

MÓDULO III PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM GAMELEIRA

VOLUME III – DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO

TOMO 1 – Memorial Descritivo do Projeto

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
00	Abr/02	Emissão Inicial	WBSR	WBSR/JRPB	NKT	NKT
01	Abr/02	Alterações Segundo as considerações da 37ª Reunião do PISB	WBSR	WBSR/JRPB	NKT	NKT
02	Jul/02	Alterações Segundo as considerações da 39ª Reunião do PISB	WBSR	WBSR/JRPB	NKT	NKT
03	Set/02	Alterações Segundo as considerações da 40ª Reunião do PISB	WBSR	WBSR/JRPB	NKT	NKT
04	Nov/02	Alterações Segundo as considerações da 41ª Reunião do PISB	WBSR	WBSR/JRPB	NKT	NKT
05	Dez/02	Alterações Segundo as considerações da 42ª Reunião do PISB	WBSR	WBSR/JRPB	NKT	NKT
06	Abr/03	Projeto Final com as considerações da 43ª Reunião do PISB	WBSR	WBSR/JRPB	NKT	NKT
07	Jun/03	Projeto Final com as considerações da 44ª Reunião do PISB	WBSR	WBSR/JRPB	NKT	NKT
08	Jul/03	Projeto Final com as considerações da 45ª Reunião do PISB	WBSR	WBSR/JRPB	NKT	NKT

ÍNDICE

ÍNDICE

<u>APRESENTAÇÃO</u>	5
<u>1 - INTRODUÇÃO</u>	8
<u>1.1 - FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM GAMELEIRA</u>	9
<u>1.2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO</u>	13
<u>1.3 - LISTA DE DESENHOS</u>	15
<u>2 - SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS</u>	17
<u>2.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS</u>	18
<u>2.1.1 - Trabalhos Cartográficos</u>	18
<u>2.1.2 - Transportes de Coordenadas</u>	20
<u>2.1.3 - Transportes de Cotas</u>	21
<u>2.1.4 - Levantamento do Eixo Barrável e do Primeiro Local do Sangradouro</u>	21
<u>2.1.5 - Levantamento da Bacia Hidráulica</u>	22
<u>2.1.6 - Levantamento dos Empréstimos</u>	28
<u>2.1.7 - Síntese do Levantamento Topográfico</u>	29
<u>2.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS</u>	29
<u>2.2.1 - Investigação Geológica</u>	30
<u>2.2.2 - Investigação Geotécnica</u>	33
<u>2.2.3 - Estudos das Ocorrências de Materiais</u>	36
<u>2.3 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS</u>	42
<u>2.3.1 - Caracterização da Bacia Hidrográfica</u>	42
<u>2.3.2 - Estudos Hidroclimatológicos</u>	46
<u>2.3.3 - Estudos Pluviométricos</u>	46
<u>2.3.4 - Chuvas Intensas</u>	47
<u>2.4 - ESTUDO DE CHEIAS</u>	48
<u>2.4.1 - Precipitação Efetiva Para Aplicação do HEC-1</u>	49
<u>2.4.2 - Hidrograma Unitário - SCS</u>	49
<u>2.5 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO</u>	50
<u>2.6 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO</u>	51
<u>2.6.1 - Análise econômica</u>	51

<u>2.6.2 - Escolha da capacidade do reservatório - Análise hidrológico-econômica</u>	52
<u>2.6.3 - Dimensionamento do Sangradouro</u>	53
<u>2.6.4 - Estudos Adicionais</u>	67
<u>3 - DESCRIÇÃO DO PROJETO</u>	69
<u>3.1 - ESTUDOS DE ALTERNATIVAS DE LOCALIZAÇÃO DO EIXO</u>	70
<u>3.1.1 - Considerações Finais</u>	73
<u>3.2 - ESTUDOS DE ALTERNATIVAS DE MACIÇO</u>	73
<u>3.2.1 - Critérios e Justificativa de Escolha da Alternativa de Maciço Escolhida</u>	77
<u>3.3 - CONCEPÇÃO DA BARRAGEM</u>	80
<u>3.3.1 - Caracterização da Fundação</u>	80
<u>3.3.2 - Rebaixamento do Lençol Freático</u>	83
<u>3.3.3 - Geometria da Trincheira de Fundação</u>	83
<u>3.3.4 - Cortina de Injeção</u>	84
<u>3.3.5 - Local de Bota-Fora</u>	85
<u>3.3.6 - Maciço da Barragem</u>	85
<u>3.3.7 - Análise de Estabilidade</u>	90
<u>3.3.8 - Estudo de Percolação da Barragem</u>	95
<u>3.3.9 - Análise dos Recalques</u>	96
<u>3.3.10 - Sangradouro</u>	98
<u>3.3.11 - Tomada D'Água</u>	133
<u>3.3.12 - Apresentação do Projeto</u>	133
<u>4 - CANTEIRO DE OBRAS</u>	134
<u>5 - CRONOGRAMA FÍSICO</u>	136
<u>6 - EQUIPAMENTO MÍNIMO</u>	140

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

Os serviços executados pelo Consórcio JP ENGENHARIA – AGUASOLOS – ESC/TE, no âmbito do Contrato nº 005/PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH/2001, assinado em 22/03/2001 com a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), tem como objeto a Elaboração dos Estudos de Viabilidades Técnicas, Ambientais e Econômicas, EIA's-RIMA's, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais e Planos de Reassentamentos de Populações, Manuais de Operação e Manutenção e Avaliação Financeira e Econômica, referentes às Barragens GAMELEIRA, TRAIRI, JENIPAPEIRO, MARANGUAPE I e MARANGUAPE II e Adutoras de ITAPIPOCA, TRAIRI, IPAUMIRIM/BAIXIO/UMARI e MARANGUAPE/SAPUPARA/URUCARÁ/LADEIRA GRANDE, no Estado do Ceará.

Os estudos desenvolvidos, em atendimento aos Termos de Referência, são constituídos por atividades multidisciplinares que permitem a elaboração de relatórios específicos organizados em Módulos, Volumes e Tomos. As partes e tomos que compõem o acervo do contrato são os apresentados na seqüência:

Módulo I – Estudos de Alternativas de Localização das Barragens e Adutoras

VOLUME I – Estudo de Alternativas e Opções para a Localização dos Eixos Barráveis e Adutoras

Módulo II – Estudos dos Impactos Ambientais

VOLUME I – Estudos dos Impactos Ambientais - EIA

VOLUME II – Relatório dos Estudos dos Impactos Ambientais - RIMA

Módulo III – Projeto Executivo das Barragens

VOLUME I – Estudos Básicos

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Estudos Hidrológicos

Tomo 3 – Estudos Cartográficos

Tomo 4 – Estudos Topográficos

Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

VOLUME II – Anteprojeto

Tomo 1 – Relatório de Concepção Geral

Tomo 2 – Plantas

VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo

Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Especificações Técnicas

Tomo 4 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 5 – Síntese

Tomo 6 – Plantas

Módulo IV – Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento

VOLUME I – Levantamento Cadastral

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Laudos Individuais de Avaliação

VOLUME II – Plano de Reassentamento

Tomo 1 – Diagnóstico Socioeconômico

Tomo 2 – Detalhamento do Plano de Reassentamento

Módulo V – Projeto Executivo das Adutoras

VOLUME I – Estudos Básicos - Levantamentos Topográficos e Investigações Geotécnicas

VOLUME II – Anteprojeto

VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo

Tomo 1 – Memorial Descritivo

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 4 – Especificações Técnicas e Normas de Medições

Tomo 5 – Plantas

Módulo VI – Elaboração dos Manuais de Operação e Manutenção

VOLUME 1 – Manuais de Operação e Manutenção

Módulo VII – Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

VOLUME 1 – Relatório de Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

O presente relatório é nomeado como *Volume III – Detalhamento do Projeto Executivo, Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto*, e é parte integrante do Módulo III.

1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

Atendendo ao disposto nos Termos do Contrato Nº 005-PROGERIRH/PILOTO/CE/SRH/2001 e seus correspondentes anexos, compostos do Edital de Concorrência SDP Nº 05/00-PROGERIR/SRH/CE e a Proposta Técnica e de Preços, referente ao Projeto Executivo da Barragem Gameleira, no Estado do Ceará, estamos apresentando o presente relatório, descrevendo as etapas que foram empreendidas no “Módulo III” do mencionado contrato, inerentes ao Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem Gameleira.

O objetivo deste trabalho é descrever e apresentar o detalhamento da concepção do projeto executivo da Barragem Gameleira. Assim sendo, o relatório é abordado nos seguintes tópicos, a saber:

1. Introdução

- Ficha Técnica
- Localização e Acesso
- Lista de Desenhos

2. Síntese dos Estudos Básicos

- Estudos Topográficos
- Estudos Geotécnicos
- Estudos Hidrológicos.

3. Descrição do Projeto

1.1 - FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM GAMELEIRA

– Identificação

Denominação:Barragem Gameleira
 Estado:..... Ceará
 Município: Itapipoca
 Sistema: Litorâneo
 Rio Barrado:.....Rio Mundaú
 Coordenadas UTM (Marco-M02 = est.8+16,00 do eixo da barragem):.....
 E(X)=445.289,57
 N(Y)=9.627.341,74
 Proprietário:Estado do Ceará/SRH
 Autor do Projeto: Consórcio JP-ENG/AGUASOLOS/ESC-TE
 Data do Projeto: Junho/2003

– **Bacia Hidrográfica**

Área:	519,77 km ²
Precipitação média anual:.....	1.150,50 mm
Evaporação média anual:	1.914,70 mm

– **Características do Reservatório**

Área da bacia Hidráulica (cota 37,00m):.....	1.147,80 ha
Volume acumulado (cota 37,00 m):	52,642 hm ³
Volume afluente média anual:	89,93 hm ³
Volume morto do reservatório (cota 29,00m):.....	4,30 hm ³
Vazão regularizada: (90%):	0,649 m ³ /s
Vazão afluente max. de projeto (TR=1.000anos)	893,00 m ³ /s
Vazão max. de projeto amortecida (TR=1.000anos)	405,0 m ³ /s
Vazão afluente max. de verificação (TR=10.000anos)	1.186,00 m ³ /s
Vazão max. de verificação amortecida (TR=10.000anos)	469,00 m ³ /s
Nível d'água máximo normal:	37,00 m
Nível d' água max. maximorum (TR=1.000anos):.....	38,80 m
Nível d' água max. maximorum (TR=10.000anos):.....	38,98 m

– **Barragem**

Tipo:.....	Homogênea de Terra
Altura máxima:.....	19,50 m
Largura do coroamento:.....	6,00 m
Extensão pelo coroamento:	1.939,14 m
Cota do coroamento:	El. 41,00 m
Cota da soleira:	37,00 m
Volume de escavação (Fundação):	69.332,93 m ³
Volume do maciço:	254.866,53 m ³
Volume do maciço (cut-off):	13.978,83 m ³
Volume do Enrocamento (Rip-Rap e Rock-Fill):	47.909,00 m ³
Volume de transições:	14.530,00 m ³
Volume de Areia (Filtro e Transições):.....	18.330,00 m ³
Largura máxima da base:	98,50 m
Talude de Montante:	1,0 v: 2,5 h
Talude de Jusante:	1,0 v: 2,0h

– **Tomada de água**

Tipo: Galeria com controle a jusante em tubo de aço ASTM A-36
 Localização: ombreira esquerda estaca 13+11,75
 Número de condutos:.....1 (um)
 Diâmetro: 700,00 mm
 Comprimento do conduto:..... 131,54 m
 Cota da geratriz inferior a montante:..... El. 25,15 m
 Cota de geratriz inferior a jusante: El. 25,15 m
 Volume de escavação:.....2.700,00 m³
 Volume de concreto armado:..... 120,00 m³
 Volume do concreto de regularização:.....28,00 m³
 Comprimento total (incluindo entrada e saída): 84,45 m

– **Vertedouro**

Tipo: Canal Escavado com Perfil Creager e Bacia de Dissipação
 Localização: ombreira esquerda estaca 16+0,00
 Largura: 80,00 m
 Cota da soleira: 37,00 m
 Material:concreto massa
 Altura do muro creager: 15,00 m
 Vazão máxima de projeto amortecida (Tr=1.000 anos): 405,00 m³/s
 Lâmina máxima Prevista (T.R=1000anos): 1,80 m
 Lâmina máxima Prevista (T.R=10.000anos): 2,00 m
 Borda livre: 2,20 m
 Volume de concreto massa 11.350,00 m³
 Extensão total do canal (Restituição + Aproximação): 250,00 m

Canal de Restituição

Tipo: Canal escavado em solo
 Largura: 80,00 m
 Extensão: 210,00 m
 Volume de escavação comum: 68.972,43 m³

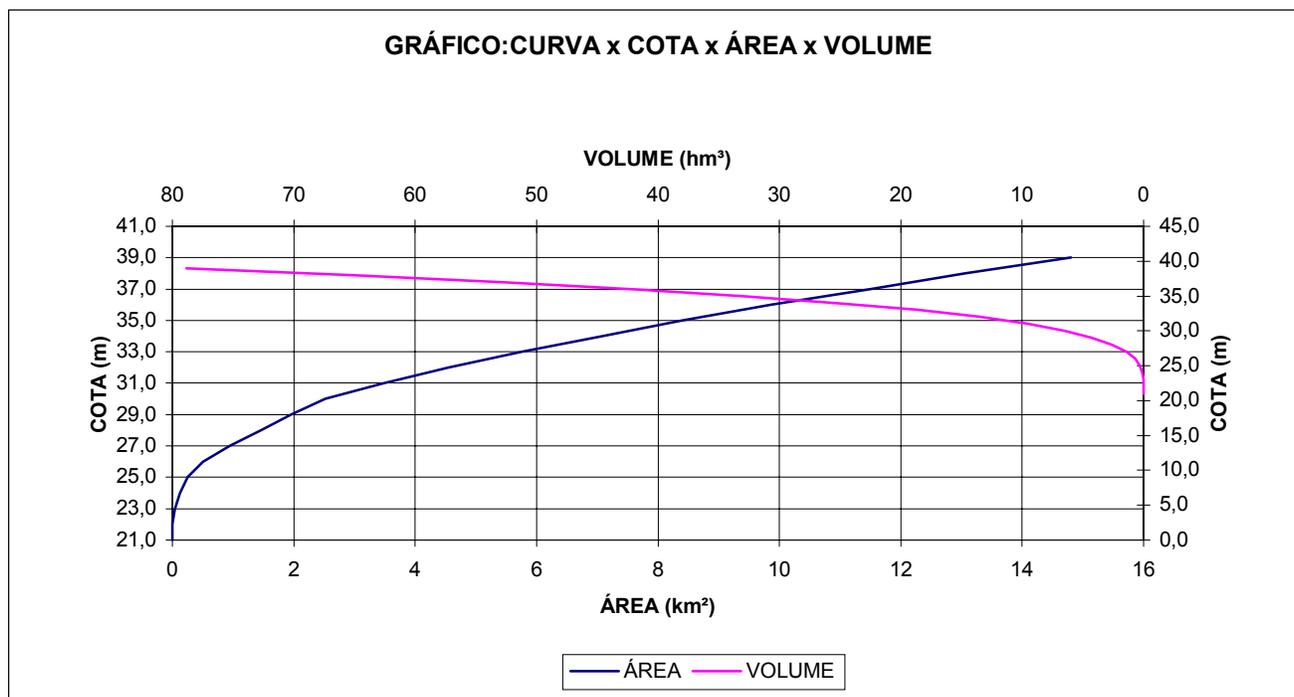
Canal de Aproximação

Tipo: Canal escavado em solo
 Largura: 80,00 m

Extensão: 40,00 m
 Volume de escavação comum: 13.137,61 m³
 Muros de Contenção Lateral
 Material: Concreto massa
 Altura máxima: 19,00 m
 Extensão: 70,74 m
 Comp. na margem direita: 70,74 m
 Comp. na margem esquerda: 70,74 m
 Volume de concreto massa 11.350,00 m³
 Bacia de Dissipação
 Extensão: 20,00 m
 Largura: 80,00 m
 Material: Concreto massa
 Volume de concreto massa: 1.668,80 m³

A curva Cota x Área x Volume é mostrada no Gráfico 1.1, enquanto no Quadro nº1.1 é apresentado à tabulação dos dados da curva.

Gráfico 1.1



CURVA COTA X ÁREA X VOLUME

Quadro nº 1.1

COTA	AREA (m ²)	VOLUME (m ³)	VOLUME ACUMULADO (m ³)
21,0	0	0	0
22,0	3.474,00	1.737,00	1.737,00
23,0	40.215,00	21.844,50	23.581,50
24,0	130.827,00	85.521,00	109.102,50
25,0	255.669,00	193.248,00	302.350,50
26,0	507.616,00	381.642,50	683.993,00
27,0	941.207,00	724.411,50	1.408.404,50
28,0	1.465.962,00	1.203.584,50	2.611.989,00
29,0	1.950.203,00	1.708.082,50	4.320.071,50
30,0	2.521.580,00	2.235.891,50	6.555.963,00
31,0	3.460.176,00	2.990.878,00	9.546.841,00
32,0	4.540.899,00	4.000.537,50	13.547.378,50
33,0	5.764.842,00	5.152.870,50	18.700.249,00
34,0	7.060.694,00	6.412.768,00	25.113.017,00
35,0	8.389.205,00	7.724.949,50	32.837.966,50
36,0	9.870.450,00	9.129.827,50	41.967.794,00
37,0	11.478.747,00	10.674.598,50	52.642.392,50
38,0	13.055.234,00	12.266.990,50	64.909.383,00
39,0	14.808.892,00	13.932.063,00	78.841.446,00

1.2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

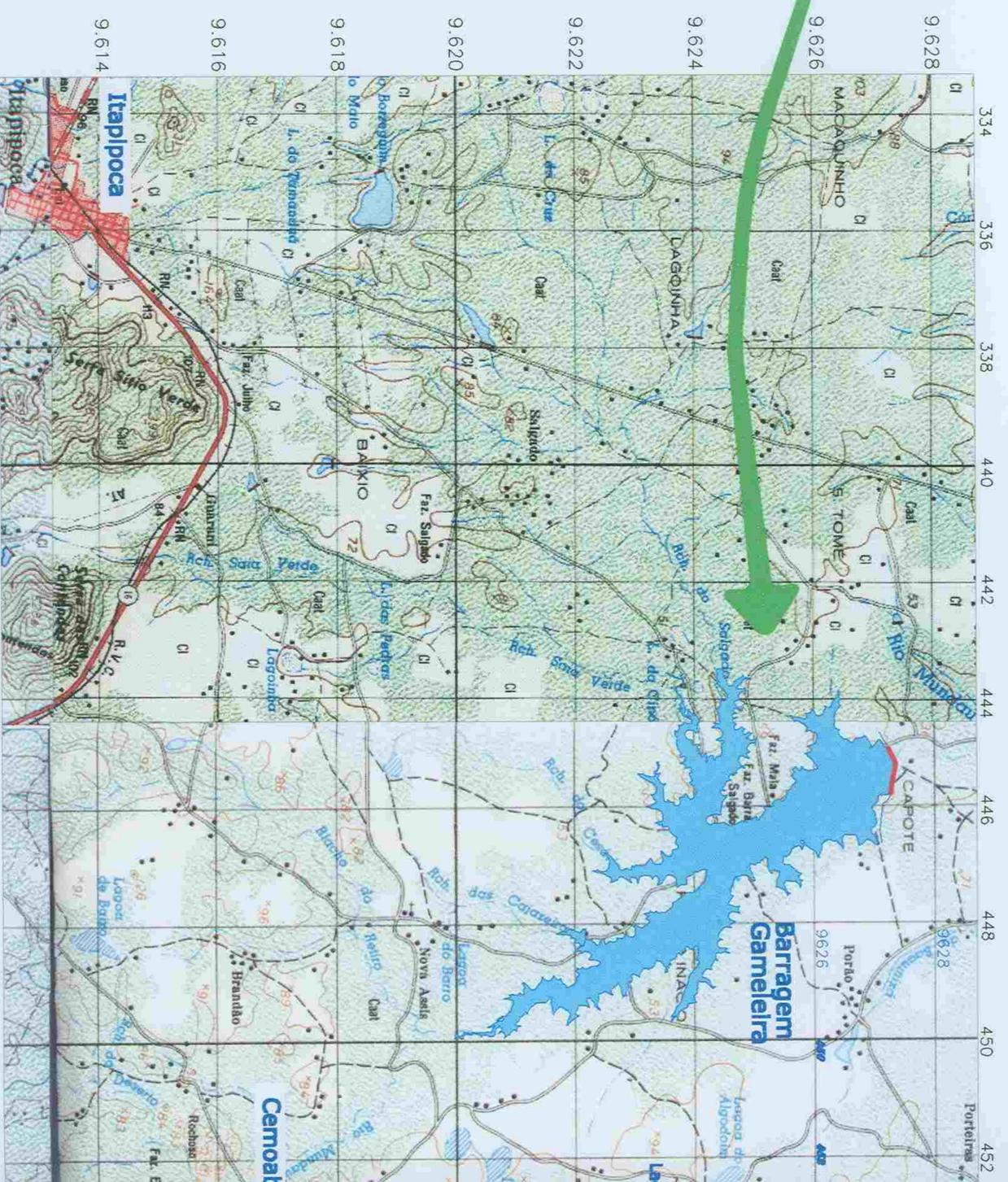
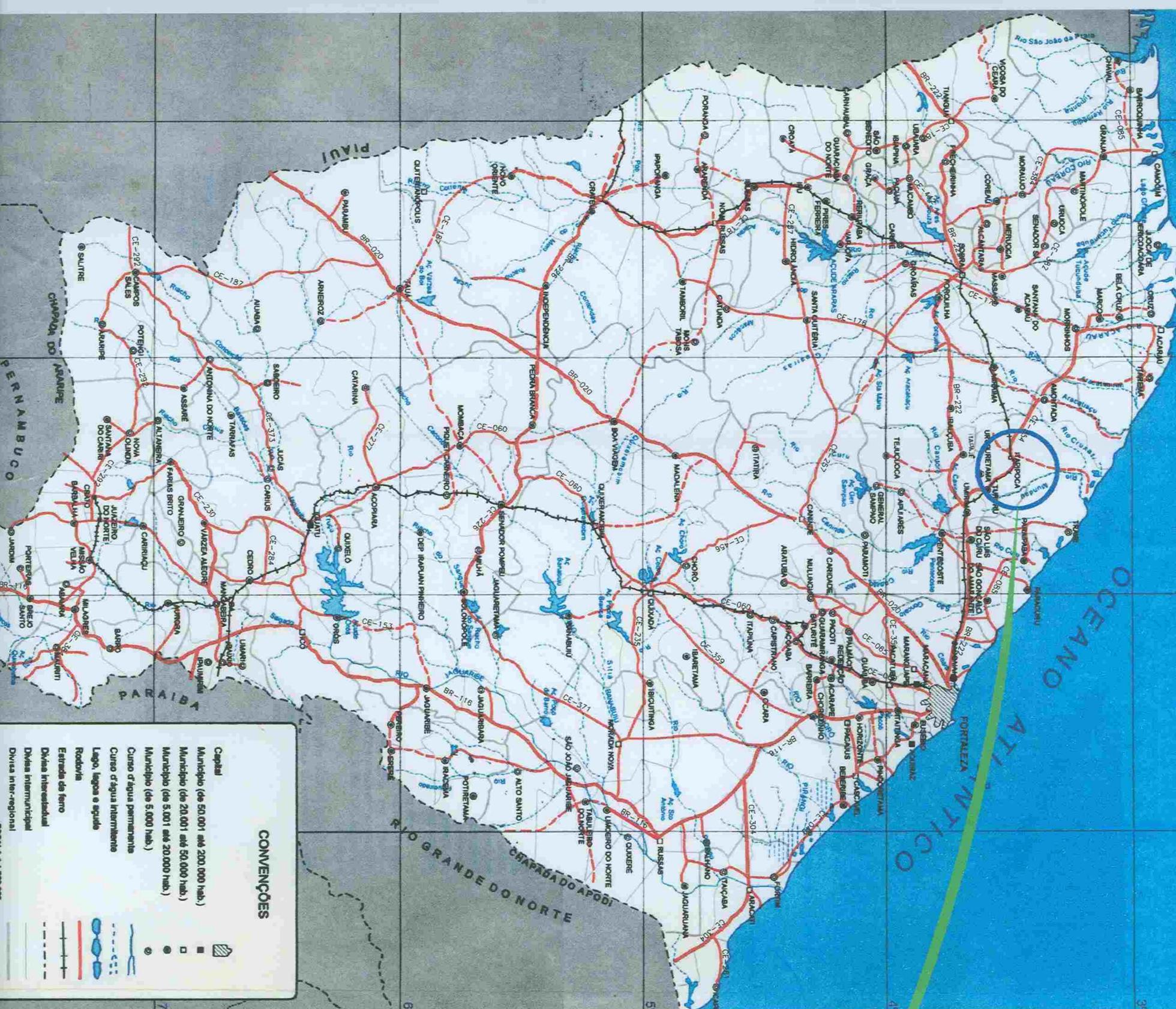
O Açude Gameleira será implantado em um boqueirão do rio Mundaú, divisa dos municípios de Itapipoca e Trairi, distando aproximadamente 16km a leste da cidade de Itapipoca e 26km a norte da cidade de Tururu.

