

GOVERNO DO ESTADO



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

**PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM ARACOIABA**  
**E ADUTORAS DE ARACOIABA E BATURITÉ**

**RELATÓRIO DE CONCEPÇÃO**

**VOLUME 1 TEXTO**

**RHAR - 971210 - RE**

**CONSÓRCIO GEODINÂMICA COBA**

**FORTALEZA- CE**  
**DEZEMBRO DE 1997**

GOVERNO DO ESTADO



**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**  
**PROURB/CE**

**PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM ARACOIABA**  
**E ADUTORAS ARACOIABA E BATURITÉ**

Lote: 02346 - Prep ~~64~~ Scan ( ) Index ( )  
Projeto Nº 0217/01/A  
Volume 1  
Qtd. A4 \_\_\_\_\_ Qtd. A3 \_\_\_\_\_  
Qtd. A2 \_\_\_\_\_ Qtd. A1 \_\_\_\_\_  
Qtd. A0 \_\_\_\_\_ Outros \_\_\_\_\_

**RELATÓRIO DE CONCEPÇÃO**  
**TEXTO**

**VOLUME 1**

**RHAR-971210-RE**



**CONSÓRCIO GEODINÂMICA COBA**

**FORTALEZA**  
**DEZEMBRO/97**

0217/01/A

SUMÁRIO

**VOLUME 1 - TEXTO**

**1 - INTRODUÇÃO**

**2 - ANÁLISE DOS DADOS BÁSICOS**

**2.1 - Topografia**

- 2.1.1 - *Generalidades*
- 2.1.2 - *Transporte de Coordenadas*
- 2.1.3 - *Transporte de Cotas*
- 2.1.4 - *Levantamento da Área do Barramento e Estruturas Hidráulicas*
- 2.1.5 - *Locação e Amarração das Áreas com potencialidade de fornecimento de materiais de construção*
- 2.1.6 - *Levantamento Planialtimétrico da Área do Reservatório*

**2.2 - Geologia e Geotecnia**

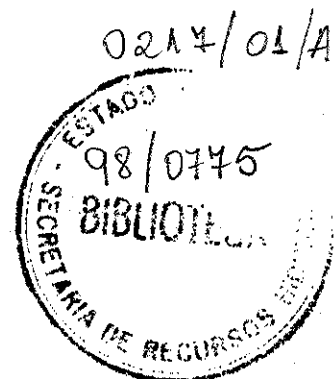
- 2.2.1 - *Geral*
- 2.2.2 - *Geologia Geral*
- 2.2.3 - *Geologia Local*
- 2.2.4 - *Sismicidade da Região*
- 2.2.5 - *Investigações Geológico-Geotécnicas Realizadas*
- 2.2.6 - *Condições de Fundação da Barragem e Estruturas Hidráulicas*
- 2.2.7 - *Ensaio Especial de Laboratório*
- 2.2.8 - *Área do Reservatório*
- 2.2.9 - *Materiais de Construção*

**2.3 - Hidrologia**

- 2.3.1 - *Caracterização Fisiográfica*
- 2.3.2 - *Aspectos Hidroclimáticos Gerais*
- 2.3.3 - *Caracterização Pluviométrica Anual*
- 2.3.4 - *Estudos de Chuvas Intensas*
- 2.3.5 - *Estudo das Cheias de Projeto*
- 2.3.6 - *Enchente de Verificação*

**2.4 - Hidráulica**

- 2.4.1 - *Premissas Adotadas no Projeto*
- 2.4.2 - *Pré-dimensionamento Hidráulico do Sistema Extravazador*
- 2.4.3 - *Pré-dimensionamento Hidráulico das Obras de Desvio*



### 3. ALTERNATIVAS EXAMINADAS

#### 3.1 - Introdução

#### 3.2 - Escolha do Eixo do Barramento

*3.2.1 - Local do Barramento*

*3.2.2 - Escolha do Eixo do Barramento*

#### 3.3 - Alternativas de Arranjo

*3.3.1 - Considerações Gerais*

*3.3.2 - Escolha do Tipo de Barragem*

*3.3.2.1 - Introdução*

*3.3.2.2 - Descrição do Projeto*

*3.3.2.3 - Pré-Dimensionamentos*

*3.3.2.4 - Quantitativos*

*3.3.3 - Descrição da Alternativa 1*

*3.3.3.1 - Considerações Iniciais*

*3.3.3.2 - Estrutura de Desvio/Descarregador*

*3.3.3.3 - Vertedouro*

*3.3.4 - Descrição da Alternativa 2*

*3.3.4.1 - Introdução*

*3.3.4.2 - Vertedouro*

*3.3.5 - Descrição da Alternativa 3*

*3.3.5.1 - Introdução*

*3.3.5.2 - Vertedouro*

*3.3.6 - Descrição da Alternativa 4*

*3.3.6.1 - Introdução*

*3.3.6.2 - Estrutura dos Órgãos Hidráulicos*

*3.3.7 - Desvio do Rio e Etapas de Construção*

*3.3.7.1 - Introdução*

*3.3.7.2 - Descrição das fases de Construção*

*3.3.7.3 - Cronograma de Construção*

*3.3.7.4 - Esquemas Alternativos de Desvio*

*3.3.8 - Orçamento das Alternativas de Arranjo*

*3.3.8.1 - Introdução*

*3.3.8.2 - Custos das Alternativas*

*3.3.9 - Análise Comparativa*

*3.3.9.1 - Introdução*

*3.3.9.2 - Análise de Custos*

*3.3.9.3 - Aspectos Geológico-Geotécnicos*

*3.3.9.4 - Facilidades Executivas*

*3.3.9.5 - Conclusões*

#### **4 - OTIMIZAÇÃO DO ARRANJO FINAL**

##### **4.1 - Introdução**

##### **4.2 - Resultados Obtidos**

#### **5 - ANTEPROJETO**

##### **5.1 - Considerações Iniciais**

##### **5.2 - Descrição do Anteprojeto**

###### *5.2.1 - Ajuste na Posição do Eixo*

###### *5.2.2 - Deslocamento da Galeria de Desvio*

###### *5.2.3 - Otimização do Sistema de Drenagem Interna*

###### *5.2.4 - Otimização dos Muros do Vertedouro*

##### **5.3 - Desvio do Rio e Fases de Construção**

##### **5.4 - Cronograma da Construção**

##### **5.5 - Orçamento**

#### **VOLUME 2 - DESENHOS**

#### **VOLUME 3 - MEMÓRIAS DE CÁLCULO**

## 1 - INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os estudos efetuados para escolha do arranjo mais adequado para a barragem de Aracoíaba e o seu detalhamento a nível de anteprojecto.

Os estudos ora apresentados foram apoiados nos estudos básicos desenvolvidos pelo consórcio GEODINÂMICA-COBA. Na seleção do arranjo mais adequado foram levados em conta os aspectos relativos à disponibilidade e balanceamento dos materiais naturais de construção, condições de fundação para a barragem e obras hidráulicas, custos e facilidades construtivas.

A organização do relatório foi feita em três volumes, a saber:

- Volume I - Texto
- Volume II - Desenhos
- Volume III - Anexos

O volume I é composto de cinco itens, inclusive este introdutório.

O item 2 é composto por um resumo dos estudos básicos desenvolvidos, envolvendo as disciplinas de topografia, geotecnia, hidrologia e hidráulica. Os dados apresentados são os necessários ao entendimento dos estudos que são objeto dos itens que seguem.

No item 3 são descritas as alternativas de arranjo consideradas e feita a análise comparativa entre elas, tendo em conta os requisitos técnicos, aspectos operacionais e custos envolvidos.

No item 4 é feita a otimização do arranjo, verificando-se como os custos envolvidos são afetados pela variação da altura da barragem, cota da soleira e largura do vertedouro.

Finalmente, no item 5 é apresentado o detalhamento do arranjo selecionado otimizado a nível de anteprojecto.

No volume II são apresentados as peças gráficas elaboradas para o perfeito entendimento das alternativas cotejadas e do anteprojecto, e que serviram de base à elaboração dos orçamentos.

O volume III congrega as premissas de cálculo de volumes de materiais e das diversas disciplinas envolvidas.

## 2 - ANÁLISE DOS DADOS BÁSICOS

### 2.1 - Topografia

#### 2.1.1 - Generalidades

Os levantamentos topográficos realizados constaram de:

- Transporte de Coordenadas
- Transporte de Cotas
- Levantamento planialtimétrico da região de implantação das estruturas previstas nas várias alternativas de arranjo identificadas
- Locação e amarração das áreas com potencialidade para fornecimento de materiais naturais de construção
- Levantamento planialtimétrico da área do reservatório

Todos os levantamentos foram referidos ao sistema de coordenadas e cotas do IBGE (RN-457-G, localizado na estação ferroviária de Baturité, com as seguintes coordenadas N - 9520,7 km e E - 514,3 km, cota 126,72 m, retiradas do mapa da SUDENE).

#### 2.1.2 - Transporte de Coordenadas

As coordenadas foram transportadas partindo-se de um vértice confiável fornecido pelo IBGE e convenientemente distribuídas por pontos na área levantada. No transporte de coordenadas foram utilizados receptores de satélite marca Geotracer 2.000 de precisão 5 mm + 3 prm.

#### 2.1.3 - Transporte de Cotas

Para o apoio altimétrico aos levantamentos topográficos da bacia hidráulica e barramento foi efetuado o transporte de cotas com nivelamento geométrico partindo-se do RN-457-G localizado na estação ferroviária de Baturité até o eixo barrável. Foi utilizado no serviço um nível automático de precisão, mira dobrável, sapata de ferro e demais equipamentos auxiliares.

#### 2.1.4 - Levantamento da Área do Barramento e Estruturas Hidráulicas

O levantamento topográfico da região do barramento, foi feito em seções transversais a cada 20 metros e com comprimento suficiente para cobrir toda área de interesse de todas as estruturas previstas nos diversos arranjos em estudo. Os pontos ao longo do eixo foram estaqueados e numerados a cada 20 metros.

A partir do levantamento em questão foi elaborada uma planta na escala 1:2.500 e com curvas de níveis a cada metro.

#### 2.1.5 - Locação e Amarração das Áreas com potencialidade de fornecimento de materiais de construção

Estas áreas pesquisadas, foram amarradas à poligonal do levantamento da região do barramento, através de linhas bases auxiliares as quais serviram também para amarração dos pontos de investigações executadas.

### 2.1.6 - Levantamento Planialtimétrico da Área do Reservatório

O levantamento encontra-se na fase de conclusão e a partir do mesmo serão elaboradas plantas na escala 1:5.000 com curvas de nível a cada metro.

Para execução do levantamento foi implantada uma linha de base, estaqueada a cada 50 metros e seccionada a cada 100 metros, com piquetes intermediários a cada acidente importante.

As seções levantadas tiveram direção perpendicular à linha base, exceto em áreas específicas.

## 2.2 - Geologia e Geotecnia

### 2.2.1 - Geral

Este item apresenta um resumo das informações geológico-geotécnicas obtidas durante os Estudos Básicos, que foram objeto do relatório nº RHAR-970930-RE-REV.1, do qual foi extraído o texto ora apresentado.

### 2.2.2 - Geologia Geral

A região de Aracoiaba insere-se no contexto geológico-geotectônico da Faixa de Dobramentos Jaguaribeana (*Brito Neves, 1975*), representada por um conjunto litológico gnáissico-migmatítico que constitui o embasamento cristalino e uma sequência metassedimentar migmatizada que se sobrepõe.

No topo da sequência litoestratigráfica ocorrem os sedimentos terciários do Grupo Barreiras e as coberturas colúvio-eluviais, encimados pelos aluviões quaternários recentes.

Os litotipos da região formam uma complexa associação em que predominam migmatitos, gnaisses, gnaisses migmatizados e granitóides, além de anfíbolitos, quartzitos, metarcóseos, calcários cristalinos, xistos, itabiritos e calcossilicatadas. Na terminologia de *Gomes (1981)*, tal associação denomina-se Complexo Nordestino.

As ocorrências das areias argilosas do Grupo Barreiras são frequentes nos topos dos morros. Os sedimentos do Grupo Barreiras repousam sobre o embasamento cristalino em discordância erosiva angular. Formam uma sequência de arenitos argilosos de coloração variegada e tons avermelhados, amarelados e esverdeados. Possuem matriz caulínica, com cimento argilo-ferruginoso. Tem granulação fina a média, com um nível conglomerático laterizado na base.

As coberturas colúvio-eluviais são pouco frequentes, ocorrendo manchas esporádicas e de distribuição errática. Formam-se por sedimentos areno-argilosos alaranjados e avermelhados, com granulação média a fina, matriz areno-argilosa caulínica e cimento argilo-ferruginoso, com pedregulhos e horizonte basal laterizado.

O aluvião mais representativo na área é o do rio Choró, localizado a sudeste da área, que em alguns locais tem largura da ordem de quilômetros. Menos expressivo é o do rio Aracoiaba, que em raros locais chega a 500 m de largura.



No que tange à geotectônica da região, o padrão de dobramentos e falhamentos a que as rochas foram submetidas, gerou várias direções de foliação, prevalecendo no entanto uma orientação NE-SW para o "trend" regional, com mergulhos NW ou SE.

### 2.2.3 - Geologia Local

#### - Litologia

Os litotipos ocorrentes na área em estudo, encaixam-se no contexto do Complexo Nordestino formando uma associação gnáissico-migmatítico admitida como pertencente ao embasamento cristalino.

A rocha aflorante nas áreas do eixo da barragem e reservatório, compõe-se por migmatito com estrutura predominantemente dobrada, alternando-se com porções estromáticas.

Intrudidos concordantemente ou não com a foliação, encontram-se veios quartzosos e pegmatóides, tendo sido esses últimos detectados com espessuras de até 3,0 m, enquanto os quartzosos são predominantemente da ordem de centímetros.

A presença de afloramentos rochosos na área é comum. A cobertura colúvio-eluvionar presente tem pequena espessura e distribuição errática. Compõe-se por areia argilosa vermelha, com pedregulhos esparsos ao longo de todo o pacote. Pode ainda ter coloração cinza-escuro, sendo então distinguível do solo de alteração do migmatito pela presença de pedregulhos rolados.

Acima da cota 95, nos topos aplainados que circundam a área, ocorrem os sedimentos do Grupo Barreiras. A cobertura dessas áreas é bastante distinta das restantes circunvizinhas, pois forma-se por areia fina/média, branca ou cinza-escuro. Esse capeamento, que varia entre 20 e 40 cm de espessura é de gênese ainda pouco definida, podendo tanto ter sofrido transporte e retrabalhamento como estar "in situ" e ser resultado de lixiviação sobre as areias argilosas do Grupo Barreiras às quais se superpõe. Outro aspecto notável dessas áreas é a ausência total de pedregulhos e matacões na superfície, os quais são comuns em todas as encostas.

Abaixo dessa cobertura superficial arenosa, encontram-se os sedimentos do Grupo Barreiras propriamente dito. Compõem-se por arenitos de granulação média a fina, com matriz argilosa em proporção variável, variegado, com predomínio de cores amarelas e vermelhas.

A base da camada porta pedregulhos e matacões, sendo aí a origem do recobrimento pedregulhoso de toda a área que se situa em cotas inferiores a essa formação. As espessuras dessa camada são variáveis e aumentam em função de cotas mais elevadas. As máximas observadas são da ordem de 5 metros. A espessura do cascalho basal também é variável, tendo sido executadas sondagens à trado com 4 metros sem ter sido atingido o mesmo.

Por último, encontram-se na área os aluviões, principalmente o do rio Aracoiaba. Esse pacote de sedimentos tem espessura entre 4 e 6 metros, compondo-se por areia média/fina nos 3 a 4 metros superiores e areia grossa e cascalho na base. As sondagens revelaram que o cascalho basal tanto pode estar "limpo" como envolvido por uma matriz areno-argilosa. Verificou-se ainda que há raros locais onde o mesmo não ocorre.

No leito do rio Aracoiaba, impregnado sobre o migmatito aflorante, há resquícios de terraço aluvionar laterizado, dando aspecto de um arenito conglomerático. Sinais de laterização também são observáveis nas camadas pedregulhosas do terraço aluvionar, detectadas nas sondagens.

Bancos de areia grossa mal selecionada e “suja” e bancos de cascalho também estão presentes no leito do rio.

No desenho AR-BT-2001, acha-se o mapa geológico da área do eixo da barragem, bem como a localização aproximada dos afloramentos rochosos mais significativos.

- Estruturas

Observaram-se na área da barragem, 4 tipos de descontinuidades estruturais de interesse ao projeto, quais sejam, a foliação; fraturas; faixas de cisalhamento e falhas de pequeno rejeito.

As orientações levantadas no campo foram analisadas automaticamente, e os resultados estão apresentados no relatório nº RHAR-970930-RE-REV.1.

A foliação do migmatito da área, tem orientação geral (N62E/76NW), seguindo o “trend” regional. Secundariamente ocorrem outras orientações, de caráter localizado devido à estrutura dobrada do migmatito.

Quanto ao fraturamento do maciço rochoso, a ombreira esquerda mostra-se mais intensamente fraturada, a partir da meia encosta rumo ao topo. As sondagens SM-01, SM-02, SM-10 e SM-202 são aquelas que melhor ilustram essa condição, haja vista a ausência de afloramentos no local.

Na ombreira direita, apesar do número de afloramentos ser mais expressivo, as fraturas são menos frequentes e preenchidas por veios de quartzo centimétricos, originando uma rocha de melhor qualidade em relação à rocha da ombreira esquerda.

No lado esquerdo do rio observou-se também a ocorrência de uma faixa de cisalhamento, bem como veios de quartzo extremamente fraturados.

#### 2.2.4 - Sismicidade da Região

A magnitude máxima dos eventos ocorridos na região não ultrapassa 5,2 M e a intensidade máxima encontra-se em IX MM. A concentração de epicentros ocorre nos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará e muitos coincidem com os centros populacionais da região nordeste.

O Estado do Ceará possui cerca de 45% dos eventos registrados na região, sendo que os municípios que apresentam as maiores concentrações são Pacajús, Palhano e Pereiro, as duas primeiras distantes cerca de 56 km da barragem, e com menor frequência também Baturité, a 19 km da barragem, e para onde será conduzida a adutora. A magnitude máxima nessa região foi de 5,2 M e a intensidade máxima de VII MM. Menores concentrações de eventos ocorrem entre as cidades de Aracati, Morada Nova, Ibaretama, Palmácia, Cascavel e Mombaça e a noroeste do Estado, principalmente nos municípios de Canindé, Hidrolândia, Iraucuba, Granja e Forquilha, distantes cerca de 165 km da barragem e com magnitude máxima registrada de 2,8 M e intensidade máxima de V MM.

Os eventos de grande intensidade podem estar relacionados a estruturas geológicas regionais, dentro de um raio de 322 km, a estruturas específicas ou a províncias geotectônicas do nordeste.

**2.2.5 - Investigações Geológico-Geotécnicas Realizadas**

**a) Investigações de Campo**

As sondagens mistas (percussão e rotativa) foram assim distribuídas: 8 (oito) na ombreira esquerda; 2 (duas) na ombreira direita e 4 (quatro) às margens do rio Aracoiaba, além de 2 (duas) rotativas inclinadas de 45° em direção à calha do rio.

Complementaram as investigações a execução de mais 16 (dezesesseis) sondagens à percussão no eixo selecionado da barragem, abertura de 2 (dois) poços de inspeção para retirada de 4 (quatro) blocos de amostras indeformadas e a realização de 3 (três) ensaios Matsuo, além de ensaios de permeabilidade Le Franc e Lugeon nos furos de sondagem.

As quantidades cumpridas estão resumidas a seguir:

Serviço	Unid.	Quant.
Poço de Inspeção	m	5,45
Sondagem à Percussão	m	71,45
Sondagem Mista diametro NX		
- trecho em solo (percussão)	m	82,44
- trecho em rocha (rec. 75%)	m	45,25
- trecho em rocha (rec. 90%)	m	50,45
Sondagem Rotativa diametro NX inclinada a 45°	m	28,67
Ensaio de Infiltração (Le Franc)	un	38
Ensaio de Perda D'água (Lugeon)	un	13
Ensaio Matsuo	un	3

Para a pesquisa de materiais de empréstimo foram abertos 101 (cento e um) poços de inspeção e sondagens à trado, com coleta de amostras deformadas para realização de ensaios de laboratório. Em um dos locais potenciais para pedreira foi executada uma sondagem rotativa. As quantidades dessas investigações estão indicadas a seguir:

Serviço	Unid.	Quant.
Poço de Inspeção	m	99,25
Sondagem a Trado	m	78,38
Sondagem Rotativa diametro NX	m	4,50

Foram coletadas ainda amostras superficiais de rocha em locais de bom potencial para pedreira, e amostras de areia dos rios Aracoiaba e Choró, este último próximo à localidade de Ideal, distante 2 km da área da barragem.

Nos desenhos nº AR-BT-2001 e AR-BT-2005, encontram-se as localizações das investigações e áreas estudadas.

**b) Ensaios de Laboratório**

• **Fundação**

Para determinação das características de resistência ao cisalhamento e de compressibilidade dos solos colúviais e residuais das fundações da barragem foram executados ensaios especiais em

corpos de prova talhados a partir de amostras indeformadas tipo bloco. As características dessas amostras estão resumidas na tabela a seguir:

Poço N°	Bloco N°	Profundidade (m)	Estaca	Material
PI - 01	PI - 01	1,00 - 1,35	3	Areia fina/média argilosa, vermelha (colúvio)
	PI - 02	1,80 - 2,15		Areia fina/média, argilosa, vermelha (solo residual)
PI - 03	PI - 03	1,00 - 1,35	29	Solo Residual
	PI - 03A	1,00 - 1,35	29 + 2,00	Solo Residual

Os ensaios previstos foram distribuídos conforme mostrado a seguir (n° de corpos de prova):

Bloco N°	Cisalhamento Direto Lento	Triaxial CIU <sub>sat</sub>	Adensamento Edométrico	Laboratório
PI - 01	---	---	3	IPT
PI - 02	3	---	3	GEONORTE
PI - 03	---	4	1	IPT
PI - 03A	3	---	---	GEONORTE

Todas as amostras foram objeto de determinação da distribuição granulométrica por peneiramento e sedimentação e 2 (duas) tiveram os limites de Atterberg determinados. Os resultados dos ensaios estão apresentados nos desenhos n°s AR-BT-3003 e AR-BT-3004.

- Materiais argilosos para execução de aterros

Para realização dos ensaios geotécnicos necessários à caracterização dos materiais de empréstimo e determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento e de compressibilidade foram coletadas amostras deformadas durante a execução das investigações de campo. As amostras obtidas estão quantificadas a seguir para cada área investigada.

Empréstimo	Quantidade
EMP - 01	19
EMP - 02	9
EMP - 04	11

Foram realizados ensaios de caracterização, compactação Proctor Normal, adensamento e de cisalhamento direto lento, quantificados na tabela abaixo:

Ensaio	Unidade	EMP - 01	EMP - 02	EMP - 04	TOTAL
Umidade Natural	un	49	10	23	82
Granulometria c/ sed.	un	19	9	11	39
Limite de Liquidez	un	19	9	11	39
Limite de Plasticidade	un	19	9	11	39
Peso Específico dos Grãos	un	16	9	6	31
Compactação	un	12	7	6	25
Adensamento	cp	---	---	2	2
Cisalhamento Direto	cp	---	---	3	3
Permeabilidade	un	---	---	6	6
Densidade "in situ"	un	2	2	2	6

Os resultados dos ensaios de caracterização e compactação foram lançados em gráficos para facilitar sua interpretação e a classificação dos materiais. Estes gráficos estão reunidos no desenho nº AR-BT-3001.

Os ensaios de adensamento e cisalhamento direto foram executados em amostras compactadas com diferentes condições de umidade e grau de compactação. Os resultados destes ensaios estão apresentados no desenho AR-BT-3002.

- Materiais Arenosos

As areias para filtros, transições e agregados para confecção dos concretos foram pesquisadas nos rios Aracoiaba (A-01) e Choró (A-02), coletando-se amostras para determinação das distribuições granulométricas por peneiramento. Foram obtidas 5 (cinco) e 4 (quatro) amostras, respectivamente. Estes resultados estão apresentados no desenho nº AR-BT-3001.

- Materiais Pétreos

As 2 (duas) amostras coletadas nas ocorrências investigadas, denominadas P-01 e P-02 foram submetidas a ensaios de abrasão Los Angeles.

#### 2.2.6 - Condições de Fundação da Barragem e Estruturas Hidráulicas

No desenho AR-BT-2001 acha-se o mapa geológico elaborado, com indicação das sondagens executadas e a localização aproximada dos afloramentos rochosos da área da barragem.

As sondagens executadas na área permitiram a elaboração das seções geológico-geotécnicas contidas nos desenhos nºs AR-BT-2002, AR-BT-2003 e AR-BT-2004 cujas legendas e convenções acham-se no desenho nº AR-GR-2001.

Os parâmetros obtidos para o maciço rochoso, permitiram sintetizar os resultados segundo a classificação geomecânica proposta por Bieniawski (RMR), a qual considera a resistência da rocha, o RQD, o grau de fraturamento, a superfície e a orientação das descontinuidades estruturais além da permeabilidade do maciço rochoso.

O solo proveniente da alteração da rocha subjacente foi dividido em duas camadas: solo residual (SR) e saprolito (SP). A primeira forma, a parte superior do pacote caracteriza-se pelo seu maior grau de amadurecimento, geralmente sem preservar a estrutura original da rocha e com SPT < 30 golpes. O saprolito geralmente preserva as estruturas originais da rocha, tem SPT > 30 golpes e pode conter porções de rocha alterada em sua matriz.

Além do solo de alteração, existem ainda na área, os solos terciários colúvio-eluviais e os provenientes do Grupo Barreiras, além do quaternário formado pelos aluviões. Os ensaios de laboratório realizados nestes materiais estão apresentados nos desenhos AR-BT-3003 e AR-BT-3004.

#### a) Ombreira Direita

A seção geológico-geotécnica A-A', longitudinal ao eixo (des. AR-BT-2002) sintetiza as condições da ombreira direita.

Na parte alta da ombreira, ocorrem sedimentos do Grupo Barreiras, com espessura (incluindo o capeamento arenoso, provavelmente coluvionar) variando entre 3,50 m (SP-08) e 5,20 m (SM-04). A base dessa camada, formada por pedregulhos e matacões envolvidos pela matriz areno-argilosa, também tem espessura variável entre 1,20 m (SM-05) e 2,90 m (SM-04). Os valores de SPT se apresentaram em geral crescentes com a profundidade, variando entre 4 e 8 no material de cobertura, e superiores a 23 na camada pedregulhosa basal.

À exceção da SM-5, onde o material tem características mais argilosas, os furos de sondagens se apresentaram secos. Atribui-se à ocorrência de N.A. no furo citado, um possível lençol empoleirado decorrente da presença de um estrato mais argiloso, intercalado no perfil, o que explicaria a existência de uma pequena lagoa no local. Outro aspecto a ser considerado foi a ocorrência de chuvas na ocasião.

Os coeficientes de permeabilidade determinados nos ensaios de infiltração apresentaram valores variando entre  $6,0 \times 10^{-3}$  e  $1,3 \times 10^{-5}$  cm/s nos sedimentos do grupo Barreiras. Apenas nas sondagens SP-7 e SM-5, nesta última coincidindo com o estrato mais argiloso citado, obteve-se o valor de  $k < 10^{-7}$  cm/s.

A rocha sotoposta é o migmatito, revelado de boa qualidade pelas sondagens SM-4 e SM-5. A classificação do maciço, interpretado segundo os critérios propostos por Bieniawsky, é de classe II no metro inicial da rocha, passando em seguida para classe I.

O saprolito apresentou espessuras variáveis desde nula (SM-4) até 2,50 m (SM-5), onde o SPT se apresentou  $> 45$ .

Os ensaios de perda d'água executados nessa área revelaram valores do coeficiente de permeabilidade equivalente (k) de  $7 \times 10^{-3}$  cm/s no material alterado e  $6,13 \times 10^{-5}$  cm/s na rocha sã.

Ao longo da encosta, a ombreira direita é marcada pela irregularidade nas espessuras do capeamento de solo e conseqüentemente, do topo rochoso.

A sondagem SP-9, localizada na parte alta da encosta (cota 95,103), atingiu o topo rochoso a 6,83 m de profundidade, enquanto que a aproximadamente 50 m para jusante, aflora o migmatito sã.

A espessura de solo coluvionar, o qual é recoberto por pedregulhos e matacões, é de 1,95 m, sendo composto por areia fina argilosa, com pedregulhos, de coloração vermelha. O solo residual sotoposto tem espessura da ordem de 0,60 m composto por areia fina pouco argilosa. Abaixo dele ocorre a camada de saprolito, constituído por areia fina siltosa, pouco argilosa, micácea, com porções conservando a orientação dos minerais planares que formam a foliação da rocha.

