 3ª prioridade:** Viabilidade econômica melhor que a opção de barragem em seção de terra homogênea.

Para definição da cota do coroamento da barragem de CCR, e de seu funcionamento como vertedouro auxiliar ou não, foram apresentadas quatro alternativas a Comissão de Fiscalização da SRH, com seus custos, vantagens e desvantagens. A comissão se manifestou favorável a adoção da cota 111 00, semelhante a do maciço terroso concebido no Projeto Original da obra portanto, sem função vertedoura

Para a definição da extensão do paramento central a ser construído em CCR, analisou-se e ponderou-se os seguintes condicionantes

- a) arranjo construtivo em função do desvio do rio e das previsões de conclusão dos equipamentos da tomada d'água.
- b) os volumes necessários de concreto e solo (nas ombreiras)
  - volume de concreto = 910 103 m<sup>3</sup>
  - volume de terra = 2 089.399 m<sup>3</sup>
- c) as produtividades possíveis de CCR com a central de britagem e de concreto existente na obra
  - central de britagem = 70t/h
  - central de concreto = 600 m<sup>3</sup>/dia

d) as produtividades alcançadas na obra e equipamentos disponíveis para a execução de aterros

- volume de aterro = 170 000 m<sup>3</sup>/mes

e) as produtividades máximas das centrais que serão adquiridas, com previsão de pleno funcionamento em maio/2000

- central de britagem = 300 t/h
- central de concreto = 2 500 m<sup>3</sup>/dia

Concluiu-se, portanto, que para o fechamento do desvio do rio e início da acumulação em março do ano 2000, e para o equilíbrio da construção das obras de concreto e terra, o maciço de CCR deverá iniciar-se na estaca 5 e finalizar-se na estaca 36 + 10,00

A seção tipo da barragem de CCR apresenta uma largura total do coroamento de 7,00 m, talude de montante 1:10 na região dos abraços e vertical no restante, talude de jusante vertical entre as cotas 111,00 e 101,67 m e com inclinação de 0,75 (H) : 1(V) abaixo da cota 101,67 m

Nos segmentos compreendidos entre as estacas 5 - 9+7,34 e 36+10,00 - 36+7,94, o paramento de montante da barragem de CCR foi projetado com um talude 1(H) : 10(V), para propiciar uma melhor compactação do solo dos "abraços" no contato com o maciço de concreto. Com uma compactação eficiente estará assegurada a estanqueidade dessa interface. Na seção transversal dos pontos extremos do maciço de CCR (estacas 5 e 36+10,00) a barragem deverá, também, apresentar um talude 1(H): 10(V), pelas mesmas razões.

O coroamento da barragem será executado em CCR semelhante às camadas subjacentes, com caimento igualmente de 2,0% para montante. Guarda-corpos, do tipo barreira "New Jersey", foram indicados para ambos os lados do coroamento, com drenos na base de montante em PVC com Ø 4", a cada 10 metros

Para assegurar uma zona impermeável a montante será construída uma faixa de concreto convencional vibrado, com espessura de 0,50 m, a partir da face de montante, em toda a altura da barragem

Abaixo da cota 95,00 m, será executada uma faixa indo até 8,00m além da face de montante, com um CCR de maior teor de cimento (CCR1 com 90 kg de cimento/m<sup>3</sup>), prosseguindo até o nível do topo rochoso. Também será executado com esse CCR1 toda a largura da barragem abaixo da cota 57,00 m.

O restante do maciço de concreto será construído com um CCR de menor teor de cimento (CCR2 com 70 kg de cimento/m<sup>3</sup>), e portanto um pouco mais permeável.

Na tabela a seguir são apresentadas as composições desses dois tipos de CCR.

**Quadro 4.3 - Composição de CCR (kg/cm<sup>3</sup>)**

MATERIAIS	TRAÇO	
	CCR1	CCR2
Cimento	90	70
Água	132	132
Areia Siltosa	152	154
Areia de Rio	644	653
Areia Artificial	219	222
Brita 25 mm	711	712
Brita 50 mm	473	474

A areia siltosa para as misturas dos traços de CCR deverão ser procedente da jazida JE-1 e JE-2, na área das escavações obrigatórias dos canais de descarga e desvio. A areia de rio deverá ser extraída do areal AE-02 e os agregados pétreos dos estoques e, após seus esgotamentos, da pedreira J-12.

Para promover a ligação entre as camadas de CCR, em toda a largura da seção da barragem, será aplicada uma argamassa de berço, espalhada com rodo ou projetada por via úmida, numa espessura máxima de 1,0 cm.

Transversalmente ao maciço de concreto serão abertas juntas de contração, ao longo de toda seção com espaçamento típico de 20 metros a partir da ombreira direita. Essas juntas deverão ter suas localizações finais definidas a partir do mapeamento geológico-geotécnico da fundação exposta pelas escavações. No quadro 4.4 são indicadas as localizações dessas juntas, com uma primeira aproximação.



**Quadro 4.4 – Localização Estimada das juntas de Contração**

Nº	ESTACA	Nº	ESTACA	Nº	ESTACA
01	5+17,00	12	15+12,00	24	26+3,00
02	6+14,00	13	16+6,00	25	27+2,00
03	7+12,00	14	17+0,00	26	28+2,00
04	8+9,00	15	18+0,00	27	29+0,00
05	9+8,00	16	19+0,00	28	30+0,00
6	10+0,00	17	20+0,00	29	31+0,00
07	10+13,00	18	21+0,00	30	31+15,00
08	11+13,00	19	22+0,00	31	32+0,80
09	12+13,00	20	23+0,00	32	32+19,54
10	13+13,00	21	24+0,00	33	34+0,00
		22	24+13,00	34	35+0,00
11	14+13,00	23	25+8,00	35	36+0,00

Uma galeria de drenagem foi projetada para ser construída entre as estacas 5+10 e 36, com uma largura de 2,50 m e largura de 3,50 m, com sua face mais à montante distando 5,0m para o paramento de montante da barragem. A galeria foi idealizada para ser construída na cota 57,50 (entre estacas 5+10 e 28+10) e na cota 65,50 (entre estacas 28+10 e 36), com caimento dado no piso, de forma a propiciar um recobrimento mínimo de 1,00 m sobre a rocha de fundação ou sobre a estrutura da tomada d'água e, também, para escoar o fluxo drenado através de 3 galerias de acesso ao talude jusante (estacas 12 + 11,91; 26 + 2,38 e 32 + 2,05).

As galerias de acesso nº 01 e 02, apresentam as menores cotas de todo o sistema de galeria e foram idealizadas considerando-se o nível d'água a jusante, inclusive com uma submersão para o nível referente a MEP (calculado no projeto na cota 63,25m).

A galeria de drenagem foi idealizada com duas valetas no seu piso, para escoamento dos fluxos captados pelo dreno formado próximo a face de montante, pela cortina de drenagem interna e pela cortina de drenagem da fundação. Ambas as valetas situam-se junto as paredes da galeria, com 0,30 m de largura, sendo a de montante com profundidade máxima de 0,29 m e a de jusante com 0,30 m.

Sarjetas transversais dotadas de grelhas de proteção com seções semelhantes serão construídas, ligando as sarjetas longitudinais junto aos acessos. A sarjeta de jusante descarrega em sarjetas, com igual seção, nos acessos nº 1, 2 e 3.

O sistema de vedação das juntas de contração constitui-se de duas linhas de juntas de vedação em PVC, do tipo Fugenband 0-35, situadas a 0,30 m e 0,90 m da face de montante, respectivamente, engastadas 0,60 m na rocha de fundação e prolongando-se até a camada de revestimento do coroamento. Na região de localização das juntas o concreto convencional de face se estenderá até 1,10 m da face de montante.

As juntas de contração nos contatos serão vedadas também com juntas Fugenband porem com uma largura de concreto convencional ao longo de toda a seção de contato e cuidados adicionais para evitar a infiltração nos contatos entre os concretos.

Para impermeabilização da rocha de fundação será executada uma cortina de injeção, através da galeria de drenagem, com uma inclinação de 15° para montante, em toda a extensão da barragem, com exceção do trecho da galeria sobre a tomada d'água, que já foi injetado

Nos trechos que limitam o paleo canal, numa extensão de cerca de 30 m para lado deste, deverá ser executada uma campanha de injeção de consolidação das juntas que ocorrem entre 2 e 6 metros abaixo do topo rochoso. Essa campanha deverá correr ao longo de toda a seção transversal com furos numa malha de 3,0 por 3,0 metros

Para drenagem de possíveis infiltrações na barragem será formada uma linha de dreno de Ø 6", entre as juntas de vedação tipo Fugenband, através do deslizamento vertical de um tubo galvanizado ou de PVC. Esse furo de dreno que deverá iniciar-se 0.60m acima do topo rochoso, será interligado à galeria de drenagem através de um tubo galvanizado de Ø 6", dotado de um "T". Nos contatos entre o concreto convencional e a estrutura da tomada d'água foram indicados drenos em meia seção

Drenos verticais de Ø = 3" abertos com sonda percussiva a partir do coroamento até a galeria de drenagem, serão executados a cada 4,0 metros ao longo do comprimento da barragem. Drenos semelhantes, abertos através da galeria de drenagem, penetrarão na rocha de fundação, com o intuito de captar fluxos que porventura não sejam interceptados pela cortina de injeções. Esses drenos de fundação também manterão um espaçamento entre si de 4,0 metros.