O acesso à área da barragem Gameleira, partindo-se de Fortaleza, é feito pela BR-222 percorrendo-se cerca de 100km até a cidade de Tururu. Daí segue-se 17km no rumo norte por estrada que dá acesso ao povoado de Cemoaba e percorrendo-se cerca de mais 15km até a Fazenda Gameleira, onde se localiza o boqueirão barrável.

Outra opção de acesso é seguir pela CE-085, percorrendo-se cerca de 90km até a localidade de Tamanduá, tomando-se o entroncamento no rumo sul em direção à localidade de Cemoaba, percorrendo-se cerca de 12km até o trecho do barramento (ver Figura 1.1 a seguir).

Figura 1.1

Mapa de Localização e Acesso



FONTE: Folha S. L. Curru / Paracuru / Itapeipoca / Trauçuba
 SA.24-Y-D-VI / SA.24-Y-D-III / SA.24-Y-D-II /
 SA.24-Y-D-V SUDENE, 1978
 ESCALA: 1/125.000

CONVENÇÕES

- Capital
- Município (de 50.001 até 200.000 hab.)
- Município (de 20.001 até 50.000 hab.)
- Município (de 5.001 até 20.000 hab.)
- Município (de 5.000 hab.)
- Curso d'água permanente
- Curso d'água intermitente
- Lago, lagoa e açude
- Rodovia
- Estrada de ferro
- Divisa Interestadual
- Divisa Municipal
- Divisa Inter-regional

1.3 - LISTA DE DESENHOS

O detalhamento do projeto executivo da Barragem Gameleira é composto dos seguintes desenhos:

Quadro Nº 1.2 – Relação dos Desenhos	
DESENHO Nº	DESCRIÇÃO
III – 6 – 01 / 33 – 010	Bacia Hidráulica
III – 6 – 02 / 33 – 010	Boqueirão e Sangradouro – Levantamento Topográfico
III – 6 – 03 / 33 – 010	Perfil Longitudinal pelo Eixo da Barragem
III – 6 – 04 / 33 – 010	Boqueirão e Sangradouro – Planta e Locação das Sondagens
III – 6 – 05 / 33 – 010	Boqueirão e Sangradouro – Perfil Longitudinal do Subsolo
III – 6 – 06 / 33 – 010	Planta Geral da Localização das Ocorrências
III – 6 – 07 / 33 – 010	Locação das Ocorrências
III – 6 – 08 / 33 – 010	Arranjo Geral da Barragem, Sangradouro e Tomada D'Água
III – 6 – 09 / 33 – 010	Perfil Longitudinal pelo Eixo da Barragem e Sangradouro
III – 6 – 10 / 33 – 010	Seção Máxima e Detalhes
III – 6 – 11 / 33 – 010	Seção Tipo e Detalhes
III – 6 – 12 / 33 – 010	Seções Transversais (01/08)
III – 6 – 13 / 33 – 010	Seções Transversais (02/08)
III – 6 – 14 / 33 – 010	Seções Transversais (03/08)
III – 6 – 15 / 33 – 010	Seções Transversais (04/08)
III – 6 – 16 / 33 – 010	Seções Transversais (05/08)
III – 6 – 17 / 33 – 010	Seções Transversais (06/08)
III – 6 – 18 / 33 – 010	Seções Transversais (07/08)
III – 6 – 19 / 33 – 010	Seções Transversais (08/08)
III – 6 – 20 / 33 – 010	Seção da Tomada D'Água e Detalhes

Quadro Nº 1.2 – Relação dos Desenhos

DESENHO Nº	DESCRIÇÃO
III – 6 – 21 / 33 – 010	Caixa de Montante e Caixa de Dissipação – Fôrma
III – 6 – 22 / 33 – 010	Detalhe da Caixa Dissipadora de Jusante
III – 6 – 23 / 33 – 010	Armadura da Caixa de Montante e da Galeria da Tomada D'Água
III – 6 – 24 / 33 – 010	Escavação da Tomada D'Água – Planta, Perfil e Seção Tipo
III – 6 – 25 / 33 – 010	Escavação do Sangradouro – Planta, Perfil e Seção Tipo
III – 6 – 26 / 33 – 010	Seções Transversais de Escavação do Sangradouro
III – 6 – 27 / 33 – 010	Arranjo Geral do Sangradouro com Sistema de Drenagem
III – 6 – 28 / 33 – 010	Sangradouro – Detalhes do Muro Lado Direito
III – 6 – 29 / 33 – 010	Sangradouro – Detalhes do Muro Lado Esquerdo
III – 6 – 30 / 33 – 010	Sangradouro – Galeria do Creager, Galeria do Muro e Detalhes
III – 6 – 31 / 33 – 010	Fôrma e Armadura – Bacia de Dissipação
III – 6 – 32 / 33 – 010	Drenagem Superficial – Planta (01/02)
III – 6 – 33 / 33 – 010	Drenagem Superficial – Detalhes (02/02)

2 - SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS

2 – SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS

Os estudos básicos compreenderam a execução dos seguintes serviços:

- Estudos Topográficos
- Estudos Geológicos e Geotécnicos
- Estudos Hidrológicos

Os estudos básicos fazem parte do VOLUME I – Estudos Básicos e estão divididos nos seguintes tomos:

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Estudos Hidrológicos

Tomo 3 – Estudos Cartográficos

Tomo 4 – Estudos Topográficos

Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

Apresenta-se a seguir a síntese dos mesmos.

2.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

2.1.1 - Trabalhos Cartográficos

Os estudos cartográficos foram desenvolvidos basicamente a partir de cartas da SUDENE, na escala de 1:100.000 e com curvas de nível a cada 40m. Sobre a base cartográfica foi definida a localização do barramento e delimitada a área da bacia hidrográfica da barragem. Para esses estudos também foram utilizadas fotos aéreas da região e o Projeto RADAMBRASIL, na escala 1:250.000.

As cartas da SUDENE utilizadas foram as seguintes:

- Itapipoca: folha nº SA.24-Y-D-II;
- Paracuru: folha nº SA.24-Y-D-III;
- Irauçuba: folha nº SA.24-Y-D-V;
- São Luís do Curu: folha nº SA.24-Y-D-VI

O contorno da bacia hidrográfica da Barragem Gameleira está apresentado na Figura 2.1 a seguir.

Figura 2.1

Bacia Hidrográfica de Gameleira

Arquivo: Bacia Hidrográfica Gameleira.dwg

2.1.2 - Transportes de Coordenadas

Foram utilizados como ponto de partida, marcos geodésicos do IBGE existentes na área em estudo (Vértice Bastiões de latitude 03°17'58,5465”S e longitude 39°37'33,9045”W e o Vértice SA-24-1017 de latitude 03°10'25,2202”S e longitude 39°28'12,4563”W). Foram implantados oito marcos (M-01 a M-08) que serviram de origem para o traçado da malha de coordenadas necessárias à elaboração das plantas topográficas.

Os marcos implantados foram nivelados geometricamente tendo como origem de partida o vértice M-04 e chegada no M-01, ambos da Barragem Trairi que tiveram como partida a RN-1852M (de cota 51,463m) e chegada RN-1852N (de cota 52,023m) do IBGE, com precisão de $2mm\sqrt{k}$, ver Quadro nº2.1 a seguir.

Quadro nº2.1: Marcos Implantados na Barragem Gameleira					
Ponto	Localização (¹)	Coordenadas UTM (m)		Longitude Geodésica	Latitude Geodésica
		Norte	Este		
Marco M-01	Km 14,63 LD	9.624.122,6611	444.817,478	39°29'48,37997”W	03°24'01,80016”S
Marco M-02 ²	Km 19,19 LD	9.627.341,737	445.289,566	39°29'33,02777”W	03°22'16,96960”S
Marco M-03 ³	Km 21,37 LE	9.627.246,613	445.824,548	39°29'15,69231”W	03°22'20,07636”S
Marco M-04	Km 18,24 LD	9.625.644,781	447.438,154	39°28'23,42581”W	03°23'12,27067”S
Marco M-05	Km 19,23 LE	9.622.917,904	448.279,094	39°27'56,21580”W	03°24'41,09283”S
Marco M-06	Km 19,15 LD	9.622.820,006	448.137,087	39°28'00,81952”W	03°24'44,27893”S
Marco M-07	Km 14,38 LD	9.624.134,389	444.571,648	39°29'56,34657”W	03°24'01,41408”S
Marco M-08	Km 18,38 LD	9.625.671,718	447.565,929	39°28'19,28455”W	03°23'11,39540”S

(¹) A localização dos marcos teve como Km 00 a Rádio Uirapuru de Itapipoca. Para uma melhor visualização dos marcos no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 3 – Estudos Cartográficos, no item 11.1, esta apresentada a Monografia dos Vértices Implantados.

(²) Este marco (M-02) está localizado na Estaca 8+16,00m do eixo da barragem.

(³) Este marco (M-03) está localizado na Estaca 36 do eixo da barragem.

As medições foram feitas com GPS (Sistema de Posicionamento Global) Trimble 4600LS, de uma frequência com duração de rastreamento de 01 hora.

No Volume I – Estudos Básicos, Tomo 3 – Estudos Cartográficos, do Módulo III, encontram-se os cálculos realizados para o transporte de coordenadas, bem como os procedimentos adotados para a implantação dos marcos.

2.1.3 - Transportes de Cotas

O transporte de cotas se fez com a implantação de um marco a partir do marco do IBGE mais próximo, através de poligonais de nivelamento e de contra-nivelamento levantadas com equipamentos topográficos de precisão compatíveis com os serviços, Nível Wild NAK-1.

Tomou-se como base a RN implantada na Rodovia Estruturante CE-085 (pintada no meio fio, lado esquerdo sentido Leste-Oeste à 20m da estrada carroçável que dar acesso a localidade de Córrego Fundo) com cota igual a 45,345m, transportada da RN IBGE nº 1852T (chapa cravada no canto SE da ponte sobre o rio Trairi), perfazendo uma distância de 16,8Km do eixo da Barragem.

A poligonal de contra-nivelamento foi levantada após a execução da poligonal de nivelamento. Estas poligonais são apresentadas nas cadernetas de campo, apresentadas no Capítulo 4 – Anexo, do Volume I – Estudos Básicos, Tomo 4 – Estudos Topográficos.

2.1.4 - Levantamento do Eixo Barrável e do Primeiro Local do Sangradouro

O levantamento do eixo barrável foi executado com uma abrangência numa faixa de domínio de 150 metros à montante e 150 metros à jusante do referido eixo. Foram levantadas seções transversais ao eixo, com pontos cotados a cada 20 metros, de acordo com a faixa de domínio recomendada.

Os levantamentos dos eixos longitudinal e transversal do sangradouro seguiram a sistemática descrita anteriormente, sendo que as seções tiveram seus levantamentos prolongados à montante, até a cota fixada para soleira, e à jusante, até encontrarem o leito do rio. Para distâncias maiores, o levantamento até o leito do rio foi feito acompanhando o canal de sangria, através de poligonais seccionadas a cada 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros.

Utilizando-se um Teodolito Wild T-1A, locou-se o eixo da barragem e do primeiro local do sangradouro, os quais foram materializados a cada 20 metros por pontos estaqueados, numerados e cotados, podendo ser encontradas estacas intermediárias indicando elementos importantes, tais como: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno, etc.

Foram instalados 5 marcos de concreto para facilitar uma futura relocação. O primeiro denominado de M0 foi implantado na estaca 0, localizado na ombreira

esquerda da barragem, com cota 37,266m; o segundo, denominado de M1, na estaca 7+15m da ombreira esquerda do sangradouro, com cota 38,811m; o terceiro denominado M2 está implantado na estaca 8+16m, na ombreira esquerda do sangradouro, com cota igual a 35,754m; o quarto marco, M3, está localizado na estaca 30 do eixo da barragem, com cota 38,234m; e por último o marco M4, que está localizado na estaca 42, na ombreira direita da barragem, com cota 39,822m.

O levantamento altimétrico da barragem Gameleira, foi realizado utilizando-se um nível Wild N-1, onde foram niveladas todas as estacas dos eixos materializados.

Esses levantamentos permitiram a confecção dos desenhos, da seção do boqueirão e do sangradouro com escala vertical 1:200 e horizontal 1:2.000, e planta com curvas de nível a cada metro na escala 1:2.000. Estes desenhos fazem parte do Volume I – Estudos Básicos, Tomo 4 – Estudos Topográficos.

A calha do rio à jusante também foi levantada, desde o eixo barrável até o ponto onde o canal de sangria encontra o rio. As seções são a cada 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado do eixo. Os pontos foram cotados a cada 20 metros, sendo menor este espaçamento onde o relevo ou outro fator exigiu maior nível de detalhamento.

O levantamento topográfico foi realizado em duas direções, a estaca 0=0S foi colocada na ombreira esquerda. Desta foi feito um levantamento para o lado direito até a estaca 80+10,00 m. Da mesma forma da estaca 0=0S foi feito um levantamento até a estaca 21S+10,00 m para o lado esquerdo. Nesse local foi inicialmente previsto a implantação do sangradouro. Deve-se ressaltar aqui que por inviabilidade geotécnica o sangradouro foi transferido para o local entre as estacas 11 e 17 ficando próximo ao centro da barragem.

2.1.5 - Levantamento da Bacia Hidráulica

Para a execução dos serviços plani-altimétricos na área da bacia hidráulica da barragem Gameleira, o Consórcio firmou contrato com a empresa BASE Aerofotogrametria e Projetos S/A, tendo como objetivo a execução de serviços de engenharia cartográfica, compreendendo cobertura aerofotogramétrica colorida, na escala 1:15.000 e mapas digitais na escala 1:5.000 da bacia hidráulica da barragem Gameleira.

2.1.5.1 - Cobertura Aerofotogramétrica

A cobertura aerofotogramétrica teve todos os serviços executados de acordo com as Especificações Técnicas, sendo isentos de defeitos, de falhas e de omissões.

Toda a área sobrevoada foi realizada com aeronave modelo Navajo PA31 bimotor, equipada à tomada de aerofotos e homologada para vôos aerofotogramétricos.

As fotografias foram obtidas com câmara aerofotogramétrica da marca ZEISS, modelo RMK-TOP, de última geração, dotada de mecanismo compensador do arrastamento de imagens causado pelo deslocamento da aeronave, chassi giro-estabilizado, que compensa instantaneamente as eventuais inclinações da aeronave e mecanismo automático que possibilita o registro das coordenadas do centro da foto no momento da tomada.

Foi utilizado filme aerofotogramétrico colorido de base estável, marca Kodak Aerocolor HS Film SO 846 de alto poder resolutivo e quadro com formato útil de 23 x 23 cm

Após a concessão da autorização de aerolevanteamento concedida pelo Ministério da Defesa, iniciaram-se os trabalhos de cobertura aerofotogramétrica, os quais apresentamos a seguir:

a) Plano de Vôo

Foram lançados nas áreas do projeto em questão, os eixos das faixas de vôo, necessários ao recobrimento da área, nas cartas topográficas do IBGE, na escala 1:100.000.

Concluído o plano de vôo gráfico, passou-se para a elaboração do plano de vôo analítico, baseando-se nas seguintes especificações técnicas:

- Sentido do Vôo: Norte – Sul;
- Superposição Longitudinal do Vôo: 60% (\pm 5%);
- Superposição Lateral do Vôo: 30% (\pm 5%);
- Objetiva da Câmara: Grande Angular; e
- Distância Focal Calibrada: 152,741mm.

b) Recobrimento Fotogramétrico

O recobrimento aerofotogramétrico foi realizado na escala 1:15.000, abrangendo a área da barragem Gameleira, no sentido Norte-Sul. Foram realizadas primeiramente 03 faixas de vôo, totalizando 24 fotos, as quais foram substituídas e realizadas 05 faixas de vôo, totalizando 55 fotos.

c) Dados que Constam nas Fotos

- Escala da foto;
- Número da faixa;
- Número da foto;
- Nome do local;
- Coordenadas do centro das fotos no momento da tomada;
- Distância focal calibrada da câmara; e
- Marcas fiduciais.

d) Laboratório

O processamento do filme e de todos os seus subprodutos foi realizado em laboratório, com condições de temperatura e umidade relativa controladas.

As cópias fotográficas foram executadas em copiadoras eletrônicas, utilizando papel fotográfico, semi-mate com graduação que permitiu bom contraste.

e) Foto-índice

Para a confecção do foto-índice digital, as fotografias foram scanerizadas e montadas em faixas e estas em blocos, e, em seguida, reproduzidas em escala 4 (quatro) vezes menor que a escala original das fotos, em papel Semi Gloss, enquadradas por coordenadas geográficas, através de cruzetas desenhadas nos 4 (quatro) cantos de cada folha.

Dados contidos no Foto-índice:

- Número de cada exposição que o compõem;
- Número de faixas;
- Escala da Foto; e
- Escala da Foto-índice.

2.1.5.2 - Mapeamento Planialtimétrico

a) Apoio Básico

Na Barragem Gameleira foram implantados 08 vértices (M1 a M8), monumentalizados por marcos de concreto de formato tronco piramidal medindo 10x12x50 cm, com chapa de bronze no centro do topo e elevado a 10 cm do solo. De cada marco foi elaborada uma monografia que se encontra no Capítulo 11, item 11.1 do Volume I – Estudos Básicos, Tomo 3 – Estudos Cartográficos – Planialtimetria.

Para a determinação das coordenadas de cada vértice da rede de apoio básico da Barragem Gameleira tivemos na planimetria origem no Vértice Bastiões do IBGE de latitude 03°17'58,5465"S e longitude 39°37'33,9045"W e altitude de 53,65m, e chegada no Vértice SA-24-1017 do IBGE de latitude 03°10'25,2202"S e longitude 39°28'12,4563"W e altitude de 51,69m.

