

GOVERNO DO ESTADO



CEARÁ

AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

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

PROJETO EXECUTIVO BÁSICO DA BARRAGEM AMARELAS

VOLUME I - RELATÓRIO GERAL TOMO I - DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO

GHG

**FORTALEZA
ABRIL DE 2000**



Folha de Dados

IDGED:

0242/03/01/B

LOTE:

2558

AUTOR:

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH; GHG

TÍTULO:

PROJETO BÁSICO DA BARRAGEM AMARELAS

SUBTÍTULO:

VOLUME III – RELATÓRIO GERAL; TOMO I DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO

ABRIL/2000

FOLHA DE DADOS - GED/SRH

TIPO DE DOCUMENTO: Projeto
 Identidade GED: 024210310113
 Lote: 02558
 Nº de Registro: 00/0030
 Autores: SRH / GHG
 Programa: _____
 Título: Projeto Básico da Barragem Amarelo

Sub-Título 1: Relatório geral

Sub-Título 2: Descrição geral do projeto

Nº de Páginas: 54p
 Volume: 3
 Tomo: 1
 Editor: GHG
 Data de Publicação (mês/ano): Abrel / 2000
 Local de Publicação: Santa Luz

Localização da Obra

Tipo de Empreendimento:

<input checked="" type="checkbox"/> Barragem	<input type="checkbox"/> Açude	<input type="checkbox"/> Adutora	<input type="checkbox"/> Canal / Eixo de Transp.	<input type="checkbox"/> Outro
Rio / Riacho Barrado: <u>Rio Piranga</u>	Fonte Hídrica: _____			

Bacia: Bacia Jaguaribe
 Sub-bacia: _____
 Municípios: Belém
 Distrito: Velame
 Microregião: Interior do Ceará
 Estado: Ceará

GOVERNO DO ESTADO



PROJETO BÁSICO DA BARRAGEM AMARELAS

VOLUME III - RELATÓRIO GERAL

TOMO I - DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO

Lote. 02556 - Projeto (X) Scant () Index ()
Projeto Nº 0242/03/01/B
Volume 1
Ord. A4 _____ Ord. A3 _____
Ord. A2 _____ Ord. A1 _____
Ord. A0 _____ Outros _____

0242/03/01/B
ex.1

GHG

FORTALEZA
ABRIL/2000

GOVERNO DO ESTADO



PROJETO BÁSICO DA BARRAGEM AMARELAS

VOLUME III - RELATÓRIO GERAL
TOMO I - DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO



311003

FORTALEZA
ABRIL/2000



72-2/73174/3

005/0000

1

APRESENTAÇÃO

000004



APRESENTAÇÃO

A **GHG – Geologia de Engenharia Ltda**, apresenta, a seguir, o **Projeto Básico da Barragem Amarelas**, no município de **Fortim**, no estado do Ceará, objeto do Contrato nº 040/98, firmado com a **SRH – Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará**.

O presente documento apresenta o Volume III – Relatório Geral do Projeto Básico da Barragem Amarelas para abastecimento da sede do município de Fortim-CE.

O referido Projeto Básico é composto pelos seguintes Volumes:

VOLUME I - Relatório dos Estudos Preliminares

VOLUME II - Relatório dos Estudos Básicos

TOMO I Estudos Topográficos

TOMO II Estudos Geológicos e Geotécnicos

TOMO III Estudos Hidrológicos

VOLUME III - Relatório Geral

TOMO I Descrição Geral do Projeto

TOMO II Memorial de Cálculo

TOMO III Orçamento e Especificações Técnicas

TOMO IV Desenhos

TOMO V Relatório Síntese

O presente relatório refere-se ao **VOLUME III - Relatório Geral - TOMO I – Descrição Geral do Projeto**



ÍNDICE



ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	2
1. FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM AMARELAS.....	7
2. DESCRIÇÃO DAS OBRAS.....	9
2.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	10
2.2. LAY - OUT GERAL	12
3. CLIMATOLOGIA	14
3.1. DADOS GERAIS	15
3.2. TEMPERATURA	16
4. HIDROLOGIA.....	17
4.1. GENERALIDADES	18
4.2. CURVAS COTA-ÁREA E COTA-VOLUME	18
4.3. VAZÕES REGULARIZADAS	21
4.4. CHEIAS DE PROJETO	21
4.4.1. Cheias de Projeto do Sangradouro.	22
5. INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS	23
5.1. GEOLOGIA DO LOCAL DA BARRAGEM	24
5.2. MATERIAIS PARA CONSTRUÇÕES	27
5.3. FUNDAÇÃO DAS ESTRUTURAS.....	29
5.3.1. Barragem e Vertedouro	29
5.3.2. Tomada D'Água	30
6. BARRAGEM DE TERRA HOMOGÊNEA.....	31
6.1. DESCRIÇÃO GERAL DA BARRAGEM	32
6.2. DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA DA BARRAGEM... ..	36
6.2.1. Cota da Crista.....	36
6.2.2. Largura da Crista	36
6.2.3. Fixação dos Taludes	37
6.3. DISPOSITIVOS DE CONTROLE DA PERCOLAÇÃO D'ÁGUA PELO MACIÇO E FUNDAÇÃO DA BARRAGEM	37
6.4. ANÁLISES DE ESTABILIDADE.....	38
6.4.1. Introdução	38
6.4.2. Estabilidade dos Taludes ao Fim do Período Construtivo	38



6.4.3. Estabilidade dos Taludes com o Reservatório em Funcionamento.....	39
7. TOMADA D'ÁGUA	41
8. SANGRADOURO.....	44
8.1. DESCRIÇÃO GERAL	45
9. DIQUE AUXILIAR.....	46
10. RELAÇÃO DO EQUIPAMENTO MÍNIMO	48
11. INSTALAÇÃO MÍNIMA PARA O CANTEIRO DA OBRA	50
12. CRONOGRAMA FÍSICO	52





1. FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM AMARELAS



1. FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM AMARELAS

- Localização

- Município Beberibe-CE
- Nome Barragem Amarelas

- Hidrologia/Hidráulica

- Bacia de drenagem191,5km²
- Precipitação média anual da Bacia.....1011,6 mm
- Bacia Hidráulica.....1150ha
- Volume do Reservatório (à cota 20,10 m)..... 48,291 hm³
- Vazão regularizada (garantia de 90%)..... 0,292 m³/s
- Vazão afluente máxima de projeto (TR=1.000anos).... .. 583,6m³/s
- Vazão máxima de projeto amortecida (TR=1.000 anos)220,60m³/s
- Nível d'água máximo maximorum (TR = 1.000 anos)21,270m
- Nível d'água máximo normal.....20,10m