Nos solos de cobertura (colúvio e solo residual) os valores de SPT variaram entre 4 e 16, enquanto no saprolito foram superiores a 34.

Neste trecho, foram realizados 2 (dois) ensaios de infiltração, que forneceram para o coeficiente de permeabilidade (k) os valores de  $2,1 \times 10^{-3}$  cm/s (SP-10) no solo coluvionar e  $5,0 \times 10^{-4}$  cm/s (SP-9), no solo residual.

O ensaio Matsuo executado próximo à sondagem SP-09, na camada de sedimentos terciários coluvionares, resultou valor de  $k = 3,69 \times 10^{-3}$  cm/s.

A meia encosta, foi executado o poço PI-01 para observação das camadas, caracterização táctil-visual e especialmente para coleta de amostras indeformadas, tipo bloco, no colúvio e solo residual.

A espessura de solo diminui consideravelmente até a meia encosta, onde na SP-10 (cota 80,117) atingiu 1,71 m de espessura. A partir deste ponto até o encontro com a planície aluvionar, aflora o migmatito são. Os afloramentos expostos nessa faixa da ombreira direita são de migmatito são, pouco fraturado, com estrutura estromática e dobrada.

#### b) Ombreira Esquerda

A ombreira esquerda têm as condições geotécnicas apresentadas na seção A-A', longitudinal ao eixo e, nas seções transversais C-C', D-D' e E-E', apresentadas no desenho nº AR-BT-2003.

A característica marcante em relação à ombreira direita, é a ausência de afloramentos de rocha ao longo do eixo, exceção do ponto próximo ao SP-12, distante cerca de 80 m do rio Aracoíaba, onde aflora o migmatito são, pouco fraturado.

Uma característica dos afloramentos circunvizinhos ao eixo, é a constante presença de veios de quartzo e pegmatóides extremamente fraturados e cisalhados.

A maior quantidade de quartzo e feldspato no migmatito da ombreira esquerda, especialmente no extremo da ombreira (cota 95 ou mais), confere à rocha um maior grau de fraturamento e ação mais intensa do intemperismo físico-químico, resultando no maior grau de alteração e formação de capeamento de solo mais espesso.

A cobertura coluvionar na ombreira esquerda varia entre 1,0 e 2,0 m de espessura, compondo-se por areia fina a média, argilosa, com pedregulhos, da meia encosta ao cume da ombreira. Superficialmente ocorrem pedregulhos e matacões de quartzo e quartzito, em alguns locais de forma abundante.

O solo residual e o saprolito derivados da alteração do migmatito, compõem-se por areia siltosa, pouco argilosa, micácea, preservando localmente a estrutura foliada da rocha original.

O ensaios de infiltração realizados no saprolito forneceram valores de coeficiente de permeabilidade (k) variando entre  $1,0 \times 1,0^{-3}$  cm/s e  $6,5 \times 10^{-6}$  cm/s, enquanto no ensaio Matsuo executado na camada de solo residual, obteve-se o valor de  $k = 1,62 \times 10^{-4}$  cm/s.

A extensa variação nos valores de k, especialmente no saprolito, se deve à heterogeneidade verificada na rocha de origem.

Na seção D-D', que corta a parte alta dessa ombreira, observa-se que o capeamento de solo pode chegar a 13 m de espessura, sendo que apenas 2 m é de cobertura coluvionar. Segue-se o solo residual e o saprolito, com espessuras variáveis. Os valores de SPT são bastante elevados, mesmo no solo coluvionar. Nesta seção, observa-se que a qualidade da rocha subjacente ao pacote de solos é baixa, sendo classificada no sistema de Bieniawsky como classe IV nos primeiros 2 m e abaixo classe III.

Há que se ressaltar ainda a elevada permeabilidade observada nas sondagens SM-01, SM-02 e SM-10, deduzida pela perda d'água de circulação durante as perfurações.

Na extremidade desta ombreira, que corresponde à seção E-E', o capeamento de solos é mais modesto, variando de 2 a 5 m.

Com relação à rocha subjacente, as sondagens SM-11A e SM-201 revelaram maciço classes II e I a pouca profundidade (2 a 5 metros), sendo que a SM-12A já entra na faixa de domínio da rocha mais alterada, possivelmente pela proximidade ao talvegue de jusante.

Na encosta voltada para a calha do rio, a sequência de camadas de solo varia de 2 a 4 m (seção A-A') e também aponta valores de SPT elevados. Neste trecho, foi executado um poço de inspeção (PI-03), para caracterização táctil-visual dos materiais e coleta de amostras indeformadas, tipo bloco, para realização de ensaios especiais de laboratório.

### c) Planície Aluvionar

Os desenhos nºs AR-BT-2002 e AR-BT-2003 contém as seções geológico-geotécnicas longitudinais ao eixo, A-A' e B-B', as quais sintetizam os resultados obtidos nessa área.

Na margem direita o aluvião é mais extenso, com cerca de 150 m de extensão, enquanto que na margem esquerda é em torno de 40 a 60 m e espessuras entre 5 e 6 m.

Basicamente essa camada de sedimentos compõe-se por 3 (três) estratos: um superior composto por areia fina-média siltosa com cerca de 2,0 m de espessura, um intermediário com 1,5 a 2,0 m de espessura, formado por areia média, localmente siltosa, micácea, e uma camada basal com 1,0 a 1,5 m de espessura, formada por areia grossa com pedregulhos, às vezes argilosa ou lavada. Na sondagem SM-8, a jusante do eixo, a espessura do aluvião chegou a 7,0 m, porém acredita-se que esses bolsões não sejam frequentes, ficando a espessura média em torno de 5,0 m.

Observou-se ainda, a presença de intercalações de camadas argilosas de pequena espessura, lenticulares, inseridas nas areias. Na margem direita, próximo e nos locais da lagoa situada no limite do aluvião com a ombreira, pode ocorrer delgada camada de solo mole próxima à superfície, removível entretanto durante os trabalhos de preparação para a fundação da barragem (ver sondagem SP-11).

Os resultados dos ensaios de permeabilidade (infiltração) executados nessas camadas aluvionares e nas ocorrências do solo residual subjacente, registraram valores de  $k$  assim resumidos:

- aluvião areno-siltoso:  $k = 1,1 \times 10^{-2}$  cm/s a  $6,7 \times 10^{-6}$  cm/s
- aluvião pedregulhoso:  $k = 1,1 \times 10^{-2}$  cm/s a  $8,0 \times 10^{-6}$  cm/s
- solo residual:  $k = 1,0 \times 10^{-5}$  cm/s a  $5,7 \times 10^{-7}$  cm/s

Além dos resultados dos ensaios de permeabilidade realizados nos furos de sondagem, o ensaio Matsuo executado ao lado da sondagem SP-04, na camada superficial de areia, resultou valor de  $k = 2,26 \times 10^{-3}$  cm/s.

A grande variabilidade nos valores de  $k$  nos estratos aluvionares se deve em parte às intercalações argilosas onde foram registrados os resultados mais baixos e, devido ao fato de que, localmente estes sedimentos podem se apresentar limpos ou mais grosseiros, elevando o valor de  $k$  para  $10^{-2}$  cm/s. Os pedregulhos, às vezes, têm seus interstícios preenchidos por argila e/ou areia fina diminuindo o valor de  $k$  para  $10^{-6}$  cm/s.



Subjacente ao pacote de sedimentos aluvionares, ocorre o migmatito característico da área. Quatro das sondagens realizadas para atestar a qualidade da rocha (SM-6, SM-7, SR-01 e SR-02), localizadas no eixo e a montante, revelaram o maciço de boa qualidade, sendo mais pessimista o SM-7, com os primeiros 2,0 m de maciço classe III e o restante classe II. Já o SM-6 e as inclinadas do eixo SR-01 e SR-02, revelaram desde os primeiros metros maciço classes II e I.

Contrário aos bons resultados anteriores, foram os dos furos SM-8 e SM-9. O primeiro, localizado sobre um veio pegmatóide fraturado, foi interpretado como classe III pelos parâmetros de Bieniawski. O SM-9 revelou a rocha bastante friável, tanto que os primeiros 3,0 m não foi possível a recuperação de amostras apesar da sondagem cuidadosa. Abaixo, até 11,0 m de profundidade, a rocha revelou baixa qualidade com classes IV e III. A partir de então alterna classes I e II.

Os resultados dos ensaios de perda d'água sob pressão forneceram os seguintes valores de  $k$  (equivalente), obtidos no estágio de pressão máxima do ensaio:

- migmatito alterado:  $k = 2,7 \times 10^{-4}$  cm/s a  $1,5 \times 10^{-3}$  cm/s
- migmatito são:  $k < 10^{-7}$  cm/s a  $1,2 \times 10^{-4}$  cm/s
- veio de quartzo:  $k = 1,5 \times 10^{-3}$  cm/s a  $2,3 \times 10^{-2}$  cm/s

Os valores de  $k$  indicados para os veios de quartzo são tendenciosos por terem sido escolhidos os de valores maiores. Assim foi feito com a intenção de mostrar que esses veios (em especial os pegmatóides) são os condicionantes hidrogeotécnicos mais desfavoráveis, com  $k$  da ordem de  $10^{-2}$  cm/s. A distribuição desses veios de quartzo na rocha é errática e bastante frequente.

Pelo exposto até aqui, ressalta-se que os locais onde o maciço apresenta baixa qualidade geomecânica tem caráter localizado e pontual. Entretanto não pode ser descartada a possibilidade de ocorrência de uma feição localizada que comprometa ou ponha em risco o maciço da barragem, especialmente nas margens do rio Aracoíaba. Por exemplo, um veio de quartzo fraturado transversal ao eixo, de grande extensão e alta permeabilidade, tal como o detectado no SM-08. Por esta razão, durante o preparo da fundação da barragem, a escavação a ser feita para a construção da trincheira de vedação deverá servir como pesquisa para detecção desses possíveis condicionantes geotécnicos. Deverá ser limpa e cuidadosamente mapeada geotecnicamente.

Outras estruturas, tais como tomada d'água, extravasor, etc., deverão ter seus locais investigados pontualmente por sondagens, haja vista não ser possível a extrapolação da qualidade do maciço devido a esses condicionantes geotécnicos localizados.

### 2.2.7 - Ensaio Especial de Laboratório

Os ensaios especiais de laboratório realizados nos materiais de fundação foram realizados a partir de amostras indeformadas tipo bloco, nas dimensões 30x30x30 cm, coletadas nos horizontes de solo coluvionar e de solo residual.

#### a) Ensaio de Adensamento Edométrico

Estes ensaios objetivaram a determinação das características de compressibilidade dos solos da fundação, sendo que em alguns deles promoveu-se a inundação dos corpos de prova em diferentes valores de pressão, procurando averiguar a susceptibilidade do material ao fenômeno de colapso, dentro da faixa de tensões a ser transmitida à fundação pelo aterro compactado.

- Solo coluvionar

Este material foi objeto de amostragem no poço de inspeção PI-01, executado na ombreira direita. Foram realizados 3 (três) ensaios, o primeiro inundado na pressão inicial de 0,13 kgf/cm<sup>2</sup>, o segundo em 2,1 kgf/cm<sup>2</sup> e o último em 4,2 kgf/cm<sup>2</sup>. A colapsividade do material se evidenciou durante a inundação dos corpos de prova nestas duas últimas pressões, em maior grau na pressão de 4,2 kgf/cm<sup>2</sup>, conforme mostrado no desenho nº AR-BT-3003.

- Solo residual

O solo residual foi objeto de 4 (quatro) ensaios de adensamento, inundados nas pressões de 0,10; 0,13; 2,0 e 4,0 kgf/cm<sup>2</sup>, procurando também pesquisar eventuais problemas de colapsividade. As amostras foram provenientes do poço PI-03, executado na ombreira esquerda.

O comportamento verificado foi similar ao do colúvio, com ocorrência de colapso nas pressões de 2,0 e 4,0 kgf/cm<sup>2</sup>, em maior magnitude nesta última.

De um modo geral, os materiais ensaiados são enquadrados como pouco compressíveis, porém sujeitos a problemas de colapso quando inundados na faixa de tensões a ser aplicada à fundação pelo maciço da barragem.

b) Ensaios de Cisalhamento Direto Lento

Estes ensaios foram realizados em amostras de solo residual provenientes de ambas as ombreiras. Conforme se observa dos resultados apresentados no desenho nº AR-BT-3003, obteve-se, para as duas amostras, interceptos coesivos elevados e ângulos de atrito baixos, especialmente na amostra proveniente do poço PI-01 ( $c' = 0,82$  kgf/cm<sup>2</sup> e  $\phi' = 19^\circ$ ).

c) Ensaios triaxiais

Os ensaios triaxiais foram do tipo adensado-não drenado, saturado, com medida de poropressão ( $CI\bar{U}_{sat}$ ) e como os blocos coletados sofreram avarias no transporte e procurou-se talhar os corpos de prova em zonas selecionadas, menos afetadas, no núcleo da amostra. Os resultados estão apresentados no desenho nº AR-BT-3004.

Os seguintes valores para os parâmetros de resistência ao cisalhamento ( $c'$  e  $\phi'$ ) foram obtidos, por regressão linear considerando o critério da máxima diferença de tensões ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ):

Material	$c'$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\phi'$
Solo coluvionar	0,08	29°
Solo residual	0,14	30°

Verifica-se que, ao contrário dos ensaios de cisalhamento direto, obteve-se valores de intercepto coesivo mais baixos e ângulos de atrito mais elevados e, embora estes valores não difiram significativamente para as duas litologias (colúvio e solo residual), o comportamento tensão x deformação e o desenvolvimento de poropressões se apresentaram bastante distintos para os dois materiais. Esta diferença pode ser decorrente de diversos fatores, dentre eles a estrutura do material "in situ" e suas características granulométricas e de plasticidade.

### 2.2.8 - Área do Reservatório

O reservatório da barragem foi investigado através de mapeamento geológico de superfície e aerofotointerpretação.

Ao longo de todo reservatório aflora o migmatito estromático e dobrado, recortado por veios de quartzo.

Sedimentos coluvionares terciários recobrem grande parte da área, alternando-se com solos residuais e rocha. Granulometricamente compõe-se por areias argilosas com pedregulhos, com espessura máxima de 1,50 m e recobrimento de camada de solo com raízes e detritos orgânicos com espessura em torno de 0,40 m.

No campo não foi observada nenhuma estrutura geológica significativa, que condicione geotecnicamente o maciço.

### 2.2.9 - Materiais de Construção

#### a) Áreas de Empréstimo - Solos

##### - Locais Pesquisados

Os locais pesquisados para empréstimo de solos argilosos para construção dos aterros da barragem e ensecadeiras, estão indicados no desenho nº AR-BT-2005. A pesquisa teve início nas duas ombreiras, dentro do futuro reservatório.

Observou-se pouca espessura e distribuição errática dos materiais colúvio-eluvionares mais nobres, bem como características de difícil trabalhabilidade dos solos de alteração (heterogeneidade, grande concentração de micas e pequena espessura). Tudo isso, aliado à constante presença de pedregulhos e matacões, levaram ao estendimento da área de pesquisa para os topos aplainados que circundam o reservatório da futura barragem.

Nesses locais, denominados EMP-01 e EMP-04 abaixo do capeamento arenoso com detritos orgânicos, que pode chegar a 0,5 m de espessura, encontra-se areia argilosa em camadas que podem atingir 4,0 m de espessura. Esses locais foram selecionados para jazida de materiais terrosos, cujas reservas medidas foram 1.163.500 m<sup>3</sup> na ombreira direita e 1.776.000 m<sup>3</sup> na ombreira esquerda, porém, esses volumes podem ser ampliados por inferência se houver necessidade.

A base da camada de areia argilosa compõe-se de pedregulhos e matacões e, a menos que se opte por seu aproveitamento como material pétreo, eles marcam o limite da camada a ser aproveitada.

##### - Ensaios de Caracterização e Compactação

Os resultados dos ensaios de laboratório estão resumidos no desenho nº AR-BT-3001. Os valores do LL e IP tiveram pouca variação entre os empréstimos, com valores médios entre 27 e 32 para o LL e 9 e 13 para o IP. No gráfico de plasticidade, os pontos formam uma nuvem acima da linha "A" e à esquerda da linha "B". Os materiais se enquadram predominantemente como SC, algumas vezes CL e algumas amostras como SM-SC, na classificação unificada de solos (U.S.C.S.).

Granulométricamente, as faixas dos vários empréstimos são também próximas, apresentando uma distribuição bem graduada. O trecho das curvas definido nos ensaios de sedimentação, porém, tiveram que ser ajustadas em função de problemas verificados nos ensaios, provavelmente em decorrência do defloculante utilizado.

Os ensaios de compactação executados na energia do Proctor Normal apresentaram valores para o  $\gamma_{s_{máx}}$  entre 1,65 e 2,05 g/cm<sup>3</sup> e umidade ótima entre 10% e 18%. A distribuição dos pontos foi lançada no gráfico  $\gamma_{s_{máx}} \times h_{ót}$ . Os valores médios envolvendo todas as áreas de empréstimo pesquisadas ficaram entre 1,81 e 1,89 g/cm<sup>3</sup> e 13,2 e 14,5 %, respectivamente.

Uma comparação entre os valores da umidade ótima de compactação ( $h_{ót}$ ) e a umidade natural ( $h_{nat}$ ) é feita no gráfico que relaciona estes parâmetros. Verifica-se que os pontos estão em sua maioria abaixo da linha  $h_{nat}=h_{ót}$ , indicando, como esperado, que o material se encontra com umidade abaixo da ótima no empréstimo. Apenas alguns pontos correspondentes à área de empréstimo EMP-4 aparecem acima desta linha, fato atribuído à ocorrência de chuvas no período de coleta das amostras.

Em função dos resultados apresentados, conclui-se que os materiais disponíveis nos empréstimos apresentam características adequadas para utilização nos aterros compactados. Apresentam ainda boas condições para exploração e trabalhabilidade, prevendo-se que será necessário o umedecimento prévio do material para execução dos aterros.

#### - Ensaio Especiais

Para determinação dos parâmetros geotécnicos necessários ao projeto dos aterros, foram realizados ensaios especiais de laboratório, cujos resultados estão apresentados no desenho nº AR-BT-3002.

Os parâmetros de compressibilidade foram obtidos de ensaios de adensamento edométrico, sendo um realizado em amostra não inundada, e outra inundada desde o início do ensaio.

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento foram determinados em ensaios de cisalhamento direto lento, resultando numa envoltória de resistência com  $c' = 0,53 \text{ kgf/cm}^2$  e  $\phi' = 31^\circ$ .

Apesar dos valores serem elevados, são compatíveis para o tipo de solo, compactado na umidade ótima e densidade em torno da máxima do Proctor Normal. Deverão porém ser confirmados na fase de detalhamento do projeto, mediante a realização de ensaios triaxiais em amostras representativas dos empréstimos.

#### b) Material Pétreo

Selecionou-se um local para pedra (Pedreira 1), localizado a 900 m a montante do eixo da barragem, dentro do futuro reservatório. Além da exposição de rocha aflorante que ocorre, as sondagens executadas à meia encosta revelaram espessura de solo/rocha alterada da ordem de 8,0 m.

A 1 km desse local (Pedreira 2), há um afloramento rochoso com potencial para fornecer um volume estimado da ordem de 100.000 m<sup>3</sup>.

Outra fonte de obtenção de material pétreo são os matacões rolados que ocorrem na superfície das encostas do reservatório. Compõem-se principalmente de quartzo e quartzito, são, arredondados e com esfericidade média a baixa.

Com as mesmas características também são os encontrados na base da camada de areia argilosa das áreas de empréstimo, porém acham-se envolvidos pela mesma.

A seguir são apresentados os resultados dos ensaios de abrasão Los Angeles executados:

Amostra	Graduação	Nº de Esferas	Los Angeles (%)
P-01	B	11	32,7
P-02	B	11	30,0

### c) Jazidas de Areia e Pedregulho

As jazidas arenosas da área são os bancos de areia grossa que ocorrem na calha do rio Aracoiaba (A-01), que com pequeno beneficiamento poderão ser utilizadas. Outra fonte pesquisada acha-se no rio Choró (A-02), distante 3 km pela estrada que liga as localidades de Vazantes e Ideal, no próprio local de travessia do rio.

Todos os locais indicados para obtenção de material de empréstimo e jazidas acham-se indicados no desenho nº AR-BT-2005.

A seguir são apresentados os resultados dos ensaios de permeabilidade a carga constante, executados em 5 (cinco) amostras de areias:

Jazida	Amostra	k (cm/s)
A-01	01	$3,7 \times 10^{-1}$
A-01	02	$2,8 \times 10^{-1}$
A-01	03	$5,2 \times 10^{-2}$
A-02	02	$1,4 \times 10^{-1}$
A-02	03	$4,7 \times 10^{-2}$

A faixa granulométrica determinada a partir dos ensaios executados em amostras de áreas potenciais no rio Aracoiaba (A - 01) e no rio Choró (A - 02) estão apresentadas no desenho nº AR-BT-3001.

## 2.3 - Hidrologia

Os estudos hidrológicos gerais para a bacia do Rio Aracoiaba estão apresentados no Relatório nº RHAR-970610-RE-Rev. 1.

Neste item, apresenta-se um resumo dos aspectos de interesse para a elaboração dos estudos de alternativas de arranjo geral e anteprojeto do barramento e do vertedouro.

### 2.3.1 - Caracterização Fisiográfica

Utilizando as Cartas Topográficas da SUDENE, na escala 1:100.000, obteve-se, para a bacia hidrográfica do açude Aracoiaba, as seguintes características fisiográficas principais:

- Localização do exutório no rio Aracoiaba:  
Latitude = 04°24'15" S (9.513.200mN)  
Longitude = 38°41'49" W (533.650mE)
- Área de Drenagem: 584,05 km<sup>2</sup>
- Perímetro da Bacia: 136,78 km
- Coeficiente de Compacidade: 1,60
- Coeficiente de Forma: 0,13
- Declividade Média da Bacia: 0,231 m/m
- Declividade Média da Parte Superior da Bacia (altitude > 200m): 0,3000 m/m
- Declividade Média da Parte Inferior da Bacia (altitude < 200m): 0,0769 m/m
- Declividade Média do Curso D'Água Principal: 0,00361 m/m
- Declividade Média da Parte Superior do Curso D'Água Principal: 0,0209 m/m
- Declividade Média da Parte Inferior do Curso D'Água Principal: 0,0020 m/m
- Comprimento do Curso D'Água Principal: 53,1 km
- Ordem da Bacia, segundo o Método de Horton-Strahler, na escala de 1:100.000: 4ª ordem
- Principais Afluentes da Margem Esquerda: Riachos Candeia e do Susto
- Principais Afluentes da Margem Direita: Riachos Putiú e Macunã
- Açudes Existentes: somente na margem direita do rio Aracoiaba existe um pequeno açude digno de nota, qual seja o Açude Novo, no Riacho Macunã.

Os coeficientes de compacidade e de forma da bacia, denunciam que a mesma possui forma razoavelmente irregular e através da curva hipsométrica traçada para a bacia, constata-se que a bacia do açude Aracoiaba possui cerca de 55% da área total acima da altitude de 200m, com uma declividade média de 0,231 m/m.

### 2.3.2 - Aspectos Hidroclimáticos Gerais

De acordo com os dados disponíveis e estudos efetuados, a bacia do açude do Aracoiaba apresenta a seguinte sinopse hidroclimática:

- Pluviometria anual média:
  - Nas cabeceiras da bacia..... 1154,6mm
  - No centro da bacia..... 1098,4mm
  - No exutório da bacia..... 914,5mm
- Evaporação anual média de Piché:
  - Na parte alta da bacia..... 654,7mm
  - Na parte baixa da bacia..... 1486,3mm
- Evaporação anual média do Tanque Classe "A":
  - Na parte alta da bacia..... 1252,9mm
  - Na parte baixa da bacia..... 2527,8mm
- Evapotranspiração potencial anual média de Thornthwaite:
  - Na parte alta da bacia..... 935,5mm
  - Na parte baixa da bacia..... 1674,0mm

- Evapotranspiração potencial anual média de Hargreaves:
  - Na parte alta da bacia.....1138,3mm
  - Na parte baixa da bacia.....1533,2mm
  
- Umidade relativa do ar média anual:
  - Na parte alta da bacia.....83,3%
  - Na parte baixa da bacia.....79,0%
  
- Velocidade do vento média anual:
  - Na parte alta da bacia.....2,0m/s
  - Na parte baixa da bacia.....3,9m/s
  
- Insolação média anual:
  - Na parte alta da bacia.....1903,4 h
  - Na parte baixa da bacia.....2766,2 h
  
- Nebulosidade ( 0 - 10 ) média anual:
  - Na parte alta da bacia.....6,6
  - Na parte baixa da bacia.....5,2
  
- Temperatura média anual do ar:

**Tabela 2.3.2 - Temperatura média anual do ar**

Temperatura ( °C)	Localização da bacia	
	Parte Alta	Parte Baixa
Máxima Absoluta	29,5	31,4
Média das Máximas	25,1	30,3
Média das Médias	20,5	26,7
Média das Mínimas	17,8	23,5
Mínima Absoluta	12,0	21,9

### 2.3.3 - Caracterização Pluviométrica Anual

De acordo com os dados disponíveis em 8 (oito) postos pluviométricos, a altura média anual precipitada sobre a região varia entre 915 mm e 1155 mm.

Analisando-se os parâmetros estatísticos dos postos selecionados, constata-se a grande irregularidade pluviométrica na bacia do açude Aracoiaba.

Escolhendo os postos Vazantes (Aracoiaba), Baturité (Baturité) e Mulungu (Mulungu), para representarem o comportamento pluviométrico da parte mais elevada, mediana e mais baixa da bacia, respectivamente, observa-se o seguinte comportamento:

- o bimestre mais chuvoso na bacia é o de março e abril, com 44,4% da chuva anual;
- o trimestre mais chuvoso na bacia é o de março a maio, o qual apresenta um percentual de 60% da chuva anual; e
- o quadrimestre mais chuvoso é o de fevereiro a maio, correspondendo a 73,3% da chuva anual.

A nível diário é bastante importante o conhecimento das chuvas máximas diárias, as quais permitiram o dimensionamento do sangradouro do açude Aracoiaba.

Utilizando os postos pluviométricos Vazantes, Baturité e Mulungu, representando as cabeceiras, o centro e o exutório da bacia estudada, fez-se o estudo probabilístico de seus dados diários, resultando na escolha da distribuição Pearson III como aquela de melhor ajuste aos referidos dados.

Na Tabela 2.3.3a são apresentados os parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  da distribuição Pearson III e os resultados do teste  $\chi^2$ , para os três postos pluviométricos considerados, onde se constata a aprovação da referida distribuição.

**Tabela 2.3.3a - Parâmetros da Distribuição Pearson III e Resultado do Teste  $\chi^2$  para os Postos Utilizados**

Código	Nome	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\chi^2$ (calculado)	$\chi^2$ $\alpha = 0,05$ (tabelado)
2882862	Vazantes	6,51	15,5	-26,9	0,953	11,073
2882626	Baturité	1,04	459	-410	0,727	1,073
2882601	Mulungu	0,132	11198	-1416	3,308	11,073

Os valores de chuvas máximas para os tempos de retorno de 10, 50, 100, 500, 1000 e 10.000 anos são mostrados na Tabela 2.3.3b e Figura 2.3.3 seguintes.