A determinação foi executada pelo método diferencial estático com rastreamento em tempo suficiente para resolver a ambigüidade com constelação mínima de 05 (cinco) satélites e PDOP de 06 (seis) ou menor, a fim de garantir uma precisão mínima de 1:100.000.

As medições foram feitas com GPS Trimble 4600LS de uma freqüência com duração de rastreio de 1 hora.

A tabela abaixo mostra o erro de fechamento da poligonal que deu coordenadas aos vértices.

$\epsilon_f E$ (m)	$\epsilon_f N$ (m)	ΣD (km)	Precisão (m)
+0,3290	+0,1259	54,5758	1:154927

Os vértices implantados foram nivelados geometricamente tendo como origem de partida o vértices M-04 e chegada M-01 ambos da barragem Gameleira que tiveram como partida a RN-1852M e a chegada RN-1852N ambas do IBGE com precisão de $2mm\sqrt{k}$.

RN 1852M	51,4628 m
RN 1852N	52,0231 m

Figura 2.2

PLANTA DA BACIA HIDRÁULICA – A3

b) Aerotriangulação

As imagens para a geração dos trabalhos foram obtidas a partir da scannerização dos negativos fotogramétricos na escala 1:15.000, com utilização de “scanner fotogramétrico” com capacidade de geração de imagens digitais com pixel de 28 microns.

A aerotriangulação espacial foi executada em equipamentos digitais ISM dotados de programa específico para o cálculo e ajustamento da mesma utilizando a scannerização executada.

No cálculo da aerotriangulação foi utilizado o programa PAT-B do professor Ackermann.

Considerando a importância da aerotriangulação na precisão do produto final, os procedimentos foram rigorosamente controlados.

c) Restituição Fotogramétrica

Para a vetorização dos elementos cartográficos a seguir discriminados, foram utilizados restituidores digitais dotados de programa específico.

Elementos Cartográficos representados:

- Sistema hidrográfico;
- Altimetria;
- Referências de nível; e
- Ortofoto.

Na barragem Gameleira foi restituída uma área de 15,36km².

Todos os trabalhos seguiram as *Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional*, atendendo ao padrão de PEC estabelecido a esse tipo de trabalho.

2.1.6 - Levantamento dos Empréstimos

Com a utilização de um teodolito Wild T-1A foram realizadas as locações e os levantamentos planialtimétricos das áreas das ocorrências de materiais que poderão ser utilizados na construção da barragem, e amarradas à poligonal do eixo barrável através de uma linha de base auxiliar (que poderá se constituir no eixo do acesso ao local da obra). Todos os poços escavados na investigação dos empréstimos foram locados, numerados e amarrados à linha de base auxiliar através de eixos de locação. Foram confeccionados desenhos individuais, em escala apropriada, com a planta baixa das áreas dos empréstimos e um desenho geral mostrando a localização de todas as ocorrências de material, de forma que possibilite a definição das distâncias de transporte. Tais desenhos e todos os dados necessários para localização e identificação dos empréstimos estão apresentados no Volume I – Estudos Básicos, *Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos* e no Volume III – Detalhamento do Projeto Executivo, Tomo 6 - Plantas.

2.1.6.1 - Jazida

Foram estudadas duas jazidas de material terroso, denominadas J 01 e J 02, que possuem as seguintes características:

- Jazida 01 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a $130.00,00\text{m}^2$ e volume útil de $79.300,00\text{m}^3$, está localizada na estaca 70+10m à 1125,00m do centro da barragem ;
- Jazida 02 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a $270.000,00\text{m}^2$ e volume útil de $278.100,00\text{m}^3$, está localizada na estaca 70+10m à 2330m do centro da barragem.

As jazidas foram estudadas através de sondagens a pá e picareta, executadas nos vértices de uma malha de 100m x 50m, onde foram realizados 41 poços na J 01 e 70 poços na J 02.

2.1.6.2 - Areal

Foi estudado 01 areal que está localizado na estaca 24 do eixo da barragem, com área de 27.000m^2 e um volume útil de 40.500m^3 .

2.1.6.3 - Pedreira

A pedreira 01 de onde será extraído o material pétreo necessário a construção da barragem está localizada à 7,63 km do eixo da barragem e possui um volume útil de 90.000m³.

2.1.7 - Síntese do Levantamento Topográfico

Locação e nivelamento do eixo barrável e do sangradouro	2,04 Km
Levantamento das secções do eixo barrável e do sangradouro	24,41 Km
Locação e nivelamento da poligonal do canal de sangria e da calha do rio	4,97 Km
Levantamento de jazidas (malha 100 x 50)	45,70 Ha
Transporte de cotas	16,80 Km

2.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

O objetivo principal dos estudos geológico-geotécnicos foi de caracterizar o subsolo local bem como os materiais de construção disponíveis para construção da Barragem Gameleira, definindo assim condições gerais e particulares que fornecerão subsídios para que as obras sejam executadas com o máximo de economia, eficiência e segurança. Os estudos foram divididos em duas fases, a saber: estudos geológicos e investigações geotécnicas.

Iniciou-se o estudo geológico através de informações existentes em mapas geológicos sendo estes dados complementados através de incursão à área em questão a fim de se desenvolver a identificação da estrutura geológica presente no local escolhido: tipos, ocorrência de afloramentos, extensão, arranjo, espessura e propriedades das rochas detectadas e mapeamento de possíveis falhas na rocha, no local a ser implantada a barragem.

As investigações geotécnicas proporcionaram o conhecimento do subsolo local através da execução de sondagens a percussão, denominadas SP; mistas (iniciadas a percussão e seguida de rotativa) denominadas SM e abertura de poços de inspeção a pá e picareta (SPP) com retirada de amostras. Nas sondagens mistas foram executados ensaios “in situ” para determinação de permeabilidade, seja através de ensaios “Le Franc” no caso de solo, seja ensaios de perda d’água específica no caso de rocha.

Também fez parte do escopo a identificação de jazidas de materiais de empréstimo potencialmente exploráveis que serão utilizados na execução do maciço, bem como ensaios de laboratório dos materiais de jazidas de empréstimos e das fundações.

Os estudos geológicos e geotécnicos são apresentados detalhadamente no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos da Barragem Gameleira.

2.2.1 - Investigação Geológica

Os estudos geológicos foram realizados visando fornecer dados litológicos e estruturais relacionados às feições geológicas, tendo-se adotado as seguintes etapas de trabalho:

- Levantamento bibliográfico dos principais trabalhos geológicos desenvolvidos na região;
- Interpretação de fotografias aerofotogramétricas em escala 1:15.000;
- Mapeamento geológico do eixo barrável e sangradouro através de caminhamentos ao longo do eixo topográfico locado e nas seções transversais a cada 20m, abrangendo uma faixa de 300m, sendo 150m para montante e 150m para jusante;
- Mapeamento geológico da bacia hidráulica através de reconhecimento dos locais possíveis de acesso por veículo de passeio;
- Elaboração de mapa geológico do eixo da barragem e sangradouro em escala 1:2.000;
- Elaboração de mapa geológico da bacia hidráulica em escala 1:10.000.

Quando aqui se refere ao termo sangradouro deve-se entender o local à esquerda da estaca 0+0S até a estaca 21S+10,00 m.

2.2.1.1 - Geologia do Local da barragem

A área estudada fica no limite entre os municípios de Itapipoca e Tururu, próximo às localidades de Gameleira e Porão, no Estado do Ceará.

O eixo topográfico locado se subdivide em três segmentos contínuos que dividem o sangradouro, a barragem propriamente dita e o dique auxiliar, ficando o primeiro local previsto para o sangradouro na ombreira esquerda com estaqueamento ao longo do eixo, crescendo da direita para a esquerda (Est. 0S a Est. 21S+10,00 m); o eixo da barragem, também estaqueado a cada 20m, crescendo no sentido oposto ao do sangradouro, ou seja, da ombreira esquerda para a direita (Est. 0=Est. 0S do sangradouro a Est. 47); o dique auxiliar tem estaqueamento a cada 20m crescendo no mesmo sentido (Est. 47 a Est. 80+10,0 m). Ao longo do eixo foram identificadas as seguintes litologias:

Local Previsto Inicialmente Para o Sangradouro (Estacas 21S+10,00 a 0=0S)

O terreno tem topografia plana e suavemente ondulada, com declividade mais acentuada para jusante. É recoberto superficialmente por um solo silto-arenoso de cor cinza-clara. Sobre esse solo ocorrem grandes concentrações de seixos e blocos de quartzo e sílica, bem como fragmentos de rocha formando uma extensa área de cascalheira que se estende tanto para montante como para jusante. Essa mancha faz contatos à montante e à jusante com o solo de recobrimento das rochas cristalinas subjacentes, conforme indicado no mapa geológico do eixo. Na seção transversal da estaca 11, a 165m à jusante ocorrem, no leito de uma grota, muitos seixos e blocos angulosos de quartzo e fragmentos de rocha, bem como alguns afloramentos de gnaiss muito alterados e intensamente fraturados com minerais bem orientados de quartzo, feldspato e mica (biotita e muscovita). Também na seção da estaca 1 + 10m, 140m à jusante, no leito da estrada, ocorre um pequeno afloramento, a nível superficial, de gnaiss muito alterado, intensamente fraturado, de cor cinza clara e tons amarelados decorrentes da alteração, de granulação fina, contendo essencialmente quartzo, feldspato e biotita, cuja atitude de foliação, devido a condição do afloramento não foi possível medir.

Barragem

- ***Da estaca 0 a 14***

Entre a estaca 0 e a estaca 10 ocorrem alguns afloramentos superficiais de quartzito de cor cinza clara, com tons rosados e avermelhados, alterado, muito fraturado, exibindo acamamento com atitude segundo N64°Az/50° SE. A partir daí a superfície do terreno é recoberta por seixos e blocos de quartzo, sílica e quartzito e fragmentos de rocha, constituindo um corpo mais ou menos elipsoidal que se estende de montante a jusante formando uma elevação com declividades para montante e para jusante de forma que o eixo locado coincide com a crista que se desenvolve segundo a direção NE-SW. Entre as estacas 10 e 14 numa área que se desenvolve numa extensão aproximada desde 30m para montante até 70m para jusante do eixo, ocorrem grandes afloramentos em forma de blocos e matações de quartzito, soltos e dispersos

caoticamente. A rocha tem cor clara, branco-leitosa, com textura maciça e muito raramente acamadada.

- ***Da estaca 14 a 24***

A partir da estaca 14 a topografia se suaviza e o terreno aplainado é constituído por um solo silto-arenoso com pedregulhos, de cor cinza clara, proveniente da desagregação da rocha subjacente e fazendo contato com a aluvião na estaca 16 (eixo) que se estende pela margem esquerda até a calha do rio Mundaú onde o eixo da barragem o intercepta, na estaca 24. Na estaca 22 + 10m, 35m à montante, no leito de uma grota que contribui para o rio Mundaú, ocorre um afloramento de gnaiss milonítico, muito fraturado, muito alterado, de cor cinza clara com tons rosados e amarelados pela alteração, de granulação fina a média, contendo fenoblastos de feldspato, além de quartzo e biotita.

- ***Da estaca 24 a 25***

Nesse trecho o eixo projetado, intercepta o leito do rio Mundaú que corria com muita água corrente, devido às chuvas ocorridas neste período. Na margem direita do rio, coincidindo com a estaca 24 + 10m, numa faixa compreendida entre 30 a 100 metros à jusante do eixo ocorrem afloramentos de milonito, que possui cor cinza clara a rosa, granulação fina a média, intensamente fraturado, com minerais orientados e foliação bem definida, cuja atitude é N28°Az/25°SE. O curso do rio nesse ponto corre no sentido SE-NW, ou seja, a direção NE-SW da foliação da rocha está no sentido quase perpendicular ao fluxo do rio, mergulhando para SE, no sentido oposto a esse fluxo, portanto evidenciando uma situação favorável do posicionamento do eixo da barragem com relação ao sentido preferencial de percolação. Entre a estaca 24 + 10m e a estaca 25 ocorre uma faixa de aluvião que se desenvolve pela margem direita, de forma mais discreta do que o verificado pela margem esquerda.

- ***Da estaca 25 a 47***

Ao longo da estaca 25 + 10m, de montante a jusante, tem-se o contato da aluvião com o solo de recobrimento do embasamento cristalino, em que a rocha do substrato é constituída de gnaiss cataclasado e milonitizado, evidenciado pela presença de grande quantidade de fragmentos de rocha com essas características, espalhados pela superfície do terreno, ocorrendo com mais intensidade na faixa entre as estacas 25 + 10m e 28, onde esses fragmentos de rocha apresentam cor rosada, granulação fina a média, intensamente fraturados, com fenocristais de feldspatos em forma de augens.

Dique Auxiliar de Fechamento (da estaca 47 a 80+10m)

Em toda essa extensão a topografia do terreno é plana e suave e o solo superficial é silto-arenoso, com pedregulhos, de cor cinza clara, de granulação fina a média. Em algumas áreas a superfície do terreno é recoberta por seixos angulosos de quartzo e fragmentos de rocha (quartzito e milonito).

Local Final do Sangradouro (da estaca 14 a 18)

Após os estudos geotécnicos verificou-se que o sangradouro ficou inserido entre as estacas 14 e 18 do eixo da barragem. A sua geologia de superfície e o relevo foram descritos acima.

São apresentados no Capítulo 5 – Anexos, do *Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos da Barragem Gameleira*, o Mapa Geológico do local da Barragem e da área destinada ao Sangradouro, contendo as unidades litológicas identificadas e os principais afloramentos de rocha que foram mapeados, bem como o Mapa Geológico contendo as unidades litológicas na área da Bacia Hidráulica.

2.2.2 - Investigação Geotécnica

Os estudos geotécnicos constaram de investigações de subsuperfície, através de sondagens à pá e picareta, percussivas e mistas. Constaram ainda de ensaios de infiltração (Le Franc) e perda d'água (Lugeon), como também a caracterização em laboratório dos materiais terrosos, granulares e pétreos a serem utilizados na construção da barragem.

Nestas investigações procurou-se identificar as características do pacote aluvionar, quanto ao aspecto hidráulico e de suporte, através das sondagens à percussão e ensaios de infiltração, caracterizar a camada de solo e/ou alteração de rocha, as características das rochas gnaissicas sob o aspecto geomecânico e de condutividade hidráulica através das sondagens rotativas e ensaios de perda d'água. As áreas de empréstimos dos materiais terrosos e granulares foram pesquisadas através de poços de inspeção.

As sondagens mecânicas realizadas na Barragem Gameleira foram realizadas no eixo barrável e no sangradouro, as quais estão relacionadas no Quadro nº2.2 e no Tomo 6 é apresentada a planta de locação dos furos de sondagem.

**Quadro nº 2.2: Sondagem à Percussão e Mista
Barragem e Local Inicialmente Escolhido para o Sangradouro**

Sondagem Nº	Estaca	Local
Sangradouro		
SM-02	6+00	Eixo
SM-05	3+00	Eixo
SM-08	1+00	Eixo
SM-15	11+00	Eixo
SM-16	16+00	Eixo
SM-17	14+00	40m para jusante
SP-01	6+00	50m para montante
SP-03	6+00	50m para jusante
SP-04	3+00	50m para montante
SP-06	3+00	50m para jusante
SP-07	1+00	50m para montante
SP-09	1+00	50m para jusante
SPP-12	7+15,00	Eixo
SPP-13	15+00	Eixo
SPP-14	15+00	20m para jusante
SPP-15	15+00	40m para jusante
SPP-16	15+00	60m para jusante
SPP-17	15+00	80m para jusante
SPP-18	15+00	100m para jusante
SPP-20	15+00	20m para montante
SPP-21	15+00	40m para montante
SPP-22	15+00	60m para montante
SPP-23	15+00	80m para montante
SPP-24	15+00	100m para montante
Barragem		
SM-10	14+00	Eixo
SM-11	19+00	Eixo
SM-12	24+00	Eixo
SM-13	26+00	Eixo
SM-14	30+00	Eixo
SP-15	15+00	Eixo
SP-16	14+00	50m montante
SP-17	14+00	50m jusante
SP-18	18+10,00	50m montante
SP-19	18+10,00	50m jusante
SP-20	24+00	50m montante
SP-21	24+00	50m jusante
SP-22	26+00	50m montante
SP-23	26+00	50m jusante
SP-24	30+00	50m montante
SP-25	30+00	50m jusante
SP-26	16+00	Eixo
SP-27	20+00	Eixo
SPP-1	2+00	Eixo
SPP-2	6+00	Eixo
SPP-3	10+00	Eixo
SPP-4	25+00	Eixo
SPP-5	29+00	Eixo
SPP-6	37+00	Eixo
SPP-7	52+00	Eixo
SPP-8	57+00	Eixo
SPP-9	62+00	Eixo
SPP-10	69+00	Eixo

Tendo em vista as condições geotécnicas do local entre as estacas 0S e 21S, inicialmente previsto para receber o sangradouro, foi feita a primeira programação complementar visando viabilizar esse local. Essa programação consistiu na realização de sondagens mistas e poços a pá e picareta. No Quadro nº2.3 são apresentadas as sondagens e os locais onde elas foram executadas.

Quadro nº2.3: Campanha de Investigação Geotécnica Complementar no Sangradouro		
Sondagem nº	Estaca	Local
SM-101	12+00	20m para montante
SM-102	12+00	20m para jusante
SM-103	6+00	27m para jusante
SP-101	0+000	Eixo projetado do canal sangradouro
SP-102	0+040	Eixo projetado do canal sangradouro
SP-103	0+163,041 (S) = 9+00 (B)	Eixo projetado do canal sangradouro
SP-104	0+220	Eixo projetado do canal sangradouro
SP-105	0+260	Eixo projetado do canal sangradouro
SP-106	0+300	Eixo projetado do canal sangradouro
SPP-101	11+00	40m para montante
SPP-102	9+00	40m para montante
SPP-103	7+00	40m para montante
SPP-104	10+00	20m para jusante
SPP-105	9+00	20m para jusante
SPP-106	7+00	20m para jusante
SPP-107	10+00	100m para jusante
SPP-108	7+15,00	100m para de jusante
SPP-109	6+00	100m para jusante

Após a realização dessas investigações verificou-se que esse local não é adequado para receber o sangradouro.

Partiu-se então para a segunda tentativa onde foi estudada uma área à direita da anterior, ou seja, entre as estacas 5S e 1B. Nesse local foram executadas sondagens mistas complementares. No Quadro nº2.4 são apresentadas as sondagens e os locais onde elas foram executadas.

Quadro nº2.4 – Campanha de Investigação Geotécnica Complementar entre as Estaca 5S e 1B	
Sondagem nº	Estaca
SM-201	5S a 25,0 m à Jusante
SM-202	2S a 25,0 m à Jusante
SM-203	1B a 25,0 m à Jusante
SM-204	2S a 75,0 m à Jusante

Concluída a segunda campanha de investigação, verificou-se que o local entre as estacas 5S e 1B também não é adequado para receber o sangradouro.

Finalmente partiu-se para a terceira e última campanha de investigação complementar, realizada entre as estacas 11 e 17 do eixo da barragem. No Quadro nº2.5 são mostradas as sondagens e os locais da terceira campanha.

Quadro nº2.5 – Campanha de Investigação Complementar Entre as Estacas 11 e 17	
Sondagem nº	Estaca
SM-301	11 – Eixo
SM-302	17 – Eixo
SM-303	11 a 50,00 m à Jusante
SM-304	14 a 50,00 m à Jusante
SM-305	17 a 50,00 m à Jusante

Os resultados da investigação geotécnica bem como a locação das sondagens, os perfis individuais das sondagens realizadas e seus respectivos ensaios, são apresentados no *Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos - Capítulo 5 – Anexos da Barragem Gameleira*.

2.2.3 - Estudos das Ocorrências de Materiais

Como fonte de materiais para construção da barragem foram identificadas duas jazidas de solos, denominadas de J-01 e J-02, um areal denominado de A-01 e uma pedra, denominada de P-01.

2.2.3.1 - Jazidas Terrosas

Foram identificadas duas jazidas de material terroso para a construção da barragem, denominadas de J-01 e J-02. No Tomo 6 são apresentadas as localizações das jazidas.

No Quadro nº2.6 a seguir, são apresentadas as características de cada jazida.

Quadro nº2.6 - Característica das Jazidas		
CARACTERÍSTICA	JAZIDA	
	J-01	J-02
DISTÂNCIA AO CENTRO DA BARRAGEM (m)	1.125,00	2.330,00
ÁREA (m ²)	130.000	270.000
PROF. MÉDIA (m)	0,61	1,03
VOLUME ÚTIL (m ³)	79.300	278.100
VEGETAÇÃO	DENSA	DENSA
PROPRIETÁRIO	José Teixeira Pires	Manoel Matias Braga/José Chagas
LADO	Esquerdo	Direito
ESTACA	70+10,00	70+10,00
EXPURGO (m)	0,10	0,42
QUANTIDADE DE FUROS (unid)	41	70
MALHA (m)	100 x 50	100 x 50

Nas jazidas de solo foram implantados furos abertos a pá e picareta nos vértices de uma malha de 100m x 50m. Nesses furos, foram coletadas amostras, as quais foram enviadas ao laboratório e submetidas a ensaios geotécnicos.

Os ensaios de laboratório executados nas amostras de solo, de forma a caracterizar o comportamento geotécnico dos mesmos foram os seguintes:

- Granulometria por Peneiramento e Sedimentação.
- Limites de Atterberg
- Umidade e peso específico natural
- Permeabilidade (carga variável)
- Compactação – Proctor Normal
- Ensaios de cisalhamento direto lento

No Quadro nº2.7 são apresentados os valores médios dos ensaios geotécnicos de laboratório.