- Barragem

- TipoTerra Homogênea
- Altura máxima20,70 m
- Extensão pelo coroamento.....1152,00 m
- Cota do coroamento.....22,50 m
- Volume total do maciço..... m³

- Sangradouro

- Tipo Perfil "Creager"– soleira delgada
- Largura80,00m
- Cota da Soleira20,10 m

- Tomada D'Água

- Tipo..Galeria, com controle a jusante
- Diâmetro.....500 mm
- Comprimento Total.....70,00 m



2. DESCRIÇÃO DAS OBRAS



2. DESCRIÇÃO DAS OBRAS

2.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

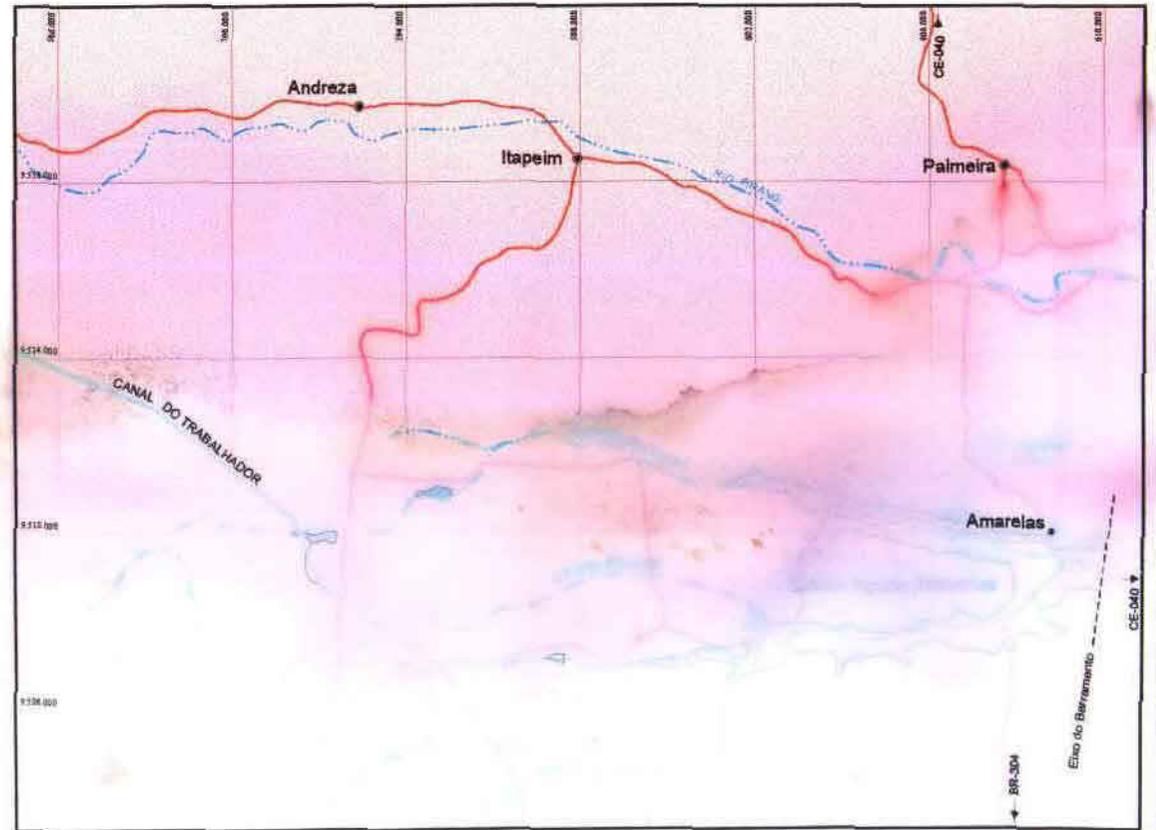
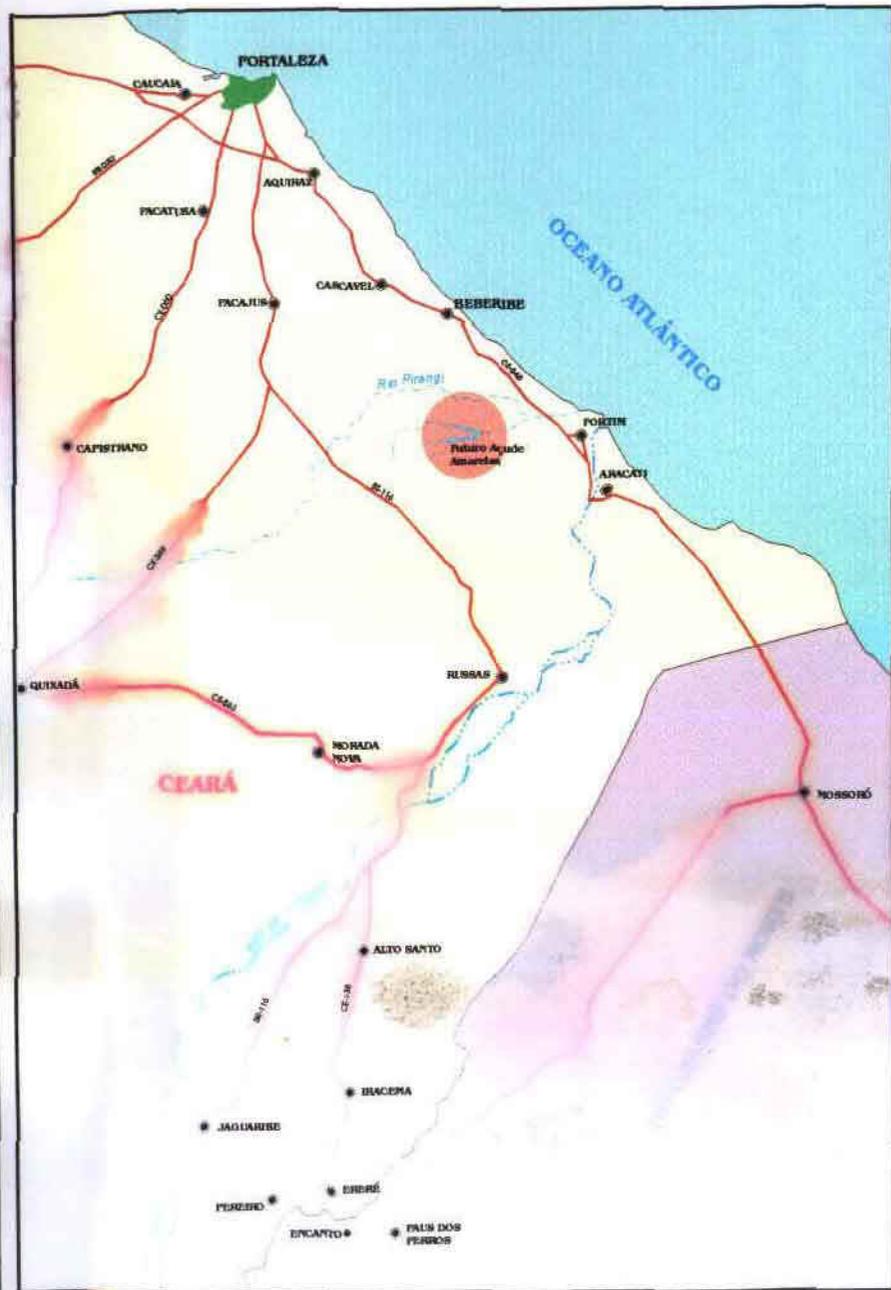
O boqueirão do futuro barramento está **localizado** na confluência do Córrego Camará com o Córrego Ezequiel, na localidade de Velame, no município de Beberibe – CE.