**Tabela 2.3.3b - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS (mm) (Distribuição de Probabilidade Pearson III)**

Tempo de Retorno Anos	Postos Pluviométricos		
	2882862 Vazantes	2882626 Baturité	2882601 Mulungu
10	108.5	97.5	82.5
50	135.62	116.69	93.86
100	146.38	123.84	98.02
500	170.48	139.02	106.77
1.000	180.69	145.15	110.26
10.000	214.70	164.51	121.15



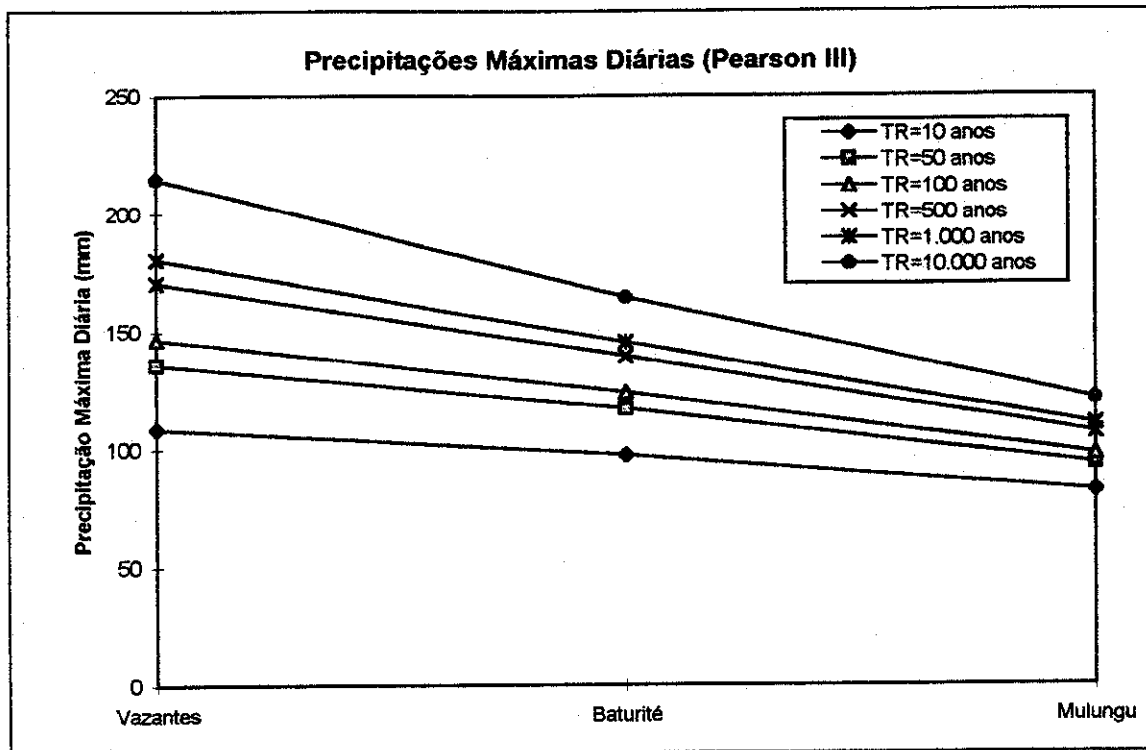


Figura 2.3.3 - Precipitações máximas diárias na bacia do açude Aracoiaba, para os tempos de retorno de 10, 50, 100, 500, 1.000 e 10.000 anos.

#### 2.3.4 - Estudos de Chuvas Intensas

Considerando os dados dos postos pluviométricos selecionados para a bacia estudada, procedeu-se da seguinte forma, a fim de obter seus valores máximos de chuva diária, utilizando-se o método da desagregação regional. Essa metodologia consta dos seguintes procedimentos:

- Estudo probabilístico da chuva intensa de um dia, para cada posto selecionado;
- Determinação da chuva intensa de um dia, na área da bacia, através do método dos polígonos de Thiessen, para os tempos de retorno escolhidos;
- Desagregação da chuva intensa de um dia, na bacia, em chuva intensa de 24h; e
- Desagregação da chuva intensa de 24h, na bacia, em chuvas intensas de durações menores, através do método gráfico de TABORGA - TORRICO.

Ajustando a distribuição Pearson III aos sete postos com dados de chuva máxima diária, constatou-se que, com exceção do posto 2882415 ( Pacoti ), todos os outros se ajustaram à referida distribuição. Para o posto 288415 ( Pacoti ) selecionou-se a distribuição Lognormal-2 parâmetros, a qual apresentou menor valor de  $\chi^2_{\text{calculado}}$  em relação às outras distribuições tentadas ( Normal truncada, Lognormal-3 parâmetros, Extremo Tipo I, Log-Extremo Tipo I e Log-Pearson III).

Após obtidas as chuvas máximas diárias dos postos selecionados, para os períodos de retorno de 50, 100, 1000 e 10000 anos, determinou-se a chuva máxima diária na bacia estudada, através do método dos coeficientes de Thiessen. Foi também considerado o conceito de chuva média sobre a bacia:

$$P_{\text{bacia}} = P_o (1 - w \cdot \log(A_{\text{bacia}}/A_o)), \text{ onde:}$$

- $P_{\text{bacia}}$  - chuva média na bacia hidrográfica, em mm;
- $P_o$  - chuva no ponto (posto pluviométrico), em mm;
- $A_{\text{bacia}}$  - área na bacia hidrográfica, em Km<sup>2</sup>;
- $A_o$  - área de influência do ponto, considerada igual a 25 Km<sup>2</sup>;
- $w$  - coeficiente de dispersão das chuvas (empírico) = adotado 0,16

A desagregação da chuva intensa de 24h foi obtida a partir da multiplicação do fator 1.1 pelo valor da chuva intensa de 1 dia.

Assim, após determinadas as chuvas intensas de 24h e, aplicando-se a metodologia de TABORGA-TORRICO, a desagregação das chuvas intensas de 1h foi obtida através da expressão:

$$P_{1h} = K \times P_{24h}, \text{ onde:}$$

K - coeficiente tabelado por TABORGA-TORRICO em função da isozona da bacia estudada.

Com estas considerações, resultaram as seguintes chuva intensas de interesse para o projeto:

**Tabela 2.3.4 - Chuvas Intensas na Bacia do Açude Aracoiaba, para Durações de 1 dia, 24 horas e 1 hora**

Tempo de Retorno(anos)	$P_{1 \text{ dia}}$ (mm)	$P_{24 \text{ h}}$ (mm)	Taborga (Isozona D) $P_{1h} / P_{24h}$	$P_{1h}$ (mm)
50	131.6	144.8	0.407	58.9
100	143.9	158.3	0.403	63.8
500	173.1	190.4	0.397	75.6
1000	186.0	204.6	0.390	79.8
10000	231.2	254.3	0.379	96.4

### 2.3.5 - Estudo das Cheias de Projeto

A metodologia utilizada para a determinação das cheias de projeto foi a do Hidrograma Unitário Unitário (HUT), do U.S. Soil Conservation Service. Para a aplicação dessa metodologia, é necessária a determinação do tempo de concentração da bacia estudada,  $t_c$ , o que foi obtido pela fórmula de Kirpich:

$$t_c = 57 \times [L^3 / H]^{0,385} = 57 \times [53,1^3 / 765]^{0,385} = 441,4 \text{ minutos} \cong 8 \text{ horas}$$

onde:

- $t_c$  - tempo de concentração, em minutos;
- L - comprimento do curso curso d'água principal, em Km; e
- H - desnível entre as cotas da cabeceira e do exutório da bacia, em m.

Assim, para a duração de interesse igual a 8 horas, foram adotadas as seguintes precipitações de projeto, com base nos valores de 24 h da Tabela 2.3.4:

Tabela 2.3.5a - Chuvas intensas na bacia do açude Aracoiaba, com duração de 8 horas para tempos de retorno de 50, 100, 500, 1.000 e 10.000 anos

Tempo de Retorno(anos)	Chuva Intensa na Bacia para Duração de 8 horas (mm)
50	118,8
100	128,6
500	151,3
1.000	160,7
10.000	194,0

Além disso, a metodologia indireta do Soil Conservation Service ainda exige a definição do parâmetro CN ("Curve Number"). Esse parâmetro CN representa o complexo solo-vegetação e seu relacionamento com a potencialidade da bacia na formação de picos de cheias.

Para a bacia do açude Aracoiaba, obteve-se o valor CN da seguinte forma:

- na parte alta da bacia - 40% da área total - adotou-se o CN=65, valor para cobertura vegetal tipo floresta densa e solo intermediário entre B e C; e
- na parte baixa da bacia - 60% da área total -, adotou-se o CN=77, para solo tipo C e cobertura vegetal do tipo campos permanentes esparsos.

Assim sendo, o CN para a bacia do açude Aracoiaba resultou em:

$$CN = 0,40 \times 65 + 0,60 \times 77 \cong 73$$

As chuvas intensas efetivas na bacia foram obtidas através da equação do SCS, em unidades do S.I.:

$$P_{efetiva} = \frac{[ P - (5080/CN) + 50,8 ]^2}{[ P + (20320/CN) - 203,2 ]}$$

onde:

- $P_{efetiva}$  - chuva intensa efetiva na bacia, em mm;
- P - chuva intensa na bacia, em mm; e
- CN - parâmetro CN - "Curve Number" - do SCS.

Com o CN = 73 - obtido anteriormente - da bacia estudada, obteve-se as chuvas intensas efetivas para os tempos de retorno escolhidos. Os valores das chuvas intensas e chuvas intensas efetivas da bacia, com duração de 8 horas e para os tempos de retorno de 50, 100, 500, 1.000 e 10.000 anos são apresentados na Tabela 2.3.5b.

**Tabela 2.3.5b - Chuvas intensas e chuvas intensas efetivas na bacia do Açude Aracoiaba, para duração de 8 horas e diversos tempos de retorno**

<b>Tempo de Retorno (Anos)</b>	<b>Precipitação Máxima (mm)</b>	<b>Precipitação Efetiva (mm)</b>
50	118,8	51,6
100	128,6	59,2
500	151,3	77,5
1000	160,7	85,4
10000	194,0	114,1

A Tabela 2.3.5c seguinte apresenta as vazões de pico dos hidrogramas das cheias de projeto obtidos, para os tempos de retorno de 50, 100, 500, 1.000 e 10.000 anos.

**Tabela 2.3.5c - Vazões de pico dos hidrogramas das cheias de projeto para os tempos de retorno de 50, 100, 500, 1.000 e 10.000 anos**

<b>Tempo de Retorno(anos)</b>	<b>Vazões de Pico dos Hidrogramas das Cheias de Projeto (m<sup>3</sup>/s)</b>
50	828,2
100	950,4
500	1245,2
1.000	1371,2
10.000	1831,7

### 2.3.6 - Enchente de Verificação

Em bacias de pequeno porte como é o caso da bacia do rio Aracoiaba, é necessário verificar-se também a possível ocorrência de outros hidrogramas decorrentes de chuva com durações superiores ao tempo de concentração ( $t \cong 8$  horas), principalmente quando se pretende contar com o efeito amortecedor do reservatório na atenuação das descargas para jusante. Tais hidrogramas, com menores intensidades médias da precipitação, às vezes apresentam menores picos, mas costumam gerar hidrogramas mais volumosos.

Adicionalmente, então, foi também estimado o valor da cheia decamilenar ( $T=10.000$  anos) decorrente da consideração de uma chuva com 24 horas de duração, cujo pico resultou em 2.259 m<sup>3</sup>/s, considerando-se o mesmo valor  $CN = 73$  e uma altura de precipitação igual a 254,3 mm, conforme o valor da Tabela 2.3.4.

## 2.4 - Hidráulica

Os estudos hidráulicos realizados referem-se àqueles que foram necessários para o pré-dimensionamento hidráulico das obras temporárias e definitivas, nas quatro alternativas de arranjo gerais estudadas, que consideram diferentes possibilidades de sistemas vertentes, com respeito ao tipo de soleira a ser adotada, quais sejam: soleira vertente livre tipo Creager, tipo labirinto ou vertedouro tipo tulipa.

As soluções do barramento com soleira livre convencional consideram o sistema vertente independente da estrutura de desvio que também poderá ser utilizada como futuro órgão descarregador de fundo e de controle de vazões para jusante. A solução tipo tulipa foi estudada, tendo em vista a possibilidade de incorporar o descarregador de fundo e descarregador de cheias numa mesma estrutura, com o intuito de averiguar uma eventual grande vantagem nos custos, uma vez que esta solução apresenta maiores desvantagens operacionais em relação aos sangradouros independentes. Por exemplo, em casos de eventuais reparos futuros que se façam necessários no conduto de descarga, o controle de descargas para jusante poderia ficar temporariamente comprometido, nesta solução. Além disso, destaca-se também a maior preocupação de projeto em se ter um conduto de descargas de cheias atravessando o maciço de aterro compactado, na sua parte central e mais profunda do rio.

#### *2.4.1 - Premissas Adotadas no Projeto*

##### **a) N.A. Máximos no Reservatório**

Para efeitos de laminação dos hidrogramas de projeto foi considerado o máximo N.A. normal no reservatório igual a 95,00 que deverá coincidir com a cota da crista do vertedouro. Inicialmente prevê-se a cota 100,00 para o coroamento da barragem de terra, ou seja, uma borda-livre total de 5,00 m acima do N.A. máximo normal de operação. Conceitualmente, esta borda-livre deverá absorver uma sobrelevação resultante do amortecimento da chamada cheia de projeto e também o efeito de ondas geradas por ventos na faixa de 50 a 75 milhas por hora.

##### **b) Descarga de Projeto**

Fixou-se a descarga de projeto do vertedouro como sendo a máxima descarga resultante do amortecimento do hidrograma de cheia correspondente ao período de retorno de  $T=1.000$  anos (chuva de 8 horas), com pico igual a  $1371 \text{ m}^3/\text{s}$ , conforme os estudos de cheia realizados.

##### **c) Cheia de Verificação**

A cheia decamilenar de verificação ( $T=10.000$  anos) decorre da consideração de uma chuva mais crítica, com 24 horas de duração, cujo pico resultou em  $2.259 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Nesta condições, a borda-livre a ser fixada na barragem deverá absorver integralmente a sobrelevação do N.A. no reservatório provocado por essa cheia (sem consideração de ventos) ou à condição da descarga de projeto ( $T=1.000$  anos) associada às ondas geradas pelos ventos.

##### **d) Vazões Máximas Durante a Fase de Desvio**

O cronograma inicial fixado para as alternativas, conceitua a seguinte sequência construtiva para a execução das obras:

- 1ª Fase: lançamento de duas ensecadeiras (montante e jusante) e execução do maciço de terra nas duas ombreiras, avançando por ambas as margens em direção ao leito mais profundo do rio, mantendo uma brecha central, em torno de 90 m, para veiculação de vazões de cheias; execução do descarregador de fundo e/ou tulipa (vertedor de ombreira);
- 2ª Fase: lançamento de duas ensecadeiras e desvio do rio pela descarga de fundo para permitir completar a construção do maciço de terra na região do leito mais profundo do rio.

Para atender estas condições, foram fixados os seguintes critérios de projeto:

- período de cheias

Para o período chuvoso, fixou-se a vazão máxima do desvio como sendo igual a 828 m<sup>3</sup>/s, correspondente ao período de retorno de 50 anos, conforme consta da Tabela 2.3.5c. Para fixar a cota da ensecadeira de montante, foi considerada a laminação dessa cheia, para otimização das dimensões da estrutura de desvio (descarga de fundo).

- período de estiagem

O período hidrológico mais seco refere-se aos meses compreendidos entre agosto e janeiro, quando o rio, em média, apresenta vazões iguais ou inferiores a 1,0 m<sup>3</sup>/s. Com base nos deflúvios médios e desvios-padrão apresentados nos estudos hidrológicos efetuados, fixou-se a vazão de projeto da estrutura de desvio em 10 m<sup>3</sup>/s que deverá atender períodos de retorno estimados também em até 50 anos.

#### 2.4.2 - Pré-dimensionamento Hidráulico do Sistema Extravazor

##### a) Soleira Livre Convencional

No Volume 3 - Memórias de Cálculo (Anexo 2.1) estão mostrados os cálculos da geração do hidrograma decamilenar para a chuva com 24 horas de duração. Esta simulação considera a precipitação acumulada de 254,3 mm e mantém o mesmo "curve-number" = 73 adotado no Relatório dos Estudos Básicos. A precipitação total de projeto foi desagregada em durações unitárias de 1,0 hora, tendo-se adotado o critério de Huff para distribuição temporal das chuvas (distribuição com probabilidade de ocorrência igual a 50% e com maior concentração no primeiro quartil de duração total de 24 horas).

Após algumas tentativas, a largura vertente livre foi fixada em L=20 m e, para os cálculos preliminares, sua capacidade de descarga considera o coeficiente de descarga C=2,00.

O Volume 3 - Memórias de Cálculo (Anexo 2.2) apresenta os cálculos do amortecimento da descarga de projeto para T=1.000 anos, enquanto o Anexo 2.3 mostra os mesmos resultados para a cheia de verificação para T=10.000 anos, conforme critérios de projeto anteriormente estabelecidos. A Tabela 2.4.2a a seguir resume os resultados obtidos.

Tabela 2.4.2a - Resumo dos cálculos de laminação de cheias (L=20 m)

T (anos)	Situação	Q afl (m <sup>3</sup> /s)	Q desc (m <sup>3</sup> /s)	N.A. máximo no reservat.	Sobrelevação (m)
1.000	projeto	1371	151	97,42	2,42
10.000	verificação	2259	352	99,28	4,28

Conforme os resultados obtidos as análises de alternativas de arranjo deverão ser efetuadas adotando-se uma borda-livre total de 5,00 m, ou seja, com a barragem na cota 100,00 e crista do vertedouro na El. 95,00.

**b) Vertedouro Tipo Tulipa**

Os vertedouros tipo tulipa normalmente são projetados para funcionar livremente, de forma a obedecer aproximadamente a relação  $H_d/R=0,45$ , onde  $H_d$  é a carga máxima estipulada para o funcionamento livre e  $R$  é o raio do emboque da tulipa.

As descargas obedecem a seguinte relação:

$$Q = C \cdot (2\pi R) \cdot H^{3/2}$$

onde  $Q$  = descarga ( $m^3/s$ )  
 $R$  = raio do emboque da tulipa (m)  
 $H$  = lâmina de água vertente (m)

Para uma carga máxima de projeto em torno de 1,80 m e adotando-se  $H_d/R=0,45$ , tem-se  $R=4,00$  m (ou  $D=2R=8,00$  m).

Segundo a publicação "Hydraulic Design Criteria", os coeficientes de descarga para esta estrutura, valem:

**Tabela 2.4.2b - Coeficientes de descarga da tulipa**

H/R	H (m)	Elevação	C	Q ( $m^3/s$ )
0,0	0,00	95,00		0,0
0,2	0,80	95,80	2,15	38,7
0,3	1,20	96,20	2,07	68,4
0,4	1,60	96,60	1,97	100,2
0,5	2,00	97,00	1,85	131,5
0,6	2,40	97,40	1,71	159,8
0,7	2,80	97,80	1,55	182,5
0,8	3,60	98,20	1,38	198,5
1,0	4,00	99,00	1,12	225,2

Para as cheias de projeto ( $T=1.000$  anos) e de verificação 2 ( $T=10.000$  anos), resultaram os seguintes valores da laminação dessas cheias no reservatório, a partir do NA máximo normal igual a 95,00:

**Tabela 2.4.2c - Resumo dos cálculos de laminação de cheias (D=8,0 m)**

T (anos)	Situação	Q afl ( $m^3/s$ )	Q desc ( $m^3/s$ )	N.A. máximo no reservat.	Sobrelevação (m)
1.000	projeto	1371	159	97,39	2,39
10.000	verificação	2259	225	99,52	4,52

Os Anexos 2.4 e 2.5, do Volume 3, mostram os resultados completos das duas simulações.

**c) Vertedouro Tipo Labirinto**

O descarregador com soleira em labirinto, que vem sendo utilizado significativamente nos últimos anos, apresenta como principal vantagem a redução do desenvolvimento da escavação para a sua

implantação e a conseqüente economia no trecho de transição (convergente) para o canal de descarga.

O seu funcionamento hidráulico tem sido exaustivamente comprovado quer nos protótipos construídos quer em modelos reduzidos.

A soleira em labirinto caracteriza-se por ter forma poligonal simétrica, em planta, que se designa usualmente por módulo (Fig. 2.4.2-c1) e que se repete quantas vezes se fizerem necessárias, permitindo assim aumentar o desenvolvimento total da soleira, função das vazões de dimensionamento e carga máxima desejada.

Este tipo de soleira permite, em muitas situações, otimizar a entrada da estrutura descarregadora minimizando o respectivo volume de concreto, através de um aumento do seu desenvolvimento sem a criação de grandes trechos convergentes a jusante da soleira.

As soleiras em labirinto apresentam, no entanto, relativamente a soleiras frontais, a desvantagem de exibirem uma redução do coeficiente de vazão para vazões superiores aos de projeto. Esta redução é tanto mais acentuada quanto maior for a diferença de vazões e a relação  $l/w$ .

Em corte, a soleira em labirinto é delgada, do tipo WES (Waterways Experiment Station), de altura habitualmente designada por  $p$ .

O coeficiente de vazão deste tipo de soleira é variável com a relação entre a carga e a altura da soleira ( $h/p$ ) e com a relação entre o desenvolvimento do módulo e a sua largura ( $l/w$ ).

Nos cálculos efetuados adotaram-se os coeficientes de vazão definidos com base em ensaios em modelo reduzido efetuados pelo LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil - Magalhães, A. P.) que se representam, na Fig.2.4.2-c2.

Na definição geométrica da soleira em estudo adotou-se uma altura  $p=7$  m, definida com base nas cargas máximas sobre a soleira previstas para as cheias de projeto e excepcional, de forma a garantir uma redução não muito significativa do coeficiente de vazão (inferior a 10%) e de modo a assegurar que a fundação da soleira se faz no maciço rochoso competente.

Adotou-se assim a seguinte definição geométrica da soleira:

$$\begin{aligned} p &= 7.0 \text{ m} \\ l/w &= 2.50 \\ \alpha_{\text{máx}} &= 23.58 \end{aligned}$$

<b>w</b>	<b>l</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>b</b>	<b>a</b>
(m)	(m)	(graus)	(m)	(m)
4.90	12.25	18.86	5.43	.35

com a inclusão de dois módulos, numa largura total de 9.8 m. A jusante, num desenvolvimento de 15,0 m um trecho convergente faz a passagem desta largura para a largura de 8,0 m do canal descarregador. A montante, dois muros ala encaminham de forma uniforme a água para a soleira (Fig. 2.4.2-c3).



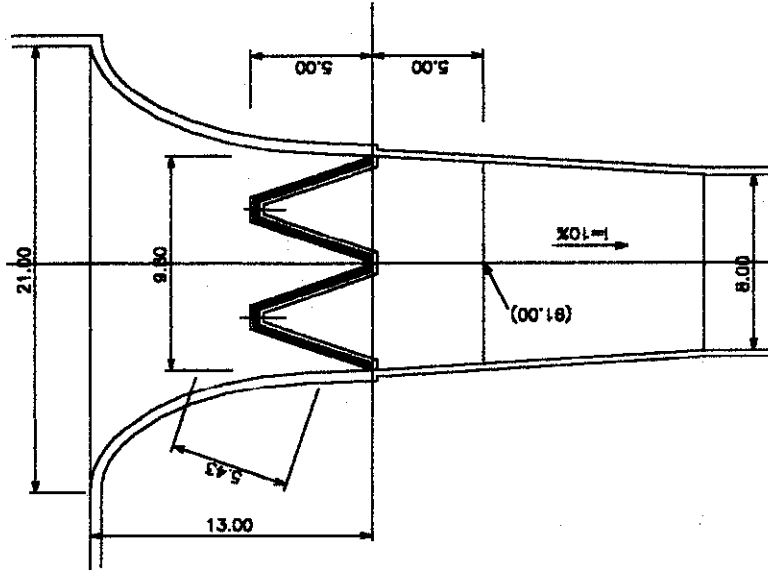


FIG. 2.4.2(c3)

Soleira labirinto. Planta.

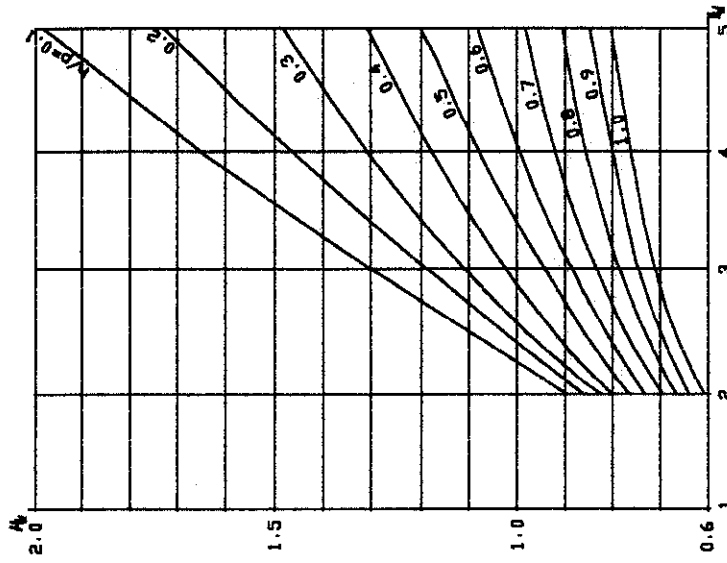
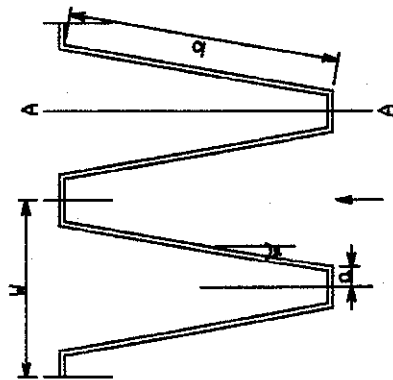


FIG. 2.4.2(c2)

Soleira labirinto. Coeficientes de vazao.



- n - número de módulos
- w - largura de um módulo
- $\alpha$  - ângulo que o lado b faz com o direcao principal de escoamento
- $\alpha_{max} = \arcsin(w/l)$
- l - desenvolvimento de um módulo ( $l = 4q + 2wb$ )

FIG. 2.4.2(c1)

Soleira labirinto. Definição geral.

### 2.4.3 - Pré-dimensionamento Hidráulico das Obras de Desvio

#### a) Desvio do rio durante a 1ª. cheia (pela brecha de 90 m no leito do rio)

Conforme os estudos hidrológicos a cheia máxima anual com período de retorno  $T=50$  anos é igual a  $828 \text{ m}^3/\text{s}$  (Ver figura 2.4.3 seguinte).

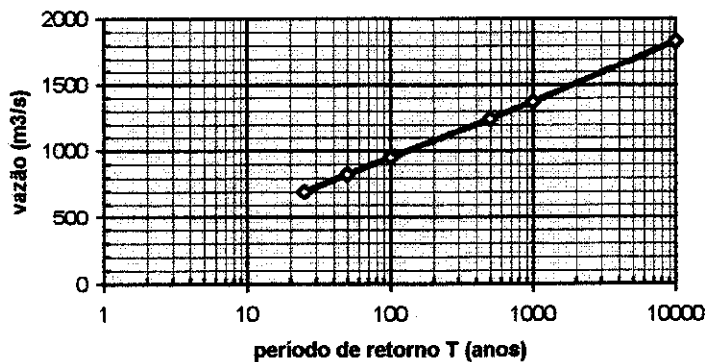


Figura 2.4.3 - Cheias máximas de projeto

Da laminação do hidrograma com pico igual a  $828 \text{ m}^3/\text{s}$  no reservatório, a partir da cota 70,00 (pouco acima do fundo rio), resultaram a máxima descarga de  $783 \text{ m}^3/\text{s}$ , com o N.A. atingindo a cota 74,20. A ensecadeira de montante deverá estar coroada na El. 75,00, com uma borda-livre de 0,80 m. Os resultados completos dessa simulação estão mostrados no Volume 3, Anexo 2.6. A ensecadeira de jusante também deverá estar situada na cota 75,00, uma vez que não se dispõe ainda de uma curva de descarga a jusante para otimizar este valor.

#### b) Desvio do rio durante a 2ª. cheia (conduto 3,5 m x 3,5 m)

Para satisfazer as condições do mesmo hidrograma de cheia, foi pré-dimensionada uma estrutura de desvio medindo 3,5m de largura por 3,5 m de altura. O hidrograma com pico igual a  $828 \text{ m}^3/\text{s}$  foi laminado no reservatório, a partir da cota 70,00 (pouco acima do fundo rio), sendo que os resultados completos dessa simulação estão mostrados no Volume 3, Anexo 2.7. A capacidade das galerias foi determinada com base na conhecida publicação "Design of Small Dams", do USBR.

Dessa simulação resultou a descarga máxima de  $53,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , com o N.A. a montante atingindo a El. 80,40. Nestas condições, a ensecadeira de montante ou a barragem no leito do rio, no início desse período chuvoso, já deverá ter atingido pelo menos a El. 81,40, para manter uma borda-livre mínima de 1,00 m.

#### c) Desvio do rio durante o período de estiagem

Para o período AGO-JAN, as vazões médias e desvios-padrão são os seguintes, baseados nos dados de deflúvios constantes do Relatório dos Estudos Básicos.

Tabela 2.4.3a - Médias e Desvios-padrão no Período de Estiagem

Mês	Q <sub>m</sub> (m <sup>3</sup> /s) (vazão média)	s (m <sup>3</sup> /s) (desvio-padrão)
agosto	2,02	0,90
setembro	1,47	0,70
outubro	1,00	0,49
novembro	0,73	0,34
dezembro	0,56	0,39
janeiro	0,90	2,25

Os baixos desvios-padrão mostram que o rio oscila muito pouco em torno dos valores médios mensais de vazão, excetuando-se o mês de janeiro que apresenta o valor mais elevado. Isto é um indicador de que a possibilidade de ocorrência de cheias é bastante reduzida durante os chamados períodos secos. Assim sendo, considera-se que uma projeção estatística baseada nesses valores possam dar uma idéia da vazão com T=50 anos de período de retorno.

Esta projeção foi efetuada através da distribuição exponencial simples:

$$Q_T = Q_1 + s \cdot \ln T, \text{ onde:}$$

Q<sub>T</sub> = vazão de projeto correspondente ao período de retorno T, m<sup>3</sup>/s

Q<sub>M</sub> = média da amostra, m<sup>3</sup>/s

$$Q_1 = Q_M - s$$

s = desvio-padrão, m<sup>3</sup>/s

T = período de retorno, anos

A tabela 2.4.3b seguinte mostra os valores obtidos.