Quadro nº2.7 - Valores Médios dos Ensaios de Laboratório – Jazidas												
JAZIDA	GRANULOMETRIA (% QUE PASSA)							PLASTICIDADE (%)		USC	COMPACTAÇÃO	
	2"	1"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP		hot	$\gamma_{\text{máx}}$ (g/cm ³)
J-01	100	97	95	95	88	67	36	30	9	SC	14,2	1,830
J-02	100	100	100	100	96	65	23	29	8	SC	12,6	1,880

As amostras também foram submetidas a ensaios de cisalhamento direto, cujos resultados receberam tratamento estatístico e seus valores são apresentados no Quadro nº2.8.

Quadro nº2.8 - Ensaio de Cisalhamento Direto		
Parâmetro	JT1	JT2
C (Kgf/cm ²)	0,18	0,17
ϕ (°)	34,8°	34,4°

Com relação aos ensaios de permeabilidade com carga variável, encontrou-se valores médios de $k = 8,18 \times 10^{-7}$ cm/s para a J-01 e de $k = 7,15 \times 10^{-7}$ cm/s para J-02.

2.2.3.2 - Areal

Foi identificado um areal para a construção da barragem, denominado de A-01. No Tomo 6 é apresentada a localização do areal.

No Quadro nº2.9 são apresentadas as características do areal.

Quadro nº2.9 - Característica do Areal	
Característica	Areal A-01
DISTÂNCIA AO CENTRO DA BARRAGEM (m)	700,00
ÁREA (m ²)	27.000
ESTACA	24 a 70+10 – Eixo
VOLUME ÚTIL (m ³)	40.500
PROF. MÉDIA (m)	1,50
NOME DO RIO	Mundaú
LOCALIDADE	Gameleira

Para o areal foi realizada a seguinte campanha de ensaios de laboratório:

- Granulometria por Peneiramento
- Permeabilidade com carga constante

No Quadro nº2.10 são resumidos os valores médios dos ensaios geotécnicos de laboratório.

Quadro 2.10 - Valores Médios dos Ensaios de Laboratório – Areal												
Granulometria (% que passa)											D _{máx}	M.F
2"	1"	¾"	½"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16	Nº30	Nº50	Nº100		
100	100	100	100	100	96	85	63	28	6	1	4,8	3,50

Com relação aos ensaios de permeabilidade com carga constante, encontrou-se valores médios de $k = 7,43 \times 10^{-3}$ cm/s.

2.2.3.3 - Pedreira

Foi identificada uma pedreira para a construção da barragem, denominada de P-01, de exploração comercial, localizada a 7,63 km de distância do eixo da barragem. No Tomo 6 é apresentada a localização da pedreira.

No Quadro nº2.11 são apresentadas as características da pedraira.

Quadro nº2.11 - Características da Pedreira	
Característica	Pedreira P-01
DISTÂNCIA AO CENTRO DA BARRAGEM (m)	7.630,00
ÁREA (m ²)	75.000,00
ESTACA	70+10,00
VOLUME ÚTIL (m ³)	90.000
PROPRIETÁRIO	SR. JOÃO MESQUITA TEXEIRA
VEGETAÇÃO	Rala

Para a pedraira foi realizada a seguinte campanha de ensaios de laboratório:

- Desgaste de Agregado por Abrasão Los Angeles (DNER-ME 35-64)

O Quadro nº2.12 apresenta-se o valor obtido nos ensaios geotécnicos de laboratório.

Quadro nº2.12 - Valor Médio dos Ensaios de Laboratório – Pedreira
Los Angeles
30%

2.2.3.4 - Considerações Finais

Das ocorrências da Barragem Gameleira pode-se fazer as seguintes considerações:

a) Ocorrências de Materiais Terrosos

As jazidas de solo são constituídas essencialmente por uma camada de solo de expurgo, de espessura média de 0,10 metros seguida de material areno-argiloso. Os volumes encontrados em princípio, atendem às necessidades da obra, no tocante à execução do maciço compactado.

Através da análise da curva granulométrica com sedimentação e dos dados resultantes dos ensaios dos limites de consistência conclui-se que há predominância de materiais classificados como SC (USC) ou seja, areia argilosa, bem graduada, com excelente ligante argiloso e SM, areia siltosa.

O comportamento geotécnico esperado para estes solos quando compactados dentro das especificações é de média a alta resistência do solo seco, muito pouca expansão ou contração, praticamente impermeável e excelente trabalhabilidade em campo, principalmente com equipamentos tipo rolo pé de carneiro ou equipamentos com pneumáticos.

Os valores de resistência obtidos dos ensaios de cisalhamento direto lento cujas amostras foram compactadas nas densidades e umidade ótimas obtidas no ensaio de Proctor, apresentaram valores médios dados no Quadro abaixo:

Parâmetro	J-1	J-2
C (Kgf/cm ²)	0,18	0,17
ϕ (°)	34,8°	34,4°

Com relação aos ensaios de permeabilidade com carga variável, encontrou-se valores médios de $k=8,18 \times 10^{-7}$ cm/s para a J-01 e de $k=7,15 \times 10^{-7}$ cm/s para a J-02.

Dos resultados obtidos dos ensaios de compactação, após receberem também tratamento estatístico apresentaram para a jazida J-01, valores de $\gamma_{s \max}=1,87$ g/cm³ e $h_{\text{ótmax}}=13,08\%$ e na jazida J-02, valores de $\gamma_{s \max}=1,88$ g/cm³ e $h_{\text{ótmax}}=12,3\%$.

b) Ocorrências de Materiais Arenosos

Através da análise dos resultados obtidos classifica-se o depósito como SP ou seja areia de granulação fina e média. Os volumes encontrados em princípio, atendem às necessidades da obra, no tocante à execução das estruturas drenantes do maciço compactado a que se destina.

Os ensaios de permeabilidade constante nas amostras apresentaram valores máximos de $k=\text{coeficiente de permeabilidade} \cong 7,42 \times 10^{-3}$ cm/s.

c) Pedreira

O material da pedreira foi classificado como gnaíse, com valor resultante do ensaio “Los Angeles” = L.A = 29%, com graduação da amostra tipo “A”, podendo-se portanto considerar o material da pedreira adequado ao fim que se destina.

Os volumes encontrados em princípio, atendem às necessidades da obra.

d) Conclusões

O material areno-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 1125m para a jazida J-01 e 2330m para a jazida J-02, em relação ao eixo.

O maciço da barragem será do tipo homogêneo, executados com solos das jazidas J-01 e J-02.

Os valores obtidos dos ensaios rotineiros foram submetidos a análise, sendo definidas as faixas representativas do material, de acordo com a média e o desvio padrão. Portanto, os valores adotados e a característica dos solos são mostrados abaixo:

- Classificação de acordo com o Sistema Unificado.....SM-SC
- Permeabilidade média..... $7,66 \times 10^{-7}$ cm/s
- Umidade ótima de compactação – Proctor Normal.....12,69%
- Massa específica aparente máxima..... $1,875$ g/cm³
- Coesão (cisalhamento direto)..... $0,17$ kg/cm²
- Ângulo de atrito interno (cisalhamento direto).....30°

Para o areal, que também recebeu tratamento estatístico, apresenta as seguintes características:

- Classificação de acordo com o Sistema Unificado.....SP
- Permeabilidade média..... $7,42 \times 10^{-3}$ cm/s
- Volume disponível.....40.500 m³

No que diz respeito à utilização nos concretos, as amostras ensaiadas atendem integralmente aos limites recomendados pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e da ASTM (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 permitido pelas normas.

Para a pedra, os resultados obtidos com ensaios tipo Los Angeles, 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.

2.3 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos realizados tiveram como objetivo o conhecimento dos fenômenos hidroclimatológicos da bacia hidrográfica e que são diretamente relacionados com o processo de regularização de vazões.

Os estudos hidrológicos são apresentados detalhadamente no *Volume I – Estudos Básicos, Tomo 2 – Estudos Hidrológicos*. Apresenta-se a seguir, um resumo dos mesmos.

2.3.1 - Caracterização da Bacia Hidrográfica

O açude Gameleira barra o rio Mundaú nas coordenadas UTM N 9.624.122,6611 e E 444.817,478. A barragem situa-se na divisa dos municípios de Itapipoca e Trairi, distando aproximadamente 16km a leste da cidade de Itapipoca e 26km a norte da cidade de Tururu. O Quadro nº2.13 a seguir apresenta um resumo dos dados característicos da bacia em estudo.

Quadro nº2.13: Caracterização da Bacia	
Área da bacia do Açude Gameleira	519,77 km ²
Perímetro da bacia do Açude Gameleira	113,00 km
Declividade Média da bacia do Açude Gameleira	3,29 m/km
Comprimento do rio principal	59,00 km
Fator de compacidade	1,40
Fator de forma	0,15
Tempo de concentração	12,03 hrs

A Figura 2.3 mostra a altimetria da bacia hidrográfica do Açude Gameleira. Na mesma figura é possível visualizar a bacia hidráulica do Açude Mundaú a montante do Açude Gameleira, com um volume aproximado de 21,38 hm³.

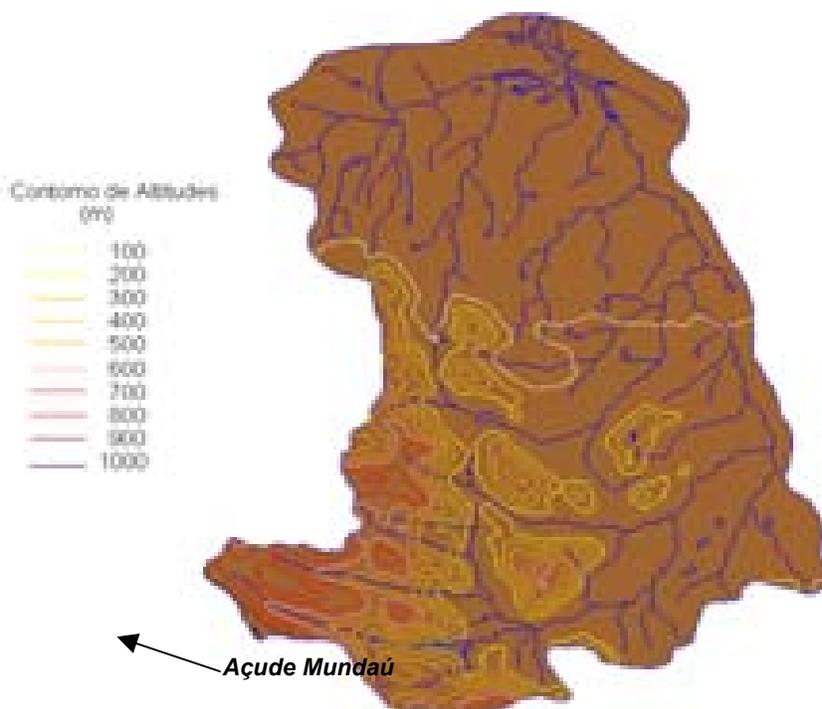


Figura 2.3. Bacia do Açude Gameleira

As definições de solos e cobertura vegetal da área em estudo constituem elementos importantes na formação do regime de escoamento superficial. A cobertura vegetal representa o primeiro obstáculo encontrado pela precipitação e tem papel importante na interceptação e na evapotranspiração. Os solos através da sua capacidade de infiltração, capacidade de retenção de água próximo à superfície e da presença de depressões evaporativas, definem os movimentos das águas que ultrapassaram a cobertura vegetal.

A bacia do Açude Gameleira tem solos Podzólico Vermelho Amarelo e Regosol Distrófico (PE6, PE32 e Red32, respectivamente. Ver Figura 2.4) predominantemente, o que associado com o relevo da bacia resulta em solos com moderada a elevada capacidade de drenagem (Figura 2.5). A vegetação predominante é a Floresta Subcaducifólia e uma faixa de transição para o complexo vegetacional da zona litorânea composta de Caatinga Arbustiva Densa (Figura 2.6). O principal uso é a agricultura de culturas anuais, temporárias e permanentes (Figura 2.7).

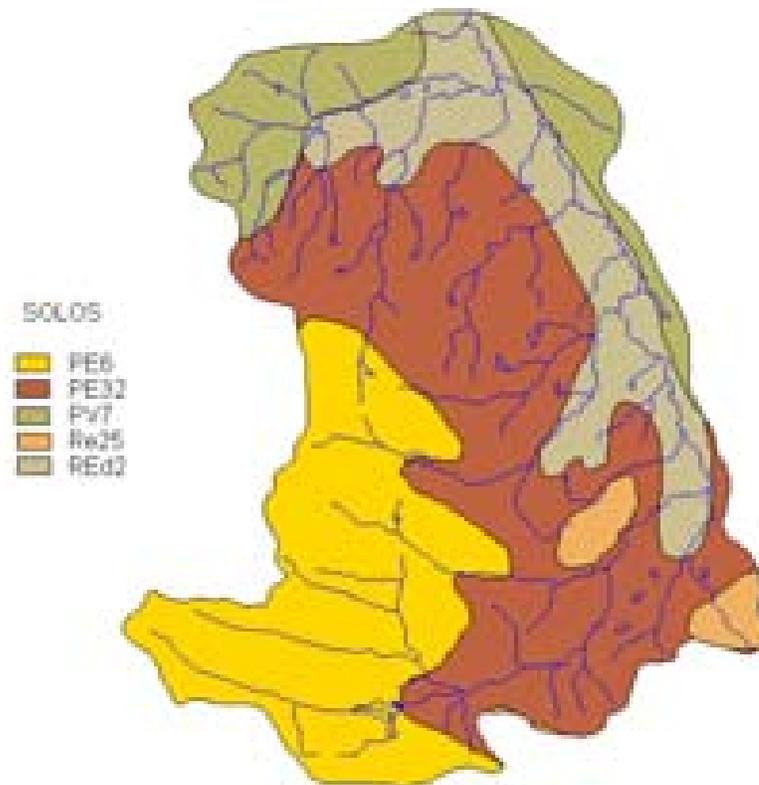


Figura 2.4. Solos da Bacia do Açude Gameleira (Fonte: FUNCEME).

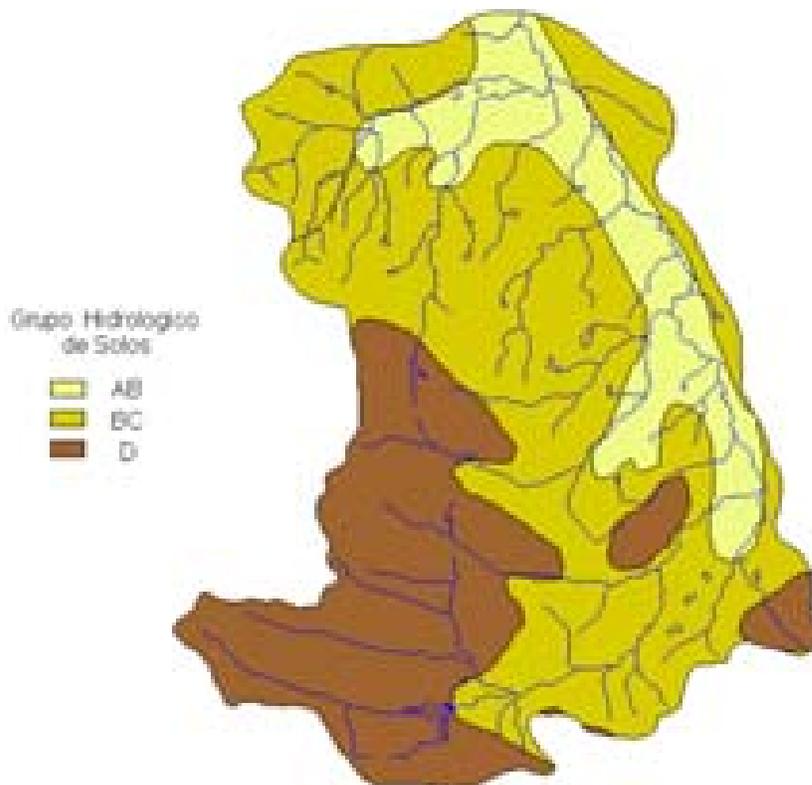


Figura 2.5. Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia do Açude Gameleira (Fonte: FUNCEME).



Figura 2.6. Vegetação da Bacia do Açude Gameleira (Fonte: FUNCEME).

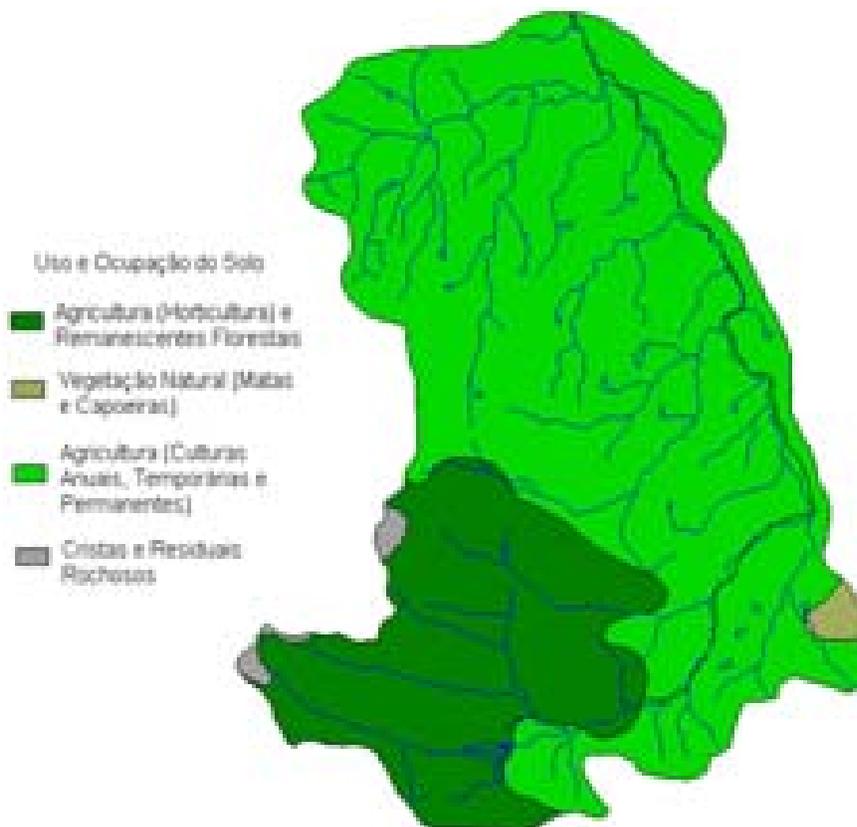


Figura 2.7. Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Açude Gameleira (Fonte: FUNCEME).

2.3.2 - Estudos Hidroclimatológicos

O rio Mundaú nasce na Serra de Uburetama e tem foz no Oceano Atlântico drenando uma área de 519,77 km². Não existe nenhuma estação hidroclimatológica nos domínios da bacia do rio Mundaú, sendo por isso utilizada como estação representativa a de Sobral, com denominação homônima de sua localidade (INEMET, 1991). As normais climatológicas aqui apresentadas são referentes aos dados coletados pelo INEMET entre o período 1969-1989.

O Quadro nº2.14, a seguir, apresenta uma síntese dos indicadores do clima da bacia em estudo.

Quadro nº2.14: Resumo dos Indicadores Climáticos	
Pluviometria média anual	1150,5 mm
Evaporação média anual – Tanque Classe A	1914,7 mm
Evapotranspiração Potencial (Hargreaves)	1853,8 mm
Insolação média anual	2416,6 h
Umidade relativa média anual	67,9 %
Temperatura média anual: média das máximas	33,3 oC
Temperatura média anual: média das médias	26,6 oC
Temperatura média anual: média das mínimas	22,0 oC
Classificação climática segundo Köeppen	BWx'
Classificação climática segundo Thornthwaite	C1SA'a'

2.3.3 - Estudos Pluviométricos

A série pluviométrica bruta utilizada neste estudo foi inicialmente tratada pelo método do Vetor Regional (HIEZ, 1978), destinado à identificação de inconsistências nas séries histórica (PERH, 1992). Estas inconsistências podem ser originadas por erros de observação, podendo tais erros ocorrer sistematicamente ou isoladamente em um certo período.

Quatro postos foram utilizados neste estudo, os mais próximos da área de interesse, bacia do açude Gameleira, que possui uma área de 519,77 km², além de estar em uma altitude que representa melhor as características da área de estudo.

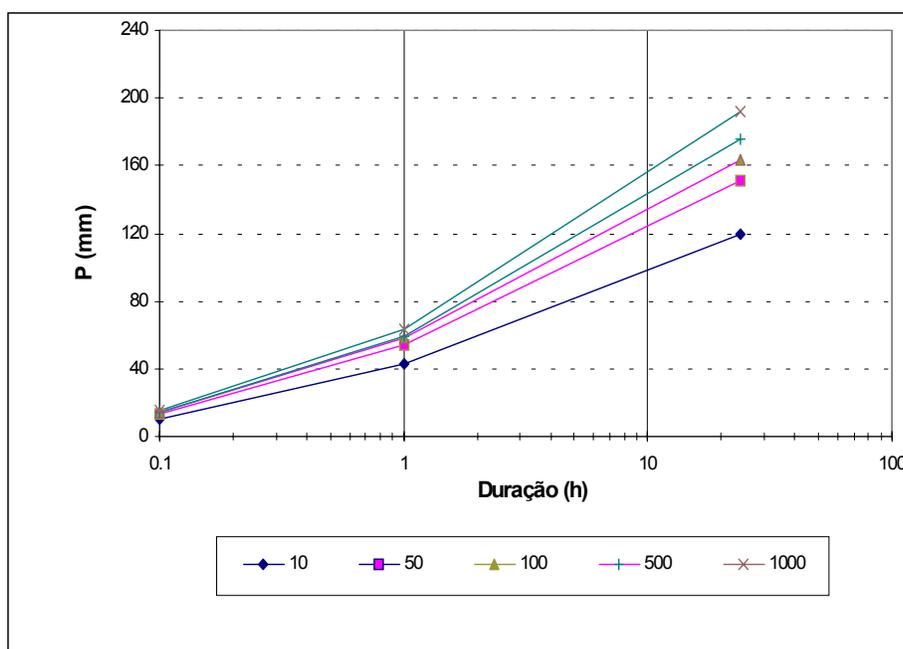
O Quadro nº2.15 mostra os postos pluviométricos que foram utilizados neste estudo e que compõem os grupos regionais PARACURU e URUBURETAMA. Foram utilizados dados até 1988, pois estes foram consistidos por ocasião do Plano Estadual de Recursos Hídricos (1992).