Distante 25 km da sede do município de Fortim e 120 km da cidade de Fortaleza, o acesso, partindo desta, se dá através da CE-040 até a localidade de Quatro Bocas (100 km) e desta, por estrada carroçável (20 km) até a localidade de Velame.

Outro acesso, partindo de Fortaleza, pode ser feito pela BR-116 até o Boqueirão do Cesário (117 km); prossegue-se por mais 21 km da BR-304 até a localidade de Forquilha, acessando a seguir estrada carroçável por mais 17 km até a localidade de Velame.

O Mapa de Localização e Acesso é mostrado na Figura 2.1 a seguir:





LEGENDA

	Estrada		Capital
	Açude e Lagoa		Cidade
	Rio/Riacho/Córrego		Povoado



000013

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH			
BARRAGEM AMARELAS			
PROJETO	MAPA DE LOCALIZAÇÃO E ACESSOS		ESCALA
DATA	12/05/2000		1:50.000
EMPRESA	GEOLÓGIA DE ENGENHARIA LTDA.		2.1



2.2. LAY - OUT GERAL

De acordo com os resultados de avaliações técnico-econômicos de alternativas de barragens desenvolvidas, o arranjo geral das obras do Projeto da Barragem Amarelas apresenta-se de forma resumida a seguir:

O fechamento do vale do riacho será feito por meio de uma barragem de terra homogênea construída com material de jazidas. O coroamento tem desenvolvimento retilíneo, iniciando na estaca 10+10m e fechando na estaca 72+2m, com o vertedouro situado próximo à calha do rio, entre as estacas 29 e 33. Assim, temos um desenvolvimento pela crista de 1152 metros, e uma largura de vertedouro de 80 metros.

A Tomada D'Água será constituída por uma galeria em concreto, implantada na margem direita, na altura da estaca 58, com uma tubulação de diâmetro de 500mm embutido na galeria. O acionamento da Tomada D'Água será feito a jusante através de registros de gaveta e uma válvula borboleta de guarda.

O Vertedouro em soleira delgada em Perfil "Creager", no trecho central, teve localização otimizada devido às condições mais favoráveis da fundação.

A figura 2.2 apresenta o Arranjo Geral das Obras.

000014



LEGENDA	REVISÕES			
	Nº	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

PROJETO BÁSICO DA BARRAGEM AMARELAS

Projeto: Voto: Parâmetros: Aprove:	ARRANJO GERAL DAS OBRAS
Arranjo: Arranjo_Geral-A3.dwg Data de Emissão: ABRIL/00 Escala: 1/4.000 (Rev. 1)	
FIGURA 2 2	

ONE - Geologia de Engenharia - 100.



3. CLIMATOLOGIA

000016



3. CLIMATOLOGIA

3.1. DADOS GERAIS

A bacia do Riacho Amarelas drena uma área de 191,5 km² no local a ser barrado.

A Climatologia da região da bacia do riacho Amarelas baseia-se na estação hidroclimatológica de Aracati, próxima ao litoral, que serviu para estimativa dos parâmetros referentes ao escoamento superficial.

Sinopse Climatológica:

- Pluviometria Média Anual (sobre a bacia)..... 1011,6 mm
- Evaporação Média Anual..... 2091,0mm
- Insolação Média Anual3031,0 h
- Umidade Relativa Média Anual 66,4%
- Temperatura Média Anual: Média das Máximas..... 28,70C
- Temperatura Média Anual: Média das Médias 26,00C
- Temperatura Média Anual: Média das Mínimas..... 21,50C
- Classificação Climática DdA´a´

PLUVIOMETRIA

Para a caracterização do escoamento afluente à barragem, base para os estudos de regularização, foram realizados os estudos de vazões mensais, via modelo hidrológico chuva-deflúvio, visto tratar-se de bacia sem dados fluviométricos observados.

A precipitação média anual no local da barragem Amarelas é da ordem de 1011,6mm .O trimestre mais úmido é fevereiro, março e abril, e o mais seco corresponde a agosto, setembro e outubro.

000017



3.2. TEMPERATURA

As temperaturas na bacia do Amarelas são bastante uniformes durante o ano apresentando média mínima de 21,5^o C no mês de julho e máxima de 28,7^o C no mês de dezembro.



4. HIDROLOGIA

000019



4. HIDROLOGIA

4.1. GENERALIDADES

Os estudos de fluviometria e demais aspectos hidrológicos do riacho Amarelas foram elaborados a partir dos dados disponíveis das estações Aracati.

Os dados disponíveis de interesse foram submetidos a análises criteriosas, tais como determinação das relações cota-descarga e consistência de valores de descargas, níveis d'água, com a finalidade de obter-se vazões médias e vazões de chuva. Em função destes resultados foram desenvolvidos estudos para fins de determinação dos valores de vazões regularizadas e vazões de projeto .