Tabela 2.4.3b - Vazões de estiagem T=50 anos

Mês	Q50 (m <sup>3</sup> /s)
agosto	4,64
setembro	3,51
outubro	2,43
novembro	1,72
dezembro	1,70
janeiro	7,45

Para uma vazão da ordem de 10 m<sup>3</sup>/s sendo descarregada através dessa estrutura, posicionada com fundo na El. 70,00, o N.A. estimado a montante é de aproximadamente 72,00. A ensecadeira de montante que deverá estar coroada na El. 75,00, deverá manter uma borda-livre, bastante folgada, em torno de 3,00 m, durante os períodos de estiagem.

### 3 - ALTERNATIVAS EXAMINADAS

#### 3.1 - Introdução

São apresentados neste tópico os resultados dos estudos efetuados para seleção do local de barramento e do arranjo mais vantajoso para o eixo selecionado.

Numa primeira fase, foi elaborado o estudo para definição do eixo do barramento. Definido o eixo do barramento, procedeu-se ao estudo comparativo das alternativas de arranjo consideradas atrativas para o mesmo.

#### 3.2 - Escolha do Eixo do Barramento

##### 3.2.1 - Local do barramento

O local do barramento foi definido a partir de dados cartográficos existentes, sendo a região escolhida a mesma dos estudos anteriores. Este local foi escolhido com base nas seguintes considerações:

- O local se situa logo a jusante da confluência do rio Aracoíaba com o riacho do Susto, possibilitando o aproveitamento dos dois mananciais
- O boqueirão se situa a montante da cidade de Vazantes, de forma que o futuro açude não venha causar inundação desta cidade
- A restituição topográfica da região do reservatório indica que esta região é a mais apropriada para implantação do barramento, pela existência de um estreitamento do vale do rio
- A inspeção do local, permite antecipar que os aspectos geológico-geotécnicos da região, apresentam condições adequadas para o barramento

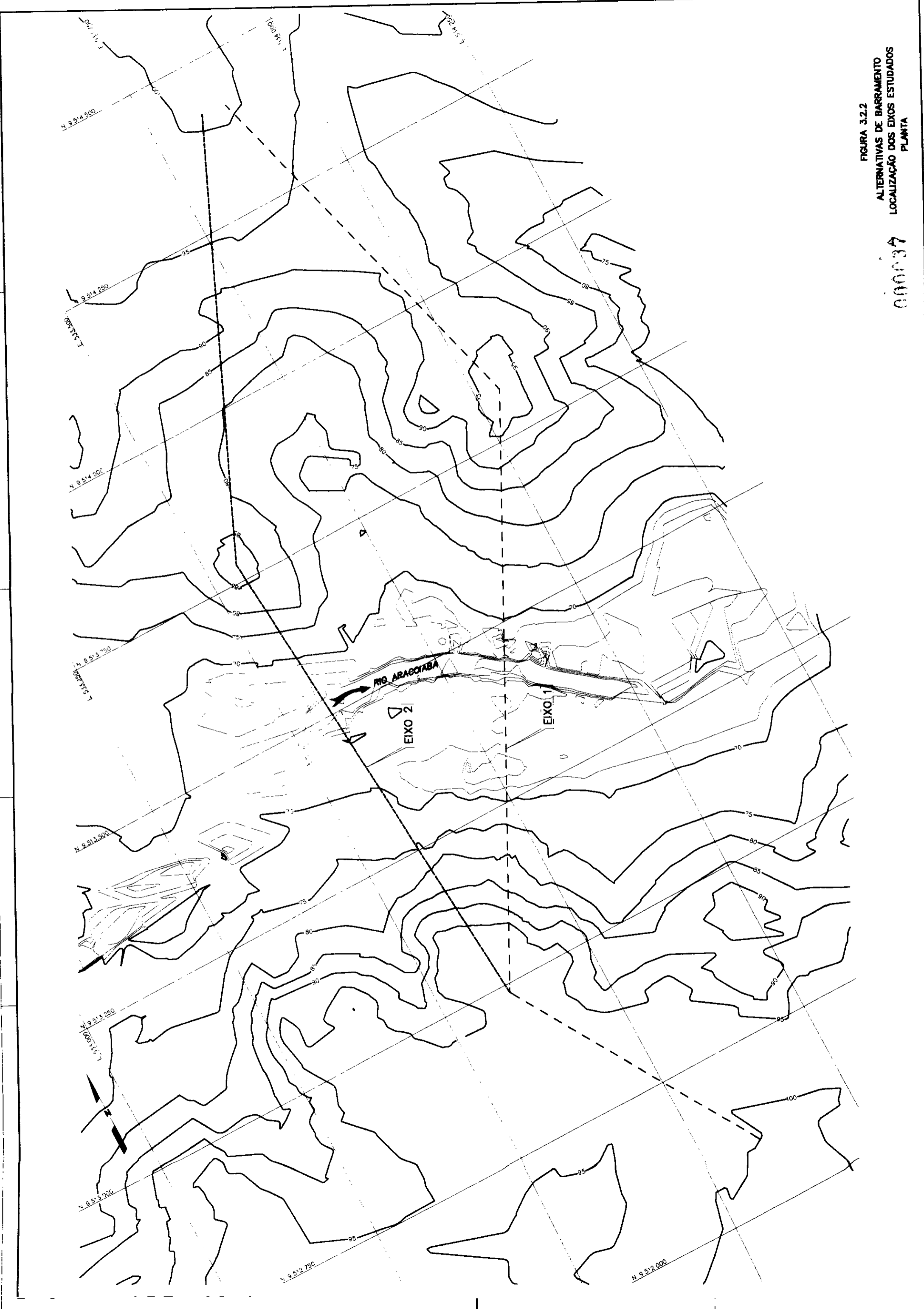
##### 3.2.2 - Escolha do Eixo do Barramento

A partir dos dados topográficos existentes e dos dados coletados durante a inspeção do local, foi possível visualizar duas possibilidades de localização do eixo do barramento. A planta constante da figura 3.2.2. indica a localização dos dois eixos visualizados.

O eixo nº 1, chamado de eixo proposto e indicado na referida planta, coincide com o definido nos estudos anteriores. O eixo nº 2, chamado de eixo alternativo, coincide na margem direita, com o eixo nº 1, deslizando-se para montante no leito do rio.

FIGURA 3.2.2  
ALTERNATIVAS DE BARRAMENTO  
LOCALIZAÇÃO DOS EIXOS ESTUDADOS  
PLANTA

000037



Para a análise comparativa entre estes dois eixos foram executados:

- Levantamento topográfico das seções ao longo dos mesmos
- Execução em cada eixo de três sondagens a percussão em ambas as margens do rio e na região do terraço aluvionar existente
- Inspeção de campo ao longo dos dois eixos
- Execução de perfil geológico-geotécnico ao longo de cada eixo
- Quantificação dos volumes de uma barragem de terra de seção homogênea em ambos os eixos. As obras hidráulicas não foram consideradas neste estudo, admitindo-se custos equivalentes para ambas as alternativas.

A análise comparativa efetuada permitiu as seguintes conclusões:

- Do ponto de vista geológico-geotécnico, os eixos se equivalem, tendo por base os dados até agora disponíveis, não havendo qualquer feição importante que desabone qualquer das alternativas
- Do ponto de vista de desvio do rio e implantação das estruturas hidráulicas não foram visualizadas diferenças significativas entre os eixos estudados
- O volume de barragem de terra no eixo nº 2, foi cerca de 20% superior ao volume da barragem no eixo nº 1
- A diferença do volume do reservatório para ambos as alternativas é muito pequena sendo desprezível para o nível de estudo.

A partir do estudo efetuado, decidiu-se considerar apenas o eixo nº 1, no desenvolvimento dos estudos.

### **3.3 - Alternativas de Arranjo**

#### *3.3.1 - Considerações Gerais*

Após a definição da posição do eixo do barramento, foi elaborado o estudo das alternativas de arranjo consideradas atrativas.

A concepção dos arranjos foi feita com base nos resultados dos estudos básicos, apresentados em relatórios específicos e sumarizados no item 2 deste relatório.

Para cada alternativa, foi elaborado um esboço de arranjo, com detalhamento suficiente para possibilitar o levantamento de quantitativos e a elaboração do orçamento da mesma.

Basicamente os arranjos concebidos decorreram de combinações e posicionamentos de três estruturas principais a saber:

- barragem de terra com coroamento na cota 100,00 e comprimento de crista da ordem de 2.000 metros
- vertedouro pré-dimensionado para uma cheia amortecida de 1.000 anos e verificado para a cheia de 10.000 anos de tempo de recorrência
- estrutura hidráulica em concreto para possibilitar o desvio do rio durante a construção e funcionar como descarregador de fundo para rebaixamento do reservatório ou liberação de vazões para jusante

As alternativas geradas pelas combinações das três estruturas principais do barramento e consideradas atrativas são indicadas a seguir:

- **Alternativa 1**

Barragem de terra, com vertedouro tipo soleira vertente implantado na margem direita e estrutura de desvio/d Descarregador de fundo localizada na margem esquerda do rio.

- **Alternativa 2**

Barragem de terra, com vertedouro tipo labirinto implantado na ombreira esquerda da barragem (estaca 67) e estrutura de desvio/d Descarregador de fundo na margem esquerda do rio.

- **Alternativa 3**

Barragem de terra, com vertedouro soleira lateral implantado no final da ombreira esquerda (estaca 91), e estrutura de desvio/d Descarregador de fundo na margem esquerda do rio.

- **Alternativa 4**

Barragem de terra, com órgãos hidráulicos agrupados em uma única estrutura e composta por um vertedouro em torre tipo tulipa, galeria de desvio e descarregador de fundo. Esta estrutura está implantada na margem esquerda do rio, na mesma posição da galeria de desvio/d Descarregador de fundo das outras alternativas.

Em todas as alternativas consideradas tanto as estruturas de desvio/d Descarregador de fundo como o vertedouro tipo tulipa foram implantados no mesmo local, ou seja na margem esquerda, onde o maciço rochoso de boa qualidade é quase aflorante. Na mesma cota e na margem direita as condições geológico geotécnicas e hidráulicas são igualmente favoráveis, podendo-se antecipar que as referidas estruturas implantadas em qualquer das margens, apresentam custos e eficiências hidráulicas equivalentes.

Nas alternativas com vertedouro nas ombreiras é conveniente que a estrutura de desvio/d Descarregador de fundo seja implantada na mesma margem do vertedouro de forma a concentrar os trabalhos de concretagem em uma única margem.

No caso da alternativa de estrutura única para os órgãos hidráulicos, a evolução dos estudos mostrou a conveniência da sua implantação na margem direita, pela maior facilidade de acesso a esta margem, pela maior facilidade de desvio do rio e ainda pelo fato da pedreira (fonte de

agregado) se encontrar mais próxima. Caso o estudo venha eleger esta alternativa como a mais conveniente, se fará na otimização do ante-projeto, o deslocamento para margem direita das estruturas hidráulicas.

### 3.3.2 - Escolha do Tipo de Barragem

#### 3.3.2.1 - Introdução

A opção pela adoção de uma barragem de terra com seção homogênea foi feita a partir das seguintes considerações:

- Para todas as alternativas analisadas, as escavações obrigatórias em rocha, não são suficientes para atender as necessidades dos concretos e dos enrocamentos de proteção, sendo necessário a exploração de pedreira. A adoção de uma seção mista de barragem com núcleo central e enrocamento nos flancos, foi descartada, por não apresentar custos competitivos uma vez que a rocha teria que ser importada.
- Foi analisada a possibilidade da adoção de uma seção mista, constituída por um núcleo argiloso e zonas de cascalho argiloso nos flancos e retirado de jazidas existentes no interior do futuro do reservatório. As pesquisas das jazidas deste cascalho argiloso indicaram uma pequena espessura (menor que 1,0 m) e grande heterogeneidade do material, permitindo antecipar dificuldades e alto custo de exploração. A opção por esta solução só poderia ser feita a partir de estudos mais aprofundados das características e espessura explorável dos cascalhos.
- As pesquisas efetuadas e relativas aos materiais naturais de construção evidenciaram a ocorrência, em ambas as ombreiras e entre cotas 100 e 105, de espessas camadas de solos constituído de areias pouco argilosas (formação Barreiras), com volumes suficientes para execução da barragem com seção homogênea, considerando uma distância média de transporte da ordem de 2,0 km. Este material, com espessura da ordem de 4,0 metros, além de oferecer excelentes características geotécnicas, quando compactado, apresenta grande trabalhabilidade, possibilitando a construção de um maciço com altas produções e custos competitivos.

#### 3.3.2.2 - Descrição do Projeto

A barragem de terra possui o mesmo arranjo para todas as alternativas analisadas e cuja planta pode ser visualizada no desenho AR-GR-1001. O desenho AR-BT-3006 mostra as seções transversais típicas. O desenho AR-BT-3005 mostra o perfil longitudinal pelo eixo da barragem, onde foram indicados:

- A posição das estruturas hidráulicas referente às quatro alternativas estudadas
- Os critérios utilizados para definição dos níveis da fundação da barragem, determinados em função da altura da barragem e das características geotécnicas dos materiais de fundação.

#### 3.3.2.3 - Pré-Dimensionamentos

##### a) Largura do Coroamento

A definição da largura de coroamento da barragem depende do seu tipo, altura e importância, da utilização do coroamento como rodovia, da necessidade de manutenção de equipamentos a ser



feita pela crista e, ainda, da manutenção de um comprimento de percolação que garanta gradientes adequados no pleno armazenamento.

Para regiões de fraco risco sísmico, é usual utilizar a expressão:

$$L_c = 1.1 \sqrt{H + 1}$$

onde H é a altura máxima da barragem

Considerando H = 35 m, obtém-se  $L_c = 7,5$

Atendendo ao valor do free-board, ao fato de ser uma barragem homogênea e não ser prevista a utilização da crista como rodovia de transposição, adaptou-se, neste fase dos estudos, uma largura de 7,0 m.

#### b) Estabilidade

A definição dos níveis de escavação de fundação e a análise preliminar de estabilidade do maciço, foram feitos com base nos dados obtidos nas investigações de campo e ensaios geotécnicos de laboratório. Para a análise de estabilidade da barragem considerou-se as condições de carregamentos relativos ao período de construção, longo prazo de operação e situação de rebaixamento rápido. As memórias de cálculo referentes às análises efetuadas, estão apresentadas no Anexo 3.

#### c) Folga e Descarregador de Cheias

Tendo como objetivo a escolha da soleira mais adequada - técnica e economicamente - para o descarregador de cheias da barragem de Aracoiaba foram estudados diversos desenvolvimentos de soleira por forma a selecionar aquela que permitisse tirar o maior partido do encaixe do reservatório, se possível dentro do limite perto da folga para o N.A. normal, e minimizar as estruturas descarregadoras.

Na Fig. 1 e 2 representa-se, para diferentes desenvolvimentos de uma soleira frontal as cargas máximas e as vazões descarregadas, respectivamente, para uma cheia com T=1.000 anos e para uma cheia excepcional, de verificação da segurança, com vazão máxima igual a 1.6 vezes a vazão máxima da cheia de T=1.000 anos, correspondendo à ordem de grandeza de uma cheia de T=10.000 anos e/ou próxima, em princípio, dos valores que se obteriam para a PMF.

Constata-se que reduções do desenvolvimento da soleira reduzem significativamente as vazões descarregadas para pequenos acréscimos de cargas hidráulicas, correspondendo portanto a amortecimentos maiores. Assim, por exemplo, para a cheia de projeto (com T=1000 anos), a passagem de uma soleira de 100 m de desenvolvimento para uma soleira com 50 m reduz a vazão descarregada em 40% (490 m<sup>3</sup>/s para 296 m<sup>3</sup>/s) para um acréscimo de altura da lâmina de água de 0.31 m (17%). Por outro lado, a passagem de 50 para 20 m reduz a vazão descarregada em cerca de 54% (296.2 m<sup>3</sup>/s para 136.9 m<sup>3</sup>/s) aumentando a carga máxima 0.26 m (12%).

Com o objetivo de otimizar o desenvolvimento da soleira a implementar, procedeu-se ao cálculo da folga mínima e normal.

Na Fig. 3 apresenta-se o cálculo do "fetch" efetivo do reservatório de Aracoiaba, ponderando o

levantamento topográfico inicial.

Para o cálculo da folga considerou-se no presente estudo as combinações de ações que são normalmente críticas, a saber:

Combinação A - NPA + ondulação causada por um vento excepcional +  $\Delta_s$

Combinação B - NMC 1+ ondulação causada por um vento habitual +  $\Delta_s$

Combinação C - NMC 2 +  $\Delta_s$

em que:

NMC1 - é o nível de máxima cheia para uma cheia com T=1.000 anos

NMC2 - é o nível de máxima cheia para uma cheia com vazão máximo igual a 1.6 vezes a vazão máxima da cheia com T=1000 anos

$\Delta_s$  - é o assentamento máximo (m) previsto para a barragem, considerado, nesta fase dos estudos, igual a 1% da altura máxima (cerca de 0.20m).

O cálculo da magnitude de espraiamento E, a grandeza que em última análise determina a folga devido à ondulação, pode ser feito, para taludes relativamente rugosos, pela seguinte expressão:

$$E = (0.30 + 2.3 k) H_p$$

onde

K - inclinação do talude de montante, igual a 1:2.5 (V:H), no presente caso.

$H_p$  - altura da onda de projeto igual a 1,25 vezes a altura significativa das ondas geradas pelo vento, em metros (ou seja, admite-se que em 5% do tempo o valor da onda significativa pode ser excedida).

$$H_p = 1,25 \times \frac{V^{1.06} F^{0.47}}{200}$$

em que:

V - velocidade do vento excepcional (160 km/h) ou habitual (70 km/h) conforme se considere a combinação A ou B,

F - 'fetch' efetivo em km (2,2 km)

Refira-se que nos estudos de pormenor se procurará integrar a ponderação de eventuais valores de medição de ventos na região da barragem e o cálculo da folga será também efetuado seguindo a metodologia proposta pelo U.S.B.R. (1981).

No presente relatório o cálculo da folga da barragem foi efetuado para cada uma das combinações de ações anteriormente definidas, sendo os resultados finais apresentados no Quadro 1.

**Quadro 1 - Cálculo da folga e da cota mínima do coroamento**

	Combinação	N.A.no reserv.	Cota da água	Espraiamento	Assentamento	Nível mínimo do coroamento
	A	N.A. normal	95	2,4	0,2	<b>97,6</b>
L=10 m	B	NMC(T=1000)	97,55	1	0,2	98,75
	C	NMC(excep.)	98,88	-	0,2	<b>99,08</b>
L=20 m	B	NMC(T=1000)	97,44	1	0,2	98,64
	C	NMC(excep.)	98,69	-	0,2	<b>98,89</b>
L=50 m	B	NMC(T=1000)	97,18	1	0,2	98,38
	C	NMC(excep.)	98,25	-	0,2	<b>98,45</b>
L=100 m	B	NMC(T=1000)	96,87	1	0,2	<b>98,07</b>
	C	NMC(excep.)	97,76	-	0,2	97,96

Como se constata da análise do Quadro 1, a redução do desenvolvimento da soleira de 100 para 50 m conduz a um aumento da cota do coroamento de 0,38 m (98,07 para 98,45) e a uma redução da vazão descarregada de 490 para 296 m<sup>3</sup>/s (cheia de projeto). A redução da soleira de 50 para 20 m conduz a um aumento da cota mínima do coroamento de 0,44 m (98,45 para 98,89), permitindo reduzir drasticamente a vazão descarregada (de 296,2 para 136,9 m<sup>3</sup>/s, cheia de projeto) e as dimensões da estrutura descarregadora. O mesmo acontece quando comparados os valores correspondentes a soleiras com 20 e 10 m de desenvolvimento; no entanto, para soleiras de pequenas dimensões passa a ser condicionante não a ocorrência de cheias com grandes períodos de retorno, mas sim a ocorrência de uma sucessão de cheias de pequeno período de retorno, deixando a comparação de ser válida.

No presente caso a cota mínima do coroamento será condicionada sempre pelo nível de máxima cheia (folga mínima), já que a aproximação à cota mínima definida relativamente ao N.A.normal (folga normal) levaria à construção de uma soleira descarregadora de grandes dimensões, perdendo-se assim todos os benefícios inerentes ao amortecimento das cheias e à redução da estrutura descarregadora.

Em fase posterior será detalhado o estudo de definição do desenvolvimento ótimo da soleira descarregadora, verificando-se designadamente o seu funcionamento para cheias sucessivas, prevendo-se, no entanto, que esta deverá ter dimensões da ordem dos 20 m (soleira frontal), o que permitirá diminuir bastante a importância econômica deste órgão e tirar partido do amortecimento da barragem, funcionando esta também como elemento de proteção contra as cheias a jusante.

O desenvolvimento de soleira adotado - 20 m - conduziria à fixação da cota do coroamento cerca de 99,00 m. No entanto, ponderadas que foram algumas incertezas desta fase dos estudos, designadamente topográficas o que poderia afetar a curva de volumes do reservatório utilizada nos cálculos, considerou-se, conservativamente, o coroamento à cota 100,0, valor que será reavaliado posteriormente.

No Quadro 2 e Fig. 4 e no Quadro 3 e Fig. 5 apresentam-se os amortecimentos efetuados, respectivamente para a cheia de projeto (T=1.000 anos) e uma cheia excepcional (Q<sub>máx</sub>=1,6 x Q<sub>máx</sub> da cheia com T=1.000 anos), para uma soleira frontal com 20 m de desenvolvimento (válidos também para soleiras em poço e em canal coletor lateral). Apresentam-se ainda amortecimentos semelhantes para uma soleira em labirinto aproximadamente equivalente (Quadro 4 e Fig. 6 e Quadro 5 e Fig. 7).

V <sub>máx</sub> (m <sup>3</sup> /s)	soleira	H <sub>d</sub> (m)
490	100	1,87
296,2	50	2,18
247,7	40	2,26
136,9	20	2,44
72,6	10	2,55
7,7	1	2,67

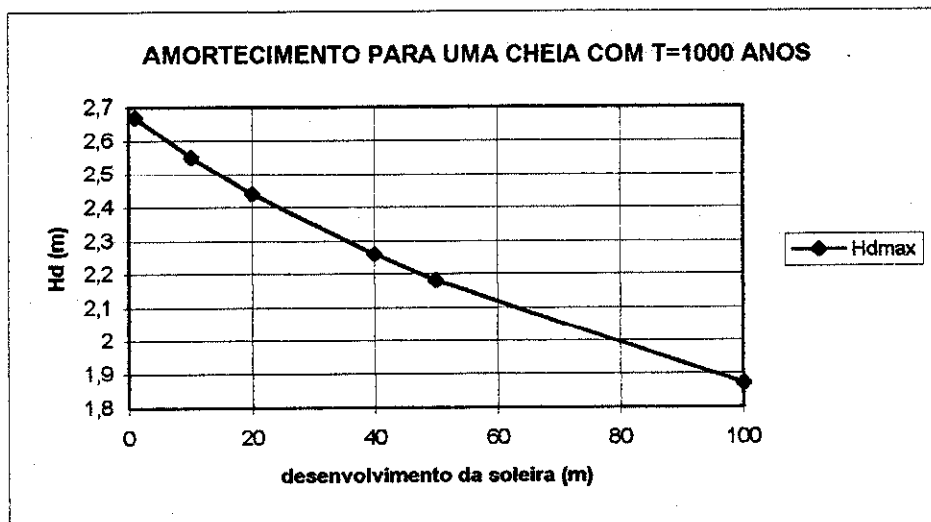
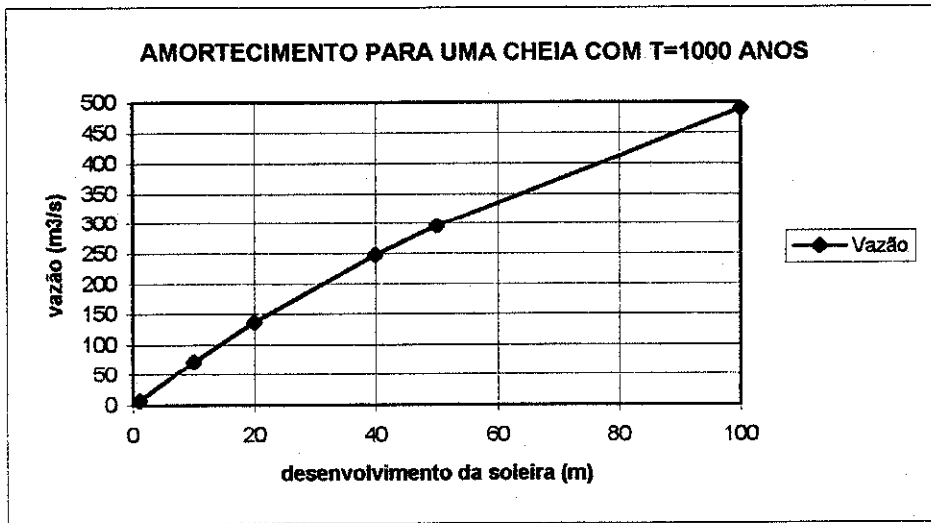


Fig. 1 - Amortecimentos para a cheia de projecto e diferentes desenvolvimentos de soleira.