Quadro nº2.15: Postos Utilizados Consistidos pelo Método do Vetor Regional					
Posto	Código	Período	Latitude	Longitude	Altitude (m)
GRUPO: PARACURU					
Cemoaba	2861917	1964 -1988	03°27'	39°25'	80
GRUPO: URUBURETAMA					
Itapipoca	2870084	1939 -1988	03°30'	39°35'	98
Aç. Rajada	2871109	1976 -1988	03°35'	39°28'	----
Uruburetama	2871202	1944 -1988	03°37'	39°30'	330

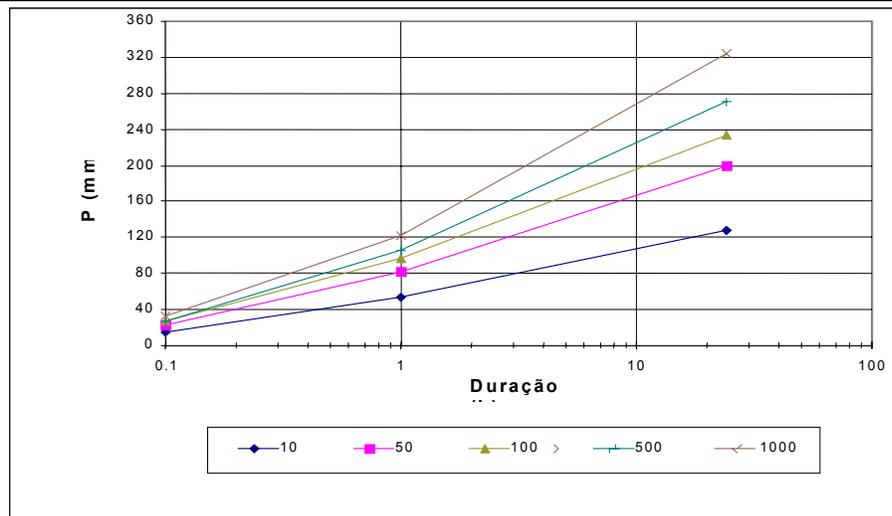
Fonte: PERH-CE (1992)

2.3.4 - Chuvas Intensas

Dada a inexistência de pluviógrafos instalados na área em estudo, os dados de precipitações foram obtidos através de pluviômetros, com registro da precipitação máxima de 1 dia. A desagregação da chuva de 24 horas em chuvas de menos duração foi feita através do Método das Isozonas. A figura 2.8 mostra as curvas intensidade – duração – freqüência de chuva para diferente tempos de retornos.



(a) Itapipoca (2860084)



(b) Uruburetama (2871202)

Figura 2.8 - Curvas Intensidade-Duração-Frequência (Pontual): postos (a) Itaipoca e (b) Uruburetama.

2.4 - ESTUDO DE CHEIAS

A determinação da cheia de projeto para o dimensionamento do sangradouro foi realizada com base nos dados de precipitação (métodos indiretos), diante da inexistência de registros pluviométricos para a bacia, as relações chuva-deflúvio para a bacia do rio Mundaú foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, sendo estudada a sua resposta aos hietogramas de projeto correspondentes a 1.000 e a 10.000 anos (T_r = tempo de retorno).

O Quadro nº2.16 apresenta a chuva pontual e com a aplicação do fator redutor de área correspondente, às curvas i-d-f. A partir das curvas de chuva reduzida, foi obtida a precipitação associada aos tempos de retorno de 1000 e 10000 anos para as durações de 5 min, 15 min, 60 min, 2 h, 3 h, 6 h, 12 h e 24 h.

Quadro nº2.16: Valores Reduzidos de Chuva (mm) de 24 horas								
Duração	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
Chuva Reduzida – Itaipoca (2860084): Trecho Gameleira-Mundaú								
P(mm) – TR 100	8,8	24,1	43,4	60,5	70,4	87,5	104,5	121,6
P(mm) – TR 500	9,7	26,8	48,3	68,9	80,9	101,5	122,1	142,7
P(mm) – TR 1000	10,3	27,8	49,9	72,1	85,1	107,3	129,5	151,7
P(mm) – TR 10000	13,6	36,6	65,6	90,9	105,6	130,8	156,1	181,3
Chuva Reduzida – Uruburetama (2871202): Bacia do Mundaú								
P(mm) – TR 100	21,1	53,0	93,2	122,2	139,2	168,2	197,2	226,2
P(mm) – TR 500	26,1	68,7	122,4	164,1	188,5	230,3	272,0	313,8
P(mm) – TR 1000	29,6	75,7	133,7	182,1	210,4	258,9	307,3	355,7
P(mm) – TR 10000	37,7	101,4	181,9	251,8	292,7	362,6	432,5	502,4

2.4.1 - Precipitação Efetiva Para Aplicação do HEC-1

A chuva efetiva foi calculada com a utilização do método Curva Número do Soil Conservation Service. Trata-se de um procedimento desenvolvido pelo Serviço de conservação do Solo USDA, no qual a lâmina escoada, ou seja, a chuva efetiva é uma fração da altura total da chuva e um parâmetro de abstração denominado Curva-Número, CN. Este coeficiente varia de 1 a 100, sendo uma função das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia (1) tipo de solo hidrológico; (2) uso do solo e tratamento; (3) condição da superfície subterrânea; e (4) condições de umidade antecedente. Para a bacia do rio Mundaú foi adotado um CN = 75 com base nos mapas de solos (grupos hidrológicos), uso e ocupação e relevo contidos no PERH (1992).

2.4.2 - Hidrograma Unitário - SCS

A técnica do Hidrograma Unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. No Quadro nº2.17 a seguir estão indicados os dados dos hidrogramas de cheia milenar e decamilenar.

Cheia	Δt (minutos)	Chuva Total (mm)	Perdas (mm)	Chuva efetiva (mm)
1.000	10	138,88	64,57	74,31
10.000	10	165,97	68,30	97,68

As Figuras 2.9 e 2.10 apresentam os hietogramas de projeto (precipitação total) e os hidrogramas afluentes à barragem Gameleira obtidos através do uso do modelo HEC correspondentes aos tempos de retorno 1000 e 10000 anos, conforme metodologia acima. A vazão de pico do hidrograma foi 893 m³/s para o período de retorno de 1.000 anos, e 1186.0 m³/s para o período de retorno de 10.000 anos.

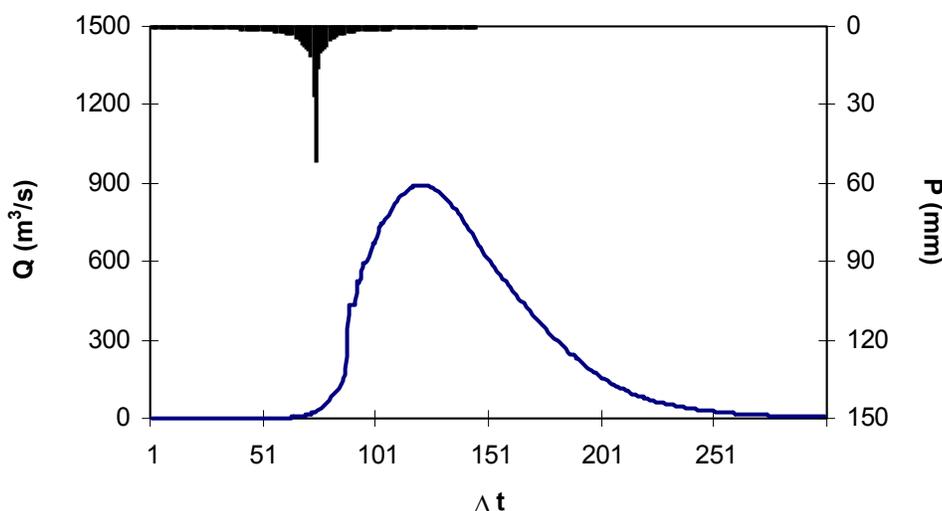


Figura 2.9 - Hidrograma total afluente - Bacia 519.77 km² (Tr = 1.000 anos).

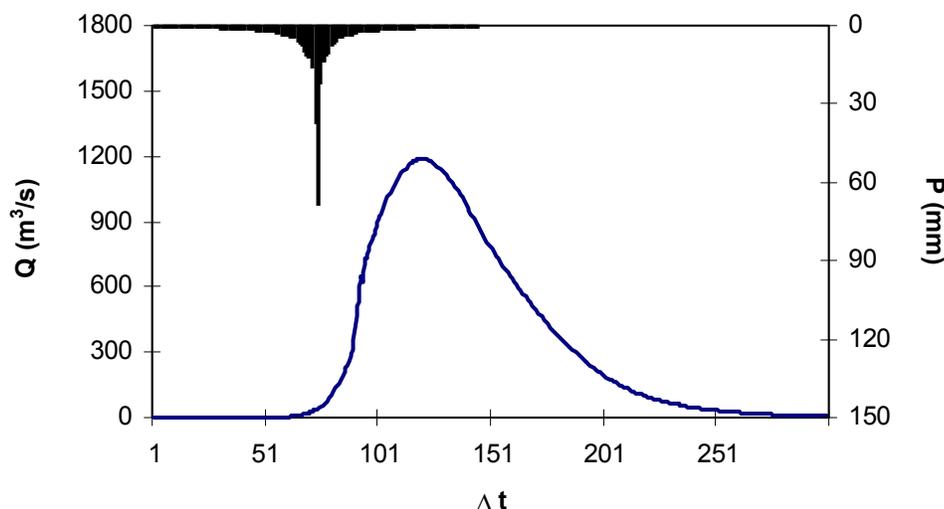


Figura 2.10 - Hidrograma total afluente - Bacia 519.77 km² (Tr = 10.000 anos).

2.5 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO

Na determinação das curvas de regulação do reservatório foram utilizados dois métodos, a saber:

1. Solução direta da equação de balanço hídrico;
2. Diagrama Triangular de Regularização – sem influência do açude de montante.

No Quadro nº2.18 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de f_K (fator de capacidade = K/μ) para o açude Gameleira. A Figura 2.11 apresenta as curvas de regulação para o reservatório Gameleira, que nada mais é que a graficação dos valores apresentados no Quadro nº2.18.

Quadro nº2.18: Estudo Incremental de Capacidades do Reservatório Gameleira

Cota (m)	K (hm ³)	$f_k=K/\mu$	%LIB	LIB (hm ³ /ano)	%EV	EV (hm ³ /ano)	%SG	SG (hm ³ /ano)	dM/dK	Q90 (m ³ /s)	M90 (hm ³ /ano)
34,5	28,975	0,32	13,18	11,857	4,94	4,440	81,88	73,661	-----	0,390	12,291
35,0	32,838	0,37	14,59	13,122	5,38	4,842	80,03	71,991	0,337	0,431	13,592
35,5	37,403	0,42	16,32	14,678	5,86	5,274	77,82	69,981	0,361	0,483	15,239
36,0	41,968	0,47	17,98	16,174	6,32	5,688	75,69	68,079	0,340	0,532	16,792
36,5	47,305	0,53	19,85	17,848	6,84	6,151	73,32	65,935	0,330	0,588	18,552
37,0	52,642	0,59	21,83	19,627	7,30	6,564	70,88	63,739	0,356	0,649	20,454
37,5	58,776	0,65	23,86	21,450	7,82	7,032	68,32	61,428	0,321	0,711	22,421
38,0	64,909	0,72	25,97	23,354	8,28	7,449	65,74	59,116	0,338	0,777	24,497
38,5	71,875	0,80	27,76	24,960	8,86	7,966	63,38	56,977	0,249	0,832	26,230
39,0	78,841	0,88	29,37	26,404	9,42	8,473	61,21	55,040	0,217	0,880	27,741

A análise da Figura 2.11 e dos dados apresentados no Quadro 2.18 sugere a escolha do volume em torno de 52,642 hm³, pelas condições físicas do local, correspondente a cota de 37 m. Para esta capacidade o reservatório regulariza 21,83% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, 20,454 hm³/ano, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de 0,649 m³/s.

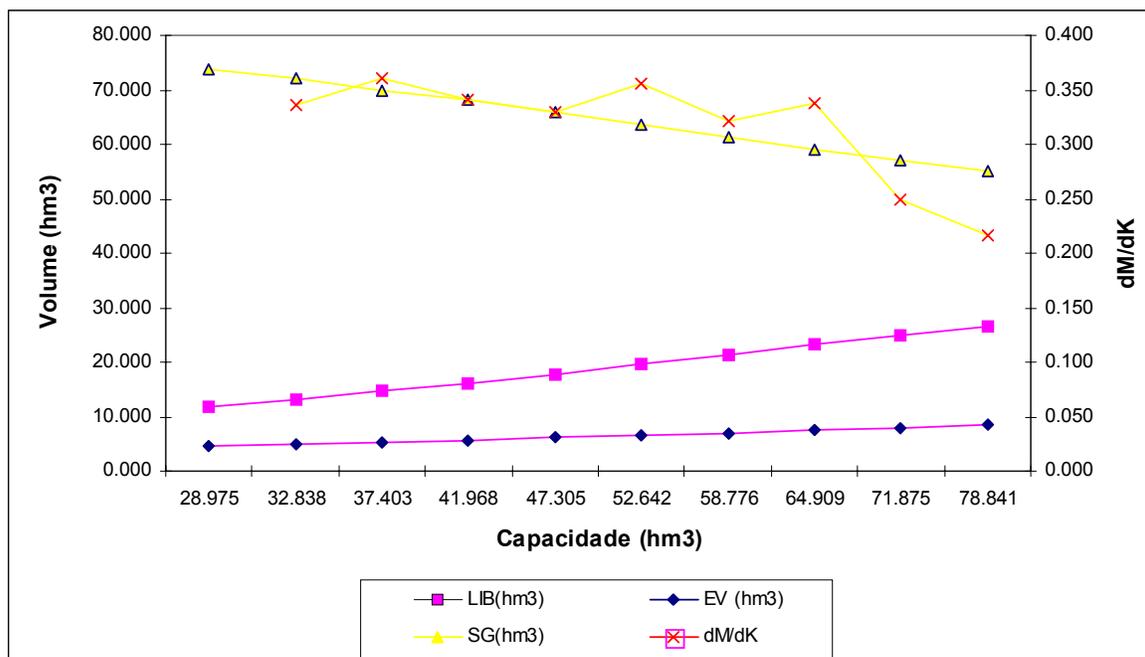


Figura 2.11 - Curvas de Regulação do Reservatório Gameleira – Resolução direta da equação do balanço hídrico.

2.6 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO

O item anterior demonstrou que faixa de volumes estudada está bem aquém da hidrológica possível, fato este refletido pelo baixo fator de capacidade ($f_K < 0,88$). Entretanto, a topografia do eixo barrável impede a análise para maiores fatores de capacidade, o que nos leva a escolha do volume em torno de 52,6 hm³ ($f_K = 0,61$) pelas condições físicas do local, correspondente a cota de 37 m.

2.6.1 - Análise econômica

Para facilitar a escolha da capacidade da barragem foi elaborado um gráfico contendo as seguintes informações:

- variação do custo anual do m³ de água acumulada em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos e uma taxa de 8%;

- variação do custo anual do m³ de água regularizada com 90% de garantia em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos e uma taxa de 8%;
- variação do ganho em unidades de volume regularizado por unidade de volume acrescido na capacidade do reservatório (dM/dK);

A análise dos resultados da Figura 8.1 mostra que:

- o custo anual do m³ regularizado variou entre R\$ 0,010 (cota 35 m) e R\$ 0,0006 (cota 38 m).
- o custo anual do m³ de acumulação variou entre R\$ 0,004 (cota 35 m) e R\$ 0,002 (cota 38 m).

2.6.2 - Escolha da capacidade do reservatório – Análise hidrológico-econômica

Apesar de tanto o custo anual do m³ regularizado como também de custo anual do m³ acumulado terem uma tendência negativa, ao aumentarmos a cota de soleira de 35 para 38 m, existem limitantes topográficas que limitam a escolha da cota da soleira. Assim, considerando os aspectos hidrológico-econômicos e os limitantes topográficos (cota de coroamento no máximo = 41,00m) sugere-se a adoção da cota de soleira = 37m (volume de armazenamento = 52,6 hm³).

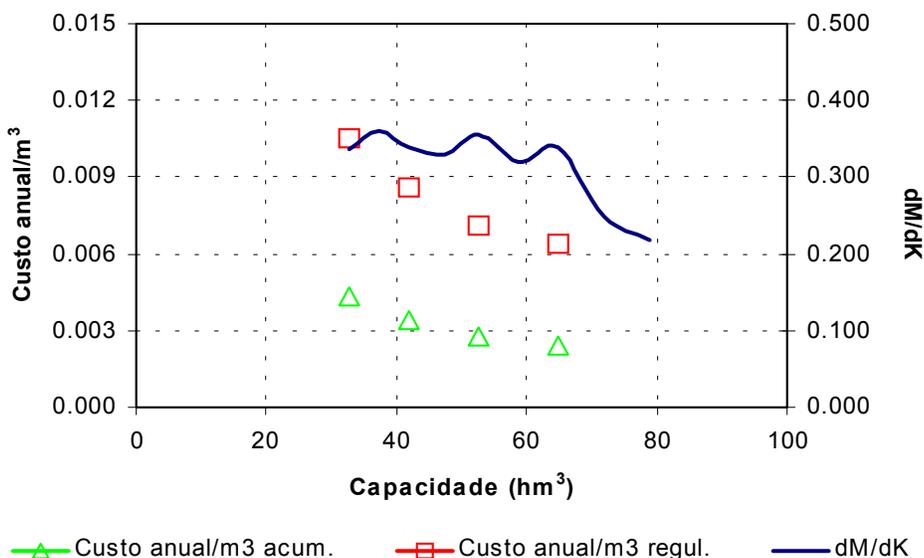


Figura 2.12. Análise hidrológico-econômica para seleção da capacidade da barragem Gameleira.

2.6.3 - Dimensionamento do Sangradouro

No dimensionamento do sangradouro foi adotada a cheia associada ao tempo de retorno de 1.000 anos, realizando-se para esta os estudos de laminação, e será determinada a cota de coroamento da barragem com base na cheia associada a 10.000 anos, para garantir o não galgamento nesta cheia.

Uma vez escolhida a dimensão do açude, elaborou-se o estudo de laminação para a cheia de 1.000 anos, para dimensionamento do sangradouro, e para a cheia de 10.000 anos, visando garantir que a barragem não seja galgada nesta cheia, servindo assim para a definição da cota de coroamento da barragem.

Tendo em vista as condições de contorno do problema que determinou a necessidade de um perfil Creager, foi, portanto, analisada apenas esta situação, fazendo variar só as larguras do sangradouro.

Desta forma os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e a altura da lâmina vertida são mostradas no Quadro nº2.19, usando como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

Quadro nº2.19: Resultado da Simulação acima descrita			
L (m)	Q_{out} (m³/s)	Cota (m)	Lâmina (m)
Perfil Creager: Z_w = 37 m			
Tr = 1000 anos - Q_{in} = 893 m3/s			
50	310	39,06	2,06
60	346	38,96	1,96
70	377	38,87	1,87
80	405	38,80	1,80
90	430	38,73	1,73
100	453	38,67	1,67
110	474	38,61	1,61
120	493	38,56	1,56
130	511	38,52	1,52
140	527	38,47	1,47
150	542	38,44	1,44

Quadro nº2.19: Resultado da Simulação acima descrita

L (m)	Q _{out} (m ³ /s)	Cota (m)	Lâmina (m)
Tr = 10000 anos - Q_{in} = 1186 m3/s			
50	355	39,25	2,25
60	397	39,15	2,15
70	435	39,06	2,06
80	469	38,98	1,98
90	498	38,91	1,91
100	524	38,84	1,84
110	548	38,78	1,78
120	571	38,72	1,72
130	591	38,67	1,67
140	610	38,63	1,63
150	627	37,58	1,58

L = Largura do Sangradouro

Z_w = cota da soleira do sangradouro

Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório

Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)

C = Coeficiente de descarga = 2,10

A propagação da cheia são apresentadas a seguir em forma de planilha.

Examinando essas planilhas pode se extrair os seguintes dados:

Tempo de Máxima Elevação do NA (min)	Vazão Amortecida (m ³ /s)	Lâmina (m)	Cota no Lago
CHEIA MILENAR			
1.266,71	405	1,80	38,80
CHEIA DECAMILENAR			
1.309,91	469	2,00	39,00

OBS: Inserir 12 páginas

2.6.4 - Estudos Adicionais

Os estudos adicionais da bacia de Gameleira são descritos a seguir.