Tais estudos foram apresentados com detalhes no relatório dos Estudos Hidrológicos cujos resultados são descritos de forma sucinta a seguir:

4.2. CURVAS COTA-ÁREA E COTA-VOLUME

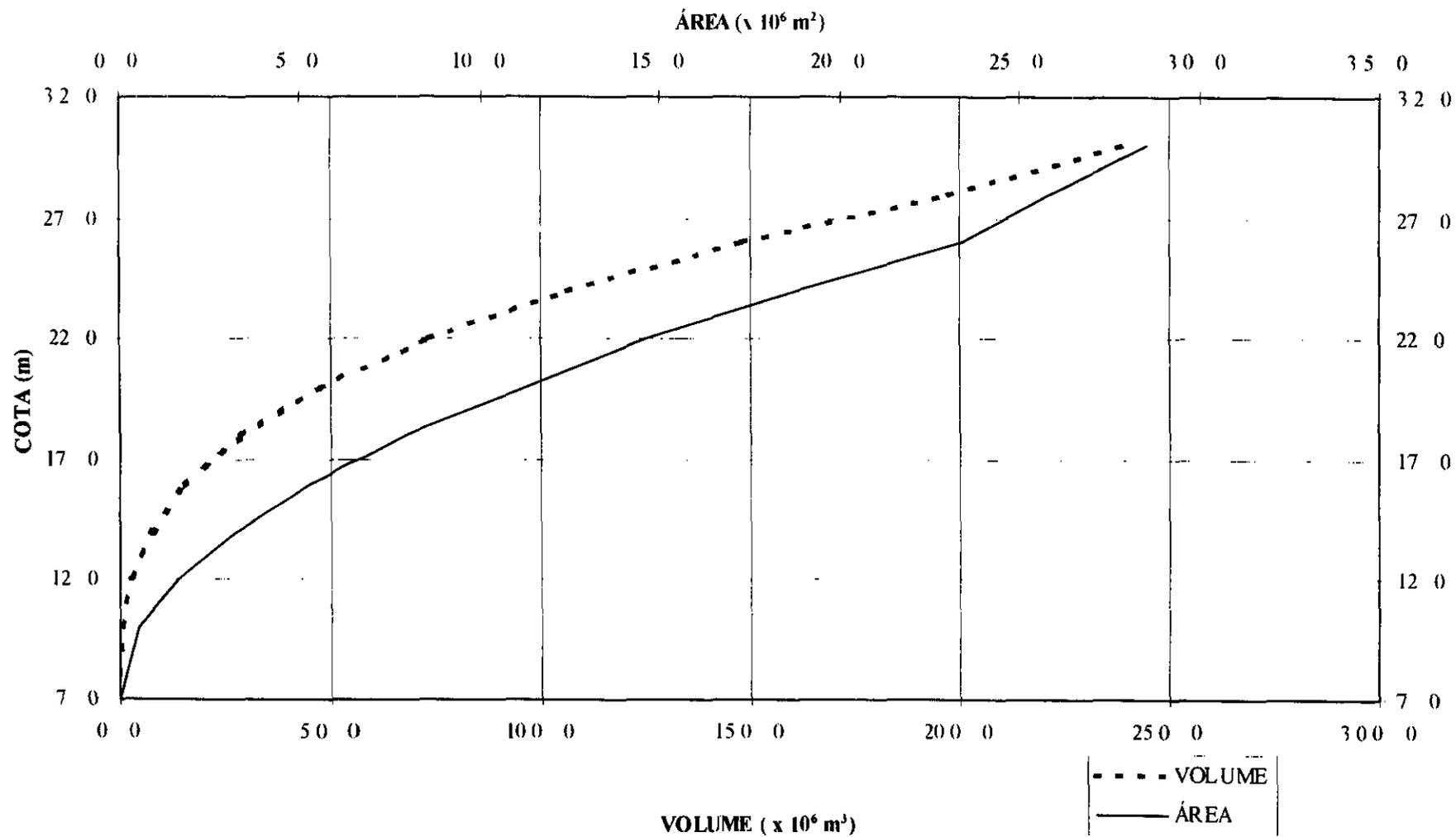
As curvas cota-área e cota-volume para o reservatório da barragem Amarelas foram obtidas da topografia da bacia hidráulica.

As áreas foram calculadas por planimetragem das curvas de nível a cada 2,0 metros.

A partir destas áreas foram calculados os volumes do reservatório.

No final deste item é apresentada uma tabela com as áreas e volumes do reservatório para curvas de nível compreendidas entre as cotas 7,00 a 30,00.

000020



Curva cota x área x volume da barragem Amarelas

000021

Tabela Cota x Área x Volume

Cota(m)	Area(m2)	Volume(m3)
7	0	0.
10	490 718	490 718.
20	11 231 022	47 388 549.
30	28 586 786	239 841 624

Tabela Cota x Área x Volume (estimada)

Cota (m)	Area (m2)	Volume (m3)
7.0	0	0
10.0	490718	490718
12.0	1617686	2490301
14.0	3170665	7192376
16.0	5241304	15518068
18.0	7829602	28502696
20.0	11231000	47388549
22.0	14559176	73179608
24.0	18700453	106352962
26.0	23359390	148326528
28.0	25785000	197450952
30.0	28587000	239841624

00022



4.3. VAZÕES REGULARIZADAS

Com base na série reconstituída estabeleceu-se o balanço hídrico do reservatório da barragem Amarelas, simulando-se mensalmente a operação do reservatório, considerando as perdas por evaporação e precipitação diretamente sobre o espelho d'água, para a descarga regularizada em estudo.

A simulação considerou o nível d'água mínimo operacional à cota 7,50m. Ao atingir este nível automaticamente a descarga regularizada passa a ser nula.

Analisando os resultados obtidos com a simulação da operação do reservatório Amarelas, concluiu-se pela da cota 20,10, para o Nível D'Água Máximo Normal, que corresponde ao custo mínimo do metro cúbico regularizado.

4.4. CHEIAS DE PROJETO

A metodologia utilizada nos estudos de previsão de chuvas foi o modelo HEC-1. Devido à escassez de registros históricos de vazões, é mais usual a determinação do hidrograma de projeto com base na precipitação.

A metodologia escolhida para os estudos de previsão de chuvas foram os métodos de transformação chuva-deflúvio, tendo em vista a escassez de dados da bacia a ser estudada os métodos estatísticos de obtenção de vazões máximas que se utilizam séries históricas de vazões observadas, procedimento comum para bacias naturais, não podem ser aplicados.

Diante da metodologia aplicada foi possível descrever várias hipóteses de cálculo da cheia de projeto, tais como: a escolha da chuva de projeto, o hidrograma utilizado, a definição da precipitação efetiva, o hidrograma da cheia na bacia e, por fim, o seu amortecimento no sangradouro.

Simulou-se as hidrógrafas de cheias pela aplicação das chuvas de projeto aos hidrogramas unitários.