V <sub>máx</sub> (m <sup>3</sup> /s)	soleira	H <sub>d</sub> (m)
886,9	100	2,76
543,7	50	3,25
457,9	40	3,39
256	20	3,69
136,8	10	3,88
14,7	1	4,09

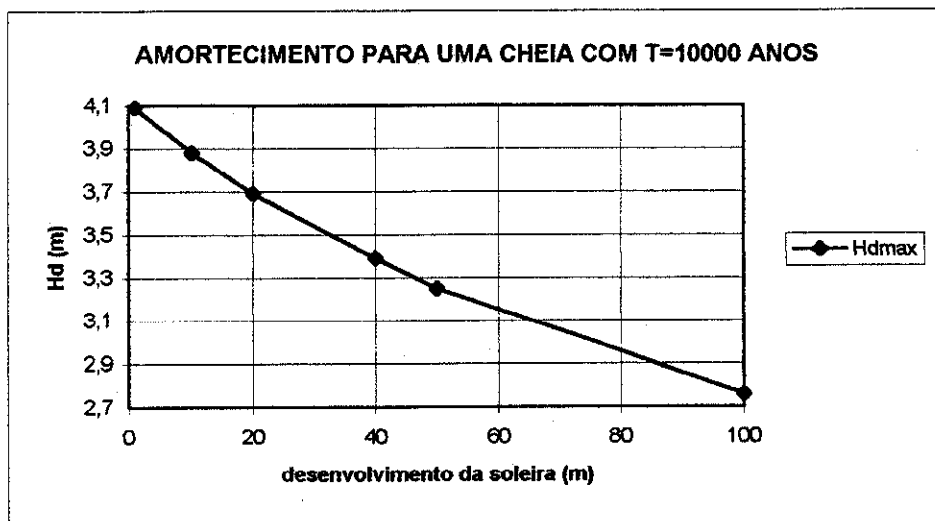
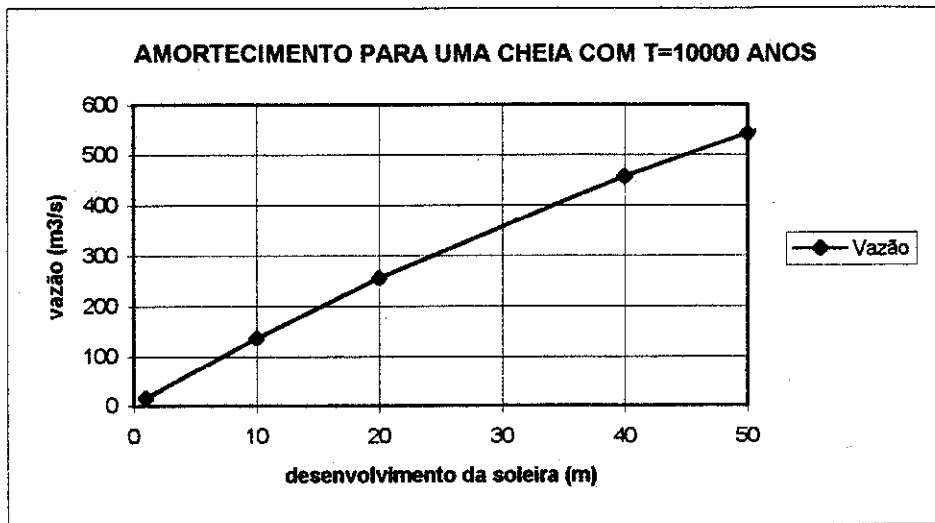
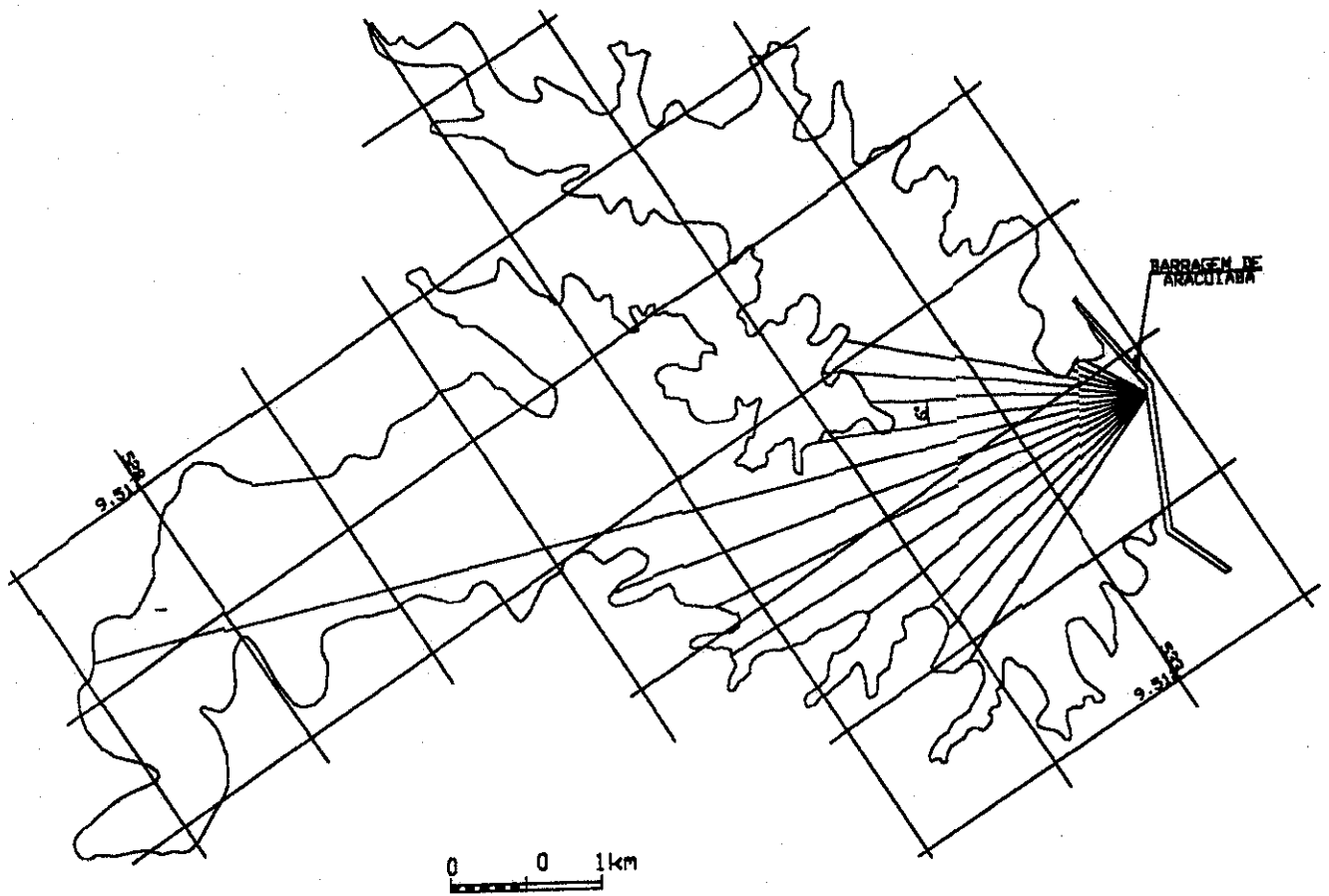


Fig. 2 - Amortecimentos para a cheia excepcional e diferentes desenvolvimentos de soleira.



$\theta$	$\cos \theta$	$F_i$ (m)	$F_i \cos \theta^2$
42	0,743144	420	231,9503
36	0,809016	480	314,1634
30	0,866025	500	374,9995
24	0,913545	1920	1602,364
18	0,951056	2020	1827,106
12	0,978147	1740	1664,784
6	0,994522	2060	2037,492
0	1	6750	6750
6	0,994522	3540	3501,321
12	0,978147	3000	2870,318
18	0,951056	3050	2758,75
24	0,913545	2210	1844,388
30	0,866025	1920	1439,998
36	0,809016	1940	1269,744
42	0,743144	2000	1104,525
		<b>13,51091</b>	<b>29591,9</b>

**Fetch efectivo (m) = 2190,223**

Fig. 3 - Cálculo do Fetch efectivo

Quadro 2

**AMORTECIMENTO DA ONDA DE CHEIA MILENAR**  
**Descarregador frontal**

**Características gerais**

Nível de pleno armazenamento	95
Cota da soleira descarregadora	95
Desenvolvimento da soleira	20
Coefficiente de vazão	0,4

**Curva de volumes armazenados**  $V=a(Z-c)^{**}b$

a	0,01216
b	2,81468
c	65

**Amortecimento**

Tempo (h)	Qafi (m3/s)	Vmed (hm3)	Vtot (hm3)	Zint (m)	Qdes (hm3)	Vdes (m)	Vfin (hm3)	Zfin (m)	hmáx (m)
0	0	0	0	95	0	0	174,81	95	0
1	40	0,07	174,88	95	0	0	174,88	95	0
2	145	0,33	175,21	95,02	0,1	0	175,21	95,02	0,02
3	290	0,78	176	95,07	0,7	0	175,99	95,07	0,07
4	370	1,19	177,18	95,14	1,9	0,01	177,18	95,14	0,14
5	680	1,89	179,07	95,26	4,6	0,02	179,05	95,26	0,26
6	900	2,84	181,89	95,43	9,9	0,04	181,86	95,42	0,42
7	1100	3,6	185,46	95,64	18	0,06	185,39	95,63	0,63
8	1280	4,28	189,68	95,88	29,4	0,11	189,57	95,88	0,88
9	1350	4,73	194,31	96,15	43,6	0,16	194,15	96,14	1,14
10	1380	4,91	199,06	96,42	59,8	0,22	198,85	96,41	1,41
11	1300	4,82	203,67	96,67	76,7	0,28	203,39	96,66	1,66
12	1150	4,41	207,8	96,9	92,9	0,33	207,47	96,88	1,88
13	940	3,76	211,23	97,09	106,8	0,38	210,85	97,07	2,07
14	760	3,06	213,91	97,23	118,1	0,42	213,48	97,21	2,21
15	580	2,41	215,89	97,34	126,6	0,46	215,44	97,31	2,31
16	400	1,76	217,2	97,41	132,3	0,48	216,73	97,38	2,38
17	280	1,22	217,95	97,45	135,5	0,49	217,46	97,42	2,42
18	160	0,79	218,25	97,46	136,9	0,49	217,76	97,44	2,44
19	100	0,47	218,23	97,46	136,8	0,49	217,74	97,43	2,43
20	40	0,25	217,99	97,45	135,7	0,49	217,5	97,42	2,42
21	0	0,07	217,57	97,43	133,9	0,48	217,09	97,4	2,4
22	0	0	217,09	97,4	131,8	0,47	216,62	97,38	2,38
23	0	0	216,62	97,38	129,7	0,47	216,15	97,35	2,35
24	0	0	216,15	97,35	127,7	0,46	215,69	97,33	2,33
25	0	0	215,69	97,33	125,7	0,45	215,24	97,3	2,3
26	0	0	215,24	97,3	123,7	0,45	214,79	97,28	2,28
27	0	0	214,79	97,28	121,8	0,44	214,35	97,25	2,25
28	0	0	214,35	97,25	120	0,43	213,92	97,23	2,23
29	0	0	213,92	97,23	118,1	0,43	213,5	97,21	2,21
30	0	0	213,5	97,21	116,3	0,42	213,08	97,19	2,19

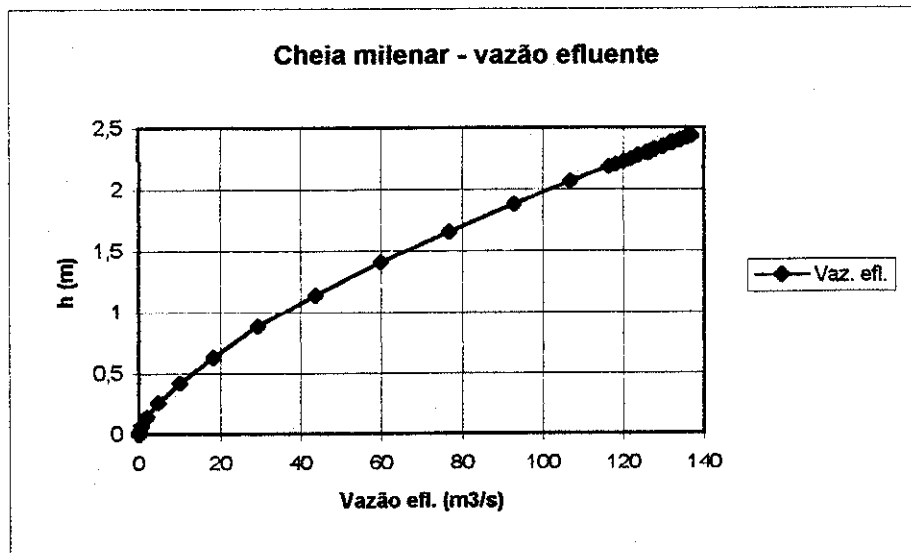
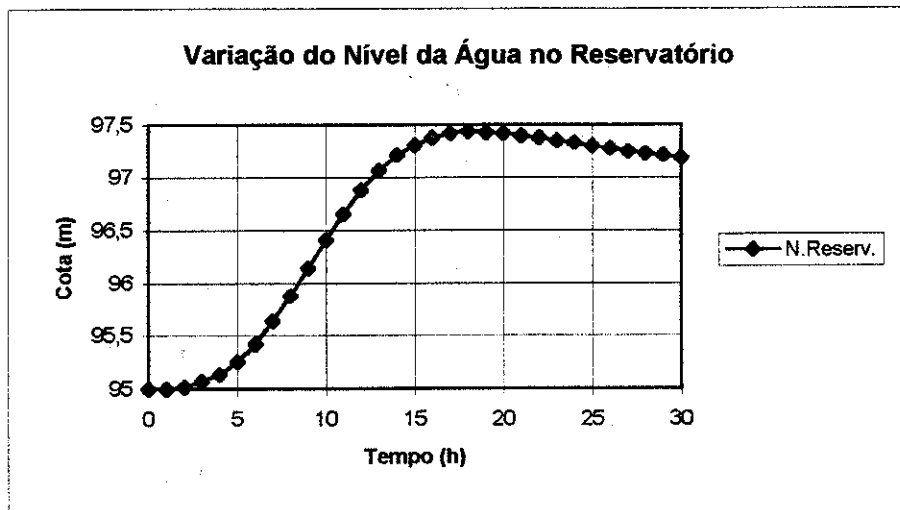
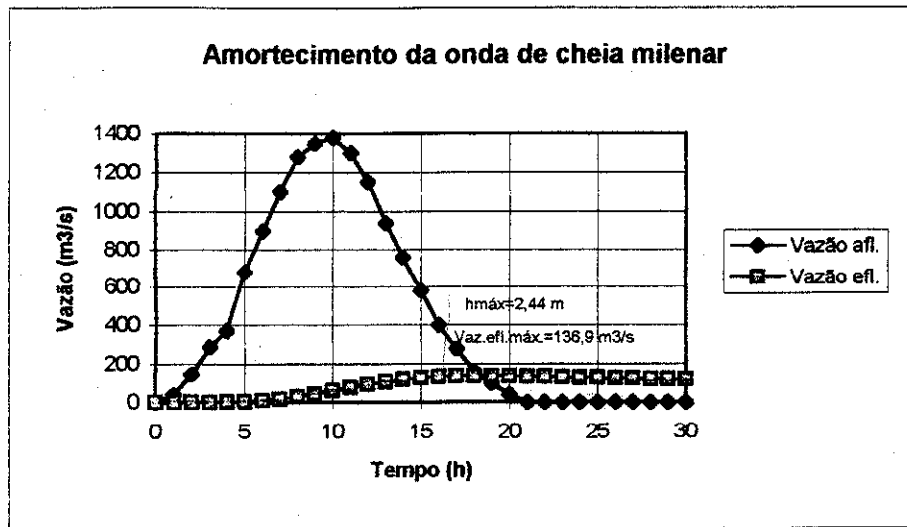


Fig. 4



Quadro 3

AMORTECIMENTO DA ONDA DE CHEIA EXCEPCIONAL (1,6 X Q<sub>máx</sub> (T=1000 anos)  
Descarregador frontal

Características gerais

Nível de pleno armazenamento	95
Cota da soleira descarregadora	95
Desenvolvimento da soleira	20
Coefficiente de vazão	0,4

Curva de volumes armazenados  $V=a(Z-c)**b$

a	0,01216
b	2,81468
c	65

Amortecimento

Tempo (h)	Qafi (m <sup>3</sup> /s)	Vmed (hm <sup>3</sup> )	Vtot (hm <sup>3</sup> )	Zint (m)	Qdes (hm <sup>3</sup> )	Vdes (m)	Vfin (hm <sup>3</sup> )	Zfin (m)	hmáx (m)
0	0	0	0	95	0	0	174,81	95	0
1	64	0,12	174,93	95,01	0	0	174,93	95,01	0,01
2	232	0,53	175,46	95,04	0,3	0	175,46	95,04	0,04
3	464	1,25	176,71	95,12	1,4	0,01	176,7	95,12	0,12
4	592	1,9	178,61	95,23	3,9	0,01	178,59	95,23	0,23
5	1088	3,02	181,62	95,41	9,3	0,03	181,58	95,41	0,41
6	1440	4,55	186,13	95,68	19,7	0,07	186,06	95,67	0,67
7	1760	5,76	191,82	96,01	35,8	0,13	191,69	96	1
8	2048	6,85	198,55	96,39	58	0,21	198,34	96,38	1,38
9	2160	7,57	205,91	96,8	85,4	0,31	205,61	96,78	1,78
10	2208	7,86	213,47	97,21	116,2	0,42	213,05	97,18	2,18
11	2080	7,72	220,77	97,59	148,1	0,53	220,23	97,57	2,57
12	1840	7,06	227,29	97,93	178	0,64	226,65	97,9	2,9
13	1504	6,02	232,67	98,21	203,6	0,73	231,94	98,17	3,17
14	1216	4,9	236,83	98,42	223,9	0,81	236,03	98,38	3,38
15	928	3,86	238,89	98,57	239	0,86	239,02	98,53	3,53
16	640	2,82	241,85	98,67	248,9	0,9	240,95	98,62	3,62
17	448	1,96	242,91	98,72	254,2	0,92	241,99	98,67	3,67
18	256	1,27	243,26	98,74	256	0,92	242,34	98,69	3,69
19	160	0,75	243,09	98,73	255,1	0,92	242,17	98,68	3,68
20	64	0,4	242,57	98,7	252,5	0,91	241,66	98,66	3,66
21	0	0,12	241,78	98,66	248,5	0,89	240,88	98,62	3,62
22	0	0	240,88	98,62	244	0,88	240,01	98,58	3,58
23	0	0	240,01	98,58	239,6	0,86	239,14	98,53	3,53
24	0	0	239,14	98,53	235,3	0,85	238,3	98,49	3,49
25	0	0	238,3	98,49	231,1	0,83	237,46	98,45	3,45
26	0	0	237,46	98,45	227	0,82	236,65	98,41	3,41
27	0	0	236,65	98,41	223	0,8	235,84	98,37	3,37
28	0	0	235,84	98,37	219	0,79	235,06	98,33	3,33
29	0	0	235,06	98,33	215,2	0,77	234,28	98,29	3,29
30	0	0	234,28	98,29	211,4	0,76	233,52	98,25	3,25

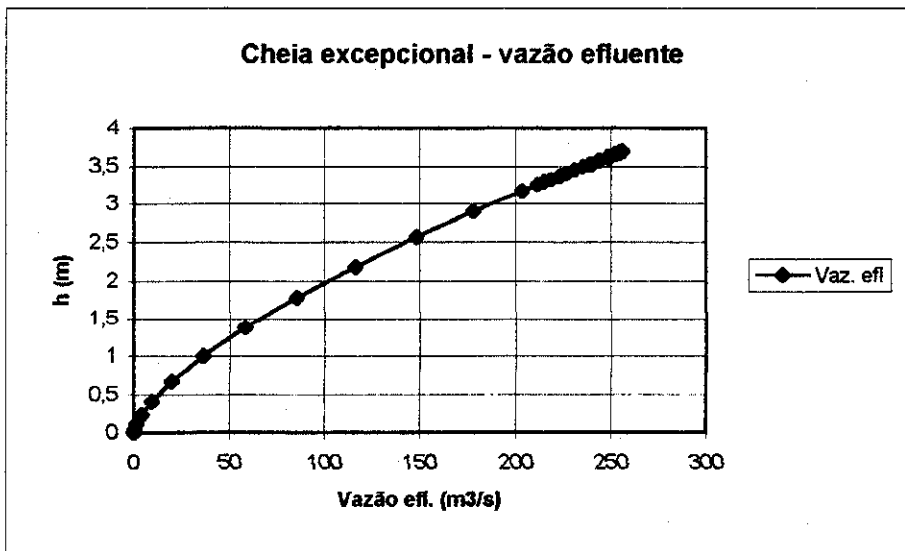
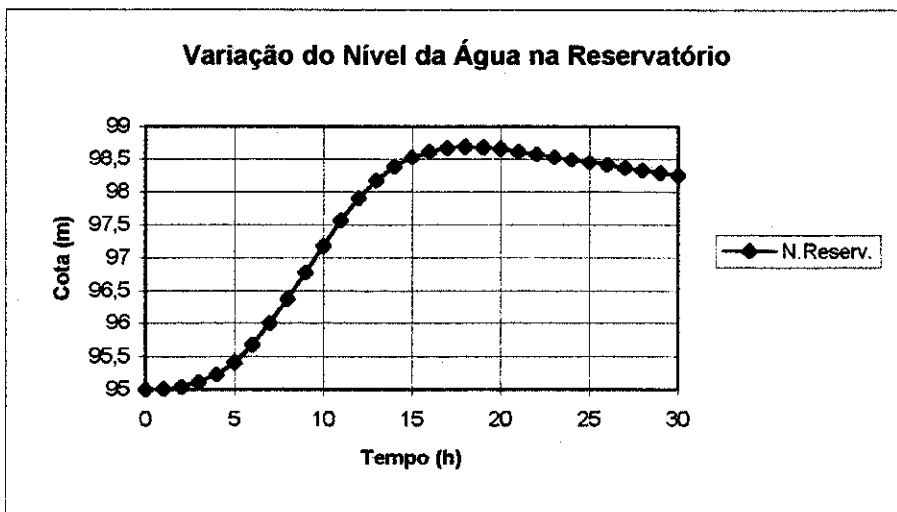
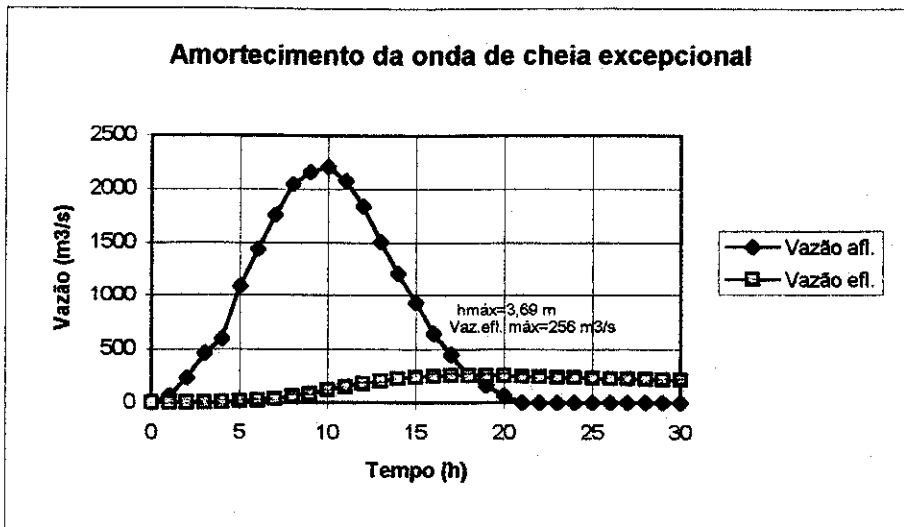


Fig. 5

Quadro 4

**AMORTECIMENTO DA ONDA DE CHEIA MILENAR**  
**Descarregador em labirinto**

**Características gerais**

Nível de pleno armazenamento	95
Cota da soleira descarregadora	95
Número de módulos	2
Largura de 1 módulo	4,9
Altura do muro - p (m)	7
Relação l/w	2,5

**Curva de volumes armazenados**  $V=a(Z-c)**b$

a	0,01216
b	2,81468
c	65

**Características do labirinto**

l/w	2,5
alfam	23,58

w	l	alfa	b	a
(m)	(m)	(graus)	(m)	(m)
4,9	12,25	18,86	5,43	0,35

**Amortecimento**

Tempo (h)	Qafi (m3/s)	Vmed (hm3)	Vtot (hm3)	Zint (m)	h/p (m3/s)	Cvaz (hm3)	Qdes (hm3)	Vdes (m)	Vfin	Zfin	hmáx (m)
0	0	0	0	95	0	0	0	0	174,82	95	0
1	40	0,07	174,89	95	0	1,09	0	0	174,89	95	0
2	145	0,33	175,22	95,02	0	1,09	0,2	0	175,22	95,02	0,02
3	290	0,78	176,01	95,07	0,01	1,09	0,9	0	176	95,07	0,07
4	370	1,19	177,19	95,14	0,02	1,09	2,6	0,01	177,18	95,14	0,14
5	680	1,89	179,07	95,26	0,04	1,09	6,2	0,02	179,05	95,26	0,26
6	900	2,84	181,89	95,43	0,06	1,09	13,2	0,05	181,85	95,42	0,42
7	1100	3,6	185,45	95,64	0,09	1,09	24	0,09	185,36	95,63	0,63
8	1280	4,28	189,64	95,88	0,13	1,09	39	0,14	189,5	95,87	0,87
9	1350	4,73	194,24	96,14	0,16	1,09	57,7	0,21	194,03	96,13	1,13
10	1380	4,91	198,94	96,41	0,2	1,07	78,1	0,28	198,66	96,39	1,39
11	1300	4,82	203,49	96,66	0,24	1,07	99,3	0,36	203,13	96,64	1,64
12	1150	4,41	207,54	96,89	0,27	1,06	119,4	0,43	207,11	96,86	1,86
13	940	3,76	210,87	97,07	0,3	1,06	136,7	0,49	210,38	97,04	2,04
14	760	3,06	213,44	97,2	0,31	1,04	147,9	0,53	212,91	97,18	2,18
15	580	2,41	215,32	97,3	0,33	1,04	157,8	0,57	214,75	97,27	2,27
16	400	1,76	216,52	97,37	0,34	1,04	164,2	0,59	215,92	97,34	2,34
17	280	1,22	217,15	97,4	0,34	1,04	167,6	0,6	216,54	97,37	2,37
18	160	0,79	217,34	97,41	0,34	1,04	168,6	0,61	216,73	97,38	2,38
19	100	0,47	217,2	97,4	0,34	1,04	167,9	0,6	216,59	97,37	2,37
20	40	0,25	216,85	97,39	0,34	1,04	166	0,6	216,25	97,35	2,35
21	0	0,07	216,32	97,36	0,34	1,04	163,1	0,59	215,73	97,33	2,33
22	0	0	215,73	97,33	0,33	1,04	160	0,58	215,16	97,3	2,3
23	0	0	215,16	97,3	0,33	1,04	156,9	0,56	214,59	97,27	2,27
24	0	0	214,59	97,37	0,32	1,04	153,9	0,55	214,04	97,24	2,24
25	0	0	214,04	97,34	0,32	1,04	151	0,54	213,49	97,21	2,21
26	0	0	213,49	97,21	0,32	1,04	148,2	0,53	212,96	97,18	2,18
27	0	0	212,96	97,18	0,31	1,04	145,4	0,52	212,44	97,15	2,15
28	0	0	212,44	97,15	0,31	1,04	142,7	0,51	211,92	97,12	2,12
29	0	0	211,92	97,12	0,3	1,04	140,1	0,5	211,42	97,1	2,1
30	0	0	211,42	97,1	0,3	1,04	139,6	0,5	210,92	97,07	2,07

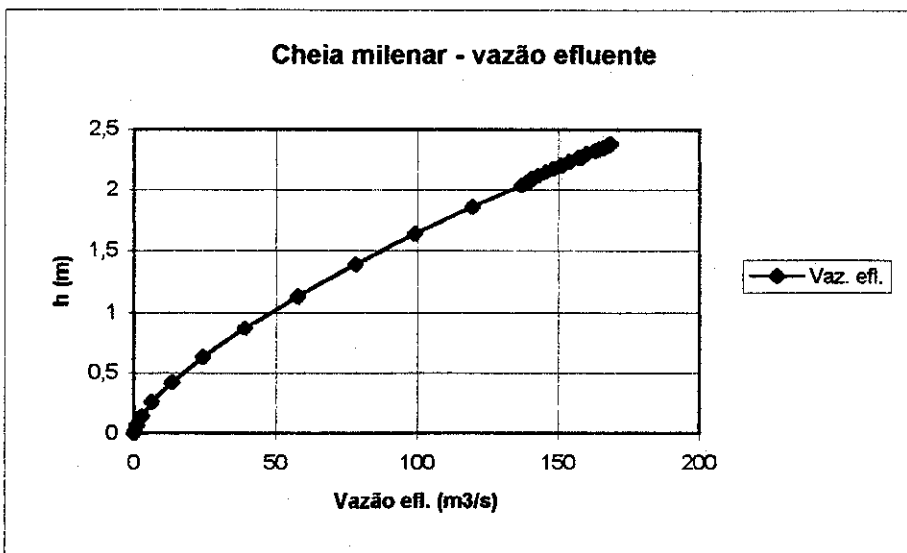
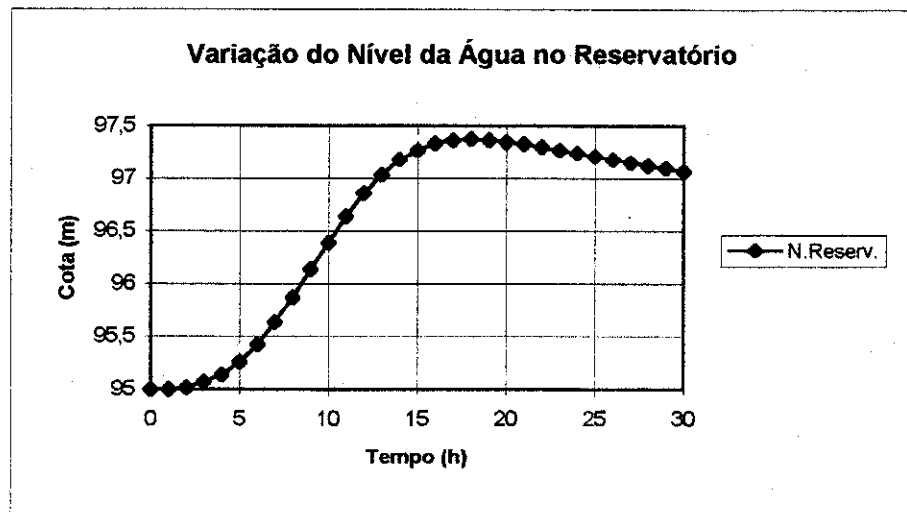
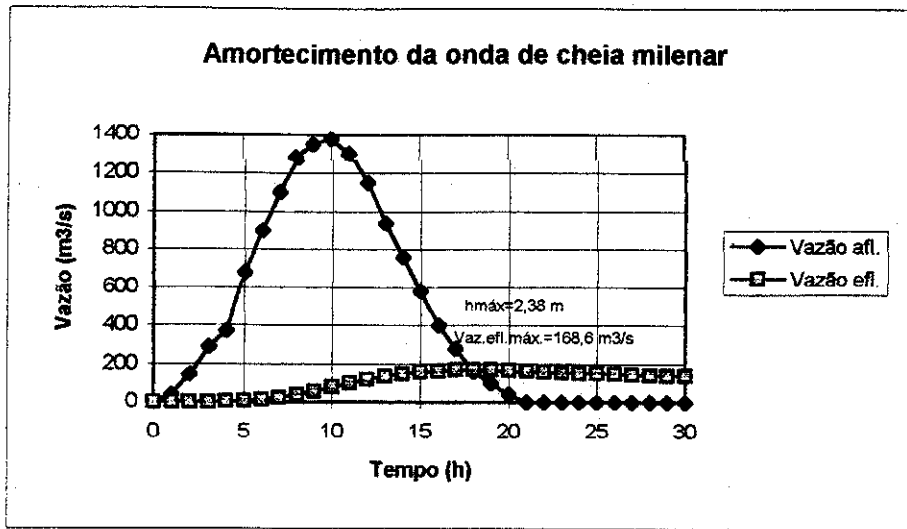