2.6.4.1 - Probabilidades de enchimento e esvaziamento - Equilíbrio

Neste tópico foi utilizada a teoria de Matriz de Transição para cálculo da probabilidade de esvaziamento e enchimento em equilíbrio. Para tanto, foi utilizada a formulação proposta pelo Prof. Nilson Campos (Campos, J.N.B., A procedure for reservoir sizing on intermitent rivers under high evaporation rates, PhD Thesis, Colorado State University, Fort Collins, 1987, pp. 133.).

Também foi realizada a análise probabilística de esvaziamento e de enchimento na fase de equilíbrio. A última análise mostra que, no equilíbrio, em cerca de 50% dos anos ocorre sangria para uma retirada anual de 50 hm³.

2.6.4.2 - Assoreamento do açude Gameleira

O assoreamento de um reservatório ao longo da sua vida útil é inevitável porquanto a erosão e o transporte de sedimentos na bacia hidrográfica são processos naturais que, com a formação do lago, sofrem interferência no seu equilíbrio. O menor ou maior grau de assoreamento a que estará sujeito o reservatório depende de vários fatores, onde podem-se destacar aqueles inerentes à hidrologia da bacia hidrográfica, capacidade de armazenamento do açude frente ao volume afluente, conformação geométrica da bacia hidráulica e a composição dos sedimentos.

A composição média dos sedimentos adotada, baseada nos tipos predominantes de solos, foi 9% de Argila, 10% de Silte e 81% de Areia. A partir destas características e outros dados da bacia (área da bacia, volume afluente médio anual, precipitação média anual da bacia e precipitação do mês mais chuvoso) foram utilizados fórmulas empíricas para cálculo dos seguintes parâmetros para utilização da metodologia de Veiga (1993) para previsão do assoreamento do reservatório.

Peso específico aparente inicial - γ_i (t/m ³):	1,423
Coeficiente de consolidação médio - K :	0,015
Descarga sólida média (t/ano):	194100
Descarga sólida média específica (t/km ² /ano):	401,40
Razão de transporte ("delivery ratio") - T	0,112

A estimativa do volume assoreado e, conseqüentemente, do volume efetivo ou útil do reservatório ao longo do tempo é feita através da simulação simplificada da operação do reservatório em intervalos Δt igualmente espaçados durante um tempo suficientemente longo. O açude Gameleira foi simulado durante 100 anos com Δt igual a 10 anos. Foi assim obtido um volume final ao período de 100 anos de 39,7 hm³, havendo uma redução de 24,5% no volume útil do açude Gameleira, o qual era inicialmente de 52,6 hm³. Deve-se ressaltar, entretanto que a aplicabilidade desta metodologia ao semi-árido não foi verificada em face de inexistência de registros de dados sedimentológicos.

3 - DESCRIÇÃO DO PROJETO

3 - DESCRIÇÃO DO PROJETO

O projeto da Barragem Gameleira foi elaborado a partir da apresentação de soluções técnicas alternativas para os diversos tipos de possíveis maciços, a comparação destas alternativas e finalmente a escolha da barragem, a qual melhor se adequa às condições naturais encontradas, levando-se em conta os custos e as finalidades da obra.

A seguir é feito um breve relato das etapas que antecederam a escolha final do local e do tipo de barragem. Essas fases aconteceram no decorrer dos estudos preliminares, onde foi feita a escolha do eixo que seria estudado e na preparação do anteprojeto onde foi definido o tipo de barragem.

3.1 - ESTUDOS DE ALTERNATIVAS DE LOCALIZAÇÃO DO EIXO

Utilizando-se as fotografias aéreas do SACS – Serviço Aerototogramétrico Cruzeiro do Sul, pertencente ao arquivo da 2ª DR/DNOCS (Diretoria Regional do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), na escala de 1:25.000, foi possível desenvolver uma análise fotointerpretativa dos locais barráveis, e a elaboração do “over-lay” correspondente, o qual foi “scaneado” e vetorizado em computador, obtendo-se daí uma planta na mesma escala, com formato mais realístico e a identificação de locais possíveis de barramento.

A fotointerpretação associada às cartas da SUDENE na escala 1:100.000 e as visitas a campo, permitiram identificar algumas alternativas de boqueirão possíveis de barramento, cuja escolha foi definida através dos critérios a seguir:

1. Condicionantes hidrológicos, pela capacidade de oferta hídrica, possibilitando a ocorrência de sangrias mais constantes e uma acumulação mais confiável e duradoura.
2. Condicionantes sociais, pelo maior alcance às populações circunvizinhas e a garantia do abastecimento d'água da cidade de Itapipoca.
3. Condicionantes ambientais e econômicos relevantes, não só pela transformação do meio físico das áreas atingidas, como também sócio-

econômicas, quanto ao reassentamento e o remanejamento das populações atingidas com os projetos,

4. Condicionantes topográficos, geológicos-geotécnicos, os quais estão diretamente ligados ao porte da barragem, sangradouro, fundação e aos materiais de construção, que em conjunto influenciam nos custos de investimento para a implantação das obras.

Assim sendo, nos estudos preliminares foram identificadas três alternativas, descritas a seguir:

EIXO – 1

O Eixo – 1 barra o rio Mundaú na localidade de Gameleira. Está situado a 5,0km a Este da CE-168 e a 15,0km de Itapipoca. Esta alternativa apresenta características gerais viáveis para a implantação de uma barragem no local, com altura de 18,0m e comprimento de 1000m e acumularia um volume hídrico estimado de 30hm³. Ainda mais, sua fundação e local de implantação do sangradouro são bastante favoráveis, devido a pouca espessura do solo ao longo de todo o sítio barrável. A barragem neste local oferece um potencial de acumulação bem expressivo, limitado somente pelas condições topográficas, comum às bacias litorâneas. Existem condições favoráveis para a localização do sangradouro na ombreira esquerda sobre um substrato rochoso ali existente.

Após visita ao local, constatou-se em campo a presença de ralos afloramentos de rochas do embasamento cristalino, onde foram identificados ao longo do eixo, no leito do rio e nas ombreiras, induzindo para um eixo barrável assente em substrato rochoso. Pela configuração da calha do rio e da observação visual dos solos e rochas existentes, deduz-se que a fundação da futura barragem não irá oferecer grande complexidade, sendo executada provavelmente com o cutoff, assentes em rochas sã. Os solos de superfície, provenientes da alteração destas rochas são areno-argilosos e ocorrem com certa abundância na região. Estes solos serão utilizados como materiais argilosos para o maciço, caso seja executado a barragem no local.

A proximidade do Eixo – 1 com a Serra de Uruburetama denota a presença de afloramentos rochosos, bem próximos ao eixo, o que poderão ser explorados como

pedreiras. Ao longo do rio Mundaú também foram identificados bancos de areia, com volumes expressivos e com características quartzo-feldspática de granulometrias favoráveis ao uso nos drenos da barragem.

A área inundável estimada do lago de acumulação do Eixo – 1 é da ordem de 558ha, sendo muito pouco habitada em toda a sua abrangência, minimizando portanto, os custos com reassentamento e remanejamento da população. Quanto aos condicionantes ambientais e sociais para este local, estão basicamente restritos a avaliações do meio biótico e sócio-econômicos.

EIXO – 2

O Eixo – 2 barra o rio Mundaú na localidade da Fazenda Mala, situado a 1,8km a montante do Eixo – 1. Este boqueirão apresenta características geológicas-geotécnicas e topográficas muito semelhantes com o Eixo – 1, devido a proximidade entre os mesmos. O Eixo – 2 está posicionado em um boqueirão muito aberto, com comprimento da ordem de 1400m e altura de 17,0m, com a perspectiva de um reservatório capaz de acumular cerca de 20hm³. O local também é relativamente propício a implantação da obra, dada as características geológicas e geotécnicas superficiais do sítio. No entanto, quando comparadas ao Eixo – 1 se torna inviável em vários aspectos, principalmente no tocante ao volume de armazenamento. O boqueirão, por ser mais aberto, apresenta maior volume de maciço e conseqüentemente maior custo de implantação.

Aspectos sociais e ambientais são muito semelhantes entre o Eixo–1 e o Eixo–2, não só pela proximidades entre os mesmos, mas também devido a incidência de praticamente a mesma população atingida, com a abrangência das áreas a serem desapropriadas do projeto.

EIXO – 3

O Eixo – 3, situado na localidade de Cemoaba, barra o rio Mundaú 15,0km a montante do Eixo –1. Esta alternativa de eixo está posicionada a 8,0km de CE-354 e a 19,0km da cidade de Itapipoca. O referido boqueirão a priori apresenta um eixo mais estreito que os anteriores, em torno de 700m para uma altura de 18,0m. Porém, o

mesmo possui um dique na sua margem esquerda com aproximadamente 1200m de comprimento, para uma altura de 15,0m, o que o torna neste aspecto, o menos atrativo.

Outra desvantagem da alternativa do Eixo – 3 Cemoaba como barramento, em comparação ao Eixo –1, é que o local para a implantação do sangradouro é bem mais desfavorável topograficamente e geotecnicamente pelos aspectos superficiais, ou seja, não existe rocha de boa qualidade, forçando para este local um projeto de sangradouro provavelmente mais exigente tecnicamente, considerando os níveis de segurança satisfatórios e, em conseqüência mais oneroso pela sua condição natural.

Outra diferença importante é que, no Eixo – 3 a bacia de acumulação apresenta um espelho d'água mais abrangente, em torno de 640ha, para um volume de acumulação em torno de 34hm³.

Quanto a interferência com a população existente na bacia de acumulação é visivelmente superior aos demais eixos, devido a incidência dos povoados de Rochoso e Lagoa das Pedras, localizados logo a montante deste eixo. Estes aspectos expressivamente negativos, de ordem ambiental e social, o inviabilizaram em relação ao Eixo –1.

3.1.1 - Considerações Finais

A alternativa do Eixo – 1, de um modo geral torna-se bem mais atrativa que os demais eixos denominados de 2 e 3. Não só pelos volumes comparativos na acumulação dos reservatórios, como também pela maior proximidade à cidade de Itapipoca, resultando em uma menor extensão da adutora para o seu abastecimento d'água

3.2 - ESTUDOS DE ALTERNATIVAS DE MACIÇO

O anteprojeto da Barragem Gameleira foi concebido considerando a utilização dos materiais da fundação e aqueles disponíveis para a construção, as condições geotécnicas do subsolo, a altura da barragem, as condições topográficas, as condições climáticas e as facilidades construtivas. A partir de então, foram estudadas duas alternativas de seções de maciço para a Barragem Gameleira, a saber:

1. Maciço Tipo – 1: Barragem de Enrocamento:

- ✓ Barragem constituída de um maciço de enrocamento, com núcleo impermeável central com material proveniente das jazidas J-01 e J-02. Espaldar de montante construído com material pétreo proveniente da pedra P-01; espaldar de jusante construído com material pétreo proveniente da escavação do sangradouro e da pedra P-01.
- ✓ Núcleo construído com um talude, tanto de montante como de jusante, de 1,0 (H) : 0,5 (V), protegido por uma zona de transição. A zona de transição será proveniente do areal A-01 e da pedra P-01.
- ✓ De acordo com as investigações geotécnicas, as sondagens apresentaram ao longo do eixo barrável uma camada permeável, determinando a necessidade de uma trincheira corta fluxo, impermeável, o cut-off. Logo, foi previsto um cut-off assente em rocha ou embutido em solo residual. Os taludes de escavação serão de 1,0 (H) : 1,0 (V).
- ✓ Os espaldares de montante e de jusante serão assentes no topo rochoso ou incrustado em solo residual.

2. Maciço Tipo – 2: Barragem Homogênea de Terra

- ✓ Barragem de terra com zoneamento de material. Com o material da jazida J-01 será executado o cut-off e a zona de núcleo, o qual terá taludes de montante de 0,5:1,0 (H:V) e talude vertical no lado de jusante. Com os materiais das jazidas J-02 e os materiais da escavação do sangradouro e jazida J-01, serão executados os espaldares.
- ✓ A geometria da barragem tem taludes de montante com inclinação de 2,5:1,0 (H:V) e jusante com inclinação de 2,0:1,0 (H:V).
- ✓ O coroamento da barragem ficará na cota 41,00m e a soleira do sangradouro na cota 37,00m.
- ✓ O sistema de drenagem interna compreende um filtro tipo chaminé, com material do areal A-01 e um tapete drenante, com material do areal A-01 e da pedra P-01. Será executado um dreno de pé, rock-fill de seção trapezoidal, de altura de 2,0m.
- ✓ De acordo com os resultados das investigações geotécnicas, as sondagens apresentaram ao longo do eixo barrável uma camada permeável, determinando a necessidade de uma trincheira corta fluxo, impermeável, o cut-off. Logo, foi previsto um cut-off assente em rocha ou embutido em alteração de rocha. Os taludes de escavação serão de 1,0 (H) : 1,0 (V).

Apresentam-se a seguir as duas seções tipo estudadas.

ALTERNATIVA 1 – Figura 3.1.dwg

ALTERNATIVA 2 – Figura 3.2.dwg

3.2.1 - Critérios e Justificativa de Escolha da Alternativa de Maciço Escolhida

Aproveitando todo o potencial topográfico do boqueirão, foram simuladas a quantificação dos materiais necessários à execução da Barragem Gameleira na alternativa de Seção Tipo 1 e na alternativa Seção Tipo 2, como descrita anteriormente, com coroamento na cota 41,00m. A partir de então, procedeu-se a um confronto econômico entre as alternativas, com detalhamento suficiente para possibilitar o levantamento dos quantitativos dos grandes itens e orçando-se apenas aqueles que diferem nas alternativas. O sangradouro e a tomada d'água não foram orçados, pois independem da seção escolhida.

Nos Quadros nºs 3.1 e 3.2 são apresentados os custos das alternativas estudadas.

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

1. Para as duas alternativas analisadas, as escavações obrigatórias em rocha, não são suficientes para atender as necessidades dos concretos e dos enrocamentos de proteção, sendo necessária a exploração de pedreira. A adoção da Seção Tipo 1, em enrocamento, apresentou custos não competitivos, uma vez que a rocha teria que ser importada.
2. As pesquisas efetuadas e relativas aos materiais naturais de construção evidenciaram a ocorrência de solos, constituídos de areias pouco argilosas, com volumes suficientes para execução da barragem com a seção idealizada, como apresentado na Seção Tipo 2. O material das ocorrências além de oferecer excelentes características geotécnicas, quando compactados, apresenta grande trabalhabilidade, possibilitando a construção de um maciço com altas produções e custos competitivos.
3. Alternativa de maciço de gravidade ou em concreto compactado a rolo (CCR) para formar a Barragem Gameleira foram descartadas pela característica topográfica do boqueirão, ou seja, um boqueirão muito aberto, de dimensões extensas. Porém, o fator determinante para a eliminação destas alternativas foi a investigação geotécnica do subsolo, o qual indicou a presença de rocha em camadas profundas, inviabilizando a fundação deste tipo de barragem.

A concepção selecionada – Alternativa 2: Barragem em terra homogênea com núcleo zoneado, possui custo executivo compatível com a importância da obra e que, por suas características de acumulação, satisfaz as necessidades de consumo da população de interesse no que se refere à problemática de abastecimento d'água humano.

Quadro nº3.1

Quadro nº3.2

3.3 - CONCEPÇÃO DA BARRAGEM

O presente capítulo contém o memorial descritivo e justificativo do Projeto Executivo da Barragem Gameleira, o qual foi dividido nos seguintes itens, de acordo com os aspectos abordados:

- Caracterização da Fundação;
- Rebaixamento do Lençol Freático;
- Geometria da Trincheira de Fundação;
- Cortina de Injeção;
- Local de Bota-Fora;
- Maciço da Barragem;
- Análise de Estabilidade;
- Estudo de Percolação da Barragem;
- Análise dos Recalques;
- Sangradouro;
- Tomada D'Água.

3.3.1 - Caracterização da Fundação

Através da análise dos resultados das sondagens executadas no local das obras, pode-se traçar um provável perfil geotécnico da área do trecho barrável. Este desenho encontra-se no Tomo 6.

As características da fundação da barragem podem ser visualizadas nos boletins de sondagens, nos ensaios de infiltração e perda d'água realizados bem como no desenho referente ao perfil geológico – geotécnico.

A Barragem Gameleira tem o seu estaqueamento iniciado na estaca 21S+10,0 m na ombreira esquerda. A seqüência do estaqueamento vai de 21S+10,0 m a 0S=0 e 0S=0 a 80+10,0 m. O total levantado foi de 2.040,0 m. O sangradouro em versão final ficou localizado entre as estacas 14 a 18, próximo a calha do rio.

3.3.1.1 - Calha do Rio

O material predominante encontrado nas fundações é constituído por depósitos de areia fina siltosa com pedregulhos restritos ao fundo do vale, com valores de SPT variando de 14 a 25/5 golpes em média. Abaixo destas camadas, encontra-se uma camada não espessa de solo residual composto por argila arenosa com pedregulhos e seixos, rija, com colorações variando entre cinza e vermelho, com SPT variando entre 22 a 45/27 golpes em média, proveniente da decomposição e alteração da rocha de fundação (granito). As sondagens a percussão tiveram suas profundidades limitadas portanto, pelo solo residual que se mostrou impenetrável à ferramenta de percussão. Estas profundidades variaram de 1,40 a 4,00 metros.

A rocha de fundação se apresenta de modo alternado em formação de gnaiss de coloração cinza a vermelho com variações de tonalidades (claro a escuro) de muito a pouco fraturado, apresentando porcentagens de recuperação de 20% a 90%, e formações de granito rosa, às vezes apresentando veios de pegmatito, de pouco a muito fraturado com recuperações em torno de 20% a 90%.

Após as margens do rio, encontra-se camadas de argila arenosa com pedregulhos e seixos, rija, com colorações variando entre cinza e vermelho, com valores de SPT variando entre 12 e 23/7 golpes em média e profundidades de 0,50 a 7,00 metros (especificamente SM-14). As sondagens a percussão tiveram suas profundidades limitadas portanto, pelo solo residual que se mostrou impenetrável à ferramenta de percussão.

Ao longo da estaca 25+10m, de montante a jusante, tem-se o contato do aluvião com o solo de recobrimento do embasamento cristalino, detectado na sondagem SPP-4, com espessura de 1,40 m. Esse pacote aluvionar é representado por areia fina, siltosa, de coloração cinza, com tonalidades variando entre escuro e claro.

A menos da SP-21, cujo nível d'água se apresentou a 0,40m, o mesmo não foi detectado em nenhuma outra sondagem nesta região.

Os ensaios de permeabilidade "in situ" nas camadas de solo apresentaram resultados variando entre $k = \text{coeficiente de permeabilidade} \cong 2,53 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ a $k \cong 4,03 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$.

Os ensaios de perda d'água específica nas rochas, apresentaram valores de condutividade hidráulica do maciço variando entre $P.E = \text{Perda d'Água Específica} = 0$ a

2,67 l/min/m/Kg/cm², que traduz permeabilidades variando em torno de $k = 0$ a $2,53 \times 10^{-4}$ cm/s.

No entanto, uma característica marcante dos ensaios de perda d'água se dá através da análise dos gráficos de vazão x pressão. O que se nota é que na maioria dos casos, o maciço se comporta com regime laminar sem alteração de fenda. Somente no caso do ensaio efetuado na SM-13, o regime se dá como turbulento com ligeira abertura de fendas. No entanto, para o caso da Barragem Gameleira, e analisando-se as pressões atuantes nesta região, pode-se concluir que não haverão problemas localizados relativos a abertura de fendas por elevação da pressão atuante, uma vez que estas ficarão abaixo daquelas aplicadas nos ensaios.

Uma outra característica se dá, através da análise geológica do maciço, que cita que a foliação da rocha encontra-se no sentido quase perpendicular ao fluxo do rio, mergulhando para SE, no sentido oposto a esse fluxo, portanto evidenciando uma situação favorável do posicionamento do eixo da barragem com relação ao sentido preferencial de percolação.

A recomendação que se faz, é que quando do início das obras, nova campanha de ensaios de perda d'água sejam executados. Isto se faz necessário, de forma a mapear melhor este local, e a níveis de pressão compatíveis aos solicitantes quando da operação do reservatório.

Estas dados serão utilizados para refinar a campanha de injeção de calda de cimento nas fraturas do maciço para impermeabilização do mesmo, bem como evitar a "clacagem" do maciço, isto é, alargamento das fissuras existentes e abertura de novas durante a execução das injeções, rompendo a rocha segundo planos de fraqueza, criando, portanto um maciço diferente do original.

3.3.1.2 - Ombreiras

Na região das ombreiras encontra-se uma capa de solo residual delgada formada por silte arenoso com pedregulhos e seixos angulosos, cinza escuro com espessura variando entre 0,25m e 2,50m, atingindo logo a seguir a rocha do tipo granito pouco a muito fraturado cinza. Os valores de SPT encontrados nas sondagens estavam em torno de 16 a 20/5 golpes em média.

Na ombreira esquerda, abaixo da camada de silte, encontra-se camada de argila silto-arenosa com pedregulhos, rija, com coloração variando entre vermelho e cinza. Na ombreira direita, esta camada não é detectada, aparecendo, no entanto, uma delgada camada de areia fina siltosa com pedregulhos de espessura entre 0,20 e 1,00

metros em média. Abaixo desta camada, encontra-se camada de silte argiloso com concreções, atingindo 1,50m de profundidade.

As sondagens a percussão tiveram suas profundidades limitadas pelo solo residual que se mostrou impenetrável à ferramenta de percussão. O nível d'água não foi detectado durante os ensaios.