000023



As hidrógrafas de cheias com tempo de recorrência de 1.000 e 10.000 anos são apresentadas no Relatório dos Estudos Básicos, Tomo II - Volume III - Estudos Hidrológicos.

4.4.1. Cheias de Projeto do Sangradouro

O sangradouro foi dimensionado com base nos estudos hidrológicos, visando a definição de sua largura, seu tipo e a cota de coroamento da barragem associada à alternativa adotada.

O estudo de amortecimento de cheias no reservatório foi feito para várias alternativas de soleira e extensão da crista.

Para dimensionamento hidráulico do vertedouro, adotou-se a vazão correspondente a 1.000 anos, uma largura de 80,00m e a cota da soleira no nível 20,10m.



5. INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

000025

5. INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

Apresentam-se a seguir um resumo dos principais resultados obtidos das investigações geológico-geotécnicas de fundação realizadas na área de implantação da barragem e estruturas auxiliares, dos estudos geológicos efetuados na área do futuro reservatório da barragem Amarelas e das pesquisas de material para a execução do maciço e obras complementares.

Estas informações serviram de base para a elaboração do projeto executivo das obras.

5.1 GEOLOGIA DO LOCAL DA BARRAGEM

O sítio barrável da barragem Amarelas se encontra totalmente inserido na superfície do Grupo Barreiras (TQb) e nas manchas aluvionares (Qa) que se alongam na calha do rio (VIDE Mapa Geológico Local – Desenho 5.1).

A monotonia da Formação Barreiras dispensa um mapeamento clássico e detalhado da área. Mesmo assim desenvolveu-se caminhamentos na intenção de se identificar os contatos entre as diferentes unidades que constituem a área.

Percorrem-se inicialmente todo o eixo topográfico e em seguida mapeou-se ao longo das seções que cortam o eixo ortogonalmente. O resultado desses caminhamentos é mostrado no mapeamento que é descrito a seguir.

Partindo da ombreira esquerda (estaca 0) caminha-se sobre solo residual do Grupo Barreiras, até a estaca 30 + 10,00 m, onde se define o contato com o primeiro terraço aluvionar que se estende por 130 metros na cota média 3,02 metros, até a estaca 37, onde faz contato com o segundo terraço aluvial. Este patamar é o mais baixo e se desenvolve até a estaca 44, com uma extensão de 140 metros, a nível, na cota média de 1,88 m. Neste ponto volta-se a percorrer o segundo terraço, já na ombreira direita, até a estaca 49, uma extensão de 100 metros, na cota média 3,07 metros. Daí pra frente volta a aparecer o solo residual, com exceção da zona da



estaca 52, onde a superfície exibe um arenito frável, fino a médio, com coloração cinza esbranquiçado. Convém observar que, em superfície, o solo do segundo terraço se apresenta mais argiloso, enquanto que o terraço mais alto mostra um solo com características mais arenosas.

O arenito consolidado foi mapeado também a 400 metros a montante do barramento, onde aflora em extensão considerável, podendo ser indicado para o fornecimento de material pétreo para a construção da obra.

Pode-se notar, ainda, afloramentos esparsos por toda a área de rocha pegmatítica, em forma de veios, assumindo as mais diferentes direções. Esta rocha também pode ser usada como pedreira, nas obras da barragem.

Em resumo, o sítio barrável está assentado em terreno sedimentar e, por isso, apresenta uma geologia bem simples, que pode ser sintetizada da seguinte maneira:

- As terras mais altas se constituem de solo residual do Grupo Barreiras (TQb);
- As terras mais baixas formam dois patamares de solos aluvionais (Qa), um mais argiloso, na cota média 1,88 metros e outro mais arenoso na cota média 3,05 metros;
- Existem afloramentos rochosos concentrados, de arenito a 400 metros a montante do eixo barrável, bem como na estaca 52 do eixo topográfico;
- Ocorrem afloramentos esparsos por toda a área, de veios pegmatíticos;
- As unidades sedimentares têm idade terció-quaternária a quaternária, enquanto que os pegmatitos constituem a suíte magmática, de idade pré-cambriana;

100027



A geologia estrutural da área em estudo é de pouco significado, podendo-se mencionar as fracas evidências de estratificações e marcas de ondas, além de fragmentos de quartzo

5.2. MATERIAIS PARA CONSTRUÇÕES

O material argiloso a ser utilizado na construção do corpo da barragem será proveniente de duas jazidas que se encontram a montante do eixo, na área da bacia hidráulica, a uma distância média de 2400 m para a jazida JT.01 e 2700 m para a jazida JT. 02, em relação ao eixo, com um volume total disponível da ordem de 685.000 m³. Estas jazidas foram reconhecidas e estudadas na fase de pesquisa de materiais de construção.

De acordo com os resultados dos ensaios de laboratório nas jazida 01 e 02, predomina material do tipo SM-SC, com tendência para SC na jazida 01 e para SM na jazida 02.

Os valores obtidos dos ensaios rotineiros foram submetidos a tratamento estatístico, sendo definidas as faixas representativas do material, de acordo com a média e o desvio padrão.

Para definição dos parâmetros de interesse ao projeto, foram executados ensaios de laboratório cujos resultados apresenta-se a seguir :

- Classificação de acordo com o Sistema Unificado..... SM-SC
- Permeabilidade média3,6x10-6 cm/s
- Umidade ótima de compactação - Proctor Normal14,6%
- Massa específica aparente máxima1,86 g/cm3
- Coesão(cisalhamento direto)..... 0,05 kg/cm2
- Ângulo de atrito interno (cisalhamento direto)30°

000029



A areia será explorada a partir de uma jazida existente a m do eixo barrável. Foram coletadas amostras e submetidas a ensaios de granulometria e permeabilidade.

De acordo com os resultados dos ensaios de laboratório apresentam as seguintes características :

- Classificação de acordo com o Sistema Unificado.....SP
- Permeabilidade média $5,6 \times 10^{-2}$ cm/s
- Volume disponível 45.000 m³

Com base nas envoltórias das curvas granulométricas do areal, foram feitas verificações dos critérios de filtro e transições, para estas areias e para os solos das jazidas. Os resultados obtidos foram satisfatórios, conforme demonstrado na Memória de Cálculos.

No que diz respeito à utilização nos concretos, as amostras ensaiadas atendem integralmente aos limites recomendados pela A.B.N.T.(Associação Brasileira de Normas Técnicas) e da A.S.T.M.(American Society of Testing Materials) , especialmente no que se refere às porcentagens retidas nas peneiras N^{os} 4, 10 e 16, correspondentes respectivamente às aberturas da malha 4,8mm, 2mm e 1,2mm. Os percentuais de material pulverulento em todas as amostras está muito aquém do máximo permissível pelas normas.