Fig. 6

Quadro 5

AMORTECIMENTO DA ONDA DE CHEIA EXCEPCIONAL (1,6 X Q<sub>máx</sub> (T=1000 anos)  
Descarregador em labirinto

Características gerais

Nível de pleno armazenamento	95
Cota da soleira descarregadora	95
Número de módulos	2
Largura de 1 módulo	4,9
Altura do muro - p (m)	7
Relação l/w	2,5

Curva de volumes armazenados  $V=a(Z-c)^{**b}$

a	0,01216
b	2,81468
c	65

Características do labirinto

l/w	2,5
alfam	23,58

w	l	alfa	b	a
(m)	(m)	(graus)	(m)	(m)
4,9	12,25	18,86	5,43	0,35

Amortecimento

Tempo (h)	Qafi (m3/s)	Vmed (hm3)	Vtot (hm3)	Zint (m)	h/p (m3/s)	Cvaz (hm3)	Qdes (hm3)	Vdes (m)	Vfin	Zfin	hmáx (m)
0	0	0	0	95	0	0	0	0	174,82	95	0
1	64	0,12	174,94	95,01	0	1,09	0	0	174,94	95,01	0,01
2	232	0,53	175,47	95,04	0,01	1,09	0,4	0	175,47	95,04	0,04
3	464	1,25	176,72	95,12	0,02	1,09	1,9	0,01	176,71	95,11	0,11
4	592	1,9	178,61	95,23	0,03	1,09	5,2	0,02	178,59	95,23	0,23
5	1088	3,02	181,62	95,41	0,06	1,09	12,4	0,04	181,57	95,41	0,41
6	1440	4,55	186,12	95,68	0,1	1,09	26,3	0,09	186,03	95,67	0,67
7	1760	5,76	191,79	96	0,14	1,09	47,5	0,17	191,62	95,99	0,99
8	2048	6,85	198,47	96,38	0,2	1,08	76,6	0,28	198,2	96,37	1,37
9	2160	7,57	205,77	96,79	0,26	1,06	110,5	0,4	205,37	96,77	1,77
10	2208	7,86	213,24	97,19	0,31	1,04	146,9	0,53	212,71	97,17	2,17
11	2080	7,72	220,43	97,58	0,37	1,03	185,6	0,67	219,76	97,54	2,54
12	1840	7,06	226,81	97,91	0,42	1,01	218	0,78	226,03	97,87	2,87
13	1504	6,02	232,05	98,18	0,45	1	246,2	0,89	231,16	98,13	3,13
14	1216	4,9	236,06	98,38	0,48	1	268,7	0,97	235,09	98,33	3,33
15	928	3,86	238,95	98,52	0,5	0,97	277,9	1	237,95	98,47	3,47
16	640	2,82	240,77	98,61	0,52	0,96	287,4	1,03	239,74	98,56	3,56
17	448	1,96	241,7	98,66	0,52	0,96	292,4	1,05	240,64	98,61	3,61
18	256	1,27	241,91	98,67	0,52	0,96	293,5	1,06	240,85	98,62	3,62
19	160	0,75	241,6	98,65	0,52	0,96	291,9	1,05	240,55	98,6	3,6
20	64	0,4	240,96	98,62	0,52	0,96	288,4	1,04	239,92	98,57	3,57
21	0	0,12	240,03	98,58	0,51	0,97	283,5	1,02	239,01	98,53	3,53
22	0	0	239,01	98,53	0,5	0,97	278,2	1	238,01	98,48	3,48
23	0	0	238,01	98,48	0,5	1	279,9	1,01	237	98,43	3,43
24	0	0	237	98,43	0,49	1	274,1	0,99	236,02	98,38	3,38
25	0	0	236,02	98,38	0,48	1	268,5	0,97	235,05	98,33	3,33
26	0	0	235,05	98,3	0,48	1	263	0,95	234,1	98,28	3,28
27	0	0	234,1	98,28	0,47	1	257,6	0,93	233,17	98,23	3,23
28	0	0	233,17	98,23	0,46	1	252,4	0,91	232,27	98,19	3,19
29	0	0	232,27	98,19	0,46	1	247,4	0,89	231,38	98,14	3,14
30	0	0	231,38	98,14	0,45	1	242,5	0,87	230,5	98,1	3,1

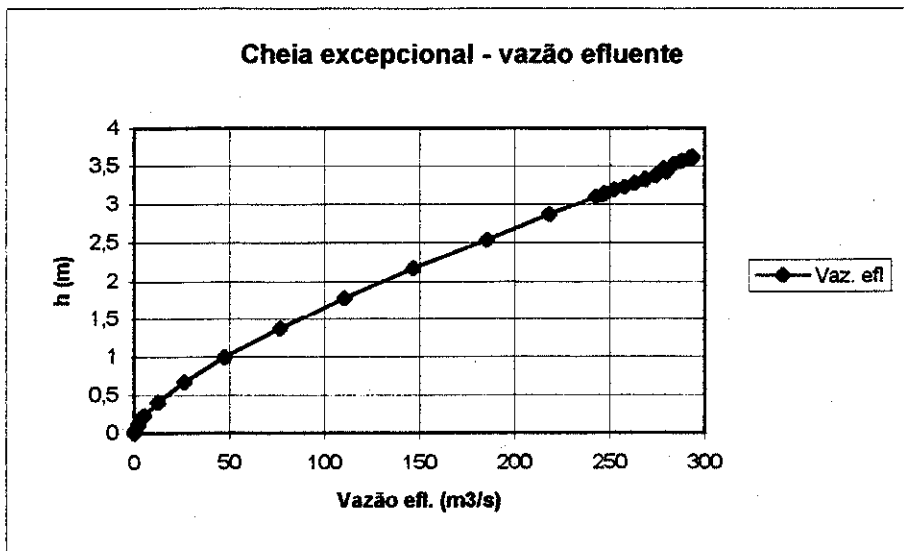
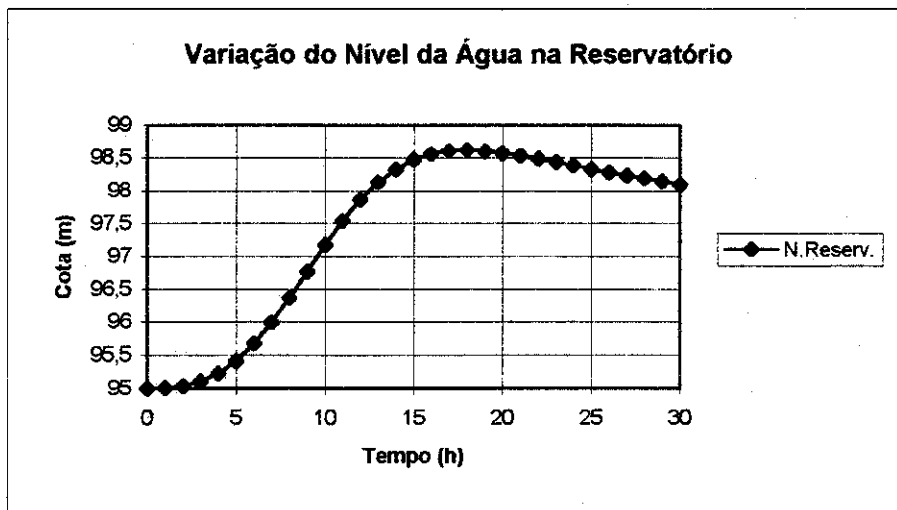
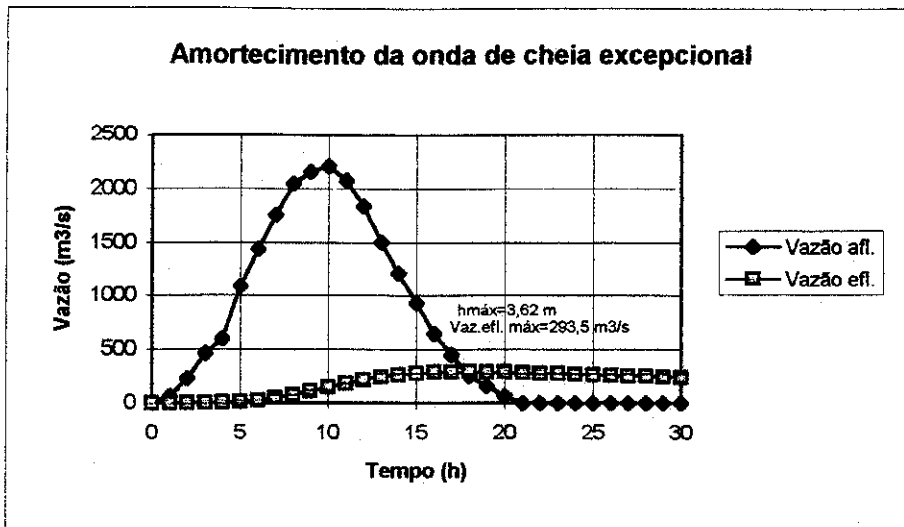


Fig. 7

### 3.3.2.4 - Quantitativos

Os quantitativos principais da barragem de terra são praticamente os mesmos para as quatro alternativas estudadas. Estes quantitativos são listados a seguir:

- Escavação comum	- 183.200 m <sup>3</sup>
- Escavação em rocha	- 10.000 m <sup>3</sup>
- Solo compactado	- 1.311.000 m <sup>3</sup>
- Enrocamento compactado	- 18.200 m <sup>3</sup>
- Filtros de areia	- 86.100 m <sup>3</sup>
- Transições	- 21.400 m <sup>3</sup>
- Rip-Rap	- 25.700 m <sup>3</sup>

Volume Total da Barragem                      1.462.400 m<sup>3</sup>

### 3.3.3 - Descrição da Alternativa 1

#### 3.3.3.1 - Considerações Iniciais

A planta do desenho AR-GR-1001, mostra o arranjo geral desta alternativa, onde o vertedouro com soleira livre convencional está implantado na ombreira direita e a galeria na margem esquerda.

A estrutura para desvio do rio e descarregador de fundo, é a mesma para as alternativas 1, 2 e 3 e está esquematizada no desenho AR-RT-4005.

O desenho AR-ET-4001 apresenta os detalhes do arranjo concebido para o vertedouro desta alternativa.

#### 3.3.3.2 - Estrutura de Desvio/Descarregador de Fundo

A estrutura de desvio, poderá ser utilizada como futuro órgão para descarregador de fundo e de controle de vazões para jusante. Conforme já justificado anteriormente, para esta alternativa é mais conveniente deslocar esta estrutura para a margem direita, o que será feito na otimização do anteprojeto, caso esta alternativa seja considerada a mais vantajosa.

A estrutura concebida consta basicamente, de montante para jusante, de:

- Uma estrutura de controle, em torre, equipada com 2 jogos de comporta plana e grade, monobradas por talha manual. Neste controle o fluxo é feito por 2 galerias simétricas de 1.50 m x 2.00 m cada.
- A partir da estrutura de controle, o fluxo é conduzido por uma galeria única em concreto e com seção da ordem de 9,0 m<sup>2</sup>
- A jusante da galeria, foi prevista uma bacia de dissipação com fundo na cota 65,00

Para o período hidrológico mais seco (agosto/janeiro), quando as vazões médias não superam a  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ , fixou-se a vazão de projeto em  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  que deverá atender os períodos de retorno de até 50 anos.

Para o período chuvoso, a cheia estimada com período de retorno de 50 anos, atinge um pico de  $828 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Para esta cheia a descarga máxima da galeria chega a  $53 \text{ m}^3/\text{s}$ , com o reservatório a montante chegando próximo à cota 80,00 m.

### 3.3.3.3 - Vertedouro

#### a) Condições geológico-geotécnicas de fundação

As características topográficas e as condições geológico-geotécnicas da ombreira direita da barragem, no trecho entre estacas 20 e 25 apresenta condições favoráveis para implantação do vertedouro, conforme ressaltado a seguir:

- A topografia da região montante da barragem favorece a construção do canal de entrada do vertedouro
- Na região da soleira vertente, a rocha sã é pouco profunda, permitindo o assentamento da estrutura em rocha de boa qualidade, sem necessidade de aprofundamento das escavações
- A partir da soleira vertente para jusante o topo rochoso sobe, chegando a aflorar, formando um grande maciço rochoso exposto e de excelente qualidade, pelo menos até a cota 90,00 m. Descendo a encosta a partir do maciço de rocha aflorante e seguindo o canal de restituição do vertedouro, observa-se que o maciço rochoso possui uma pequena espessura de capeamento

Com base nestas condições, achou-se oportuno avaliar-se a conveniência de implantar o vertedouro nesta região, uma vez que esta solução poderia apresentar as seguintes vantagens principais:

- Grande parte do canal de restituição poderia ser escavado em rocha sã, minimizando os volumes de concreto dos canais e até mantendo parte dos canais em rocha sem qualquer proteção
- O canal de restituição poderá ser mantido com a mesma largura da crista vertente, diminuindo a concentração do fluxo, sem custos adicionais uma vez que o volume de rocha escavada neste local, deixaria de ser escavado em pedreiras
- A localização do vertedouro na margem direita traria vantagens construtivas uma vez que o canteiro poderia ficar localizado nesta margem, com acesso mais fácil para a cidade de Aracoiaba. Além disso a pedreira está localizada nesta margem.

#### b) Dimensionamento hidráulico

A largura de 20 metros da soleira vertente foi determinada levando-se em conta a cota da crista da soleira (95,00), a cota da crista da barragem (100,0), e os níveis de água de montante com a laminação da cheia com tempos de recorrência de 1.000 anos (dimensionamento) e 10.000 anos (verificação).



Na tabela a seguir apresentamos o resumo dos pré-dimensionamentos.

T (anos)	Q afl. m <sup>3</sup> /s	Q efl. m <sup>3</sup> /s	N.A. máximo no reservatório (m)	Sobrelevação (m)
1.000	1371	151	97,42	2,42
10.000	2259	352	99,29	4,28

c) Quantitativos

O vertedouro em questão indica os seguintes quantitativos de serviços:

- Escavação comum	37.000 m <sup>3</sup>
- Escavação em rocha	28.000 m <sup>3</sup>
- Concreto Estrutural com forma	775 m <sup>3</sup>
- Concreto Estrutural sem forma	1.150 m <sup>3</sup>
- Concreto Projetado	42 m <sup>3</sup>

3.3.4 - Descrição da Alternativa 2

3.3.4.1 - Introdução

Esta solução, constituída de barragem de terra, estrutura de desvio/descarregador de fundo na margem esquerda e vertedouro com soleira tipo labirinto implantado na margem esquerda (estaca 63), está caracterizada pelos seguintes desenhos:

- AR-GR-1002 - Arranjo Geral
- AR-ET-4005 - Galeria de Desvio
- AR-ET-4008 - Vertedouro

A estrutura de desvio/descarregador de fundo é idêntica a da Alternativa 1, tendo sido descrita no item 3.3.3.

3.3.4.2 - Vertedouro

a) Condições Geológico-Geotécnicas

As condições geológico-geotécnicas da região de implantação deste vertedouro, são mais desfavoráveis quando comparado com as condições do vertedouro da margem direita. Na região de interesse não ocorre afloramentos de rocha sã e o perfil geológico-geotécnico inferido ao longo do eixo do canal parece indicar uma maior espessura de capeamento e um topo rochoso constituído de rochas pouco competentes para resistir a erosão pelo fluxo.

b) Justificativa da Concepção

O vertedouro com soleira em labirinto, apresenta como principal vantagem a redução do volume a ser escavado na sua implantação e a conseqüente economia no trecho de transição para o canal de descarga.

Sob o ponto de vista estrutural, esta solução apresenta menores consumos de concreto em massa embora exija peças armadas mais delicadas. Contudo, a sua geometria favorável à resistência aos esforços, não se torna particularmente exigente no que diz respeito a armaduras.

Face a necessidade de revestimento do canal de descarga e também com vistas à redução do volume de escavações, procurou-se adotar um canal de descarga com menor largura.

#### c) Dimensionamento hidráulico

Para esta solução o dimensionamento hidráulico foi baseado nos Trabalhos de Modulação de Magalhães e Lorena (LNEC-1989), onde os coeficientes de vazões são função da geometria da soleira em planta e da relação altimétrica entre o nível d'água no reservatório e a altura do lábio.

#### d) Quantitativos

A solução em questão apresenta os seguintes quantitativos principais:

- Escavação comum	20.100 m <sup>3</sup>
- Escavação em rocha	6.300 m <sup>3</sup>
- Concreto Estrutural com forma	1.420 m <sup>3</sup>
- Concreto Estrutural sem forma	1.430 m <sup>3</sup>

### 3.3.5 - Descrição da Alternativa 3

#### 3.3.5.1 - Introdução

Esta alternativa, difere da Alternativa 2, apenas quanto ao tipo e localização do vertedouro. Nesta solução um vertedouro com soleira vertente lateral está implantado na ombreira esquerda, próximo a estaca 92 da barragem.

O desenho AR-GR-1003 mostra o arranjo geral desta solução e o desenho AR-ET-4003 detalha o vertedouro.

#### 3.3.5.2 - Vertedouro

##### a) Condições Geológico-Geotécnicas

As condições geológico-geotécnicas da região de interesse para o vertedouro, são bastante semelhantes aos da região do vertedouro com soleira em labirinto (Alternativa 2), ou seja com capeamento espesso e topo rochoso pouco competente para resistir a erosões.

##### b) Justificativa da Solução

Em condições topográficas favoráveis a solução de canal de entrada e soleira lateral, tem se mostrado atrativa principalmente por propiciar a redução nos quantitativos de serviço. Esta solução, além de ter um comportamento hidráulico semelhante a um vertedouro com soleira livre convencional, permite as mesmas vantagens de custo relativas à alternativa em labirinto.

Nesta solução, a admissão faz-se por um curto canal de acesso com largura variável entre 45 e 22,5 m e fundo à cota 93,0 m, que conduz a água até à estrutura de controle, formada por uma

soleira descarregadora retilínea, sem comportas, com crista à cota 95,0 m, alinhada obliquamente ao eixo da barragem. A soleira descarregadora tem um comprimento total de 21,0 m, dividido em três trechos com 7,0 m de comprimento separados por septos com 0,5 m de largura, cuja finalidade é orientar o escoamento e permitir o arejamento da face inferior da lâmina de água descarregada, minimizando deste modo a ocorrência de vibrações de baixa frequência.

A soleira tem perfil WES, estando dimensionada para a altura de escoamento máxima correspondente ao amortecimento da cheia milenar ( $H = 2,4$  m, aproximadamente). Para uma cheia excepcional com hidrograma igual a 1,6 vezes o da cheia de  $T = 1.000$  anos, a carga máxima sobre a soleira é aproximadamente 3,69 m.

A água descarregada sobre a crista é recolhida por um coletor, de seção retangular, com largura variável entre 6,5 e 8,5 m. O fundo do canal, com uma inclinação longitudinal de 4,0%, está à cota 89,0 m na sua extremidade de montante.

Imediatamente a jusante do canal coletor, um convergente com 12 m de comprimento conduz a água até a seção corrente do canal descarregador, o qual, no seu trecho inicial, apresenta uma inclinação idêntica (4 %).

A geometria adotada para a soleira e canal coletor segue de perto as dimensões finais obtidas em modelo hidráulico para condições de funcionamento aproximadas à situação em análise.

Optou-se por não instalar uma soleira de controle na extremidade de jusante do canal coletor, o que permite reduzir a sua profundidade e, conseqüentemente, o seu custo (essencialmente devido à redução das subpressões). A ausência de soleira de controle implica no entanto que, para pequenas vazões descarregadas, o colchão de água disponível para amortecimento da lâmina descarregada seja pouco profundo, podendo o impacto resultante induzir algumas vibrações na estrutura, razão pela qual se prevê a ancoragem da laje de fundo ao maciço de fundação.

#### c) Dimensionamento hidráulico

O dimensionamento hidráulico desta solução é praticamente o mesmo efetuado para o vertedouro de soleira livre convencional.

#### d) Quantitativos

A seguir listamos os quantitativos principais desta solução:

- Escavação comum	36.480 m <sup>3</sup>
- Escavação em rocha	4.700 m <sup>3</sup>
- Concreto Estrutural com forma	2.100 m <sup>3</sup>
- Concreto Estrutural sem forma	2.590 m <sup>3</sup>

### 3.3.6 - Descrição da Alternativa 4

#### 3.3.6.1 - Introdução

Esta solução difere substancialmente das 3 outras analisadas, uma vez que neste caso todos os órgãos hidráulicos são englobados em uma estrutura, a qual funciona como galeria de desvio, descarregador de fundo e vertedouro.

O desenho AR-GR-1004, mostra o arranjo geral da solução em questão e o desenho AR-ET-4004 apresenta os detalhes da estrutura dos órgãos hidráulicos.

A estrutura dos órgãos hidráulicos foi implantada na margem esquerda, no mesmo local da estrutura de desvio/d Descarregador de fundo das outras três alternativas analisadas apenas por facilidades de comparação. Esta estrutura poderia também ser implantada na margem direita, onde ocorrem condições topográficas e geotécnicas semelhantes.

### 3.3.6.2 - Estrutura dos Órgãos Hidráulicos

Nesta alternativa, o vertedouro, tomada de água e descarga de fundo, concentram-se numa estrutura única, implantada na margem esquerda, com eixo coincidente com a tomada d'água das alternativas anteriores.

Esta estrutura única compreende três partes distintas (desenho AR-ET-1004):

- captação
- galeria de descarga
- bacia de dissipação de energia

A galeria de descarga e a bacia de dissipação de energia são comuns às três funções a que responde a estrutura; é na zona da captação que é feita a diferenciação entre estas funções.

A estrutura de entrada é constituída essencialmente por uma torre cilíndrica em concreto armado, com 4,0 m de diâmetro interno e 25,0 m de altura (base à cota 70 m), coroamento à cota 95,0 m assente sobre uma sapata retangular, também em concreto armado.

A seção corrente da galeria é em ferradura com 4,0 m de diâmetro útil, construída a céu aberto e ficando sob o corpo da barragem.

Na zona superior, a torre sofre um alargamento, passando o seu diâmetro de 4,0 para 6,0 m no coroamento.

O bordo superior da torre forma uma crista descarregadora de formas hidrodinâmicas, a qual verterá a água do reservatório quando este ultrapassar o nível de armazenamento máximo normal, à cota 95,00 m. A água coletada será conduzida ao interior da torre e transportada verticalmente até à sua base, sendo então introduzida na galeria que atravessa a fundação da barragem e descarregada a jusante.

A fim de garantir boas condições de entrada da água no poço e evitar a formação de vórtices, a crista do poço de descarga está equipada com quatro septos em concreto, formando entre si ângulos de 90°.

Na base da estrutura está localizada a galeria de desvio que posteriormente servirá como descarga de fundo da barragem.

As comportas que controlam a operação da tomada de água e da descarga de fundo são comandadas a partir de uma plataforma, à cota 100,00 m.

O acesso à plataforma de manobra é feito a partir do coroamento da barragem por uma passarela em concreto armado, com 63 m de comprimento.

A água captada no reservatório pelo vertedouro, tomada de água e descarga de fundo é conduzida para jusante por meio de uma galeria em concreto armado sob o corpo da barragem. Esta galeria com 4,0 m de largura interna, tem seção composta. A base da seção é de 5,0 m, sendo a altura total da seção de 6,0 m. O comprimento total da galeria é de 140,0 m.

Em fase final dos trabalhos, proceder-se-ia à transformação da entrada da galeria de derivação em estrutura de controle da descarga de fundo da obra e tomada de água para jusante, essencialmente através da concretagem da soleira de entrada, cujo rasto deverá ficar a uma cota de segurança relativamente à vazão sólida (cerca da cota 74). Seriam ainda instalados os equipamentos e peças fixas respectivas, utilizando para esse efeito o passadiço de acesso entretanto construído.

A entrada do circuito de descarga de fundo da galeria far-se-ia no trecho sob o poço, em zona que teria de ser blindada. Em alternativa e de modo a melhorar as condições hidráulicas de entrada, poderia prever-se uma bifurcação da seção, logo a jusante das comportas, de modo a que a entrada na galeria se fizesse lateralmente e já após o trecho em curva de ligação do poço à galeria, área sensível do ponto de vista hidráulico.

Assim, nesta solução, a galeria de derivação, tendo a entrada cerca da (70) seria depois utilizada para vertedouro, pela construção de um poço de seção circular com 4,0 m de diâmetro e da respectiva crista descarregadora e para descarga de fundo e tomada d'água para jusante, através da criação de uma abertura no rolhão da entrada da galeria de derivação, com a soleira à (74) e obturada por 2 comportas planas (1,5 x 2,3), sendo a de jusante de regularização. A passarela de acesso aos equipamentos apoiar-se-ia no poço e em piler intermediário, correndo os guiamentos das comportas no pilar frontal da crista descarregadora, alargado para esse efeito. O desenvolvimento longitudinal desta solução é inferior a 200,0 m. À saída está prevista uma soleira parabólica e uma bacia de dissipação divergentes com 20,0 m e 25,0 m de comprimento respectivamente, tendo a bacia, com o rasto à (64), 7,0 m de largura à entrada e 11,0 m à saída. A restituição faz-se, nesta solução, junto ao leito de cheias do rio.

### *3.3.7 - Desvio do Rio e Etapas de Construção*

#### *3.3.7.1 - Introdução*

O esquema de desvio e as etapas de construção, para as alternativas com vertedouro nas ombreiras (Alternativas 1, 2 e 3) estão esquematizados no desenho AR-GR-1005.

Basicamente a implantação do empreendimento pode ser feita em 2 fases, ou seja, numa primeira fase o rio fica mantido em seu curso natural e restrito a uma brecha imposta por duas ensecadeiras. Na fase seguinte a brecha é fechada e o rio desviado para a galeria de desvio.

#### *3.3.7.2 - Descrição das Fases de Construção*

##### - Alternativas 1, 2 e 3

##### a) Fase 1

Esta fase é iniciada pela construção de duas ensecadeiras na cota 75,00 m mantendo o rio no seu leito natural e restringindo o vale a uma brecha da ordem de 90 metros. Caso necessário esta

brecha pode ser aumentada, reduzindo o recinto ensecado da margem direita. As ensecadeiras serão executadas com materiais retirados das escavações obrigatórias. Após o ensecamento serão executados no recinto ensecado, as escavações, os tratamentos das fundações e a concretagem da estrutura. Esta fase é concluída com a execução nos recintos, da barragem até a cota 80,00 m e a escavação da entrada e saída da galeria de desvio.

Em paralelo com os trabalhos no leito do rio serão executadas as barragens nas margens direita e esquerda e o vertedouro.

b) Fase 2

Esta fase é iniciada pelo fechamento da brecha central com uma ensecadeira de montante (cota 80,00 m) e uma ensecadeira de jusante (cota 75,00 m), desviando o rio pela margem direita. Após o desvio são executados os seguintes trabalhos:

- escavação da fundação da barragem e remoção das ensecadeiras da 1ª fase e no interior do recinto ensecado
- execução do tratamento da fundação da barragem
- execução da barragem até a cota 80,00
- execução de toda a barragem do leito do rio até a cota final
- fechamento da galeria de desvio e enchimento do reservatório

- Alternativa 4

Admitiu-se, na fase inicial dos trabalhos, que os aterros da barragem seriam feitos por partes, tirando partido das condições topográficas do vale, com uma pendente suave e um leito de cheias largo, e do regime hidrológico que tem uma época de estiagem extensa e bem definida. Nesta fase dos trabalhos, o rio correrá no seu leito, delimitado por uma brecha, com cerca de 30-40 m de largura e taludes da ordem dos 3:1 (H:V).

Seria entretanto construída a galeria a céu aberto que permitiria a derivação da cheia com período de retorno de 50 anos, atingindo o nível de água a montante uma cota ligeiramente inferior à 80. Esta cota permite dispor -se já de um volume de armazenamento apreciável que garante um amortecimento significativo.

Assim sendo, atingindo os aterros a cota 80, proceder-se-ia em período de estiagem ao fechamento da brecha, fazendo-se a partir daí a derivação do rio através da galeria.

Os aterros subiriam em continuidade a partir daqui, procedendo-se na fase final dos trabalhos à adaptação da galeria de derivação a descarga de fundo e vertedouro.

Para esse efeito ir-se-ia entretanto subindo com a estrutura em poço que materializaria o vertedouro, de modo a permitir, logo que os aterros subissem às cotas necessárias a execução da passarela de acesso.

### 3.3.7.3 - Cronograma de Construção

Levando-se em conta o regime climático da região, os quantitativos dos serviços e as condições de execução dos mesmos, pode-se assegurar que o empreendimento pode ser implantado num prazo da ordem de 18 meses.

Seria conveniente, se possível, vincular o início da obra de tal forma que o desvio do rio para a galeria fosse feito em meados do ano, ou seja, no início do período seco, eliminando eventual risco de galgamento das ensecadeiras e inundação da área de trabalho.