#### **4.7. DESVIO DO RIO E ETAPAS CONSTRUTIVAS**

A barragem de concreto e seus abraços em seção de terra serão construídos em quatro etapas distintas.

##### **1ª ETAPA**

Sob proteção da ensecadeira existente na obra, que a partir da estaca 8 estrangula o rio Jaguaribe em um canal na sua margem esquerda, será realizada a 1ª etapa das obras entre as estacas 9+7,34 e 23

A 1ª etapa foi idealizada para o período de outubro/1999 a Janeiro/2000 e nela serão desenvolvidas as seguintes atividades,

- Escavação e tratamento das fundações da barragem de concreto entre as estacas 9+7,34 e 23
- Execução do maciço de CCR em seção reduzida, a partir da face de montante, na cota 57,00 e largura da crista de 5,0 m, entre estacas 9 + 19,34 e 20
- Execução do maciço de CCR em seção reduzida, na cota 61,00 e largura de crista de 5,0 m, entre estacas 9+7,34 e 9+19,34
- Execução do maciço de CCR em seção reduzida, na cota 62,20 e largura de crista de 7,5 m, entre estacas 22 e 23
- Execução do maciço de CCR em seção plena, na cota 62,20, entre estacas 20 e 22.
- Construção da ensecadeira de terra a montante, na cota 62,00, entre estacas 22 e ombreira direita.
- Construção de ensecadeira de terra a jusante, na cota 58,00, entre estacas 21 e ombreira direita
- Rebaixamento do terreno de jusante, entre estacas 9+19,34 e 20, para cota a 55,00

- Execução do maciço terroso na ombreira direita até sua cota final, entre a junta de construção da estaca 137 e o vertedouro, e até a cota 64,00 entre as estacas 36+10 e a junta de construção.

Para o cálculo das ensecadeiras de 1ª fase foram estudadas várias situações hidrológicas e hidráulicas, com o trecho vertedouro da “ensecadeira” de CCR com larguras variáveis e com os cenários do açude Orós sem sangria e com vazões normais após seu enchimento.

As ensecadeiras, de um modo geral, são estruturas provisórias e que envolvem risco de galgamento pois, tem a função de assegurar uma área de trabalho apenas por um período curto de tempo, com menores custos. A escolha do tempo de recorrência (TR) a ser considerado para estabelecimento de suas cotas, é uma decisão que compete ao proprietário da obra. Normalmente considera-se um TR de 20 a 50 anos.

A Engesoft ciente da necessidade de diminuir os volumes das ensecadeiras de terra procurou, dentro das produções estimadas para as centrais existentes na obra, indicar nesse Projeto a maior largura vertedoura e conseqüentemente a menor lamina vertedoura

Portanto, considerou-se uma largura vertedoura de 200 m, e ensecadeiras numa cota compatível com o nível d'água para um TR = 50 anos, sem sangria do Orós, que representa uma vazão de 2.410 m<sup>3</sup>/s, que fica um pouco abaixo da vazão para um TR = 10 anos, com sangria do Orós.

Para essas vazões a velocidade máxima do fluxo do canal será de 3,0 m<sup>3</sup>/s, o que viabiliza o uso de ensecadeiras de terra protegidas com enrocamento. Projetou-se, portanto, para limite do canal de acesso ao vertedouro em CCR, uma ensecadeira de solo com face protegida por 3,0m de enrocamento graúdo, com transição.

## **2ª ETAPA**

A 2ª etapa consiste na construção da ensecadeira de montante no lado esquerdo, entre estacas 9+7,34 e ombreira esquerda. Essa ensecadeira será de terra e enrocamento e no leito estrangulado do rio em enrocamento com vedação de jusante em solo argiloso compactado com trânsito

Nessa etapa se dará o fechamento do rio e início da formação do lago de acumulação

Prevê-se para os primeiros 15 dias de fevereiro a construção dessa ensecadeira



Durante essa curta etapa poderão ser tratadas das fundações e lançado concreto a partir da estaca 22

### **3ª ETAPA**

A 3ª etapa está prevista para iniciar-se em meados de fevereiro e prosseguir-se até final de abril/2000

Nessa etapa serão realizados trabalhos entre as estacas 22 e 32+0,80 (face esquerda da galeria da tomada d'água), área protegida pelas ensecadeiras de 1ª fase, enquanto se dá a acumulação do lago até a cota 57,00 e o vertimento por sobre a seção reduzida da barragem de CCR entre estacas 9+19,34 e 20.

Serão realizadas as seguintes atividades durante essa fase

- Escavação e tratamento das fundações da barragem de concreto entre as estacas 23 e 32+0,80
- Execução do maciço de CCR em seção plena, na cota 57,00, entre estacas 22 e 24. Execução do maciço de CCR em seção plena na cota 62,20, entre as estacas 24 e 25
- Construção da galeria de descarga de fundo com seção 2,50 x 2,50m, na zona central do bloco 24 e 25, com cota de montante na 52,50
- Construção do maciço de CCR em seção reduzida, na cota 57,00 com largura de crista de 5,0 m, entre as estacas 25 e 32+0,80

A 4ª etapa inicia-se em maio de 2000 quando a vazão de jusante do rio será garantida pela operação da comporta da descarga de fundo.

A partir dessa fase a barragem de CCR será executada em seção plena em toda a sua extensão, excetuando-se o bloco entre estacas 24 e 25 que deverá ser alteado no início da estação chuvosa de 2001, quando a comporta da descarga de fundo será desativada

### **4.8. INSTRUMENTAÇÃO**

A instrumentação indicada para o maciço de concreto da barragem do Castanhão foi concebida tendo como filosofia os seguintes aspectos:

- os objetivos para o programa de instrumentação,
- a estimativa de tais objetivos serem obteníveis;
- a variedade mínima para atingir os objetivos,
- arranjo mínimo dos instrumentos escolhidos para prover a necessidade dos dados,
- a escolha dos tipos de instrumentos mais simples, confiáveis e robustos.

A instrumentação da estrutura de concreto tem como objetivo:

- obter informações durante a construção de modo a completar ou modificar o projeto;
- verificar as hipóteses e segurança do projeto durante a construção e a operação;
- obter informações de situações peculiares para uso em projeto futuros no estado

Para verificação das temperaturas alcançadas no interior da massa de CCR e no seu contato com o exterior, foram indicados, numa única seção (estaca 26+2,38) quatro linhas de termômetros, distribuídas ao longo da altura da barragem. Seus cabos serão posicionados dentro de dutos que transcorrem pelo talude de jusante até um quadro de registros dentro da galeria de acesso nº 2.

Para o acompanhamento e registros das subpressões no contato com a fundação rochosa foram indicados piezômetros abertos, tipo Casagrande modificado, em cinco seções da galeria de drenagem. Em cada seção escolhida serão instalados dois piezômetros, um a montante e outro a jusante da cortina de drenagem da fundação. Em uma única seção transversal, que coincide com a galeria de acesso nº 2 (estaca 26 + 2,38), foram indicados quatro piezômetros do mesmo tipo. Portanto, o número total de piezômetros projetados é de 14 unidades

Medidores triortogonais de juntas foram indicados para serem instalados nas juntas entre os blocos, dentro da galeria de drenagem, com a finalidade de medir deslocamentos em 3

planos de diferentes, com auxílio de um sistema de apoios fixados convenientemente na estrutura. Foram indicados 17 unidades entre as estacas 20 e 34 (inclusive ambas).

Marcos de superfície, implantados através de pinos incrustados na posição central do revestimento do coroamento, com espaçamento de 50 m, serão responsáveis pelos registros de deslocamentos verticais que porventura ocorram ao longo da barragem de concreto. Como referência serão instalados dois "bench-marcks" nas ombreiras. O número total de marcos projetados é de 13 unidades.