Existe uma jazida de pedra a 400m a montante das obras com volume total disponível de 135.000 m³. A rocha a ser utilizada nos enrocamentos (rip-rap e rock-fill) será proveniente desta pedreira. Os resultados obtidos com ensaios tipo Los Angeles em amostras de rocha da pedreira, permitem concluir que o material apresenta características adequadas de resistência e durabilidade, não havendo restrições quanto ao seu uso nos enrocamentos e como agregados nos concretos.

000030



5.3. FUNDAÇÃO DAS ESTRUTURAS

As condições geológico-geotécnicas de fundação das estruturas, conforme apresentado no desenho do Perfil Geotécnico, são resumidamente discriminadas a seguir:

5.3.1. Barragem e Vertedouro

As ombreiras apresentam inclinação suave, sendo cobertas por argilas e areias de plasticidade variada, sobre solos de alteração de rocha com espessura média total de 8,0m, com ausência de afloramentos ou de matações. Este material caracteriza-se como um solo de alteração de origem gnáissica, constituído de areia argilosa e siltosa, de granulometria variada, com pedregulhos de quartzo, feldspato e mica que apresenta índices de compactação alta a partir de dois metros de profundidade, conforme resultado dos ensaios de penetração realizados pelas sondagens que têm profundidade entre 8 e 14m.

Os ensaios de infiltração revelaram valores do coeficiente de perda d'água específica variado longo dos furos realizados, sendo que na maioria dos trechos ensaiados os valores apresenta-se baixos.

O leito do riacho em toda a sua calha a rocha é coberta por depósitos aluvionares de espessura variável, que atinge profundidade média de 2,5metros.

Dadas as condições geológicas e geotécnicas da fundação da barragem neste trecho central, destacando-se os valores relativamente baixos do coeficiente permeabilidade e as características da barragem projetada, projetou-se aí o vertedouro, uma vez que se localizado nas ombreiras, exigiria o revestimento e ancoragem de todo o canal de restituição, resultando numa alternativa mais onerosa que a adotada.

5.3.2. Tomada D'Água

A Tomada D'Água localiza-se na margem direita do riacho, em trecho de talude relativamente suave. A área é constituída superficialmente por argila arenosa, rija, com cascalhos que por sua vez está sobrejacente ao gnaíse.

A localização da estrutura da tomada d'água foi definida em função da posição do topo rochoso e da topografia, que apresenta vantagens em relação às escavações a serem realizadas nos canais de emboque e desemboque.



6. BARRAGEM DE TERRA HOMOGÊNEA

000033

6. BARRAGEM DE TERRA HOMOGÊNEA

6.1. DESCRIÇÃO GERAL DA BARRAGEM

A barragem projetada com eixo retilíneo em planta, face as condições topográficas do vale é do tipo homogênea. O maciço terá 20,70m de altura máxima, 1152 metros de extensão pela crista, e capacidade total de $48,291 \times 10^6$ metros cúbicos.

A barragem tem seu coroamento à cota 22,50m, com 6,00m de largura de crista e taludes de montante inclinações de 1V: 2H e 1V: 2,5H e, a jusante com inclinações de 1V: 2H. O material de construção será proveniente das jazidas, respeitando-se os critérios de uniformidade e aceitação impostos nas especificações técnicas.

O sistema de drenagem interna da barragem é constituído por um filtro vertical, tapete drenante e enrocamento de pé. Os cálculos efetuados para dimensionamento desse sistema se encontram no volume relativo à Memória de Cálculos do Projeto. O filtro vertical tem espessura de 1,00m, com topo na cota 20,10m, sendo constituído de areia com granulometria apropriada.

O tapete drenante tem com 1,00m de espessura e tem como função coletar eventuais descargas remanescentes do cut-off e da rocha de fundação, bem como elemento de transferência das descargas do maciço, captadas pelo filtro vertical até o enrocamento de pé (rock-fill).

O enrocamento de pé é constituído por blocos de pedra jogada, com topo fixado em 3,0m acima da face superior do tapete, uma vez que sua função se resume em coletar vazões do sistema de drenagem, sem qualquer função de abaixamento da superfície freática. Esta estrutura de descarga de todo o sistema de drenagem interna do maciço bem como eventuais descargas pela fundação(sob o maciço) é projetada até o nível 14,00, que foi tomada em função da descarga através do maciço. Em cotas superiores, a drenagem interna é feita somente pelo filtro vertical, uma vez que o gradiente preferencial de percolação nas ombreiras, se dará no



sentido do trecho central do vale, quando comparado com o sentido de montante para jusante do maciço.

A figura 6.1 ilustra a Seção-Tipo projetado.



000035



Quanto ao material drenante, este deverá ser suficientemente fino para que seja evitado o carreamento de partículas sólidas do maciço através dele e, ter ainda granulometria grossa para que as forças de percolação que se desenvolvem no seu interior sejam pequenas.

Deverão ser obedecidos os seguintes critérios na determinação da sua granulometria:

1º) $D_{15}(\text{filtro})/D_{15}(\text{maciço}) > 5 > D_{15}(\text{filtro})/D_{85}(\text{maciço})$

2º) A curva granulométrica do material do filtro deverá ser aproximadamente paralela a do material do maciço.

Para combater os efeitos erosivos das ondas sobre o talude de montante, foi prevista uma camada de proteção em material pétreo com características suficientes para execução do "rip rap".

No talude de jusante, foi projetada uma proteção vegetal feito com a plantação de grama ou outra planta rasteira. Na junção entre o maciço compactado e o terreno natural foi projetada uma canaleta de drenagem construída de blocos de pedra de mão rejuntados com argamassa, nos trechos superiores ao enrocamento de pé, para evitar erosões causadas pelas águas pluviais.

Sobre o coroamento, foi prevista uma camada de 0,20m de brita de tamanho variado, com a finalidade de evitar erosões provocadas por águas de chuva, sendo construído meio-fio em toda extensão do coroamento, tanto no lado de montante, como no lado de jusante, com saídas laterais e inclinação para o talude de montante.

É recomendável que as camadas do aterro situadas em zonas mais elevadas, principalmente nas proximidades das ombreiras sejam executadas com graus de compactação menores e umidades acima e em torno da ótima. As camadas inferiores do aterro terão maior resistência ao cisalhamento e a profundidades



maiores o peso do solo sobrejacente será suficiente para se ter tensões de compressão.