### 3.3.7.4 - Esquemas Alternativos de Desvio

Caso seja adotada a solução de vertedouro na ombreira direita ou a solução de estrutura hidráulica única, seria conveniente deslocar estas estruturas para a margem direita. Com isso, o esquema de desvio fica mais simplificado, uma vez que na fase 1 é necessário apenas a construção de uma ensecadeira, mantendo o rio no seu leito natural e na várzea da margem esquerda.

### 3.3.8 - Orçamento das Alternativas de Arranjo

#### 3.3.8.1 - Introdução

Para possibilitar o estudo comparativo entre as alternativas, foi feita a quantificação dos principais serviços e o orçamento das mesmas.

Para execução dos orçamentos foram utilizadas as diretrizes e custos unitários descritos a seguir.

#### 3.3.8.2 - Preços Unitários

Os preços unitários foram obtidos a partir de:

- Preços atualmente praticados em obras similares
- Preços coletados junto a informadores Pini e outros
- Preços coletados junto a fornecedores
- Preços sugeridos pela SRH
- Orçamentos de outros projetos recentemente elaborados pelo Consórcio

#### a) Reservatório

Preço unitário sugerido pela SRH, inclui aquisição da terra, desapropriações de benfeitorias, relocação de estradas, remanejamento de pessoal, obras de proteção ambiental, etc.

A área a ser considerada será a correspondente a cota do nível máximo operacional do reservatório.

Preço = R\$ 400,00/hectare

b) Desmatamentos e Limpeza de Áreas

b.1 - Desmatamento e limpeza das áreas sob as estruturas (vertedouro e barragem)

Os serviços incluem a remoção e deposição em botafora de toda a vegetação e uma espessura média de 20 cm de solo, medido por  $m^2$  na projeção horizontal.

$$\text{Preço} = \text{R\$ } 0,50/ m^2$$

b.2 - Tratamento da fundação em solo

Os serviços incluem os serviços de remoção da camada superficial e preparo de fundações para lançamento do aterro da barragem.

$$\text{Preço} = \text{R\$ } 0,50/ m^2$$

b.3 - Tratamento da fundação em rocha

Os serviços incluem todas as atividades de tratamento da superfície de fundação em rocha incluindo regularizações com concreto, para estruturas de concreto e barragem.

$$\text{Estrutura de concreto} - \text{R\$ } 10,00/ m^2$$

$$\text{Barragem} \quad \quad \quad - \text{R\$ } 4,00/ m^2$$

c) Escavações (volumes medidos na cava)

c.1 - Escavação comum nas fundações

O preço inclui escavação, carga e transporte numa distância de até 2 km.

$$\text{R\$ } 2,50/ m^3$$

c.2 - Escavação em rocha em pedreira (volumes medidos na cava)

O preço inclui escavação, carga e transporte numa distância de até 2 km.

$$\text{R\$ } 12,00/ m^3$$

c.3 - Escavação em rocha na linha do projeto

O preço inclui, pré-fissuramento, escavação, carga e transporte até 2 km.

$$\text{R\$ } 14,00/ m^3$$



c.4 - Escavação de material por escarificação

O preço inclui, carga e transporte numa distância de até 2 km.

R\$ 5,00/ m<sup>3</sup>

c.5 - Remoção de ensecadeiras a seco e submerso

O preço inclui, escavação, carga e transporte numa distância de até 1 km.

R\$ 3,00/ m<sup>3</sup>

c.6 - Esgotamento

3% do valor das obras de desvio (exceto Galeria de Desvio)

c.7 - Recarga de rocha em estoque

O volume de rocha em estoque corresponde a 1,50 o volume escavado na pedreira ou na linha de projeto.

O preço inclui recarga, transporte (2 km) do material e o volume é medido no estoque.

R\$ 4,00/ m<sup>3</sup>

d) Aterros

d.1 - Empolamentos

Material	Volume Aterro
Solo	volume da cava
Filtros	0,90 volume no estoque
Transições e Drenos	0,9 volume no estoque
Enrocamento	0,9 volume no estoque
Enrocamento de Pedreira	1,4 vol. "in situ" na pedreira

d.2 - Aterros de ensecadeiras (lançado ou compactado)

*d.2.1 - Material de área de empréstimo*

Inclue escavação, carga, transporte, lançamento e compactação

R\$ 3,50/ m<sup>3</sup>

*d.2.2 - Material vindo de escavação obrigatória*

Inclue espalhamento e compactação somente

R\$ 1,00/ m<sup>3</sup>

d.3 - Solo compactado na barragem

*d.3.1 - Vindo de áreas de empréstimo*

Inclue escavação, e tratamento no empréstimo, transporte (2 km), espalhamento e compactação

R\$ 4,50/ m<sup>3</sup>

*d.3.2 - De escavações obrigatórias*

R\$ 1,50/m<sup>3</sup>

d.4 - Filtro de areia (medido na seção de projeto)

Inclue extração da areia, carga, transporte, lançamento e compactação

R\$ 10,00/ m<sup>3</sup>

d.5 - Transição ou drenos de brita compactada (vol. projeto)

Inclue escavação em pedreira, britagem, lançamento e compactação

R\$ 18,00/ m<sup>3</sup>

d.6 - Enrocamento e Rip-rap (medido no projeto)

*d.6.1 - Extraído direto de pedreira*

Inclue escavação, carga, transporte, lançamento e compactação

R\$ 11,00/ m<sup>3</sup>

*d.6.2 - Extraído do Estoque*

R\$ 5,50/ m<sup>3</sup>

O preço não inclui escavação

*d.6.3 - Extraído direto das escavações obrigatórias*

Inclue somente espalhamento e compactação

R\$ 1,00/ m<sup>3</sup>

e) Concreto

e.1 - Concreto Estrutural

*e.1.1 - Com forma*

Fornecimento, colocação, adensamento e cura do concreto estrutural, com FCK = 20 MPa, 80 kg/ m<sup>3</sup> armadura e 6 m<sup>2</sup> de forma/m<sup>3</sup>.

Concreto - R\$ 180,00/m<sup>3</sup>

Armadura - R\$ 120,00/m<sup>3</sup>

Forma - R\$ 200,00/m<sup>3</sup>

Total - R\$ 500,00/m<sup>3</sup>

*e.1.2 - Sem forma*

R\$ 300,00/m<sup>3</sup>

e.3 - Concreto projetado com 10 cm de espessura

Concreto projetado, armado com tela - Q = 138 presa à rocha por 1 chumbador  
Ø 19 mm/2 m<sup>2</sup>

R\$ 50,00/m<sup>2</sup>

f) Tratamento Subsuperficial em Rocha nas Fundações da Barragem de Terra e do Vertedouro

Preço Global - R\$ 200.000,00

g - Canteiro e Acampamento

Instalação, Manutenção e Desmobilização

6% do valor das Obras

**h - Eventuais**

10% do valor das Obras

**3.3.8.2 - Custos das Alternativas**

Nas tabelas a seguir são apresentados um resumo dos orçamentos elaborados.

GEODINAMICA/COBA		BARRAGEM ARACOIABA					FOLHA:01
CLIENTE:		ALTERNATIVA 1					DATA:10/12/97
SRH		PLANILHA DE QUANTIDADES E PREÇOS					PROJ:M.E.M.Z
ITEM	DESCRIÇÃO	E.T.	UNID.	QUANT.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL	
1	RESERVATÓRIO						
1.1	<i>Desapropriações, relocações de estradas, aquisição de terras, remanejamento de pessoal, obras de proteção ambiental</i>		ha	1.544	400,00	617.600,00	
	TOTAL 1					617.600,00	
2	DESVIO DO RIO						
2.1	Ensecadeiras						
2.1.1	Solo		m <sup>3</sup>	157.000	1,00	157.000,00	
2.1.2	Enrocamento		m <sup>3</sup>	10.000	1,00	10.000,00	
2.2	Remoção de ensecadeiras		m <sup>3</sup>	51.000	3,00	153.000,00	
2.3	Esgotamento		%		3	9.600,00	
	TOTAL 2					329.600,00	
3	BARRAGEM DE TERRA						
3.1	<i>Desmatamento e Limpeza da Área</i>		m <sup>2</sup>	125.000	0,50	62.500,00	
3.2	Escavação						
3.2.1	Comum		m <sup>3</sup>	183.200	2,50	458.000,00	
3.2.2	Em rocha		m <sup>3</sup>	10.000	14,00	140.000,00	
3.3	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	85.000	0,50	42.500,00	
3.4	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	40.000	4,00	160.000,00	
3.5	Aterro Compactado						
3.5.1	Solo compactado		m <sup>3</sup>	1.311.000	4,50	5.899.500,00	
3.5.2	Enrocamento compactado		m <sup>3</sup>	18.200	5,50	100.100,00	
3.5.3	Transição		m <sup>3</sup>	21.400	18,00	385.200,00	
3.5.4	Rip-rap		m <sup>3</sup>	25.700	5,50	141.350,00	
3.5.5	Filtro de areia		m <sup>3</sup>	86.100	10,00	861.000,00	
3.6	<i>Tratamento Subsuperficial</i>		vb	1	200.000,00	200.000,00	
	TOTAL 3					8.450.150,00	
4	VERTEDOURO						
4.1	<i>Desmatamento e Limpeza da Área</i>		m <sup>2</sup>	20.000	0,50	10.000,00	
4.2	Escavação						
4.2.1	Escavação comum		m <sup>3</sup>	36.900	2,50	92.250,00	
4.2.2	Escavação em rocha		m <sup>3</sup>	28.330	14,00	396.620,00	
4.3	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	6.300	0,50	3.150,00	
4.4	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	8.000	4,00	32.000,00	
4.5	Concreto Estrutural						
4.5.1	Com Forma		m <sup>3</sup>	775	500,00	387.500,00	
4.5.2	Sem Forma		m <sup>3</sup>	1.150	300,00	345.000,00	
4.6	Concreto Projetado		m <sup>2</sup>	420	50,00	21.000,00	
	TOTAL 4					1.287.520,00	
5	GALERIA DE DESVIO						
5.1	Escavação						
5.1.1	Escavação comum		m <sup>3</sup>	2.700	2,50	6.750,00	
5.1.2	Escavação em rocha		m <sup>3</sup>	680	14,00	9.520,00	
5.2	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	480	0,50	240,00	
5.3	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	1.100	4,00	4.400,00	
5.4	Concreto Estrutural						
5.4.1	Com Forma		m <sup>3</sup>	1.690	500,00	845.000,00	
5.4.2	Sem Forma		m <sup>3</sup>	410	300,00	123.000,00	
	TOTAL 5					988.910,00	
6	EQUIPAMENTOS ELETRO-MECÂNICOS						
6.1	Equipamentos		vb	1	100.000,00	100.000,00	
	TOTAL 6					100.000,00	
7	CANTEIRO E ACAMPAMENTO						
7.1	<i>Mobilização, manutenção e desmobilização</i>		%		6	706.426,80	
	TOTAL 7					706.426,80	
8	EVENTUAIS						
8.1	Verba		%		10	1.248.020,68	
	TOTAL 8					1.248.020,68	
	<b>TOTAL DO EMPREENDIMENTO (1 a 8)</b>					<b>13.728.227,48</b>	

GEODINÂMICA/COBA		BARRAGEM ARACOIABA				FOLHA:01
CLIENTE:		ALTERNATIVA 2				DATA:10/12/97
SRH		PLANILHA DE QUANTIDADES E PREÇOS				PROJ:MEMZ
ITEM	DESCRIÇÃO	E.T.	UNID.	QUANT.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL
1	RESERVATÓRIO					
1.1	<i>Desapropriações, relocações de estradas, aquisição de terras, remanejamento de pessoal, obras de proteção ambiental</i>		ha	1.544	400,00	617.600,00
	<b>TOTAL 1</b>					617.600,00
2	DESVIO DO RIO					
2.1	<i>Ensecadeiras</i>					
2.1.1	Solo		m <sup>3</sup>	157.000	1,00	157.000,00
2.1.2	Enrocamento		m <sup>3</sup>	10.000	1,00	10.000,00
2.2	<i>Remoção de ensecadeiras</i>		m <sup>3</sup>	51.000	3,00	153.000,00
2.3	<i>Esgotamento</i>		%		3	9.600,00
	<b>TOTAL 2</b>					329.600,00
3	BARRAGEM DE TERRA					
3.1	<i>Desmatamento e Limpeza da Área</i>		m <sup>2</sup>	125.000	0,50	62.500,00
3.2	<i>Escavação</i>					
3.2.1	Comum		m <sup>3</sup>	183.200	2,50	458.000,00
3.2.2	Em rocha		m <sup>3</sup>	10.000	14,00	140.000,00
3.3	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	85.000	0,50	42.500,00
3.4	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	40.000	4,00	160.000,00
3.5	<i>Aterro Compactado</i>					
3.5.1	Solo compactado		m <sup>3</sup>	1.311.000	4,50	5.899.500,00
3.5.2	Enrocamento compactado		m <sup>3</sup>	18.200	11,00	200.200,00
3.5.3	Transição		m <sup>3</sup>	21.400	18,00	385.200,00
3.5.4	Rip-rap		m <sup>3</sup>	25.700	11,00	282.700,00
3.5.5	Filtro de areia		m <sup>3</sup>	86.100	10,00	861.000,00
3.6	<i>Tratamento Subsuperficial</i>		vb	1	200.000,00	200.000,00
	<b>TOTAL 3</b>					8.691.600,00
4	VERTEDOURO					
4.1	<i>Desmatamento e Limpeza da Área</i>		m <sup>2</sup>	9.300	0,50	4.650,00
4.2	<i>Escavação</i>					
4.2.1	Escavação comum		m <sup>3</sup>	20.100	2,50	50.250,00
4.2.2	Escavação em rocha		m <sup>3</sup>	6.300	14,00	88.200,00
4.3	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	2.700	0,50	1.350,00
4.4	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	2.000	4,00	8.000,00
4.5	<i>Concreto Estrutural</i>					
4.5.1	Com Forma		m <sup>3</sup>	1.420	500,00	710.000,00
4.5.2	Sem Forma		m <sup>3</sup>	1.430	300,00	429.000,00
4.6	<i>Concreto Projetado</i>		m <sup>2</sup>		50,00	0,00
	<b>TOTAL 4</b>					1.291.450,00
5	GALERIA DE DESVIO					
5.1	<i>Escavação</i>					
5.1.1	Escavação comum		m <sup>3</sup>	2.700	2,50	6.750,00
5.1.2	Escavação em rocha		m <sup>3</sup>	680	14,00	9.520,00
5.2	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	480	0,50	240,00
5.3	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	1.100	4,00	4.400,00
5.4	<i>Concreto Estrutural</i>					
5.4.1	Com Forma		m <sup>3</sup>	1.690	500,00	845.000,00
5.4.2	Sem Forma		m <sup>3</sup>	410	300,00	123.000,00
	<b>TOTAL 5</b>					988.910,00
6	EQUIPAMENTOS ELETRO-MECÂNICOS					
6.1	<i>Equipamentos</i>		vb	1	100.000,00	100.000,00
	<b>TOTAL 6</b>					100.000,00
7	CANTEIRO E ACAMPAMENTO					
7.1	<i>Mobilização, manutenção e desmobilização</i>		%		6	721.149,60
	<b>TOTAL 7</b>					721.149,60
8	EVENTUAIS					
8.1	<i>Verba</i>		%		10	1.274.030,96
	<b>TOTAL 8</b>					1.274.030,96
	<b>TOTAL DO EMPREENDIMENTO (1 a 8)</b>					<b>14.014.340,56</b>

GEODINAMICA/COBA		BARRAGEM ARACOIABA				FOLHA:01
CLIENTE:		ALTERNATIVA 3				DATA:10/12/97
SRH		PLANILHA DE QUANTIDADES E PREÇOS				PROJ:MEMZ
ITEM	DESCRIÇÃO	E.T.	UNID.	QUANT.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL
1	RESERVATÓRIO					
1.1	<i>Desapropriações, relocações de estradas, aquisição de terras, remanejamento de pessoal, obras de proteção ambiental</i>		ha	1.544	400,00	617.600,00
	<b>TOTAL 1</b>					617.600,00
2	DESVIO DO RIO					
2.1	<i>Ensecadeiras</i>					
2.1.1	Solo		m <sup>3</sup>	157.000	1,00	157.000,00
2.1.2	Enrocamento		m <sup>3</sup>	10.000	1,00	10.000,00
2.2	<i>Remoção de ensecadeiras</i>		m <sup>3</sup>	51.000	3,00	153.000,00
2.3	<i>Esgotamento</i>		%		3	9.600,00
	<b>TOTAL 2</b>					329.600,00
3	BARRAGEM DE TERRA					
3.1	<i>Desmatamento e Limpeza da Área</i>		m <sup>2</sup>	125.000	0,50	62.500,00
3.2	<i>Escavação</i>					
3.2.1	Comum		m <sup>3</sup>	183.200	2,50	458.000,00
3.2.2	Em rocha		m <sup>3</sup>	10.000	14,00	140.000,00
3.3	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	85.000	0,50	42.500,00
3.4	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	40.000	4,00	160.000,00
3.5	<i>Aterro Compactado</i>					
3.5.1	Solo compactado		m <sup>3</sup>	1.311.000	4,50	5.899.500,00
3.5.2	Enrocamento compactado		m <sup>3</sup>	18.200	11,00	200.200,00
3.5.3	Transição		m <sup>2</sup>	21.400	18,00	385.200,00
3.5.4	Rip-rap		m <sup>3</sup>	25.700	11,00	282.700,00
3.5.5	Filtro de areia		m <sup>3</sup>	86.100	10,00	861.000,00
3.6	<i>Tratamento Subsuperficial</i>		vb	1	200.000,00	200.000,00
	<b>TOTAL 3</b>					8.691.600,00
4	VERTEDOURO					
4.1	<i>Desmatamento e Limpeza da Área</i>		m <sup>2</sup>	9.750	0,50	4.875,00
4.2	<i>Escavação</i>					
4.2.1	Escavação comum		m <sup>3</sup>	36.480	2,50	91.200,00
4.2.2	Escavação em rocha		m <sup>3</sup>	4.760	14,00	66.640,00
4.3	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	2.100	0,50	1.050,00
4.4	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	2.590	4,00	10.360,00
4.5	<i>Concreto Estrutural</i>					
4.5.1	Com Forma		m <sup>3</sup>	1.780	500,00	890.000,00
4.5.2	Sem Forma		m <sup>3</sup>	1.920	300,00	576.000,00
4.6	<i>Concreto Projetado</i>		m <sup>2</sup>		50,00	0,00
	<b>TOTAL 4</b>					1.640.125,00
5	GALERIA DE DESVIO					
5.1	<i>Escavação</i>					
5.1.1	Escavação comum		m <sup>3</sup>	2.700	2,50	6.750,00
5.1.2	Escavação em rocha		m <sup>3</sup>	680	14,00	9.520,00
5.2	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	480	0,50	240,00
5.3	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	1.100	4,00	4.400,00
5.4	<i>Concreto Estrutural</i>					
5.4.1	Com Forma		m <sup>3</sup>	1.690	500,00	845.000,00
5.4.2	Sem Forma		m <sup>3</sup>	410	300,00	123.000,00
	<b>TOTAL 5</b>					988.910,00
6	EQUIPAMENTOS ELETRO-MECÂNICOS					
6.1	<i>Equipamentos</i>		vb	1	100.000,00	100.000,00
	<b>TOTAL 6</b>					100.000,00
7	CANTEIRO E ACAMPAMENTO					
7.1	<i>Mobilização, manutenção e desmobilização</i>		%		6	742.070,10
	<b>TOTAL 7</b>					742.070,10
8	EVENTUAIS					
8.1	<i>Verba</i>		%		10	1.310.990,51
	<b>TOTAL 8</b>					1.310.990,51
	<b>TOTAL DO EMPREENDIMENTO (1 a 8)</b>					<b>14.420.895,61</b>

000071

GEODINÂMICA/COBA		BARRAGEM ARACOIABA				FOLHA:01
CLIENTE:		ALTERNATIVA 4				DATA:10/12/97
SRH		PLANILHA DE QUANTIDADES E PREÇOS				PROJ:MEMZ
ITEM	DESCRIÇÃO	E.T.	UNID.	QUANT.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL
1	RESERVATÓRIO					
1.1	<i>Desapropriações, relocações de estradas, aquisição de terras, remanejamento de pessoal, obras de proteção ambiental</i>		ha	1.544	400,00	617.600,00
	TOTAL 1					617.600,00
2	DESVIO DO RIO					
2.1	<i>Ensecadeiras</i>					
2.1.1	<i>Solo</i>		m <sup>3</sup>	157.000	1,00	157.000,00
2.1.2	<i>Enrocamento</i>		m <sup>3</sup>	10.000	1,00	10.000,00
2.2	<i>Remoção de ensecadeiras</i>		m <sup>3</sup>	51.000	3,00	153.000,00
2.3	<i>Esgotamento</i>		%		3	9.600,00
	TOTAL 2					329.600,00
3	BARRAGEM DE TERRA					
3.1	<i>Desmatamento e Limpeza da Área</i>		m <sup>2</sup>	125.000	0,50	62.500,00
3.2	<i>Escavação</i>					
3.2.1	<i>Comum</i>		m <sup>3</sup>	183.200	2,50	458.000,00
3.2.2	<i>Em rocha</i>		m <sup>3</sup>	10.000	14,00	140.000,00
3.3	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	85.000	0,50	42.500,00
3.4	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	40.000	4,00	160.000,00
3.5	<i>Aterro Compactado</i>					
3.5.1	<i>Solo compactado</i>		m <sup>3</sup>	1.311.000	4,50	5.899.500,00
3.5.2	<i>Enrocamento compactado</i>		m <sup>3</sup>	18.200	11,00	200.200,00
3.5.3	<i>Transição</i>		m <sup>3</sup>	21.400	18,00	385.200,00
3.5.4	<i>Rip-rap</i>		m <sup>3</sup>	25.700	11,00	282.700,00
3.5.5	<i>Filtro de areia</i>		m <sup>3</sup>	86.100	10,00	861.000,00
3.6	<i>Tratamento Subsuperficial</i>		m <sup>2</sup>	1	200.000,00	200.000,00
	TOTAL 3					8.691.600,00
4	VERTEDOURO					
4.1	<i>Desmatamento e Limpeza da Área</i>		m <sup>2</sup>		0,50	0,00
4.2	<i>Escavação</i>					
4.2.1	<i>Escavação comum</i>		m <sup>3</sup>		2,50	0,00
4.2.2	<i>Escavação em rocha</i>		m <sup>3</sup>		14,00	0,00
4.3	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>		0,50	0,00
4.4	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>		4,00	0,00
4.5	<i>Concreto Estrutural</i>					
4.5.1	<i>Com Forma</i>		m <sup>3</sup>		500,00	0,00
4.5.2	<i>Sem Forma</i>		m <sup>3</sup>		300,00	0,00
4.6	<i>Concreto Projetado</i>		m <sup>2</sup>		50,00	0,00
	TOTAL 4					0,00
5	TULIPA E GALERIA DE DESVIO					
5.1	<i>Desmatamento e Limpeza da Área</i>		m <sup>2</sup>	2.240	0,50	
5.2	<i>Escavação</i>					
5.2.1	<i>Escavação comum</i>		m <sup>3</sup>	8.700	2,50	21.750,00
5.2.2	<i>Escavação em rocha</i>		m <sup>3</sup>	1.700	14,00	23.800,00
5.3	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	1.000	0,50	500,00
5.4	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	1.950	4,00	7.800,00
5.5	<i>Concreto Estrutural</i>					
5.5.1	<i>Com Forma</i>		m <sup>3</sup>	4.330	500,00	2.165.000,00
5.5.2	<i>Sem Forma</i>		m <sup>3</sup>	200	300,00	60.000,00
	TOTAL 5					2.278.850,00
6	EQUIPAMENTOS ELETRO-MECÂNICOS					
6.1	<i>Equipamentos</i>		vb	1	200.000,00	200.000,00
	TOTAL 6					200.000,00
7	CANTEIRO E ACAMPAMENTO					
7.1	<i>Mobilização, manutenção e desmobilização</i>		%		6	727.059,00
	TOTAL 7					727.059,00
8	EVENTUAIS					
8.1	<i>Verba</i>		%		10	1.284.470,90
	TOTAL 8					1.284.470,90
	<b>TOTAL DO EMPREENDIMENTO (1 a 8)</b>					<b>14.129.179,90</b>



### 3.3.9 - Análise Comparativa

#### 3.3.9.1 - Introdução

Apresentam-se, neste tópico, as principais conclusões do estudo comparativo efetuado e que levaram a escolha da Alternativa 1 (vertedouro da margem direita), como a mais vantajosa.

#### 3.3.9.2 - Análise de Custos

Na tabela 3.3.9.2 mostrada a seguir apresenta-se em resumo dos orçamentos das 4 alternativas analisadas.

**TABELA 3.3.9.2 - RESUMO DOS QUANTITATIVOS E CUSTOS**

ITENS	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
Reservatório	617.600,00	617.600,00	617.600,00	617.600,00
Desvio do Rio	329.600,00	329.600,00	329.600,00	329.600,00
Barragem de Terra	8.450.150,00	8.691.600,00	8.691.600,00	8.691.600,00
Vertedouro	1.287.520,00	1.291.450,00	1.640.125,00	(*)
Galeria de Desvio	988.910,00	988.910,00	988.910,00	2.278.850,00
Equipamentos Eletro-Mecânicos	100.000,00	100.000,00	100.000,00	200.000,00
Canteiro e Acampamento	706.426,80	721.149,60	742.070,10	727.059,00
Eventuais	1.248.020,68	1.274.030,96	1.310.990,51	1.284.470,90
<b>TOTAL</b>	<b>13.728.227,48</b>	<b>14.014.340,56</b>	<b>14.420.895,61</b>	<b>14.129.179,90</b>

(\*) O custo do vertedouro está incluído no orçamento da galeria de desvio.

Sobre estes custos ressaltamos:

- Em termos globais a alternativa (vertedouro na margem direita) é a mais econômica. Em relação, a alternativa 1, as outras apresentam percentualmente os seguintes custos:
  - Alternativa 1 (vertedouro margem direita) - 100%
  - Alternativa 2 (vertedouro labirinto) - 102,08%
  - Alternativa 3 (vertedouro soleira lateral) - 105,05 %
  - Alternativa 4 (vertedouro tulipa) - 102,92
- Em termos globais, a diferença de custos não é significativa, face ao grau de incerteza decorrente do nível de detalhamento do projeto.
- Considerando que os custos comuns às alternativas (barragem + desvio do rio + reservatório + canteiro + eventuais), representam a grande parte do custo global (cerca de 80%), e que qualquer variação destes custos, afetará igualmente todas as alternativas, achamos oportuno fazer uma comparação apenas dos custos dos órgãos hidráulicos, conforme a seguir:

<b>Alternativas</b>	<b>Custos dos órgãos hidráulicos</b>	
1 (vert. margem direita) -	R\$ 2.376.430,00	(100,00%)
2 (vert. labirinto) -	R\$ 2.380.360,00	(100,17%)
3 (vert. lateral) -	R\$ 2.478.850,00	(104,30%)
4 (vert. tulipa) -	R\$ 2.478.850,00	(104,30%)

Vale ressaltar que a Alternativa 1, acarreta uma redução de custo da barragem de R\$ 241.450,00, decorrente da redução do volume a ser escavado em pedra. Reduzindo este valor da Alternativa 1, teríamos:

<b>Alternativa</b>	<b>Custo dos Órgãos Hidráulicos</b>
1	R\$ 2.134.980,00 (100,00%)
2	R\$ 2.380.360,00 (111,48%)
3	R\$ 2.729.035,00 (127,82%)
4	R\$ 2.478.850,00 (116,11%)

### 3.3.9.3 - Aspectos Geológico-Geotécnicos

No que se refere as incertezas de caráter geotécnico que possam ocorrer nas fundações das estruturas hidráulicas, ressaltamos:

- As regiões de implantação dos vertedouros da margem esquerda poderão apresentar condições geológico-geotécnicas diferentes das assumidas, uma vez que a região não possui afloramentos significativos e o perfil geotécnico assumido foi inferido
- Na região de implantação do vertedouro da margem direita, ocorre em vasto afloramento de rocha sã, permitindo antecipar o melhor nível de certeza do conhecimento geológico-geotécnico da região
- Nos locais de implantação da galeria de desvio e/ou do vertedouro tipo tulipa, ocorrem afloramentos de rocha sã, podendo-se assegurar boas condições para implantação das estruturas

### 3.3.9.4 - Facilidades Executivas

Do ponto de vista de facilidades executivas, a localização das estruturas na margem direita (alternativas 1 e 4), é mais vantajosa pela facilidade de acesso e pelo fato da pedra estar localizada nesta margem.

### 3.3.9.5 - Conclusões

A comparação das 3 alternativas que contemplam vertedouros nas ombreiras, não deixa dúvidas que a Alternativa 1 (vertedouro na margem direita) é a mais vantajosa.