#### 4.9. SÍNTESE DOS QUANTITATIVO PRINCIPAIS

##### Barragem de CCR

Escavação das fundações.....	= 210.929 m <sup>3</sup>
Concreto de regularização . . . . .	= 11.868 m <sup>3</sup>
Argamassa de berço . . . . .	= 29.592 m <sup>3</sup>
Concreto de face.....	= 29.217 m <sup>3</sup>
CCR1 (90 kg ci/m <sup>3</sup> ) . . . . .	= 395.549 m <sup>3</sup>
CCR2 (70 kg ci/m <sup>3</sup> ) . . . . .	= 473.469 m <sup>3</sup>
Concreto p/ guarda-corpo. . . . .	= 291 m <sup>3</sup>
Área do paramento montante . . . . .	= 318.523 m <sup>2</sup>
Área do paramento jusante (incluindo seção reduzida). . . . .	= 42.234 m <sup>2</sup>
Furos para injeções . . . . .	= 7.104 m
Dreno formado Ø 6" ..... . . . .	= 2.010 m
Dreno interno Ø 3" . . . . .	= 14.110 m
Junta Fugenband. . . . .	= 3.831 m
Junta Jeene ... . . . .	= 124 m

### **Barragem de Terra**

Solo argiloso. ....	= 2.089.399 m <sup>3</sup>
Enrocamento graudo ...	= 284.809 m <sup>3</sup>
Enrocamento fino . ....	= 119.333 m <sup>3</sup>
Areia para filtro.. ..	= 55.496 m <sup>3</sup>

### **Ensecadeira**

Solo argiloso compactado c/ transito . . .	= 67.415 m <sup>3</sup>
Solo argiloso compactado c/ rolo . . . . .	= 16.085 m <sup>3</sup>
Enrocamento . . . . .	= 45.220 m <sup>3</sup>
Enrocamento fino. . . . .	= 6 160 m <sup>3</sup>
Escavação da fundação. . . . .	= 44 080 m <sup>3</sup>

## **5. ESTUDOS GEOTÉCNICOS**

---



## 5. ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Os estudos geotécnicos visando o projeto do paramento central da barragem de CCR, consistiram basicamente em:

- identificação, sondagem e ensaios laboratoriais em três ocorrências de areia siltosa, no pacote aluvionar do rio,
- identificação, sondagem e ensaios laboratoriais em duas ocorrências de areia de rio, no leito do rio Jaguaribe,
- reconhecimento de uma área de afloramentos rochosos para pedreira;
- sondagens percussivas com medida de SPT até o substrato rochoso,
- sondagens rotativas Ø NX com retirada de testemunhos, na rocha de fundação e concretos da área do paleocanal,
- ensaios de perda d'água nos furos de sondagem rotativa

A jazida JE-01, de solo areno siltoso para emprego como parte do agregado miúdo do CCR, foi localizada no canal de descarga do vertedouro, a jusante de uma região baixa de material argiloso (lagoa). Essa jazida busca o aproveitamento da escavação obrigatória desse canal, sendo sondado com trado até uma profundidade de 6,00 m. O volume aproveitável dessa jazida na escavação obrigatória é de 135.000 m<sup>3</sup>, considerando uma exploração de 4,0 m de profundidade.

A jazida JE-2, no mesmo material da JE-1, buscou o aproveitamento da escavação obrigatória do canal de desvio, a jusante da barragem. O volume aproveitável ao longo do canal é de 12.000 m<sup>3</sup>, podendo chegar a mais de 45.000 m<sup>3</sup> se considerada fora da área de escavação obrigatória. O material constitui-se de uma areia siltosa cor cinza clara e apresenta uma fração passante na peneira nº 200 de 42% e IP de 5%.

A jazida JE-3, constituída de uma areia siltosa de cor cinza escura, situada em área a montante do eixo, sujeita a inundações do rio, apresentou uma plasticidade um pouco mais elevada com IP = 6% e grande percentual passante na peneira 200, sempre maior que 87%. Suas características para uso no CCR são inferiores as das jazidas JE-1 e JE-2, portanto não indicamos o seu uso como parte do agregado fino das misturas de CCR.

Para areia de rio foram pesquisadas uma ocorrência a jusante (AE-1) e outra a montante (AE-2) Ambas apresentam as mesmas características geotécnicas porém, o areal AE-1 situa-se mais distante do local da barragem, fora da área de desapropriação e é de interesse das obras de implantação da cidade de Nova Jaguaribara e da ponte que será construída sobre o rio Jaguaribe. Essa ocorrência deverá funcionar apenas como reserva para eventual utilização

No projeto executivo foi considerado o uso apenas do areal AE-2, com formação de estoque na época das estiagens já que o mesmo situa-se em área inundável

Foram realizados oito furos de sondagens percussivas, na área do futuro maciço de concreto, em complemento as sondagens já realizadas no âmbito dos estudos anteriores.

Na execução das sondagens percussivas foram usados dois processos para avanço do furo Inicialmente foi usado o trado concha de 4", ao encontrar-se o nível d'água ou material impenetrável a esta ferramenta o furo foi revestido e prosseguido por lavagem, até atingir-se material impenetrável a esta processo.

Para extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2" e 1 3/8" de diâmetros externos e internos, respectivamente, o qual foi cravado no terreno por meio de golpes de um martelo de 65 kg, com altura de queda de 75 cm

Durante a cravação do amostrador foram registrados os números de golpes necessários para fazer o amostrador penetrar cada 15 cm no terreno, até uma penetração total de 45 cm. A soma dos golpes das duas últimas parcelas de 15 cm, ou seja dos 30 cm finais de cravação, é apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens. Este número de golpes é denominado de "Standard Penetration Test (SPT)"

Na execução das sondagens com lâmina d'água foi utilizada uma plataforma flutuante e os furos foram revestidos a partir do piso da plataforma

A perfuração das investigações rotativas foi executada com coroa NX (diâmetro externo 75,3 mm) acoplada a um barrilete duplo A sonda utilizada foi uma MACH 920 da MAQUESONDA, de avanço manual.

Para cada operação do barrilete foram registrados a porcentagem de recuperação, o número de peças e o RQD (Rock Quality Designation), dados que estão indicados nos perfis de sondagens

Na sondagem SM-4, nos trechos perfurados em rocha foram realizados ensaios de perda d'água "LUGEON" Os ensaios foram realizados de acordo com os procedimentos recomendados pela ABGE (Boletim 02 - 1975).

Os ensaios foram realizados em cinco estágios de pressões, que são abaixo mostrados:

- Primeiro estágio. . . . . 0,10 kg/cm<sup>2</sup>
- Segundo estágio. . . . . Pressão intermediária = P<sub>máx</sub>/2
- Terceiro estágio: . . . . . Pressão máxima
- Quarto estágio: . . . . . Igual ao segundo estágio
- Quinto estágio. . . . . 0,10 kg/cm<sup>2</sup>

A pressão máxima foi calculada a partir da profundidade do obturador do trecho ensaiado pela seguinte expressão.

$P_{máx} = 0,25 \cdot \text{kg/cm}^2 \cdot \text{m}$ , profundidade do obturador em metros.

## **6. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS**

---

## 6. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Foram realizados levantamentos planialtimétricos em toda a área de interesse do projeto do paramento central da barragem do Castanhão, estendendo-se desde a estrutura do vertedouro, situada na ombreira direita, até a junta de construção da barragem de terra, na ombreira esquerda.

Todos os detalhes construtivos foram levantados, tanto das obras de terra quanto do vertedouro, sistema de tomada d'água, ensecadeiras, estoque e escavações. Batimetria foi realizada nos locais que apresentam-se inundados e no leito do rio.

Os quatro estoques de enrocamento existentes na obra foram levantados e cubados, para avaliação do volume disponível desse material a seu emprego no CCR e nas proteções do maciço de terra. São os seguintes os volume obtidos:

<b>Estoque</b>	<b>Volume de Rocha (m<sup>3</sup>)</b>
1	101.964
2	359.158
3	283.000
5	415.967

Todos os elementos foram coletados por uma estação total, digitalizados e passados para arquivos magnéticos.

O levantamento baseou-se, completamente nas referência de nível e coordenadas materializadas na obra e indicadas pela equipe de topografia da fiscalização.



## 7. ESTUDOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS

---

## **7. ESTUDOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS**

### **7.1. INTRODUÇÃO**

O processo de construção de uma barragem do porte do Castanhão requer que se planeje, com muito cuidado, o processo construtivo, dividindo-o em fases e avaliando riscos envolvidos em obras provisórias. A decisão de como dividir a construção em fases e como projetar o desvio do rio depende das condições topográficas e geológicas do local da obra e ainda do regime hidrológico do rio. Via de regra, a construção de uma ensecadeira torna-se indispensável.

O Projeto proposto pela ENGESOFT prevê a construção de um endicamento encravado na ombreira direita e outro na ombreira esquerda, proporcionando a passagem das águas do rio Jaguaribe em uma seção na zona central do leito por sobre uma seção vertedoura da barragem de CCR.

A determinação da cota superior dos diques e da largura da seção vertedoura devem contemplar três aspectos básicos:

- 1) O aspecto hidrológico com vistas a definir as cheias do projeto e os riscos de transbordamento dos diques,
- 2) O aspecto hidráulico com vistas a definir a seção de escoamento da cheia de projeto e a proteção do material dos diques contra as altas velocidades da água ocasionadas pelo estrangulamento da seção,
- 3) O aspecto ambiental com vistas a propiciar avaliações preliminares de conseqüências de uma possível ruptura dos diques.

O presente estudo procurou analisar os três aspectos citados para juntamente com os aspectos econômicos e construtivos, serem desenvolvidos, propiciar elementos para uma correta tomada de decisão.

O estudo é composto de três partes. primeiramente apresentam-se os estudos hidrológicos, em seguida analisam-se alternativas da seção de escoamento para diferentes vazões e seções transversais; finalmente apresentam-se considerações sobre os aspectos ambientais.

### **7.2. ASPECTOS HIDROLÓGICOS**

Os elementos hidrológicos necessários aos estudos consiste em determinar cheias de projeto para diferentes períodos de retorno. Duas condições são apresentadas:

- a) as cheias do Projeto do DNOS para períodos de retorno de 10, 20, 25 e 50 anos;
- b) em um segundo instante apresentam-se as cheias reduzidas por um coeficiente para levar em consideração que o açude Orós, ao início de 2000, deverá esta com um armazenamento bem abaixo de sua capacidade.