Os ensaios de permeabilidade "in situ" nas camadas de solo apresentaram resultados variando entre k =coeficiente de permeabilidade $\cong 3,61 \times 10^{-6}$ cm/s a $k \cong 1,06 \times 10^{-4}$ cm/s.

Com relação ao dique auxiliar de fechamento (da estaca 47 a 70+10m na ombreira esquerda), a topografia do terreno é plana e suave e o solo superficial é silto-arenoso, com pedregulhos, de cor cinza clara, de granulação fina e média. Em algumas áreas a superfície do terreno é recoberta por seixos angulosos de quartzo e fragmentos de rocha, com espessura pequena, caindo imediatamente em rocha gnaisse.

3.3.1.3 - Sangradouro

O sangradouro inicialmente foi previsto para ser executado entre as estacas 21S+10,0 m e 0S=0, porém as condições geotécnicas levaram a mudança para o local entre as estacas 14 e 18. Esse local está próximo à calha do rio cuja descrição geotécnica foi feito no item 3.3.1.1.

3.3.2 - Rebaixamento do Lençol Freático

As escavações para execução do cut-off serão praticamente acima do nível d'água em quase toda a barragem. Apenas no leito do rio haverá necessidade de rebaixar o lençol freático tendo em vista a pequena extensão é provável que não haja necessidade de utilização de sistema específico para rebaixamento. A retirada das águas poderá ser feita fazendo-se a condução destas através de calhas para um ponto baixo e daí retirar por bombeamento direto.

3.3.3 - Geometria da Trincheira de Fundação

A trincheira de fundação, o cut-off, deverá seguir em linhas gerais as seguintes recomendações:

- 1) O cut-off será escavado alinhado com o bordo de jusante do coroamento, para montante;

2) Ao longo de toda a barragem haverá uma escavação obrigatória de 1,0 m de profundidade se estendendo de off-set de montante a off-set de jusante com uma folga de 5,0 m para cada lado;

3) O cut-off em toda a barragem terá 1,0 m de profundidade, medido abaixo da escavação obrigatória e a forma trapezoidal com base inferior de 6,0 m e taludes de 1,0:1,0 (V:H).

No perfil longitudinal da Barragem Gameleira é mostrada a linha que limita a profundidade da trincheira de escavação, ou seja, a linha de fundação do cut-off.

Nas seções transversais da Barragem Gameleira é representada a geometria da trincheira de fundação.

3.3.4 - Cortina de Injeção

A cortina de injeção tem finalidade de reduzir a permeabilidade dos maciços rochosos fraturados da fundação a níveis compatíveis com a permeabilidade do maciço terroso. Nos estudos de investigação geotécnico foram realizados ensaios de perda d'água tipo LUGEON, cujo resultados são resumidos no Quadro nº3.3.

Quadro nº 3.3: Ensaio de Perda D'Água Lugeon				
Sondagem	Estaca	Profundidade do Obturador (m)	Vazão Específica (l/min/m)	Perda D'Água Específica (l/min/m/Kgf/m ²)
SM-11	19	3,00 – 6,00	10,37	1,63
		6,00 – 9,00	6,90	0,68
		9,00 – 11,50	3,93	0,50
		11,50 – 15,00	0,63	0,06
		15,00 – 18,00	0,00	0,00
SM-12	24	4,00 – 6,00	6,60	2,67
		6,00 – 9,00	10,05	4,31
		9,00 – 12,00	0,15	0,04
		12,00 – 16,00	0,00	0,00
SM-13	26	4,00 – 7,00	3,70	0,50
		7,00 – 10,50	2,00	0,18
SM-14	30	7,30 – 10,30	1,67	0,17
		10,30 – 14,00	2,20	0,14
		14,00 – 18,00	0,00	0,00
SM-15	11	3,10 – 9,10	0,72	0,08
SM-16	16	3,20 – 9,20	0,98	0,11

Analisando os resultados dos ensaios de perda d'água, verifica-se que de uma forma geral os valores de perda específica são baixos superando a 1,0 l/min/m/atm apenas em três segmentos ensaiados. Desta forma decidiu-se que não há necessidade de execução de uma cortina de injeção.

3.3.5 - Local de Bota-Fora

No lado de montante do eixo da Barragem Gameleira, ao longo da calha do rio, abaixo da cota 27,00m está destinada ao depósito de material de bota-fora, proveniente das escavações obrigatórias para a execução da obra.

3.3.6 - Maciço da Barragem

A Barragem Gameleira foi concebida como sendo, em quase toda sua extensão, um maciço homogêneo a ser executada com materiais das jazidas J-01 e J-02 que são ocorrências de materiais “SC” segundo a classificação unificada USC.

Desta forma foi concebido entre as estacas 20S e 0S=0 da ombreira esquerda e 0=0 até a estaca 9 também da ombreira esquerda e da estaca 19 até a estaca 78 pela ombreira direita uma barragem de terra executada com solos das jazidas J-01 e J-02. A barragem ficará com coroamento na cota 41,00 m, com altura máxima de 19,50 m na estaca 24.

A crista da barragem terá 6,0 m de largura com caimento de 2% para montante. A camada final com 0,20 m de espessura será executada com cascalho argiloso. Nos limites dos bordos serão colocados meios-fios com abertura para montante.

O talude de montante terá inclinação de 1,0:2,5 (V:H) em toda sua extensão. O talude de montante será protegido da ação da energia da onda do reservatório com a construção de um rip-rap. O *riprap* será formado por uma camada de 0,70m de espessura de blocos de rocha sã assentes sobre uma camada de transição com 0,20m de espessura, formada por produto de britagem.

O enrocamento do *riprap* a ser utilizado tem as seguintes características:

$$\begin{array}{ll}
 P_{50} = 0,45t_f & D_{50} = 0,62m \\
 P_{\text{mín}} = 0,112t_f & D_{\text{mín}} = 0,39m \\
 P_{\text{máx}} = 0,64t_f & D_{\text{máx}} = 0,70m
 \end{array}$$

A camada de transição tem a granulometria mostrada no Quadro nº3.4.

Quadro nº3.4: Material do Enrocamento do Riprap	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)
700mm	100
600mm	16 – 98
500mm	5 – 90
390mm	0

A camada de transição tem a granulometria mostrada no Quadro nº3.5:

Quadro nº3.5: Material de Transição	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)
200mm	100
100mm	86 – 98
2" (50,8mm)	68 – 92
1" (25,4mm)	54 – 82
¾" (19,10mm)	50 – 78
½" (12,27mm)	42 – 68
3/8" (9,52mm)	36 – 44
Nº 4 (4,76mm)	26 – 53
Nº 10 (2,00mm)	12 – 38
Nº 40 (0,42mm)	0 – 13
Nº 100 (0,15mm)	0

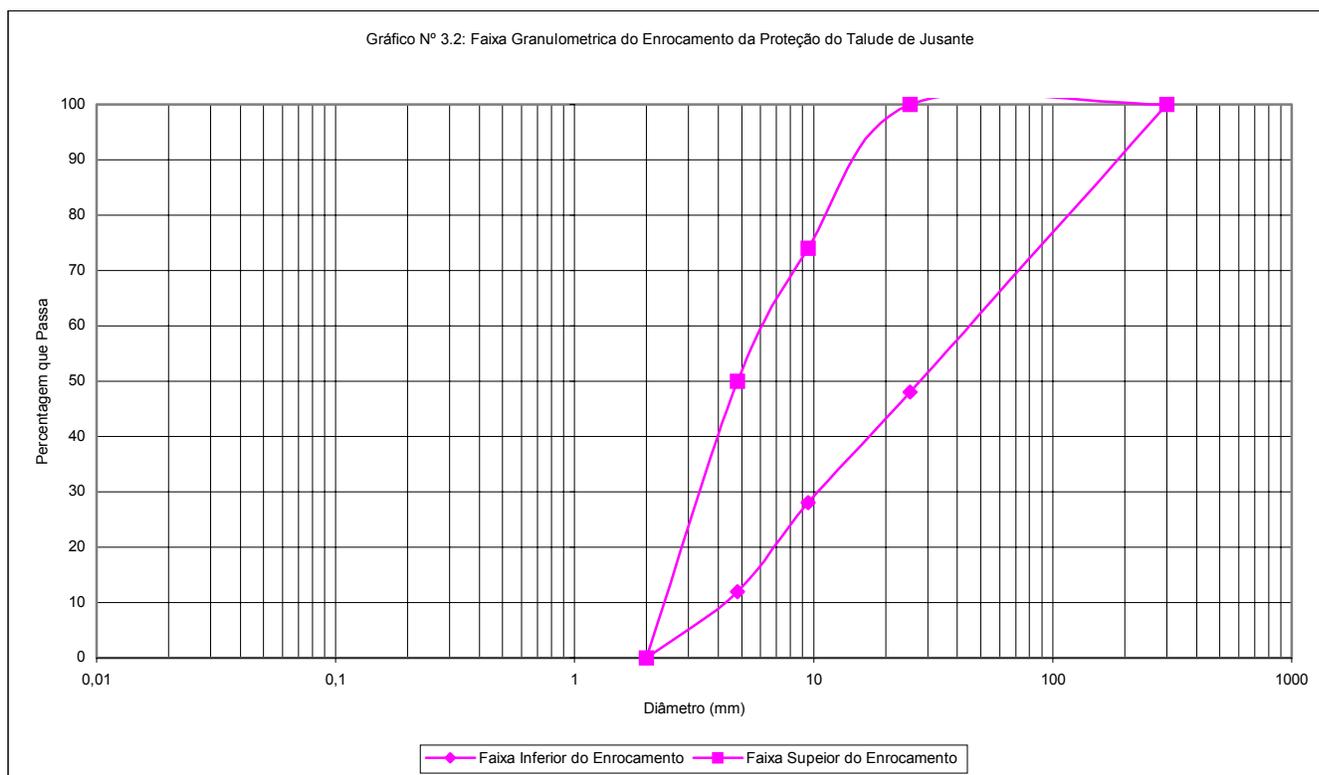
No gráfico nº3.1 são mostradas as faixas granulométricas dos materiais constituintes do *riprap*.



O talude de jusante terá inclinação de 1,0(V):2,0(H) em toda a sua extensão. Na cota 33,00m será colocada uma berma de 2,0m de largura. A proteção do talude será feita com uma camada de 0,30m de espessura de material britado, com granulometria mostrada no Quadro nº3.6.

Quadro nº3.6: Material de Proteção do Talude de Jusante	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)
300mm	100
1" (25,4mm)	48 – 100
3/8" (9,5mm)	28 – 74
Nº 4 (4,8mm)	12 – 50
Nº 10 (2,0mm)	0

No gráfico nº3.2 é mostrado as faixas granulométricas dos materiais constituintes do enrocamento de proteção o talude de jusante.



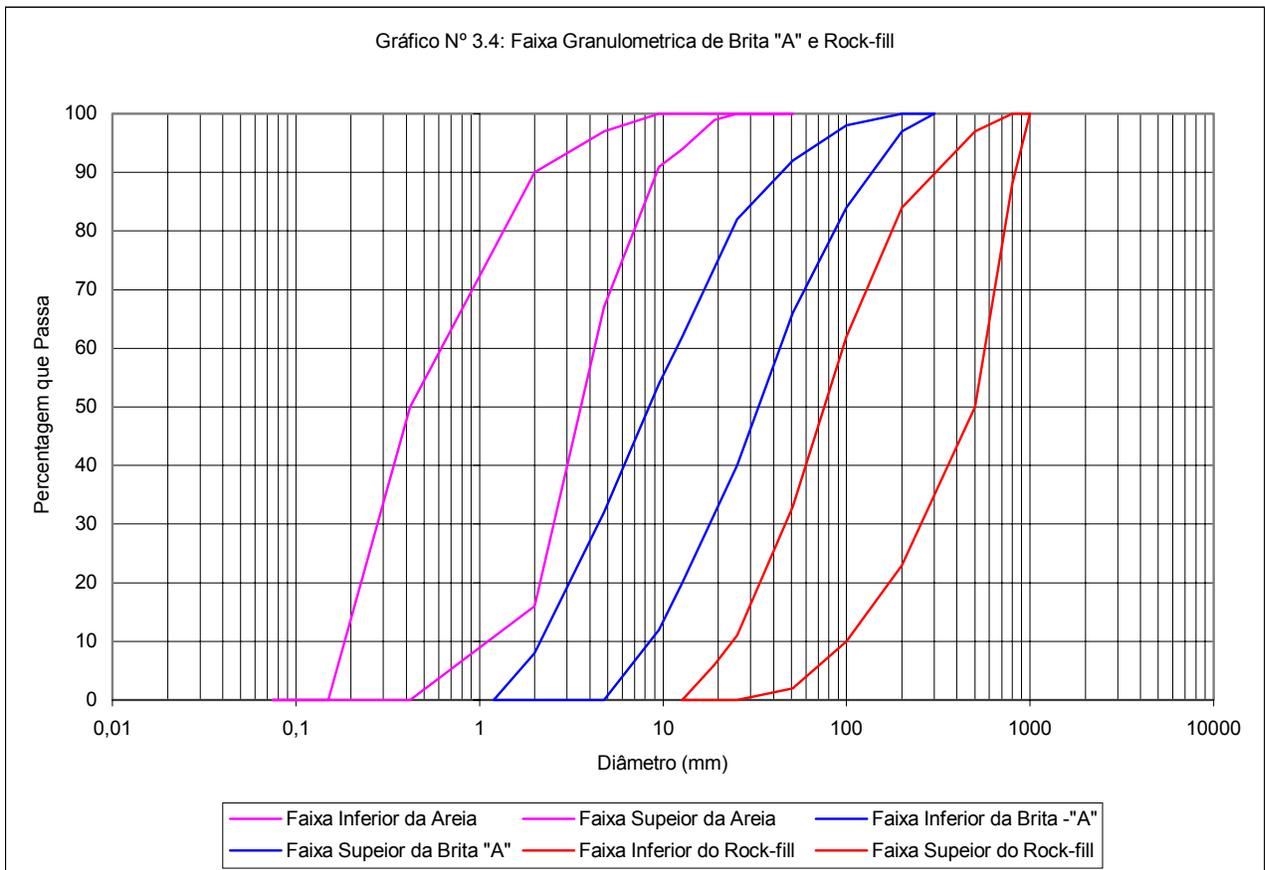
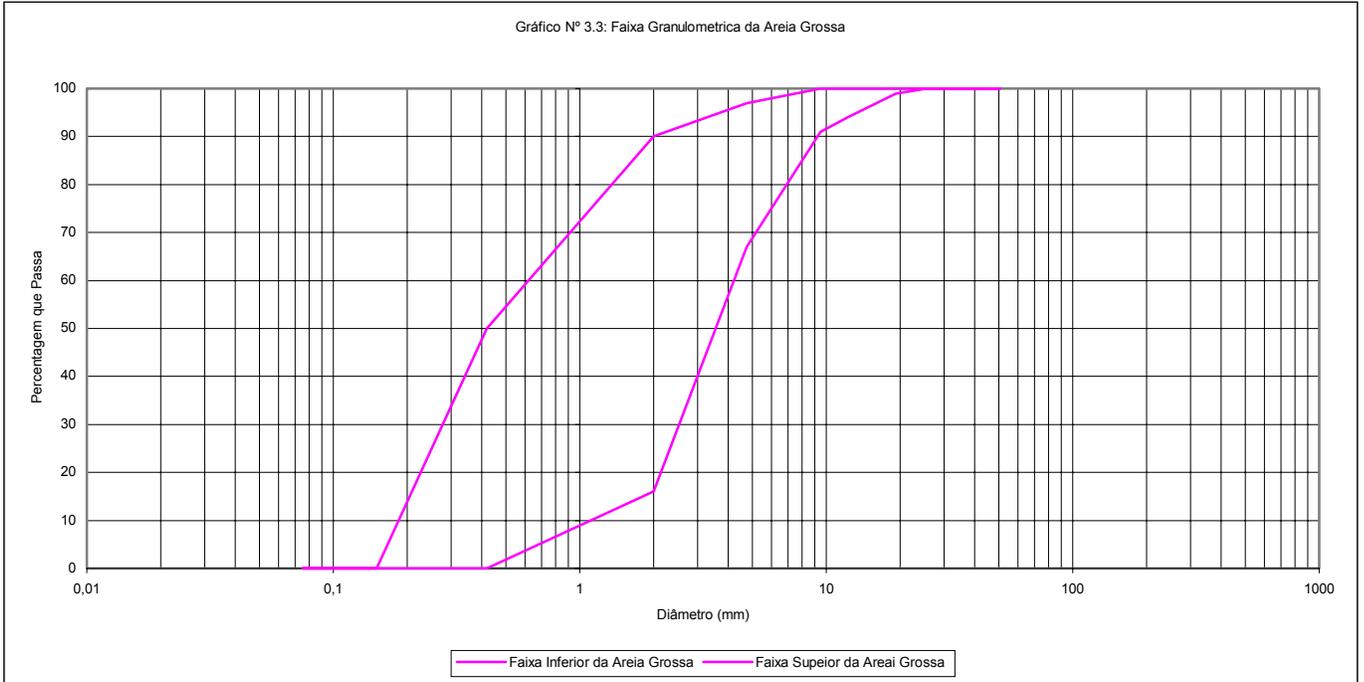
A drenagem interna da barragem é composta de filtro vertical de areia grossa extraída do areal A-01, com 1,0 metro de espessura, tapete horizontal com 1,0 m de espessura executado com areia do areal A-01, um dreno de pé com seção trapezoidal com 2,0 m na base menor na cota 29,00 m e taludes de montante e jusante com inclinação de 1:1,5 (V:H). A interface do dreno de pé e os solos da barragem e terreno de fundação são protegidos por uma camada de transição, formada de areia grossa com 0,30 m de espessura e brita “A” com 0,30 m de espessura.

As faixas granulométricas que devem obedecer a areia grossa, a brita “A” e a pedra de enrocamento são mostrados a seguir nos quadros 3.7, 3.8 e 3.9 e gráficos nºs 3.3 e 3.4.

Quadro nº3.7: Areia Grossa	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)
2" (50,8mm)	100
1" (25,4mm)	100
¾" (19,10mm)	99 - 100
½" (12,27mm)	94 - 100
3/8" (9,5mm)	91 - 100
Nº 4 (4,76mm)	67 - 97
Nº 10 (2,00mm)	16 - 90
Nº 40 (0,42mm)	0 - 50
Nº 100 (0,15mm)	0
Nº 200 (0,075mm)	0

Quadro nº3.8: Brita "A"	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)
300mm	100
200mm	97 - 100
100mm	84 - 98
2" (50,8mm)	66 - 92
1" (25,4mm)	40 - 82
½" (12,5mm)	20 - 62
3/8" (9,2mm)	12 - 54
Nº 4 (4,8mm)	0 - 32
Nº 10 (2,0mm)	0 - 8
Nº40 (0,42mm)	0

Quadro nº3.9: Enrocamento do Rock-fill	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)
1000mm	100
800mm	98 - 100
500mm	50 - 97
200mm	23 - 84
100mm	10 - 62
2" (50,80mm)	2 - 33
1" (25,4mm)	0 - 11
¾" (19,1mm)	0 - 6
½" (12,7mm)	0
3/8" (9,5mm)	0



Ao longo do maciço da barragem tem-se três situações de drenagem interna que são descritas a seguir:

Entre as estacas 17S e 0S=0 e 0 e 9 está previsto um pequeno dreno de pé que tem altura de 2,0 m e crista de 3,30 m e talude de 1:2 (V:H). Esse dreno de pé é formado de brita "A" coberto com pedras de granulometria do rock-fill. Esse dreno de pé foi denominado de rock-fill tipo-2.

Entre as estacas 19 e 27 será construído o rock-fill tipo-1 que tem seção trapezoidal com crista de 2,0 m de largura na cota 29,00 m e taludes de jusante e montante de 1:1,5 (V:H). O contato desse rock-fill com a barragem e a fundação feito por uma transição de 0,30 m de areia grossa e 0,30 m de brita "A".

Entre as estacas 28 e 48 devido o gradiente do terreno foi previsto apenas um tapete parcial com extensão variada, mostrada nas seções transversais. As águas ali chegadas percolarão longitudinalmente até atingir os drenos de pé para saírem do maciço.

Entre as estacas 49 e 70 novamente foi projetado um pequeno dreno de pé denominado rock-fill tipo-2.

Finalmente entre as estacas 71 e 74 foi previsto apenas um tapete parcial.

Entre as estacas 9 e 10 e 18 e 19 é feito uma transição saindo-se da seção descrita e chegando-se nas estacas 10 e 18 com uma seção de enrocamento com núcleo de argila das jazidas J-01 e J-02 e taludes de montante e jusante de 1:1,5 (V:H).

O trecho entre as estacas 14 e 18 é o local onde será executado o sangradouro.

3.3.7 - Análise de Estabilidade

A geometria da Barragem Gameleira foi avaliada de duas maneiras recorrendo-se a análise de estabilidade estática e sísmica.

A análise da estabilidade estática foi realizada recorrendo-se ao método de equilíbrio limite, proposto por Bishop implementado automaticamente através do programa de cálculo SLOPE/W.

Os cálculos da estabilidade foram realizados sobre a seção mais condicionante no que concerne a estabilidade da barragem, ou seja, a seção de maior altura, tendo sido analisado as seguintes situações.

- a) Final de Construção – taludes de montante e jusante;
- b) Reservatório Cheio (a longo prazo) – talude de jusante;
- c) Rebaixamento Rápido – talude de montante.

A análise da estabilidade sísmica foi efetuado através de um método pseudo-estático recorrendo-se ao Método de Bishop Simplificado, também implementado pelo programa SLOPE/W.