Nas fundações previu-se tratamento superficial em toda área de implantação da barragem, consistindo este na remoção de todo o solo de recobrimento. Na área de apoio cut-off da barragem, o tratamento se torna mais intenso, devendo as escavações atingirem o solo de alteração de rocha, prevendo-se ainda regularização, para a obtenção de superfícies planas e contínuas.

6.2. DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA DA BARRAGEM

6.2.1. Cota da Crista

A cota da crista da barragem foi fixada em 22,50m, com base na definição de soleira determinada nos Estudos Hidrológicos apresentados e nas estimativas de revanche efetuadas. O nível d'água máximo maximorum no reservatório para um tempo de recorrência de mil anos, se situa na cota 121,50m. A folga ("freeboard") necessária, obtida utilizando-se um "fetch" medido de 1,4 km, foi de 0,91m. Para definição da crista verificou-se a cota do NA máximo maximorum do reservatório para as cheias milenar e decamilenar. Na primeira verificação, adotando-se a folga calculada em função do "fetch" que resultou num nível máximo na cota 112,40. Na segunda verificação, somou-se a lâmina à folga mínima de 0,5m, que resultaria do nível 122,49m. A cota do coroamento foi arredondada para 122,50m.

6.2.2. Largura da Crista

A largura da crista da barragem é geralmente fixada com base nas dimensões de obras semelhantes e/ou para finalidades específicas que imponham uma determinada largura, além de aspectos construtivos.

No trabalho "Barragens em Terre Compactée - Practiques Americaines" - G. Post e P. Londe apresentam a fórmula de E.F. Preece, para fixar a largura b em função da altura H da barragem:



$$b = 1,1\sqrt{H} + 1$$

H = altura máxima

obteve-se então $b = 5,44\text{m}$

Considerando as características específicas da barragem do Amarelas e a experiência acumulada de obras de porte semelhante, adotou-se a largura de 6,00 metros.

6.2.3. Fixação dos Taludes

Na fixação dos taludes da barragem de Amarelas procurou-se, mantida a segurança necessária a uma obra desse porte, reduzir tanto quanto possível o volume do maciço compactado.

Os taludes foram inicialmente adotados com base nos parâmetros definidos através dos ensaios de laboratório que indicam a disponibilidade de um material alta resistência ao cisalhamento, uma vez que predominam areias siltsas, com coesão e ângulo de atrito interno da ordem $0,2 \text{ kg/cm}^2$ e 27° , respectivamente.

Os taludes adotados tiveram sua estabilidade verificada para as condições críticas de carregamento.

6.3. DISPOSITIVOS DE CONTROLE DA PERCOLAÇÃO D'ÁGUA PELO MACIÇO E FUNDAÇÃO DA BARRAGEM

Como dispositivo de proteção contra o carreamento do material fino do maciço argiloso, pelas águas em percolação, foi previsto um filtro vertical, que completa a função de coletar eventuais fluxos pela fundação, após o cut-off, com um tapete drenante que deságua num enrocamento de pé.

No entanto, com base nas condições geológico-geotécnicas da rocha de fundação e face as características da barragem projetada, o cut-off será suficiente como

000039



controle da percolação pela fundação. No trecho crítico, entre as estacas 10 e 18, a estanqueidade é complementada com o aumento da profundidade do cut-off.

Com o preenchimento de material impermeável na trincheira, comparado com o material da fundação, ocorrerá a redução da percolação sob o maciço e das pressões no pé de jusante, que são diretamente proporcionais à profundidade da trincheira.

Esta trincheira deverá ser preenchida com o material mais impermeável dentre os disponíveis para a obra, ou seja o CL da J-01.

6.4. ANÁLISES DE ESTABILIDADE

6.4.1. Introdução

As análises de estabilidade foram feitas para a seção de máxima altura da barragem, para as condições críticas correspondentes ao final da construção e com o reservatório em funcionamento.

O cálculo da estabilidade da Barragem Amarelas foi executado através do programa IPT-ESTAB1/PC, usando os métodos de Bishop Simplificado, com parâmetros de entrada obtidos através de ensaios de cisalhamento direto. Este programa calcula o coeficiente de segurança para a superfície crítica de ruptura pesquisada automaticamente. Os dados de entrada são a geometria completa da seção num sistema de coordenadas, os valores de coesão e ângulo de atrito de cada material, o peso específico dos materiais e valores de R_u por material.

6.4.2. Estabilidade dos Taludes ao Fim do Período Construtivo

Para o talude de montante e jusante, foram feitas análises de estabilidade pelo método de Bishop Simplificado, por computador, admitindo-se superfícies de ruptura cilíndricas.



Os parâmetros de resistência ao cisalhamento para o material do maciço da barragem foram determinados com base nos resultados de ensaios de cisalhamento direto lento. Admitiu-se portanto, que haverá dissipação das pressões neutras durante a construção do maciço da barragem.

Os parâmetros de resistência para os materiais de enrocamento, filtros e transições foram estimados com base nos valores obtidos em barragens semelhantes.

Os coeficientes de segurança obtidos nessas análises encontram-se na Memória de Cálculos da barragem, enquanto que nos desenhos a essa anexo, estão indicados os coeficientes de segurança mínimos obtidos para cada centro de círculo de ruptura passando pelo maciço.

6.4.3. Estabilidade dos Taludes com o Reservatório em Funcionamento

Talude de Montante

A condição mais crítica a que poderia ser submetido o talude de montante corresponderia a um rebaixamento rápido do reservatório. Como esta seja uma hipótese tem probabilidade de ocorrência quase nula no caso do reservatório do Amarelas, a análise foi procedida pelo método de Bishop Simplificado, por computador, admitindo-se ainda que as pressões neutras no maciço se desenvolvessem de acordo com o recomendado por A.W. Bishop no artigo "The Use Of Pore Pressure Coefficients in Practice", partindo-se da rede de fluxo para regime permanente.

Os coeficientes de segurança obtidos nessas análises encontram-se na Memória de Cálculos da barragem, enquanto que nos desenhos a essa anexo, estão indicados os coeficientes de segurança mínimos obtidos para cada centro de círculo de ruptura passando pelo maciço.

000041



Tendo em vista as hipóteses extremamente conservadoras admitidas na análise não é de se temer qualquer problema com a estabilidade do talude de montante durante a operação do reservatório.

900042



7. TOMADA D'ÁGUA

101043



7. TOMADA D'ÁGUA

7.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA OBRA

Serão descritas a seguir as principais características da obra de tomada d'água da barragem Amarelas:

A tomada d'água ficará embutida no maciço da barragem, firmemente apoiada sobre solo de alteração de rocha como fundação, e se localiza da ombreira esquerda, em torno da cota 110,00m.