### As Cheias Do Projeto

O estudo hidrológico do Castanhão, desenvolvido pelo DNOS, analisou os picos de cheia do rio Jaguaribe para 10, 20, 25, 50, 100 e 1.000 anos. Os valores das vazões de pico desses hidrogramas estão apresentados na Tabela 7.1. Deve-se observar que essas vazões foram avaliadas sob a premissa do reservatório do Orós encontrar-se cheio no início do escoamento do hidrograma. Para efeito do presente estudo somente interessam as cheias referentes a períodos de retorno de 50 anos ou inferiores.

**Tabela 7.1** - Vazões máximas escoadas no Rio Jaguaribe em Castanhão para vários períodos de retorno

Período de retorno (anos)	Vazão máxima (m <sup>3</sup> /s)
10	2.941
20	3.928
25	4.228
50	5.356

FONTE: DNOS: Estudos hidrológicos de Açude Castanhão

### Redução do pico de cheia pelo Orós

O açude Orós encontra-se atualmente com 29,4% de sua capacidade ou seja, um volume acumulado de **470,4** hm<sup>3</sup>. Considerando-se que as liberações do açude devem continuar até o final do ano, a expectativa é que ao início do ano 2000 o volume estocado esteja em cerca de 400 hm<sup>3</sup> equivalendo a cerca de 21% da capacidade do reservatório.

Considerando-se que o Orós tem uma capacidade de 1950 hm<sup>3</sup>, o mesmo chegará ao início do próximo ano com capacidade de absorver 1.550 hm<sup>3</sup> de escoamento no Jaguaribe antes de começar a sangrar.

Representando-se o escoamento anual em Orós por uma função densidade gama com parâmetros  $\mu$  (deflúvio médio) igual a 821,88 hm<sup>3</sup>/ano e coeficiente de variação CV = 1,24, pode-se estimar que há uma probabilidade de 83,4 % do Orós não sangrar no próximo ano.

Nesse caso, a área de formação de cheias no Castanhão passaria de 44.850 km<sup>2</sup> para 20.312 km<sup>2</sup> com a exclusão do 24.538 km<sup>2</sup> da bacia controlada pelo Orós.<sup>3</sup>

Como primeira estimativa, poder-se-ia estimar a redução de vazão proporcional a área de escoamento da lâmina. Assim o fator de redução seria

$$fr = \frac{44.850 - 24.538}{44.850} = \frac{20.312}{44.850} = 0,43$$

Encontrou-se, dessa maneira, as seguintes vazões de pico reduzidas (Tabela 7.2)

**Tabela 7.2** - Vazões máximas e vazões reduzidas no rio Jaguaribe em Castanhão para vários períodos de retorno.

Período de retorno (anos)	Vazão máxima (m <sup>3</sup> /s)	Vazão reduzida (m <sup>3</sup> /s)
10	2.941	1.323
20	3.928	1.768
25	4.228	1.903
50	5.356	2.410

Dessa forma, pode-se fazer a seguinte leitura dos valores da Tabela 7,2:

- 1) As vazões reduzidas referem-se às probabilidades respectivas desde que o Orós não esteja sangrando.

<sup>3</sup> Um estudo probabilístico mais refinado levaria a valores inferiores das vazões máximas, todavia o tempo disponível não permite esse aprofundamento metodológico.



2) As vazões máximas referem-se ao cenário após o enchimento total do Orós.

### 7.3. OS ESTUDOS HIDRÁULICOS DA SEÇÃO ESTRANGULADA

Pelos estudos das possibilidade de produção e lançamento de CCR, com os equipamentos disponíveis chegou-se a conclusão que a largura máxima da seção vertedoura que poderá ser construída é de 200 metros.

Para essa largura foram realizadas simulações do escoamento na seção estrangulada do rio Jaguaribe na fase de construção para o primeiro semestre do ano.

Para isto utilizou-se a expressão de vertedouro retangular de parede delgada e sem contração, que é:

$$Q = K \cdot L \cdot H^{3/2}$$

onde: K = 1,5

L = largura da soleira (200 m)

H = altura acima da cota da soleira (m)

Na tabela 7.3 a seguir são apresentados os resultados obtidos para a situação do Açude Orós sangrando e para nenhuma construção deste nessa simulação foi considerada a soleira na cota 57,00.

**Tabela 7.3** – Simulação do escoamento da seção estrangula do rio Jaguaribe, com 200 m de largura, na estação chuvosa de 2000.

Vazão (m <sup>3</sup> /s)	T. Retorno (anos)	Vel. Média (m/s)	Lâmina (m)	Nível d'água (m)
<b>Orós sem Sangria</b>				
1323	10	2,46	2,69	59,69
1768	20	2,71	3,26	60,26
1903	25	2,77	3,43	60,43
2410	50	3,00	4,01	61,01
<b>Orós com Sangria</b>				
2941	10	3,21	4,58	61,58
3928	20	3,54	5,55	62,55
4228	25	3,62	5,83	62,83
5356	50	3,92	6,83	63,83

#### **7.4. Os ASPECTOS AMBIENTAIS:**

No aspecto ambiental pode-se questionar qual será o impacto da ensecadeira nos meios físicos e antrópicos das margens do rio Jaguaribe

Deve ser considerado que o dimensionamento está se fazendo dentro de uma vazão de escoamento de baixo período de retorno. O remanso ocasionado pelo estrangulamento, elevando o nível das águas para as cotas mostradas na tabela 7.3 é insignificante quando comparado com as cotas das águas após a conclusão da barragem. Nesse aspecto o cuidado a tomar é fazer com que as áreas ribeirinhas, até a cota da crista da ensecadeira, sejam desocupadas antes do início da quadra invernal.

Um segundo problema seria uma possível formação de uma onda de cheia com o rompimento da ensecadeira. Essa onda se propagaria para jusante e teria um efeito surpresa junto às populações ribeirinhas. Nessa situação, como medida cautelar, poder-se-ia estimar as áreas a serem atingidas e antecipar qualquer deslocamento da população. Um monitoramento da ensecadeira e das vazões e condições de pluviosidade seriam medidas necessárias e, se corretamente aplicada, também eficazes.

#### **7.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES:**

Os estudos hidrológicos e hidráulicos desenvolvidos neste relatório tiveram por base a cartografia disponível na escala 1:25000. Alguns estudos de sensibilidade mostraram que esta escala seria suficientemente precisa para o desenvolvimento do projeto.

A decisão a ser tomada envolve um processo de trocas (trade-off) da seguinte maneira: quanto maior o período de retorno adotado, maior será a segurança na execução da barragem, maiores serão os custos com a ensecadeira, e maiores serão os riscos ambientais com a formação súbita de uma onda de cheia (flash flood).

No projeto básico a projetista solicitou à Fiscalização da SRH para analisar os dados e resultados nele explicados e indicar o nível de segurança que deseja para o dimensionamento da cota das ensecadeiras, visto que por serem estruturas provisórias sempre comportarão um risco de galgamento. Foi aprovada um TR de 50 anos para o açude do Orós sem sangria.

## **8.0 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO MACIÇO DE CONCRETO**

---

## **8.0. ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO MACIÇO DE CONCRETO**

### **8.1. INTRODUÇÃO**

A análise da estabilidade da seção proposta para a barragem de CCR foi realizada para a verificação da compatibilidade da seção transversal projetada com os critérios de estabilidade, sob todas as condições de carregamento

A análise foi excetuada pelo método bidimensional do equilíbrio unitário usando uma rotina em Excel desenvolvida especialmente para barragens de gravidade de concreto. As solicitações sísmicas para a análise foram calculadas pelo Método Simplificado de Chopra <sup>4</sup>

### **8.2. GEOMETRIA DA SEÇÃO TRANSVERSAL TIPO**

A seção transversal proposta é típica de barragem de gravidade, com o paramento de montante vertical e talude de jusante com uma inclinação de 0,75 (H):1,00 (V). O ponto de interseção da face de montante com o prolongamento da linha do talude de jusante está na cota 111,00. A largura da crista do barramento tem 7,0 m, a fundação na seção máxima da barragem é considerada na cota 43,00 e, portanto, a altura máxima da barragem é de 68,00 m

Uma galeria de drenagem e injeções foi indicada na região inferior da seção, o mais próximo da superfície da fundação rochosa que a prática da engenharia recomenda.

A galeria, com 2,50 m de largura e 3,50 m de altura, foi idealizada com sua parede de montante distando 5,0 m da face do paramento de montante da barragem. A linha dos drenos da fundação foi considerada a 6,50 m do pé de montante da barragem.

Uma seção com altura intermediária também foi analisada, para as mais críticas condições de carregamento, com o objeto de determinar a redução na coesão necessária para as situações de cotas elevadas. Uma seção transversal com fundação na cota 65,00 (cerca de 2/3 da seção de maior altura) foi selecionada para essa análise.