A comparação entre a Alternativa 1 e Alternativa 4 (vertedouro em tulipa) indica que a Alternativa 1 é do ponto de vista de custo, ligeiramente mais vantajosa.

Considerando que em termos globais, a diferença de custos destas 2 alternativas não é expressiva e que outros aspectos não analisados poderão pesar a favor da Alternativa 4, decidiu-se:

- detalhar a Alternativa 1 a nível de anteprojecto
- manter a Alternativa 4, como opção alternativa, podendo vir a ser adotada, caso outros fatos não levados em conta nesta análise, venham a ser considerados relevantes.

## **4 - OTIMIZAÇÃO DO ARRANJO FINAL**

### **4.1 - Introdução**

Feita a seleção da alternativa de arranjo mais interessante, sob os aspectos técnico e econômico, o passo seguinte é o de submeter este arranjo a um processo de otimização. Este processo inclui o exame de como diversos fatores, incluindo os custos, são afetados pela variação da altura da barragem, cota da soleira e largura do vertedouro.

No caso particular da barragem de Aracoíaba, a variação da cota do barramento implica na necessidade de se efetuar alterações no arranjo, inclusive com a mudança do posicionamento do vertedouro, conforme será mostrado a seguir. Este fato é decorrente das características topográficas do sítio, que conduzem a escavações exageradas na margem direita, quando a crista da barragem é rebaixada além de certo limite.

No sentido de proceder a uma avaliação técnico-econômica do aproveitamento, procedeu-se à simulação de alguns binômios armazenamento/barramento. Assim, foram considerados reservatórios com nível d'água máximo normal às cotas 95,00, 90,00 e 85,00 m.

A cota 95,00 m foi considerada máxima possível face ao alagamento de áreas urbanas que ocorreria acima dessa elevação.

Para cada um desses níveis de água armazenada foram considerados barramentos em que a crista seria tal que o "freeboard" se manteria constante (5,00 m). Com base nestes pressupostos, calcularam-se vertedouros de soleira tipo "Creager", impondo que o nível máximo de água fosse equivalente, para os mesmos hidrogramas de cheia:

- cheia de projeto -  $T=1.000$  anos e
- cheia excepcional =  $1,6 \times$  cheia de projeto

Naturalmente que esta modelação não é rigorosa já que, com a variação da área do plano de água haverá alteração do "fetch" efetivo e, em consequência, do valor da folga a adotar. Ainda assim, a aproximação obtida é perfeitamente satisfatória para o fim em vista.

Relativamente aos vertedouros para as diversas situações, foi também encarada com rigor suficiente a sua localização, quer sob o ponto de vista do funcionamento hidráulico, quer no que diz respeito às condições geotécnicas para sua fundação quer ainda no que concerne à sua execução e ligação com o barramento.

Assim, e admitindo sempre a crista da soleira coincidente com o nível de pleno armazenamento, foram adotadas as estruturas descarregadoras que constam no quadro seguinte:

<b>N.A. (m)</b>	<b>Desenvolvimento da Crista (m)</b>	<b>Localização</b>
95,00	20,00	Margem direita, com canal em leito rochoso
90,00	60,00	Margem direita, com canal em leito rochoso
85,00	120,00	Margem esquerda, com canal em concreto

GEODINÂMICA/COBA		BARRAGEM ARACOIABA - Estudo de Otimização				FOLHA:01	
CLIENTE:		ALTERNATIVA 1 - NA 95,00				DATA:10/12/97	
SRH		PLANILHA DE QUANTIDADES E PREÇOS				PROJ:MEMZ	
ITEM	DESCRIÇÃO	E.T.	UNID.	QUANT.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL	
1	RESERVATÓRIO						
1.1	Desapropriações, relocações de estradas, aquisição de terras, remanejamento de pessoal, obras de proteção ambiental		ha	1.544	400,00		617.600,00
	<b>TOTAL 1</b>						<b>617.600,00</b>
2	DESVIO DO RIO						
2.1	Ensecadeiras						
2.1.1	Solo		m <sup>3</sup>	157.000	1,00		157.000,00
2.1.2	Enrocamento		m <sup>3</sup>	10.000	1,00		10.000,00
2.2	Remoção de ensecadeiras		m <sup>3</sup>	51.000	3,00		153.000,00
2.3	Esgotamento		%		3		9.600,00
	<b>TOTAL 2</b>						<b>329.600,00</b>
3	BARRAGEM DE TERRA						
3.1	Desmatamento e Limpeza da Área		m <sup>2</sup>	115.000	0,50		57.500,00
3.2	Escavação						
3.2.1	Comum		m <sup>3</sup>	168.600	2,50		421.500,00
3.2.2	Em rocha		m <sup>3</sup>	10.000	14,00		140.000,00
3.3	Tratamento de Fundação em Solo		m <sup>2</sup>	78.200	0,50		39.100,00
3.4	Tratamento de Fundação em Rocha		m <sup>2</sup>	36.800	4,00		147.200,00
3.5	Aterro Compactado						
3.5.1	Solo compactado		m <sup>3</sup>	1.247.200	4,50		5.612.400,00
3.5.2	Enrocamento compactado		m <sup>3</sup>	31.000	5,50		170.500,00
3.5.3	Transição		m <sup>3</sup>	25.400	18,00		457.200,00
3.5.4	Rip-rap		m <sup>3</sup>	25.400	5,50		139.700,00
3.5.5	Filtro de areia		m <sup>3</sup>	81.800	10,00		818.000,00
3.6	Tratamento Subsuperficial		vb	1	200.000,00		200.000,00
	<b>TOTAL 3</b>						<b>8.203.100,00</b>
4	VERTEDOURO						
4.1	Desmatamento e Limpeza da Área		m <sup>2</sup>	20.000	0,50		10.000,00
4.2	Escavação						
4.2.1	Escavação comum		m <sup>3</sup>	36.900	2,50		92.250,00
4.2.2	Escavação em rocha		m <sup>3</sup>	28.330	14,00		396.620,00
4.3	Tratamento de Fundação em Solo		m <sup>2</sup>	6.300	0,50		3.150,00
4.4	Tratamento de Fundação em Rocha		m <sup>2</sup>	8.000	4,00		32.000,00
4.5	Concreto Estrutural						
4.5.1	Com Forma		m <sup>3</sup>	775	500,00		387.500,00
4.5.2	Sem Forma		m <sup>3</sup>	1.150	300,00		345.000,00
4.6	Concreto Projetado		m <sup>2</sup>	420	50,00		21.000,00
	<b>TOTAL 4</b>						<b>1.287.520,00</b>
5	GALERIA DE DESVIO						
5.1	Escavação						
5.1.1	Escavação comum		m <sup>3</sup>	2.700	2,50		6.750,00
5.1.2	Escavação em rocha		m <sup>3</sup>	680	14,00		9.520,00
5.2	Tratamento de Fundação em Solo		m <sup>2</sup>	480	0,50		240,00
5.3	Tratamento de Fundação em Rocha		m <sup>2</sup>	1.100	4,00		4.400,00
5.4	Concreto Estrutural						
5.4.1	Com Forma		m <sup>3</sup>	1.690	500,00		845.000,00
5.4.2	Sem Forma		m <sup>3</sup>	410	300,00		123.000,00
	<b>TOTAL 5</b>						<b>988.910,00</b>
6	EQUIPAMENTOS ELETRO-MECÂNICOS						
6.1	Equipamentos		vb	1	100.000,00		100.000,00
	<b>TOTAL 6</b>						<b>100.000,00</b>
7	CANTEIRO E ACAMPAMENTO						
7.1	Mobilização, manutenção e desmobilização		%		6		691.603,80
	<b>TOTAL 7</b>						<b>691.603,80</b>
8	EVENTUAIS						
8.1	Verba		%		10		1.221.833,38
	<b>TOTAL 8</b>						<b>1.221.833,38</b>
	<b>TOTAL DO EMPREENDIMENTO (1 a 8)</b>						<b>13.440.167,18</b>

GEODINÂMICA/COBA		BARRAGEM ARACOIABA - Estudo de Otimização				FOLHA:01
CLIENTE:		ALTERNATIVA 2 - NA 90,00				DATA:10/12/97
SRH		PLANILHA DE QUANTIDADES E PREÇOS				PROJ:MEMZ
ITEM	DESCRIÇÃO	E.T.	UNID.	QUANT.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL
1	RESERVATÓRIO					
1.1	<i>Desapropriações, relocações de estradas, aquisição de terras, remanejamento de pessoal, obras de proteção ambiental</i>		ha	1.138	400,00	455.200,00
	<b>TOTAL 1</b>					455.200,00
2	DESVIO DO RIO					
2.1	<i>Ensecadeiras</i>					
2.1.1	Solo		m <sup>3</sup>	153.500	1,00	153.500,00
2.1.2	Enrocamento		m <sup>3</sup>	9.500	1,00	9.500,00
2.2	<i>Remoção de ensecadeiras</i>		m <sup>3</sup>	47.400	3,00	142.200,00
2.3	<i>Esgotamento</i>		%		3	9.156,00
	<b>TOTAL 2</b>					314.356,00
3	BARRAGEM DE TERRA					
3.1	<i>Desmatamento e Limpeza da Área</i>		m <sup>2</sup>	82.800	0,50	41.400,00
3.2	<i>Escavação</i>					
3.2.1	Comum		m <sup>3</sup>	121.400	2,50	303.500,00
3.2.2	Em rocha		m <sup>3</sup>	8.000	14,00	112.000,00
3.3	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	56.300	0,50	28.150,00
3.4	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	26.500	4,00	106.000,00
3.5	<i>Aterro Compactado</i>					
3.5.1	Solo compactado		m <sup>3</sup>	400.000	4,50	1.800.000,00
3.5.2	Enrocamento compactado		m <sup>3</sup>	202.500	5,50	1.113.750,00
3.5.3	Transição		m <sup>3</sup>	18.500	18,00	333.000,00
3.5.4	Rip-rap		m <sup>3</sup>	18.500	5,50	101.750,00
3.5.5	Filtro de areia		m <sup>3</sup>	59.400	10,00	594.000,00
3.6	<i>Tratamento Subsuperficial</i>		vb	1	200.000,00	200.000,00
	<b>TOTAL 3</b>					4.733.550,00
4	VERTEDOURO					
4.1	<i>Desmatamento e Limpeza da Área</i>		m <sup>2</sup>	56.700	0,50	28.350,00
4.2	<i>Escavação</i>					
4.2.1	Escavação comum		m <sup>3</sup>	108.700	2,50	271.750,00
4.2.2	Escavação em rocha		m <sup>3</sup>	142.200	14,00	1.990.800,00
4.3	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	11.200	0,50	5.600,00
4.4	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	36.000	4,00	144.000,00
4.5	<i>Concreto Estrutural</i>					
4.5.1	Com Forma		m <sup>3</sup>	1.510	500,00	755.000,00
4.5.2	Sem Forma		m <sup>3</sup>	600	300,00	180.000,00
4.6	<i>Concreto Projetado</i>		m <sup>2</sup>		50,00	0,00
	<b>TOTAL 4</b>					3.375.500,00
5	GALERIA DE DESVIO					
5.1	<i>Escavação</i>					
5.1.1	Escavação comum		m <sup>3</sup>	2.300	2,50	5.750,00
5.1.2	Escavação em rocha		m <sup>3</sup>	600	14,00	8.400,00
5.2	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	400	0,50	200,00
5.3	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	940	4,00	3.760,00
5.4	<i>Concreto Estrutural</i>					
5.4.1	Com Forma		m <sup>3</sup>	1.440	500,00	720.000,00
5.4.2	Sem Forma		m <sup>3</sup>	350	300,00	105.000,00
	<b>TOTAL 5</b>					843.110,00
6	EQUIPAMENTOS ELETRO-MECÂNICOS					
6.1	<i>Equipamentos</i>		vb	1	100.000,00	100.000,00
	<b>TOTAL 6</b>					100.000,00
7	CANTEIRO E ACAMPAMENTO					
7.1	<i>Mobilização, manutenção e desmobilização</i>		%		6	589.302,96
	<b>TOTAL 7</b>					589.302,96
8	EVENTUAIS					
8.1	<i>Verba</i>		%		10	1.041.101,90
	<b>TOTAL 8</b>					1.041.101,90
	<b>TOTAL DO EMPREENDIMENTO (1 a 8)</b>					<b>11.452.120,86</b>

000078

GEODINÂMICA/COBA		BARRAGEM ARACOIABA - Estudo de Otimização				FOLHA:
CLIENTE:		ALTERNATIVA 3 - NA 85,00				DATA:
SRH		PLANILHA DE QUANTIDADES E PREÇOS				PROJ:
ITEM	DESCRIÇÃO	E.T.	UNID.	QUANT.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL
1	RESERVATORIO					
1.1	<i>Desapropriações, relocações de estradas, aquisição de terras, remanejamento de pessoal, obras de proteção ambiental</i>		ha	755	400,00	302.000,00
	<b>TOTAL 1</b>					302.000,00
2	DESVIO DO RIO					
2.1	<i>Ensecadeiras</i>					
2.1.1	<i>Solo</i>		m <sup>3</sup>	146.000	1,00	146.000,00
2.1.2	<i>Enrocamento</i>		m <sup>3</sup>	9.000	1,00	9.000,00
2.2	<i>Remoção de ensecadeiras</i>		m <sup>3</sup>	44.000	3,00	132.000,00
2.3	<i>Esgotamento</i>		%		3	8.610,00
	<b>TOTAL 2</b>					295.610,00
3	BARRAGEM DE TERRA					
3.1	<i>Desmatamento e Limpeza da Área</i>		m <sup>2</sup>	48.300	0,50	24.150,00
3.2	<i>Escavação</i>					
3.2.1	<i>Comum</i>		m <sup>3</sup>	70.800	2,50	177.000,00
3.2.2	<i>Em rocha</i>		m <sup>3</sup>	6.000	14,00	84.000,00
3.3	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	32.800	0,50	16.400,00
3.4	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	15.500	4,00	62.000,00
3.5	<i>Aterro Compactado</i>					
3.5.1	<i>Solo compactado de escavações obrigatórias</i>		m <sup>3</sup>	270.000	1,50	405.000,00
	<i>Solo compactado de AE</i>		m <sup>3</sup>	242.800	4,50	1.092.600,00
3.5.2	<i>Enrocamento compactado</i>		m <sup>3</sup>	12.800	5,50	70.400,00
3.5.3	<i>Transição</i>		m <sup>3</sup>	10.400	18,00	187.200,00
3.5.4	<i>Rip-rap</i>		m <sup>3</sup>	10.400	5,50	57.200,00
3.5.5	<i>Filtro de areia</i>		m <sup>3</sup>	33.700	10,00	337.000,00
3.6	<i>Tratamento Subsuperficial</i>		vb	1	200.000,00	200.000,00
	<b>TOTAL 3</b>					2.712.950,00
4	VERTEDOURO					
4.1	<i>Desmatamento e Limpeza da Área</i>		m <sup>2</sup>	52.000	0,50	26.000,00
4.2	<i>Escavação</i>					
4.2.1	<i>Escavação comum</i>		m <sup>3</sup>	351.000	2,50	877.500,00
4.2.2	<i>Escavação em rocha</i>		m <sup>3</sup>	77.150	14,00	1.080.100,00
4.3	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	13.200	0,50	6.600,00
4.4	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	30.000	4,00	120.000,00
4.5	<i>Concreto Estrutural</i>					
4.5.1	<i>Com Forma</i>		m <sup>3</sup>	3.000	500,00	1.500.000,00
4.5.2	<i>Sem Forma</i>		m <sup>3</sup>	1.200	300,00	360.000,00
4.6	<i>Concreto Projetado</i>		m <sup>2</sup>		50,00	0,00
	<b>TOTAL 4</b>					3.970.200,00
5	GALERIA DE DESVIO					
5.1	<i>Escavação</i>					
5.1.1	<i>Escavação comum</i>		m <sup>3</sup>	2.030	2,50	5.075,00
5.1.2	<i>Escavação em rocha</i>		m <sup>3</sup>	510	14,00	7.140,00
5.2	<i>Tratamento de Fundação em Solo</i>		m <sup>2</sup>	360	0,50	180,00
5.3	<i>Tratamento de Fundação em Rocha</i>		m <sup>2</sup>	830	4,00	3.320,00
5.4	<i>Concreto Estrutural</i>					
5.4.1	<i>Com Forma</i>		m <sup>3</sup>	1.270	500,00	635.000,00
5.4.2	<i>Sem Forma</i>		m <sup>3</sup>	310	300,00	93.000,00
	<b>TOTAL 5</b>					743.715,00
6	EQUIPAMENTOS ELETRO-MECÂNICOS					
6.1	<i>Equipamentos</i>		vb	1	100.000,00	100.000,00
	<b>TOTAL 6</b>					100.000,00
7	CANTEIRO E ACAMPAMENTO					
7.1	<i>Mobilização, manutenção e desmobilização</i>		%		6	487.468,50
	<b>TOTAL 7</b>					487.468,50
8	EVENTUAIS					
8.1	<i>Verba</i>		%		10	861.194,35
	<b>TOTAL 8</b>					861.194,35
	<b>TOTAL DO EMPREENDIMENTO (1 a 8)</b>					<b>9.473.137,85</b>

000079

#### 4.2 - Resultados Obtidos

Como resultado do estudo efetuado, apresenta-se a seguir, o balanço entre os volumes de armazenamento e o custo estimado do empreendimento para as variantes analisadas.

N.A. (m)	85,00	90,00	95,00
Volume Armazenado (hm <sup>3</sup> )	55,84	104,64	174,82
Custo do Aproveitamento (x 10 <sup>6</sup> RS)	9,47	11,45	13,44
Custo do m <sup>3</sup> de Água Armazenado (RS)	0,17	0,11	0,08

Os valores apresentados (que de algum modo refletem as características topográficas do local) permitem concluir que a melhor relação custo- benefício se situa na faixa de N.A. entre 90,00 e 95,00 m.

Considerando as condições topográficas do local do barramento, é admissível inferir que a progressão de custos da barragem entre aquelas cotas de N.A. será menos pronunciada do que o volume armazenado.

Assim, conclui-se que a melhor relação custo-benefício será a de adotar o N.A. na cota 95,00 m, permitindo assim uma reserva estratégica significativa a custos muito reduzidos.

Salienta-se que, no acréscimo resultante da subida do N.A. da cota 90,00 m para a 95,00 m, o custo diferencial do m<sup>3</sup> de armazenamento é, em média de R\$ 0,03 (três centavos).



## 5 - ANTEPROJETO

### 5.1 - Considerações Iniciais

Com a escolha da Alternativa 1 (vertedouro na margem direita) para prosseguimento dos estudos, elaborou-se o anteprojeto desta solução escolhida.

Para o detalhamento a nível de anteprojeto, procedeu-se algumas otimizações no arranjo concebido na fase de estudo de alternativas. As principais modificações introduzidas foram:

- Ajuste na posição do eixo da barragem, na ombreira direita e junto do vertedouro
- Deslocamento da estrutura da galeria de desvio/d Descarregador de fundo da margem esquerda para a direita
- Revisão no sistema de drenagem interna da barragem
- Adequação do esquema de desvio do rio
- Revisão da posição do muro do vertedouro, no trecho em contato com a barragem e dos muros do canal de entrada do vertedouro

Os detalhes do anteprojeto estão visualizados nos seguintes desenhos.

- AR-GR-1006 - Arranjo Geral
- AR-BT-3007 - Seções Transversais da Barragem
- AR-ET-4006 - Estruturas Hidráulicas - Planta e Cortes
- AR-ET-4007 - Anteprojeto - Galeria de Desvio
- AR-GR-1007 - Anteprojeto - Esquema de Desvio e Cronograma Físico

### 5.2 - Descrição do Anteprojeto

#### 5.2.1 - Ajuste na Posição do Eixo

O ajuste em questão permitiu:

- Deslocar ligeiramente para montante o maciço da barragem na ombreira direita (estacas 28 a 38), de forma a adequá-lo com a conformação topográfica obtida nos levantamentos
- Otimizar a ligação entre os muros do vertedouro e a barragem de forma que estes muros ficassem frontais do eixo da barragem

#### 5.2.2 - Deslocamento da Galeria de Desvio

Conforme já ressaltado anteriormente a galeria, poderia ser implantada em qualquer das margens, sem diferenças significativas de custo e de funcionamento hidráulico. A opção pela margem direita se deve:

- A conveniência de se agrupar as estruturas de concreto em uma única margem, face a facilidades executivas. Além disso, a implantação destas estruturas na margem direita oferece outras vantagens construtivas, uma vez que a pedreira se localiza nesta margem e as condições de acesso são mais favoráveis
- A implantação da galeria na margem direita, propicia maior facilidade no esquema de desvio, sendo necessário na fase I de construção, a implantação de uma única ensecadeira, ensecando o recinto na margem direita do rio.

### *5.2.3 - Otimização do Sistema de Drenagem Interna*

O projeto da barragem concebido na fase de estudo de alternativas, previa que em toda a barragem a coleta das águas percoladas pelo maciço e fundação seria feita por um dreno no pé do talude de jusante, interligado ao tapete horizontal.

Visando a redução de custos e maior facilidade de manutenção durante a fase de operação introduziu-se a seguinte otimização:

- No trecho das ombreiras, do barramento principal, entre cotas 70,00 m e 90,00 m aproximadamente, será implantado um dreno cego na extremidade do tapete horizontal, de forma que a água coletada seja conduzida para o sistema de drenagem da barragem no leito do rio.
- A barragem a direita do vertedouro terá também um dreno cego, conduzindo a água para um sistema de drenagem implantado junto ao muro direito do vertedouro
- No trecho da barragem na ombreira esquerda, além da estaca 70, o dreno cego conduzirá a água para a sela topográfica (estaca 80) onde o dreno tem saída para jusante.

### *5.2.4 - Otimização dos Muros do Vertedouro*

Na interligação da barragem com o vertedouro, procedeu-se o redimensionamento dos muros, de forma a permitir o encosto apropriado do maciço da barragem. Além disso os muros laterais do canal de entrada do vertedouro foram alterados visando a redução de custos e melhor funcionamento hidráulico.

## **5.3 - Desvio do Rio e Fases de Construção**

O desenho AR-GR-1007, ilustra o esquema de desvio e as respectivas fases de construção, devidamente ajustadas as otimizações efetuadas na fase de ante-projeto. Nesta condição o esquema de desvio ficou facilitado, uma vez que na etapa 1, os trabalhos no leito do rio ficam concentrados na margem esquerda, deixando o rio no seu leito natural e com possibilidade de ocupar toda margem esquerda do vale.

Para o desvio do rio para a galeria optou-se por redirecionar a ensecadeira de montante, de forma a reduzir o seu volume e ainda facilitar o desvio. Com esta providência, foi criado um espaço entre a barragem e ensecadeira de montante que pode ser aproveitada como área de lançamento de bota-fora e/ou para permitir o controle de infiltrações que possam eventualmente ocorrer nas ensecadeiras.

#### 5.4 - Cronograma de Construção

O desenho AR-GR-1007 já mencionado, mostra um cronograma preliminar das principais atividades descritas nas 2 etapas de construção. Sobre o cronograma comentamos:

- O prazo total de construção de 18 meses considerados no estudo de alternativas foi ampliado para 20 meses, face a condição imposta de que no período chuvoso (fevereiro a maio) os trabalhos de lançamento de solos na barragem ficam paralisadas.
- O cronograma proposto, impõe o início das obras no final do período chuvoso de forma que os trabalhos de lançamento da barragem sejam paralisadas no período chuvoso mais crítico.
- Neste esquema a etapa 2 (rio desviado pela galeria) ocorre no período menos chuvoso, minimizando os riscos de galgamento das enseadeiras

#### 5.5 - Orçamento

Os quantitativos dos principais serviços levantados na fase do estudo de alternativas foram revisados com base nas modificações efetuadas no anteprojeto. A partir dos novos quantitativos e dos mesmos custos unitários utilizados na fase anterior, foi elaborado o orçamento das obras constantes do anteprojeto, cujo resumo é apresentado na tabela a seguir.

GEODINÂMICA/COBA		BARRAGEM ARACOIABA					FOLHA:01
CLIENTE:		ALTERNATIVA DO ANTEPROJETO					DATA:10/12/97
SRH		PLANILHA DE QUANTIDADES E PREÇOS					PROJ:MEMZ
ITEM	DESCRIÇÃO	E.T.	UNID.	QUANT.	PREÇO UNIT.	PREÇO TOTAL	
1	RESERVATÓRIO						
1.1	Desapropriações, relocações de estradas, aquisição de terras, remanejamento de pessoal, obras de proteção ambiental		ha	1.544	400,00	617.600,00	
	<b>TOTAL 1</b>					617.600,00	
2	DESVIO DO RIO						
2.1	Ensecadeiras						
2.1.1	Solo		m <sup>3</sup>	154.400	1,00	154.400,00	
2.1.2	Enrocamento		m <sup>3</sup>	9.000	1,00	9.000,00	
2.2	Remoção de ensecadeiras		m <sup>3</sup>	14.300	3,00	42.900,00	
2.3	Esgotamento		%		3	6.189,00	
	<b>TOTAL 2</b>					212.489,00	
3	BARRAGEM DE TERRA						
3.1	Desmatamento e Limpeza da Área		m <sup>2</sup>	125.000	0,50	62.500,00	
3.2	Escavação						
3.2.1	Comum		m <sup>3</sup>	183.200	2,50	458.000,00	
3.2.2	Em rocha		m <sup>3</sup>	10.000	14,00	140.000,00	
3.3	Tratamento de Fundação em Solo		m <sup>2</sup>	85.000	0,50	42.500,00	
3.4	Tratamento de Fundação em Rocha		m <sup>2</sup>	40.000	4,00	160.000,00	
3.5	Aterro Compactado						
3.5.1	Solo compactado		m <sup>3</sup>	1.277.200	4,50	5.747.400,00	
3.5.2	Enrocamento fino compactado		m <sup>3</sup>	33.500	5,50	184.250,00	
3.5.3	Enrocamento compactado		m <sup>3</sup>	29.900	5,50	164.450,00	
3.5.4	Transição		m <sup>3</sup>	25.500	18,00	459.000,00	
3.5.5	Rip-rap		m <sup>3</sup>	25.700	5,50	141.350,00	
3.5.6	Filtro de areia		m <sup>3</sup>	69.100	10,00	691.000,00	
3.5.7	Filtro de brita		m <sup>3</sup>	10.600	18,00	190.800,00	
3.6	Tratamento Subsuperficial		vb	1	200.000,00	200.000,00	
	<b>TOTAL 3</b>					8.641.250,00	
4	VERTEDOURO						
4.1	Desmatamento e Limpeza da Área		m <sup>2</sup>	20.000	0,50	10.000,00	
4.2	Escavação						
4.2.1	Escavação comum		m <sup>3</sup>	36.900	2,50	92.250,00	
4.2.2	Escavação em rocha		m <sup>3</sup>	28.330	14,00	396.620,00	
4.3	Tratamento de Fundação em Solo		m <sup>2</sup>	6.300	0,50	3.150,00	
4.4	Tratamento de Fundação em Rocha		m <sup>2</sup>	8.000	4,00	32.000,00	
4.5	Concreto Estrutural						
4.5.1	Com Forma		m <sup>3</sup>	700	500,00	350.000,00	
4.5.2	Sem Forma		m <sup>3</sup>	1.100	300,00	330.000,00	
4.6	Concreto Projetado		m <sup>2</sup>	420	50,00	21.000,00	
	<b>TOTAL 4</b>					1.235.020,00	
5	GALERIA DE DESVIO						
5.1	Escavação						
5.1.1	Escavação comum		m <sup>3</sup>	2.700	2,50	6.750,00	
5.1.2	Escavação em rocha		m <sup>3</sup>	680	14,00	9.520,00	
5.2	Tratamento de Fundação em Solo		m <sup>2</sup>	480	0,50	240,00	
5.3	Tratamento de Fundação em Rocha		m <sup>2</sup>	1.100	4,00	4.400,00	
5.4	Concreto Estrutural						
5.4.1	Com Forma		m <sup>3</sup>	1.690	500,00	845.000,00	
5.4.2	Sem Forma		m <sup>3</sup>	410	300,00	123.000,00	
	<b>TOTAL 5</b>					988.910,00	
6	EQUIPAMENTOS ELETRO-MECÂNICOS						
6.1	Equipamentos		vb	1	100.000,00	100.000,00	
	<b>TOTAL 6</b>					100.000,00	
7	CANTEIRO E ACAMPAMENTO						
7.1	Mobilização, manutenção e desmobilização		%		6	707.716,14	
	<b>TOTAL 7</b>					707.716,14	
8	EVENTUAIS						
8.1	Verba		%		10	1.250.298,51	
	<b>TOTAL 8</b>					1.250.298,51	
	<b>TOTAL DO EMPREENDIMENTO (1 a 8)</b>					<b>13.753.283,65</b>	

000084