A orientação do fluxo em direção ao emboque da tomada d'água será feita através de um canal de acesso, implantado na cota 109,25m, encaixando-se na estrutura por meio de uma caixa de entrada provida de uma grade de proteção contra entrada de material graúdo que desce das margens.

A estrutura de captação em concreto armado sera do tipo convencional "galeria", com dispositivos de controle de saída.

A galeria terá um diâmetro de 500mm, com cerca de 55 m de comprimento. O acionamento da tomada d'água será feito a jusante, através de registro gaveta com comando de pedestal de manobra.

O eixo da tomada d'água será perpendicular ao da barragem.

7.2 NÍVEIS OPERACIONAIS NO RESERVATÓRIO

O nível mínimo operacional no futuro reservatório foi determinado a partir da cota 110,00m anteriormente citada, acrescida das perdas de carga devidas à veiculação da vazão de projeto através das obras da tomada d'água.

Com base nos cálculos hidráulicos efetuados adotou-se um total de perdas de carga de 0,697m

000044



Por conseguinte o nível mínimo operacional no reservatório resulta igual a $110,00 + 0,697 = 110,697\text{m}$.

Quanto ao nível máximo, que foi definido com base nos resultados dos estudos hidrológicos, adotou-se o nível $120,00\text{ m}$.

No gerenciamento e operação do reservatório necessário se fará a utilização da curva de descarga da galeria apresentada na Memória de Cálculos.

000045



8. SANGRADOURO

000046

8. SANGRADOURO

8.1. DESCRIÇÃO GERAL

Descrevem-se a seguir as características gerais do sangradouro da barragem Amarelas.

A solução adotada caracteriza-se pela simplicidade do arranjo, decorrente das favoráveis condições geológicas do local de implantação das obras, em que a soleira espessa do sangradouro apresenta uma inflexão em relação ao eixo da barragem de $54,59^\circ$, entre as estacas 29 e a estaca 33 do eixo implantado por ocasião dos estudos topográficos, na ombreira esquerda, estando inteiramente assente sobre rocha.

Esse arranjo proporciona total segurança de funcionamento e, ao mesmo tempo, permitirá utilizar todo o material escavado para implantação do sangradouro, no corpo da barragem, caso suas características atendam às exigências das especificações técnicas. Com isso, obter-se-á uma economia substancial nos investimentos, devido inclusive, à pequena distância de transporte dos materiais.

A estrutura terá uma largura de 80,00m, num desenvolvimento de 269,00m, tendo sido calculado para dar vazão a uma descarga de $245,77\text{m}^3/\text{s}$ que corresponde a uma vazão de tempo de recorrência igual a 1.000 anos.



9. DIQUE AUXILIAR

000048



9. DIQUE AUXILIAR

O dique auxiliar foi projetada com uma inflexão em planta, face as condições topográficas do vale e é do tipo homogênea. O maciço terá 2,05m de altura máxima, 435 metros de extensão. Tal como a barragem, tem seu coroamento à cota 122,50m, com 6,00m de largura de crista e taludes de montante e jusante com inclinações de 1V: 2H. O material de construção será proveniente da jazida, respeitando-se os critérios de uniformidade e aceitação impostos nas especificações técnicas.

990049

10. RELAÇÃO DO EQUIPAMENTO MÍNIMO

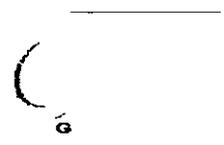
000050



10. RELAÇÃO DO EQUIPAMENTO MÍNIMO

1. Trator de esteiras com potência igual ou superior a 270 HP	02
2. Trator de esteiras com potência igual ou superior a 140 HP	02
3. Trator de pneus com potência igual ou superior 100 HP	03
4. Carregadeira frontal com potência igual ou superior a 170 HP.....	04
5. Motoniveladora com potência igual ou superior a 125 HP.....	03
6. Caminhão basculante com capac. igual ou superior a 6m3	10
7. Betoneiras com capacidade mínima de 320 l	03
8. Caminhão pipa com capacidade igual ou superior a 6000 l com irrigadeira.....	04
9. Rolo compactador autopropelido vibratório pé-de-carneiro de 10 ton ou similar	03
10. Rolo liso autopropelido vibratório de 10 ton ou similar	01
11 Retro-escavadeira com capacidade igual ou superior a 0,6m3	02
12 Conjunto de britagem com capacidade igual ou superior a 20m3/h	01
13 Compressor de ar com capacidade igual ou superior a 700pcm (pés cúbicos por minuto)	02
14. Compressor de ar portátil c/ capacidade superior a 250pcm.....	01
15. Carreta de perfuração com capacidade igual ou superior a 500pcm (pés cúbicos por minuto)	02
16. Grade de disco com capacidade de 20 discos de 24"	02
17. Sapo mecânico.....	02
18. Marteletores de 24kg.....	04

000051



11. INSTALAÇÃO MÍNIMA PARA O CANTEIRO DA OBRA

000052

11. INSTALAÇÃO MÍNIMA PARA O CANTEIRO DA OBRA

- 01 – Escritório da Administração
- 02 – Laboratório de solo e concreto
- 03 – Depósito de cimento
- 04 – Central de britagem
- 05 – Posto de abastecimento de combustível
- 06 – Oficina Mecânica
- 07 – Almoxarifado
- 08 – Carpintaria
- 09 – Ferraria
- 10 – Armação e moldagem
- 11 – Alojamento para pessoal de apoio
- 12 – Eletrificação
- 13 – Escritório de Supervisão



12. CRONOGRAMA FÍSICO

000054

12. CRONOGRAMA FÍSICO

Previu-se de acordo com as dimensões das obras da Barragem Amarelas e com as características climáticas da região, um prazo de 6 meses para a conclusão das obras, em que deverá ser observada a seqüência de execução dos serviços a fim de se obter um máximo aproveitamento do tempo e uma eficiência completa no andamento das obras.

O cronograma de construção, em que são citados os serviços das obras com seus prazos mínimos de execução bem como o período do ano apropriado para desenvolvimento das atividades, é mostrado a seguir.

Considerou-se na concepção do cronograma de construção que as obras de terraplenagem têm seu andamento prejudicado no período chuvoso do ano, devendo portanto ser executadas no período de estiagem, ao passo que os trabalhos de concretagem poderão ser desenvolvidos em qualquer período do ano.