---

<sup>4</sup> Chopra, Anil K "Earthquake Resistant Design of Concrete Gravity Dams" Journal of the Structural division, ASCE, June 1978



### 8.3. CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO

#### Condições de Carregamento

Caso n°	Descrição	Cota do nível d'água		Cota do topo do sedimento
		no reservatório	à jusante	
1	Nível normal de funcionamento do reservatório	100,00	54,00	57,00
1 <sup>A</sup>	Nível máximo para o controle das enchente (topo das comportas)	106,00	58,20	57,00
2	Nível na máxima enchente provável	110,00	64,00	57,00
3	Nível máximo para o controle das enchentes e sismo com aceleração horizontal de 0,07 g	106,00	58,20	57,00
2 <sup>A</sup>	Nível na máxima enchente provável – Dreno não operante	110,00	64,00	57,00

Os efeitos de sub-pressão foram considerados em todas as condições de carregamento. A intensidade da sub-pressão foi considerada variável ao longo da base da barragem, sendo igual a pressão total da coluna d'água do reservatório no pé de montante, igual a 1/3 da diferença entre o nível do reservatório e o da lâmina d'água de jusante na linha dos drenos e igual a pressão da lâmina de jusante no pé de jusante da barragem. Entre esse pontos a variação foi admitida linear.

Para uma situação limite dos drenos não funcionarem durante a Enchente Máxima Provável, foi considerada uma sub-pressão igual a lâmina de montante até onde surgem esforços de tração, ou seja onde podem ocorrer trincas, e a partir desse ponto a sub-pressão variando linearmente até o nível de jusante

#### 8.4. CRITÉRIOS DE ANÁLISE

- Pêso específico do concreto = 2,352 t/m<sup>3</sup>
- Pêso específico do sedimento = 1,70 t/m<sup>3</sup>
- Modulo de Elasticidade do concreto = 20,000 MPa
- Aceleração devido a abalos sísmicas – Horizontal = 0,07g
- Vertical = 0,047 g (2/3 da horizontal)

### 8.5. RESULTADOS DE ANÁLISE

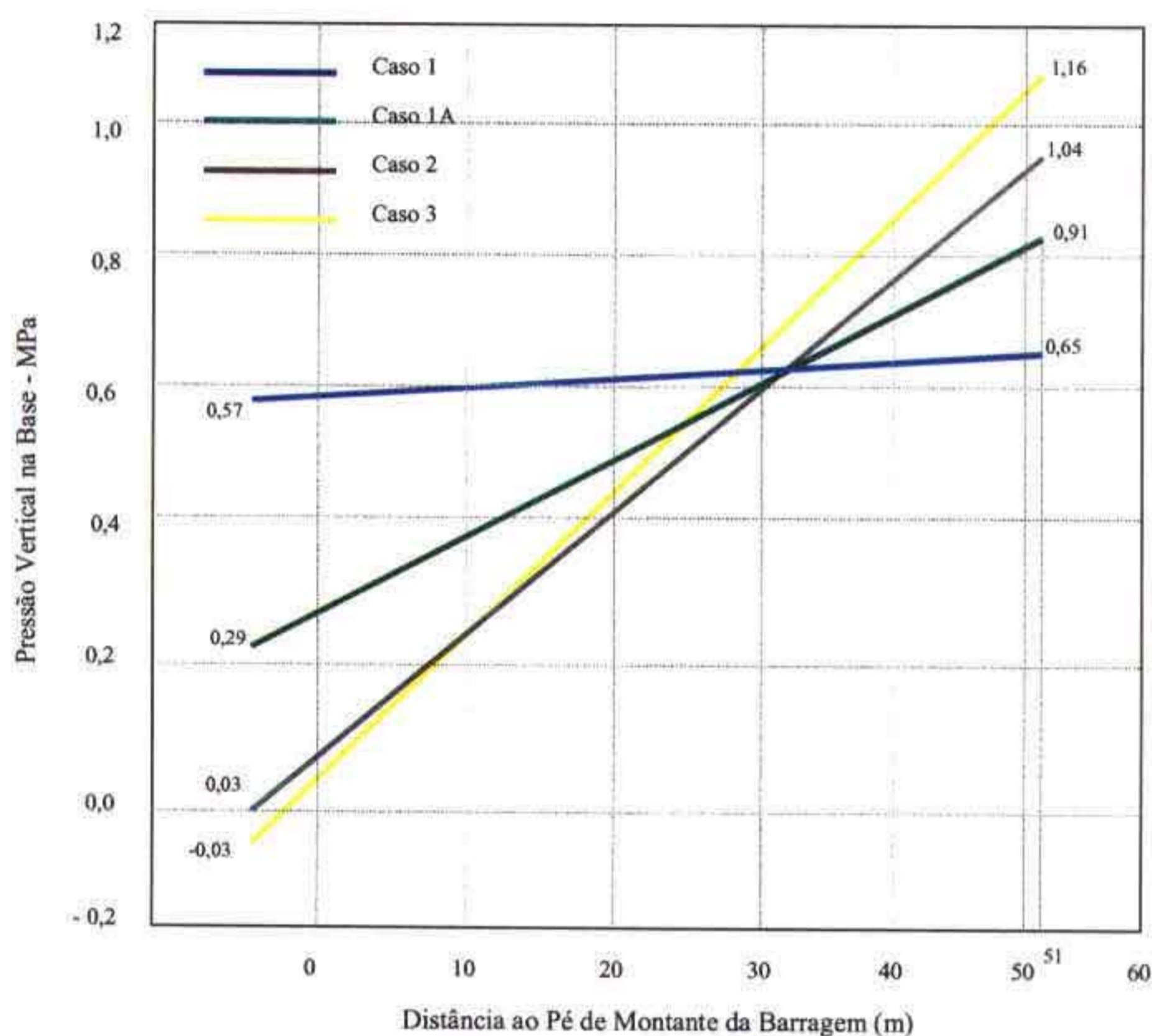
A tabela seguinte resume os resultados da análise de estabilidade da seção máxima da barragem e de uma seção intermediária para várias condições de carregamento. Tensões verticais atuantes nos pés de montante e jusante da barragem também são apresentadas na Tabela, assim como as coesões exigidas. Os valores das coesões são os necessários para se obter fatores de segurança coerentes para as várias condições de carregamento, considerando um ângulo de atrito de 45°.

Caso n°	Descrição	Tensões Admissíveis (MPa)		Fator de Segurança	Coesão (MPa) *
		Montante	Jusante		
<b>Fundação na Cota 43,00</b>					
1	Nível normal de funcionamento do reservatório	0,57	0,65	3,0	0,37
1 <sup>A</sup>	Nível máximo para o controle das enchentes (topo das comportas)	0,26	0,87	3,0	0,60
2	Nível na máxima enchente provável	0,03	1,04	2,0	0,31
3	Nível máximo para o controle das enchentes e sismo com aceleração horizontal de 0,07 g	-0,06	1,13	1,21	0,00
2 <sup>A</sup>	Nível na máxima enchente provável – Dreno não operante	0,00	0,25	1,34 1,0 flutuação	0,69
<b>Fundação na Cota 65,00</b>					
1A	Nível máximo para o controle das enchentes (topo das comportas)	0,30	0,59	3,0	0,29
3	Nível máximo para o controle das enchentes e sismo com aceleração horizontal de 0,07 g	0,06	0,78	1,47	0,00

\* Coesão necessária para a obtenção do fator de segurança proposto e  $\phi=45^\circ$



A distribuição das tensões na base da barragem, na seção máxima, para as várias condições de carregamento é apresentada na Figura seguinte:



## 8.6. CONCLUSÕES

- A seção transversal proposta para a barragem de CCR atende os critérios de estabilidade para todas as condições de carregamento admitidas.
- As tensões máximas atuante no pé de montante da barragem variam de 1,16 a 0,65 MPa. Considerando os fatores de segurança apropriados, um traço de concreto CCR com resistência a compressão de cerca de 4,0 MPa seria teoricamente suficiente para atender as solicitações de compressão. Este valor é bem inferior a resistência a compressão proposto para a mistura de CCR projetada.
- Tensões de tração não se desenvolvem na base da barragem com excessão de insignificantes parcelas no pé de montante da barragem, calculadas em 0,03 MPa, sob a condição de máxima enchente provável e de abalo sísmico de 0,07 g de aceleração horizontal.



- d) Considerando um ângulo de atrito ( $\phi$ ) de  $45^\circ$ , a coesão máxima necessária no contato com a fundação rochosa e no concreto próximo da base da barragem é cerca de 0,6 MPa, um traço de CCR projetado para uma resistência a compressão maior que 6 MPa provavelmente exibirá uma coesão maior que esse valor
- e) Para uma enchente máxima provável foi simulada a situação limite dos drenos não operantes e verificada a segurança à flutuante do maciço. Obteve-se um fator de 1,34, superior ao valor mínimo de 1,30 admitido para esse carregamento. No entanto, nessa situação foram verificadas tensões de tração até uma distância de 37,04 m a partir da face de montante, o que considerando a possibilidade de ocorrência de trincas até esse limite, propiciou fator de segurança de 1,00 para coesão do concreto CCR de 0,7 MPa e ângulo de atrito de  $45^\circ$ . Para assegurar um fator de segurança mínimo de 1,00, valor esse sugerido pelo USBR, deve-se adotar um concreto com uma coesão maior que 0,70 MPa, ou sejam um traço com resistência a compressão entre 7,0 e 10,0 MPa
- f) No nível intermediário, cota 65,00, a coesão necessária no contacto com a fundação e no concreto próximo da base da barragem reduz-se a 0,3 MPa, o que poderia propiciar a adoção de uma resistência menor do traço do CCR para a barragem em cotas superiores a essa.
- g) A rocha de fundação é de boa qualidade e a coesão no contacto com a fundação deverá ser igual ou melhor do que no corpo da barragem, caso o contacto da fundação seja preparado adequadamente e de acordo com as especificações.

## 9. CRONOGRAMA DAS OBRAS

---

## 9. CRONOGRAMA DAS OBRAS

O obra pelo seu caracter emergencial de fonte de recursos hídricos para o abastecimento da população da área metropolitana de Fortaleza, foi concebida como iniciando-se em outubro de 1999, com fechamento do desvio do rio em fevereiro de 2001 e conclusão em setembro de 2001.

Para possibilitar essa concepção as etapas da barragem foram planejadas buscando uma compatibilização entre os volumes de CCR e terra com as produtividade alcançadas em obras semelhantes no Brasil. O esquema de desvio do rio só é integralmente aplicável para essas datas citadas, caso cada fase não venha iniciar-se na data prevista todo o arranjo geral deverá ser revisto.

No quadro 9.1 é apresentado um resumo dos volumes a serem executados em cada período anual e a cotas alcançadas.

**Quadro 9.1** - Resumo das produções e elevações em cada ano de construção

		Out. - Dez./99	Jan. - Dez./00	Jan. - Set./01
Volume de Terra (m <sup>3</sup> )	Acumulado	62.000	1.320.000	707.400
	Remanescente	2.027.400	707.400	-
Volume de Concreto (m <sup>3</sup> )	Acumulado	27.000	573.090	308.095
	Remanescente	681.185	308.095	-
Cota de CCR	Cota 57 entre estacas 9+7,34 - 20		77,00	111,00

As produções mensais necessárias de CCR e terra, para atenderem as etapas previstas no projeto são resumidas a seguir no quadro 9.2

O período de duração de cada serviço principal, por fase, é mostrado no quadro 9.3 - Cronograma Físico.

**Quadro 9.2** - Previsão de Produção Mensal



Mês	Volume de CCR e Outros			Volume de Aterro	
	Mensal	Acumulado	Cota	Mensal	Acumulado
Out-99	2.000	2000		12.000	12.000
Nov-99	10.000	12.000		20.000	32.000
Dez-99	15.000	27.000		30.000	62.000
Jan-00	15.000	42.000		30.000	92.000
Fev-00	15.000	57.000		20.000	112.000
Mar-00	15.000	72.000		20.000	132.000
Abr-00	13.090	85.090		20.000	152.000
Mai-00	60.000	145.090	57,00	1000.000	252.000
Jun-00	65.000	210.090		130.000	382.000
Jul-00	65.000	275.090	61,50	150.000	532.000
Ago-00	65.000	340.090	64,00	170.000	702.000
Set-00	65.000	405.090	66,00	170.000	872.000
Out-00	65.000	470.090	70,00	170.000	1.042.000
Nov-00	65.000	535.090	73,00	170.000	1.212.000
Dez-00	65.000	600.090	77,00	170.000	1.382.000
Jan-01	65.000	665.090	81,00	150.000	1.532.000
Fev-01	50.000	715.090	84,50	130.000	1.662.000
Mar-01	36.500	751.590	87,50	70.000	1.732.000
Abr-01	36.500	788.090	91,00	50.000	1.782.000
Mai-01	30.000	818.090	94,00	50.000	1.832.000
Jun-01	25.000	843.090	98,00	70.000	1.902.000
Jul-01	25.000	868.090	102,00	70.000	1.972.000
Ago-01	21.918	890.008	106,50	70.000	2.042.000
Set-01	20.095	910.103	111,00	47.400	2.089.400
Produção média		37.841		87.058	

**Quadro 9.3 - Cronograma Físico dos Principais Serviços**

SERVIÇOS	1999			2000												2001										
	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	
Escavação e Tratamento da Fundação Entre 9+7,34 - 23/Reduzida																										
Execução do Maciço de CCR Entre 9+7,34 - 23 (cota 57/Reduzida)																										
Execução das Ensecadeiras 1ª Fase																										
Execução Maciço de Terra na Ombreira Direita																										
Execução da Ensecadeira 2ª Fase																										
Escavação e Tratamento da Fundação Entre 23 - 32 /Reduzida																										
Execução do Maciço de CCR Entre 23 - 32 /Reduzida - Cota 57																										
Implantação da Comporta de Fundo																										
Execução do Maciço de CCR Entre 23/32 /Plena - Cota 62																										
Execução do Maciço de CCR Entre 5 - 9 + 7,34 /Plena - Cota 62																										
Execução do Maciço de CCR Entre 5 - 36 + 10/ Plena																										
Execução do Maciço de Terra na Ombreira Esquerda																										
Cortina de Injeções																										
Cortina de Drenagem																										
Projeto Elétrico e Instrumentação																										

## **10. QUANTITATIVOS DE SERVIÇOS**

---



## **10. QUANTITATIVOS DE SERVIÇOS**

O Projeto Executivo difere do Projeto Básico na sua concepção de início de acumulação em meados do ano 2000, enquanto o básico considerava o fechamento do rio e início da acumulação somente em 2001. Essa alteração foi devido ao agravamento da situação do abastecimento da região metropolitana de Fortaleza e implicou na reformulação das etapas e formas de desvio do rio, na construção de uma seção reduzida da barragem para funcionar como ensecadeira de CCR, a ser incorporada, e no plano geral de ataque a obra.

Por estas razões os itens de serviços variaram, as vezes substancialmente, entre as fases de projeto básico e executivo, até com inclusão de itens não considerados anteriormente.

Nas planilhas seguintes são apresentadas todos os quantitativos de serviços dos projetos básicos e executivo, com a variação percentual entre eles.

**PLANILHA DE ORÇAMENTO**

**PROJETO EXECUTIVO DO PARAMENTO CENTRAL DA BARRAGEM DO CASTANHÃO EM CONCRETO COMPACTADO À ROLO**

ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANTITATIVOS		VARIÇÃO (%)
			PROJETO BÁSICO	PROJETO EXECUTIVO	
	<b>TRABALHOS PREPARATÓRIOS</b>				
1 01 00	MOBILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E PESSOAL	vb	1,00	1,00	0,00%
1 02 00	DESMOBILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E PESSOAL	vb	1,00	1,00	0,00%
1 03 00	IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS	vb	0,20	1,00	400,00%
1 05 00	IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DE CAMINHO DE SERVIÇO	m	5 000,00	5 000,00	0,00%
1 06 00	DESMAT DESTOCAMENTO, LIMPEZA E REMOÇÃO ATE 200m DA VEGETAÇÃO COM D<15cm	ha	77,58	60,74	-21,71%
1 07 00	RETIRADA DA CAMADA VEGETAL COM ESP =0,50m COM REPOSIÇÃO LATERAL OU REM ATE 200m	m <sup>2</sup>	775 853 31	607 379,05	-21,71%
1 08 00	ELABORAÇÃO DO DOCUMENTO CINEMATOGRAFICO E DIVULGAÇÃO DA OBRA	global	1 00	1,00	0 00%

**PLANILHA DE ORÇAMENTO**

**PROJETO EXECUTIVO DO PARAMENTO CENTRAL DA BARRAGEM DO CASTANHÃO EM CONCRETO COMPACTADO À ROLO**

ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANTITATIVOS		VARIÇÃO (%)
			PROJETO BÁSICO	PROJETO EXECUTIVO	
<b>ENSECADEIRAS</b>					
2 02 00	ESCAVAÇÃO, CARGA E DESCARGA 1ª CAT- FUNDAÇÃO	m <sup>3</sup>	113 625,70	35 264,00	-68,96%
2 20 00	REMOÇÃO DE MATERIAL ABAIXO DO N A EM LOCAIS DE DIFÍCIL ACESSO	m <sup>3</sup>		8 816,00	<b>NOVO</b>
2 04 00	MOMENTO DE TRANSPORTE 1ª CAT - FUNDAÇÃO	m <sup>3</sup> x km	22 725,14	8 816,00	-61,21%
2 02 00	ESCAVAÇÃO, CARGA E DESCARGA 1ª CAT- ENSECADEIRA	m <sup>3</sup>	185 266,14	86 596,36	-53,26%
2 04 00	MOMENTO DE TRANSPORTE 1ª CAT - ENSECADEIRA	m <sup>3</sup> x km	692 895,38	323 870,00	-53,26%
3 14 00	ESPALHAMENTO, UMEDECIMENTO E COMPACTAÇÃO DE SOLO PARA ATERRO	m <sup>2</sup>	34 685,00	16 085,00	-53,63%
2 07 00	EXECUÇÃO DE ENSECADEIRAS, EXCLUSIVE FORNEC DE MATERIAL	m <sup>3</sup>	155 359,45	83 500,00	46,25%
3 16 00	CARGA DE PILHA DE ESTOQUE DE MATERIAL 3ª CAT, INCLUSIVE DESCARGA	m <sup>3</sup>	42 651,00	45 220,00	6,02%
3 06 00	FORNECIMENTO ENROCAMENTO FINO, CARGA, TRANSP, BRITAGEM, DESCARGA-ESCAVAÇÃO OBRIGATORIA	m <sup>3</sup>	4 342,80	6 160,00	41,84%
3 12 00	EXECUÇÃO DE MACIÇO EM ENROCAMENTO- ESCAVAÇÃO OBRIGATORIA	m <sup>3</sup>	3 883,20	45 200,00	1063,99%
2 08 00	DEMOLIÇÃO DE ENSECADEIRAS	m <sup>3</sup>	123 422,55	53 200,00	-56,90%
3 03 00	MOMENTO DE TRANSPORTE DE MAT 3ª CAT	m <sup>3</sup> x km		21 280,00	<b>NOVO</b>



**PLANILHA DE ORÇAMENTO**

**PROJETO EXECUTIVO DO PARAMENTO CENTRAL DA BARRAGEM DO CASTANHÃO EM CONCRETO COMPACTADO À ROLO**

ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANTITATIVOS		VARIÇÃO (%)
			PROJETO BÁSICO	PROJETO EXECUTIVO	
<b>BARRAGEM DE CCR</b>					
<b>FUNDAÇÃO</b>					
2 02 00	ESCAVAÇÃO, CARGA E DESCARGA 1ª CAT - FUNDAÇÃO	m <sup>3</sup>	243 036,68	168 743,72	-30,57%
2 04 00	MOMENTO DE TRANSPORTE 1ª CAT - FUNDAÇÃO	m <sup>3</sup> x km	48 607,34	42 185,93	13,21%
2 01 00	ESGOTAMENTO DA FUNDAÇÃO COM BOMBAS	hp x h	630 000,00	2 520 000,00	300 00%
2 03 01	ESCAVAÇÃO MANUAL DE MATERIAL DE 1ª CAT SEM ESCORAMENTO, ATÉ 1,50M	m <sup>3</sup>	100,00	1 000,00	900,00%
2 03 02	ESCAVAÇÃO MANUAL DE MATERIAL DE 1ª CAT SEM ESCORAMENTO, DE 1,5 A 3,0M	m <sup>3</sup>	100,00	10,00	90,00%
2 05 00	ESCAVAÇÃO, CARGA E DESCARGA DE MATERIAL DE 2ª CAT	m <sup>3</sup>	500,00	2 700,00	440,00%
2 06 00	MOMENTO DE TRANSPORTE DE 2ª CAT	m <sup>3</sup> x km	100,00	540,00	440,00%
2 13 00	ESCAVAÇÃO, CARGA E DESCARGA DE MATERIAL 3ª CAT	m <sup>3</sup>	1 000,00	1 700,00	70,00%
2 14 00	MOMENTO DE TRANSPORTE DE 3ª CAT	m <sup>3</sup> x km	200,00	340,00	70,00%
2 10 00	INSTALAÇÃO DE SONDA ROTATIVA	furo	138,00	30,00	-78,26%
2 11 00	PERFURAÇÃO COM SONDA ROTATIVA DIAMETRO BX - CORTINA DE INJEÇÃO	m	6 651,05	1 420,83	-78,64%
2 17 00	PERFURAÇÃO COM VAGON DRILL OU SIMILAR D= 75 MM	m		5 683,33	<b>NOVO</b>
2 12 02	INJEÇÃO DE CIMENTO COM PRESSÃO, INCLUSIVE FORNECIMENTO DE CIMENTO	saco	2 575,36	2 700,62	4,86%
2 18 00	ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA	um	900,00	473,00	47,44%
2 09 00	TRATAMENTO DE FUNDAÇÃO EM ROCHA	m <sup>2</sup>	32 100,00	29 918,60	-6,80%
2 19 00	CONCRETO DENTAL FCK 8 MPA	m <sup>3</sup>	500,00		-100,00%
2 15 00	CONCRETO DENTAL FCK 12 MPA	m <sup>3</sup>	500,00	500,00	0,00%
2 15 00	CONCRETO CONVENCIONAL DE REGULARIZAÇÃO FCK 12MPA	m <sup>3</sup>	8 025,00	14 835,00	84,86%
2 20 00	REMOÇÃO DE MATERIAL ABAIXO DO N A EM LOCAIS DE DIFÍCIL ACESSO	m <sup>3</sup>		42 185,93	<b>NOVO</b>
2 21 00	FORNEC, MOLD, DESFOR DE PLACA MADEIRA RES 14 MM INCLUS ELEM FIXAÇÃO E ESC	m <sup>2</sup>		1 500,00	<b>NOVO</b>

**PLANILHA DE ORÇAMENTO**

**PROJETO EXECUTIVO DO PARAMENTO CENTRAL DA BARRAGEM DO CASTANHÃO EM CONCRETO COMPACTADO À ROLO**

ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANTITATIVOS		VARIÇÃO (%)
			PROJETO BASICO	PROJETO EXECUTIVO	
<b>BARRAGEM DE CCR</b>					
<b>MACIÇO DE CONCRETO</b>					
3 27 00	ARGAMASSA 1 4 PREENCHIMENTO DOS FUROS NO MACIÇO DE CCR	m <sup>3</sup>	9,17	6,54	-28,68%
3 24 00	ARGAMASSA 1 4 ARGAMASSA DE LIGAÇÃO	m <sup>3</sup>	37 299,43	29 592,12	-20,66%
3 25 00	CONCRETO COMPACTADO A ROLO CCR1-90KG/M3	m <sup>3</sup>	416 011,86	395 549,18	-4,92%
3 26 00	CONCRETO COMPACTADO A ROLO CCR2-70KG/M3	m <sup>3</sup>	513 109,80	473 469,00	-7,73%
5 11 03	CONCRETO CONVENCIONAL DE FACE FCK 12MPA	m <sup>3</sup>	26 468,18	30 566,88	15,49%
2 15 00	CONCRETO CONVENCIONAL PARA GUARDA-CORPO FCK 12 MPA	m <sup>3</sup>	308,60	291,06	5,68%
5 08 02	FORNEC,MOLD, DESFOR DE PLACA MADEIRA RES 14 MM INCLUS ELEM FIXAÇÃO E ESC	m <sup>2</sup>	16 310,13	82 603,69	406,46%
3 27 00	ABERTURA DE DRENO COM DESLISAMENTO DE TUBO DE 6"	m	2 008,86	2 072,79	3,18%
5 27 00	FORNECIMENTO E MONTAGEM DE JUNTA FUGENBAND 35/10	m	4 357,06	4 206,78	3,45%
2 10 00	INSTALAÇÃO DE SONDA ROTATIVA	furo	330,00	18,00	-94,55%
2 11 00	PERFURAÇÃO COM SONDA ROTATIVA DIÂMETRO BX CORTINA DE INJEÇÃO	m	15 220,89	231,26	-98,48%
2 17 00	PERFURAÇÃO COM VAGON DRILL OU SIMILAR D= 75 MM	m		14 110,00	<b>NOVO</b>
3 28 00	FORNECIMENTO E APLICAÇÃO DE TUBO GALVANIZADO DE 6"	m	232,00	34,00	-85,34%
3 29 00	FORNECIMENTO E APLICAÇÃO DE T DE FERRO GALVANIZADO DE 6"	un	45,00	34,00	-24,44%
Com	FORNECIMENTO E APLICAÇÃO DE TUBO DE FERRO GALVANIZADO DE 3"	un	50,00	47,40	-5,20%
3 30 00	FORNECIMENTO E APLICAÇÃO DE TUBO DE PVC DE 3"	m	490,00	550,00	12,24%
3 31 00	FORNECIMENTO E APLICAÇÃO DE TUBO DE PVC DE 4" PARA DRENAGEM SUPERFICIAL	m	15,00	13,00	-13,33%
5 16 00	FORNECIMENTO E MONTAGEM DE JUNTA JEENE JJ2540W OU SIMILAR	m		124,35	<b>NOVO</b>
5 01 00	ESCAVAÇÃO CARGA E DESCARGA DE MAT 3ª CAT	m <sup>3</sup>		99 140,33	<b>NOVO</b>
3 03 00	MOMENTO DE TRANSPORTE DE MATERIAL DE 3ª CAT	m <sup>3</sup> x km		148 710,50	<b>NOVO</b>
5 11 03	CONCRETO TIPO 2 (FCK=18MPA) P/ LAJE DA GALERIA , MAT , PREPAR , LANÇAM , ADENS , CURA E TRANSP	m <sup>3</sup>		1 587,60	<b>NOVO</b>
5 10 00	ARMADURA P/ LAJE DA GALERIA, INCL , FORN , CORTE, DOBRA, TRANSP E COLOCAÇÃO CA-50	Kg		22 500,00	<b>NOVO</b>
	COMPORTA DE FERRO FUNDIDO 2,50 X 2,50 C/ GUIAS E ACIONAMENTO INCLUINDO INSTALAÇÃO	un		1,00	<b>NOVO</b>

**PLANILHA DE ORÇAMENTO**

**PROJETO EXECUTIVO DO PARAMENTO CENTRAL DA BARRAGEM DO CASTANHÃO EM CONCRETO COMPACTADO À ROLO**

ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANTITATIVOS		VARIÇÃO (%)
			PROJETO BÁSICO	PROJETO EXECUTIVO	
<b>BARRAGEM DE TERRA</b>					
3 01 00	ESCAVAÇÃO, CARGA E DESCARGA DE MATERIAL DE 1ª CAT (P/ ATERRO)	m <sup>3</sup>	2 327 559,92	2 491 607,77	7,05%
3 02 00	MOMENTO DE TRANSP DE MAT DE 1ª CAT (P/ ATERRO)	m <sup>3</sup> x km	8 705 074,11	9 318 613,06	7,05%
3 14 00	ESPALHAMENTO, UMEDECIMENTO E COMPACTAÇÃO DE SOLOS PARA ATERRO	m <sup>3</sup>	1 951 832,22	2 089 398,55	7,05%
3 15 00	ESPALHAMENTO, UMEDEC E COMPAC DE SOLOS EM LOCAIS DE DIFÍCIL ACESSO	m <sup>3</sup>		1 500,00	<b>NOVO</b>
3 06 00	FORNECIM DE ENROC FINO CONSID CARGA, TRANSP, BRITAGEM, DESCARGA-ESCAVAÇÃO OBRIGATORIA	m <sup>3</sup>	110 989,31	119 332,82	7,52%
3 05 00	FORNECIM DE FINOS PEDREIRA CONSID CARGA, TRANSP, BRITAGEM, DESCARGA-ESCAVAÇÃO OBRIGATÓRIA	m <sup>3</sup>	311,40	663,63	113,11%
3 21 00	EXECUÇÃO DE FILTRO DE AREIA- HORIZONTAL	m <sup>3</sup>	19 012,38	33 297,35	75,14%
3 22 00	EXECUÇÃO DE FILTRO DE AREIA VERTICAL	m <sup>3</sup>	20 596,75	22 198,24	7,78%
3 04 00	ESCAVAÇÃO, CARGA DE MATERIAL DE 1ª CAT( AREIA PARA FILTRO E DRENO)	m <sup>3</sup>	39 609,13	55 495,59	40,11%
3 02 00	MOMENTO DE TRANSP DE MATERIAL DE 1ª CAT	m <sup>3</sup> x km	35 648,22	49 946,03	40,11%
3 10 00	EXECUÇÃO DE PROTEÇÃO DE TALUDE DE JUSANTE COM ENROCAMENTO FINO	m <sup>3</sup>	54 083,48	42 598,79	-21,24%
3 10 00	EXECUÇÃO DE PROTEÇÃO DO COROAMENTO COM ENROCAMENTO FINO	m <sup>3</sup>	5 574,09	1 890,00	-66,09%
3 08 00	EXECUÇÃO DE TRANSIÇÃO EM FINOS DE PEDREIRA	m <sup>3</sup>		663,63	<b>NOVO</b>
3 09 00	EXECUÇÃO DE TRANSIÇÃO EM ENROCAMENTO FINO- TRANSIÇÃO DO ROCK FILL	m <sup>3</sup>	51 331,74	74 844,03	45,80%
3 12 00	EXECUÇÃO DO MACIÇO EM ENROCAMENTO (σmax=0,80m)-ESCAVAÇÃO OBRIGATÓRIA	m <sup>3</sup>		193 440,05	<b>NOVO</b>
3 13 00	EXECUÇÃO DE RIP RAP- ESCAVAÇÃO OBRIGATORIA	m <sup>3</sup>	105 286,90	91 368,67	-13,22%
3 16 00	CARGA DE PILHA DE ESTOQUE DE MATERIAL DE 3ª CAT, INCLUSIVE DESCARGA	m <sup>3</sup>	105 286,90	284 808,72	170,51%
3 03 00	MOMENTO DE TRANSP DE MAT DE 3ª CATEGORIA	m <sup>3</sup> x km	31 586,07	27 410,60	-13,22%
3 17 00	REGULARIZAÇÃO DE TALUDES DE TERRA	m <sup>2</sup>	104 925,55	109 362,50	4,23%

000082



**PLANILHA DE ORÇAMENTO**

PROJETO EXECUTIVO DO PARAMENTO CENTRAL DA BARRAGEM DO CASTANHÃO EM CONCRETO COMPACTADO À ROLO

ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANTITATIVOS		VARIÇÃO (%)
			PROJETO BASICO	PROJETO EXECUTIVO	
7.01.00	<b>INSTRUMENTAÇÃO</b> FORNECIMENTO DE EQUIPAMENTOS P/ INSTRUMENTAÇÃO DO MACIÇO	verba	1,00	1,00	0,00%

**PLANILHA DE ORÇAMENTO**

PROJETO EXECUTIVO DO PARAMENTO CENTRAL DA BARRAGEM DO CASTANHÃO EM CONCRETO COMPACTADO À ROLO

ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANTITATIVOS		VARIÇÃO (%)
			PROJETO BÁSICO	PROJETO EXECUTIVO	
8 01 00	FORN DE MATER E EXEC DAS INST ELÉTRICAS E ILUM TOMADA D'ÁGUA,GALERIA , VERTEDOR INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E ILUMINAÇÃO DA GALERIA DE DRENAGEM	verba	1,00	1,00	0,00%

## **11. EQUIPAMENTO MÍNIMO PARA EXECUÇÃO DAS OBRAS**

---

## RELAÇÃO DE EQUIPAMENTO MÍNIMO PARA EXECUÇÃO DAS OBRAS

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID.	LOCAL DE UTILIZAÇÃO			TOTAL
			SOLO	CCV	CCR	
1	Escavadeira com potência de 260 CV	un	04			04
2	Escavadeira com potência de 280 CV	un			02	02
3	Escavadeira com potência de 125 CV	un	02			02
4	Retro-Escavadeira com potência de 85 CV	un	01			01
5	Carregadeira frontal de pneus com potência de 240 CV	un		02		02
6	Trator de esteira com potência de 280 CV	un	02		02	04
7	Trator de esteira com potência de 240 CV	un	02		02	04
8	Trator de pneus com potência de 120 CV	un	02			02
9	Trator de pneus com potência de 145 CV	un	03			03
10	Transportador com potência de 220 CV	un	08			08
11	Guindaste com potência de 180 CV e Capacidade de Sot	un		01		01
12	Guindaste com potência de 85 CV e lança de 7,5 m	un		01		01
13	Motoniveladora com potência de 240 CV	un	05			05
14	Central de concreto	un		01		01
15	Caminhão betoneira com potência de 180 CV	un		02	02	04
16	Rolo compactador autopropulsor pé de carneiro vibratório	un	02			02
17	Rolo compactador autopropulsor liso vibratório (2 cilindros)	un			03	03
18	Rolo compactador autopropulsor liso vibratório	un	03			03
19	Estação compressora móvel	un		01	01	02
20	Caminhão basculantes com potência de 260 CV	un	25		24	49
21	Caminhão pipa	un	04		04	08
22	Central de britagem 700 ton./h	un			01	01
23	Draga de areia (20m3h)	un			01	01
24	Central misturadora de CCR	un			03	03
25	Central de injeção de cimento	un			01	01
26	Laboratório de solos (completo)	un	01			01
27	Laboratório de concreto (completo)	un			01	01



## **12. DOCUMENTOS QUE COMPÕEM O PROJETO EXECUTIVO**

---

## 12. DOCUMENTOS QUE COMPÕEM O PROJETO EXECUTIVO

O Projeto Executivo do paramento central da barragem do Castanhão constitui-se de seis volume que são:

**Volume 1** – Relatório do Projeto Executivo

**Volume 2** – Desenhos

PE-001	Localização da Obra
PE -002	Característica Hidrológicas e Hidráulicas
PE -003	Planta Geral da Obra
PE -004	Mapeamento Geológico
PE -005	Localização das Sondagens
PE -006	Seção Geológica – Geotécnica pelo eixo da barragem
PE -007	Planta Baixa – Localização das Jazidas
PE -008	Arranjo Geral da Obra
PE -009	Ensecadeira de 1ª Fase
PE -010	Ensecadeira de 2ª Fase
PE -011	Planta Baixa – Seção tipo
PE -012	Perfil Longitudinal pelo eixo da barragem
PE -013	Seções Tipo e Detalhes
PE -014	Seções Transversais 05 a 08
PE -015	Seções Transversais 09 a 11
PE -016	Seções Transversais 12+11,91 a 14
PE -017	Seções Transversais 15 a 17
PE -018	Seções Transversais 18 a 20
PE -019	Seções Transversais 21 a 23
PE -020	Seções Transversais 24 a 25
PE -021	Seções Transversais 26+2,38 a 28
PE -022	Seções Transversais 29 a 31
PE -023	Seções Transversais 32+2,05 a 34
PE -024	Seções Transversais 35 a 36+10,0
PE -025	Tratamento da Fundação - Planta, Seções e Detalhes
PE -026	Detalhes de Drenagem, Junta de contração
PE -027	Detalhes nos contatos com obras existentes

PE -028	Seções nas ligações entre maciço de CCR e terra
PE -029	Instrumentação – Seção Longitudinal
PE -003	Projeto Elétrico – Localização dos Circuitos
PE -031	Projeto Elétrico – Diagrama Unifilar e Quadro de Cargas

**Volume 3** – Memória de Cálculo

**Volume 4** – Investigações de Campo e Estudos Laboratoriais

**Volume 5** – Especificações Técnicas

**Volume 6** – Orçamento