No que diz respeito à caracterização da ação sísmica, foi adotado, para a situação de regime permanente, um coeficiente sísmico de 0,1. Para as situações de final de construção e rebaixamento rápido o valor do coeficiente sísmico foi reduzido para 0,05, tendo em conta a menor duração destas fases durante o período de vida da obra e como tal, menor será a probabilidade de ocorrência de um evento sísmico com aceleração superior.

Quanto a obtenção das pressões neutras adotou-se os seguintes procedimentos:

a) Adoção do Coeficiente R_u

Para a situação de final de construção adotou-se o coeficiente R_u . Este coeficiente é definido como a relação entre a pressão intersticial da água num determinado ponto com a tensão vertical nesse ponto através da expressão $R_u = U/\sigma_1$. Esse coeficiente é função do tipo do material. Para materiais de elevada permeabilidade nos quais a dissipação das pressões intersticiais é quase instantânea, o coeficiente toma valores próximos de zero. No limite, o coeficiente R_u pode atingir 0,50 caso se esteja na presença de materiais saturados de baixa permeabilidade.

b) Definição da Linha Piezométrica

Para os casos de regime permanente e rebaixamento rápido, as pressões neutras foram obtidas a partir do traçado da linha piezométrica cujos pontos determinou-se associando a linha freática à parábola de Kozeny teórica fazendo as correções de contorno.

A anisotropia do solo foi contemplada considerando uma relação igual a 9 entre os coeficientes de permeabilidade horizontal/vertical.

c) Parâmetros de Resistência dos Materiais

Para fazer as análises de estabilidade foi necessário estimar os parâmetros de resistência dos materiais componentes da seção tipo. Sobre os materiais das Jazidas J-01 e J-02 foram realizados ensaios de cisalhamento direto nos poços, da Jazida J-01 e da Jazida J-02. Os parâmetros efetivos obtidos são apresentados no Quadro nº3.10:

Quadro nº3.10: Parâmetros Efetivos do Ensaio de Cisalhamento Direto			
Jazida	Furo	Coesão (kgf/cm ²)	Ângulo de Atrito
J - 01	F - 08	C = 0,18	$\phi = 34,8^\circ$
	F - 19	C = 0,13	$\phi = 36,3^\circ$
	F - 32	C = 0,17	$\phi = 35,8^\circ$
	F - 37	C = 0,07	$\phi = 37,9^\circ$
J - 02	F - 02	C = 0,15	$\phi = 35,6^\circ$
	F - 08	C = 0,12	$\phi = 36,4^\circ$
	F - 24	C = 0,17	$\phi = 34,4^\circ$
	F - 60	C = 0,22	$\phi = 36,0^\circ$

Na análise dos estudos geológicos e geotécnicos, foram feitas as seguintes considerações:

- 1) O solo da jazida J-01 enquadra-se na Classificação Unificada USC em dois tipos, a saber: SM (Silte Arenoso) e SC (Argila Arenosa), com densidade aparente seca máxima de laboratório igual a 1,87 tf/m³ e umidade ótima de 13,1%. Os ensaios de cisalhamento direto indicaram parâmetros efetivos de $C'=18,0$ kPa e $\phi'=34,8^\circ$;
- 2) O solo da jazida J-02 enquadra-se na Classificação Unificada USC nos tipos, SC (Argila Arenosa) e SM (Silte Arenoso), com densidade aparente seca máxima de laboratório igual a 1,88 tf/m³ e umidade ótima de 12,3%. Os ensaios de cisalhamento direto indicaram parâmetros efetivos de $C'=17$ kPa e $\phi'=34,4^\circ$.

Das conclusões das análises dos estudos geológicos e geotécnicos e do Quadro nº3.10, foram estimados os parâmetros de resistência dos solos das jazidas J-01 e J-02. Os demais materiais, tais como areia, brita, enrocamentos, camada de

aluvião e maciço rochoso tiveram seus parâmetros avaliados com base em recomendações da literatura e experiência do projetista.

O Quadro nº3.11 mostrados a seguir indica os valores dos parâmetros geotécnicos adotados para a análise da estabilidade da barragem.

Quadro nº3.11: Parâmetros Geotécnicos				
Material	γ (kN/m ³)	C (kPa)	ϕ (graus)	R_u
Riprap	18,0	0,00	45°	0,00
Maciço	20,1	12,00	30°	0,10
Filtro / Tapete	18,0	0,00	35°	0,00
Rock-fill	20,0	0,00	38°	0,00
Cutoff	20,2	10,00	30°	0,10
Aluvião	17,0	0,00	28°	0,05
Solo Residual	21,0	7,00	35°	0,10

3.3.7.1 - Resultados Obtidos

O processamento da análise da estabilidade feita no “soft” SLOPE/W foi aplicado em duas seções a saber:

- 1) Análise na seção máxima de terra;
 - 2) Análise da seção de enrocamento.
- a) Análise da Estabilidade Estática (Seção de Terra)

Os valores dos fatores de segurança obtidos na análise de estabilidade estática são mostrados no Quadro nº3.12:

Quadro nº3.12: Análise de Estabilidade – Estática (Seção de Terra)				
Simulação	C.S. Mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,3	2,137	2,201	2,226
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	1,858	1,789	1,790
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	1,823	1,729	1,727
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,1	1,369	1,333	1,324

Quanto aos coeficientes de segurança resultantes da análise de estabilidade, verifica-se que estão todos acima dos valores mínimos sugeridos.

b) Análise Sísmica (Seção de terra)

Os cálculos efetuados para simular um abalo sísmico foram feitos considerando o corpo da barragem como rígido, sendo que a caracterização da Sísmica se dá através do valor da aceleração máxima esperada na fundação. Esta é considerada constante ao longo do perfil da barragem. Este procedimento é adequado tendo em vista a pequena sísmicidade da região. Os valores dos fatores de segurança obtidos são mostrados no Quadro nº3.13:

Quadro nº3.13: Análise de Estabilidade – Abalo Sísmico (Seção de Terra)				
Simulação	C.S. Mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,0	1,643	1,694	1,715
Final de Construção – Talude de Jusante	1,0	1,461	1,415	1,415
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,0	1,424	1,364	1,363
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,0	1,082	1,061	1,066

Quanto aos coeficientes de segurança resultantes da análise de estabilidade, verifica-se que estão todos acima dos valores mínimos sugeridos.

c) Análise à Estabilidade Estática (Seção de Enrocamento)

Os valores dos fatores de segurança obtidos na análise de estabilidade estática são mostrados na Quadro nº3.14, a seguir:

Quadro nº3.14: Análise à Estabilidade – Estática (Seção de Enrocamento)		
Simulação	C.S. Mínimo	Superfície de Deslizamento
Final de Construção – Talude de Montante	1,3	1,977
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	2,434
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	1,620
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,1	1,103

Quanto aos coeficientes de segurança resultantes da análise de estabilidade, verifica-se que estão todos acima dos valores mínimos sugeridos.

d) Análise Sísmica (Seção de Enrocamento)

Os cálculos efetuados para simular um abalo sísmico foram feitos considerando o corpo da barragem como rígido, sendo que a caracterização da Sísmica se dá através do valor da aceleração máxima esperada na fundação. Esta é

considerada constante ao longo do perfil da barragem. Este procedimento é adequado tendo em vista a pequena sismicidade da região. Os valores dos fatores de segurança obtidos são mostrados no Quadro nº3.15:

Simulação	C.S. Mínimo	Superfície de Deslizamento
Final de Construção – Talude de Montante	1,0	1,640
Final de Construção – Talude de Jusante	1,0	2,039
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,0	1,413
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,0	1,047

Quanto aos coeficientes de segurança resultantes da análise de estabilidade, verifica-se que estão todos acima dos valores mínimos sugeridos.

3.3.8 - Estudo de Percolação da Barragem

Os estudos de percolação foram realizados com o objetivo principal de avaliar os valores das vazões percoladas pelo corpo da barragem e pela fundação. Com esses dados pode-se dimensionar os dispositivos de drenagem interna.

Para a obtenção das vazões de percolação, foi realizado o seguinte procedimento:

- 1) **Vazões do Maciço:** Determinou-se a linha freática, associando esta à parábola de KOZENY, fazendo as correções de contorno. Adotou-se uma anisotropia entre a permeabilidade horizontal e vertical igual a 9, valor recomendado pelo Profº Paulo Cruz no livro 100 Barragens Brasileira, para maciços terrosos compactados com altura até 20,0m;
- 2) **Vazões pela Fundação:** Considerou-se que a camada até 10,0m do maciço rochoso da fundação contribui com vazão para o tapete drenante.

A permeabilidade do maciço da barragem foi adotada à partir das análises dos ensaios de permeabilidade realizados sobre as amostras deformadas das Jazidas J-01e J-02. Os resultados dos ensaios são mostrados no Quadro nº3.16:

Jazida - J-01					
Furo	K (cm/s)	Furo	K (cm/s)	Furo	K (cm/s)
08	$8,8 \times 10^{-7}$	19	$9,6 \times 10^{-7}$	32	$7,2 \times 10^{-7}$
14	$6,6 \times 10^{-7}$	22	$7,8 \times 10^{-7}$	37	$9,1 \times 10^{-7}$
Jazida - J-01					
Furo	K (cm/s)	Furo	K (cm/s)	Furo	K (cm/s)
02	$9,4 \times 10^{-7}$	24	$9,3 \times 10^{-7}$	-	-
08	$9,8 \times 10^{-7}$	60	$1,1 \times 10^{-7}$	-	-

Para os materiais que formarão os dispositivos de drenagem interna tais como areia de rio e brita, adotou-se para o caso da areia uma permeabilidade de $7,42 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$, obtido com base na análise dos ensaios de permeabilidade realizados sobre as amostras do areal A-01, que são mostrados no Quadro nº3.17:

Quadro nº3.17	
Furo	K (cm/s)
1	$7,4 \times 10^{-3}$
3	$7,6 \times 10^{-3}$
4	$7,4 \times 10^{-3}$
6	$7,3 \times 10^{-3}$
7	$7,2 \times 10^{-3}$

As vazões de percolação obtidas para o dimensionamento dos dispositivos de drenagem interna foram:

$$Q_{\text{maciço}} = 2,25 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s} \cdot \text{m}$$

$$Q_{\text{fundação}} = 3,92 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s} \cdot \text{m}$$

3.3.9 - Análise dos Recalques

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

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

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

onde:

- S = Recalque total em m
- σ_{mi} = Tensão vertical no meio de cada lamela, em kgf/cm²
- ΔHi = Espessura da lamela
- E_i = Módulo de elasticidade do material da lamela i.

O módulo de elasticidade foi obtido da análise das curvas de Tensão x Deformação, obtidos dos ensaios de compressão triaxial realizados em solos semelhantes aos das jazidas do projeto.

Outro aspecto considerado foi a variação da pressão de confinamento com a altura da barragem, a qual é apresentada no Quadro nº3.18:

Considerando o peso específico aparente seco máxima obtido do ensaio de compactação é de $1,87\text{tf/m}^3$ e a umidade ótima correspondente é de 12,1%. O peso úmido será de $2,0\text{tf/m}^3$. Com base no peso úmido foram consideradas, para efeito de tensão confinante, as seguintes tensões medidas em função da altura da barragem, tomando como referência o eixo Z, com zero no coroamento e orientação para baixo.

Quadro nº3.18: Tensão Confinante	
Z (m)	Tensão Confinante (kgf/cm ²)
Menor que 5,0m	1,0
Entre 5,0m e 10,0m	2,0
Maior que 10,0m	4,0

Com base nas condições do Quadro 3.18, foram determinados os módulos de elasticidade para uso no cálculo dos recalques. Esses resultados são mostrados no Quadro nº3.19:

Quadro nº3.19: Módulo de Elasticidade	
Tensão Confinante (kgf/cm ²)	Módulo de Elasticidade (kPa)
1,0	12.000
2,0	17.000
4,0	19.000

O recalque elástico esperado é de 207,27mm. Esse rebaixamento do coroamento deve ser corrigido antes da colocação do revestimento primário, ao longo de toda a barragem.

3.3.10 - Sangradouro

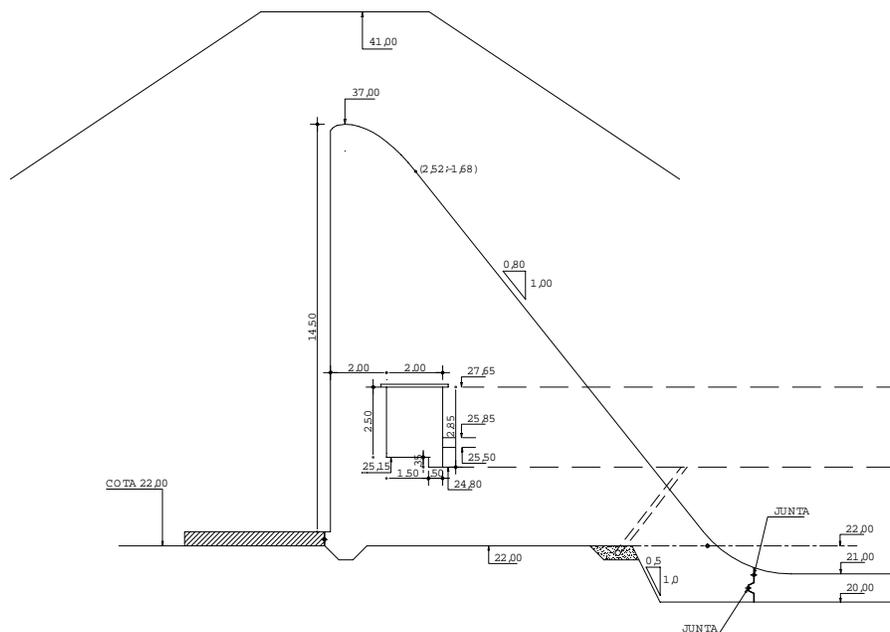
O sangradouro da Barragem Gameleira sofreu três alterações de localização em decorrência da qualidade do substrato de fundação composto de rochas fraturadas de baixa resistência. Nesta última alteração foi escolhido o trecho entre as estacas 14 e 18 já próximo a calha do rio Mundaú. Nesse local examinando as sondagens disponíveis, SM-10 na estaca 14, SM-301 na estaca 11, SM-302 na estaca 17, SM-303 a 50,0 m a jusante da estaca 11, SM-304 a 50,0 m a jusante da estaca 14 e SM-305 a 50,0 m a jusante da estaca 17 e estudando uma redução na largura do vertedouro em relação às versões anteriores, ficou estabelecido que o sangradouro será locado entre as estacas 14 e 18.

Deve-se aqui ressaltar que em virtude da variabilidade espacial das sondagens as definições reais da fundação de assentamento dos muros devem passar pela avaliação local do projetista por ocasião das escavações do canal do sangradouro, durante a execução da obra.

A vantagem desse local no que pese, também, a qualidade da rocha é que o terreno está quase na cota do rio. Desta forma não há praticamente carga da saída da bacia de dissipação ao leito do rio. O vertedouro projetado será um perfil creager com crista na cota 37,00 m fundado na cota 22,00 m. As águas vertentes que passarão pelo perfil Creager descarregarão numa bacia de dissipação que ficará na cota 21,00 m e terá um muro frontal que ajudará na formação do ressalto hidráulico.

A seguir é demonstrado o dimensionamento do perfil Creager e bacia de dissipação.

3.3.10.1 - Dimensionamento do Perfil Creager



$$\text{Vazão } Q_{1000} = 405 \text{ m}^3 / \text{s} \Rightarrow L = 80,00 \text{ m}$$

Dimensionamento do perfil de jusante conforme recomendações do Bureau of Reclamation.

Equação de Jusante

$$\frac{y}{H_o} = -K \left(\frac{X}{H_o} \right)^n$$

Onde H_o = carga total incluindo a carga cinética.

$$H_o = h_o + h_a$$

Adotando $h_o = 1,80 \text{ m}$ tem-se:

$$q = \frac{Q}{L} = \frac{405}{80,0} = 5,06 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

$$V_a = \frac{q}{P + h_o}$$

$$P = 15,00 \text{ m}$$

$$V_a = \frac{5,06}{15 + 1,80} = 0,301 \text{ m} / \text{s}$$

$$h_a = \frac{q^2}{2 \times g \times (P + h_o)^2}$$

$$h_a = \frac{25,60}{2 \times 9,81 \times 282,24} = 0,004$$

$$H_o = 1,80 + 0,004 = 1,804 \text{ m}$$

Dos ábacos do Bureau of Reclamation tira-se para $\frac{h_a}{H_o} = \frac{0,004}{1,804} = 0,002$.

$$K = 0,50 \text{ e } n = 1,871.$$

A equação do perfil de jusante será:

$$\frac{y}{1,804} = -0,50 \times \left(\frac{X}{1,804} \right)^{1,871}$$

$$y = -0,299 \cdot X^{1,871}$$

Considerando que o perfil da curva de jusante se desenvolverá até a inclinação igual a $-1,25$, que corresponde um talude de $1:0,8$ (V:H), deve-se igualar a derivada da função a esse valor, logo tem-se:

$$\frac{dy}{dx} = -1,25$$

Da função do perfil de jusante tem-se:

$$\frac{dy}{dx} = -0,559 \cdot X^{0,871}$$

Aplicando esta equação obtém-se a abcissa do ponto de tangência X_T dada por:

$$-0,559 \cdot X^{0,871} = -1,25$$

$$X_T = [2,236]^{1/0,871} = 2,52m$$

A ordenada do ponto de tangência Y_T será:

$$Y_T = -0,299 \times 2,52^{1,871} = -1,68m$$

A tabela a seguir contém pontos da curva de jusante, desde a origem até o ponto de tangência.

Pontos da Curva de Jusante	
X	Y
0,00	0,00
0,25	-0,02
0,50	-0,08
0,75	-0,17
1,00	-0,29
1,25	-0,45
1,50	-0,64
1,75	-0,85
2,00	-1,09
2,25	-1,36
2,52	-1,68

A transição do paramento de montante entre os pontos $(X_C \cdot Y_C)$ e $(0,0)$ é feito por curvas circulares de raios R_1 e R_2 e construção adequada conforme recomendações do Bureau of Reclamation.

Para $\frac{h_a}{H_o} = 0,002$ e dos ábacos do Bureau of Reclamation tem-se:

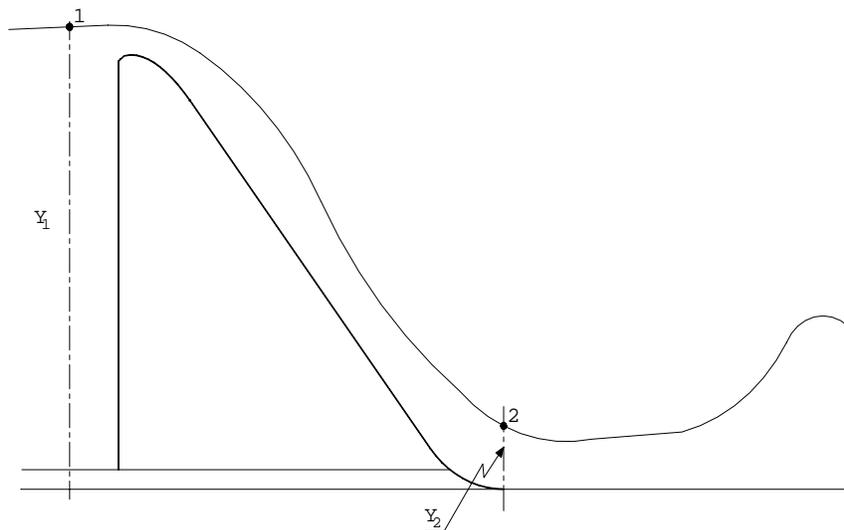
$$\frac{X_c}{H_o} = 0,288 \Rightarrow X_c = 0,52$$

$$\frac{Y_c}{H_o} = 0,126 \Rightarrow Y_c = 0,23$$

$$\frac{R_1}{H_o} = 0,53 \Rightarrow R_1 = 0,96$$

$$\frac{R_2}{H_o} = 0,233 \Rightarrow R_2 = 0,42$$

3.3.10.2 - Dimensionamento da Bacia de Dissipação Hidráulica



Aplicando a equação de Bernoulli entre os pontos 1 e 2 tem-se:

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$Y_1 = 37,0 + 1,80 - 21,0 = 17,80m$$

$$Q = V_2 \cdot Y_2 \cdot L$$

$$V_2 = \frac{q}{Y_2}$$

Substituindo tem-se:

$$Y_1 = Y_2 + \frac{q^2}{2g \cdot Y_2^2}$$

Tem-se:

$$Y_1 = 17,80m$$

$$q = 5,06m^3 / s / m$$

$$g = 9,81m / s^2$$

Resolvendo a equação acima por iteração tem-se:

$$17,80 = Y_2 + \frac{1,304}{Y_2^2}$$

Obtem-se:

$$Y_2 = 0,273m$$

$$V_2 = \frac{q}{Y_2} = \frac{5,06}{0,273} = 18,53m / s$$

3.3.10.3 - Cálculo do Número de Froude

$$F_R = \frac{V}{\sqrt{g \times y}} = \frac{18,53}{\sqrt{9,81 \times 0,273}} = 11,32$$

Cálculo da altura conjugada.

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + 8F_R^2} - 1 \right]$$

$$Y_2 = \frac{0,273}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \times 128,14} - 1 \right] = 4,23m$$

Do ábaco do Bureau of Reclamation para $F_R = 11,32$, tem-se:

$$\frac{L}{Y_2} = 6,10$$

$$L = 6,10 \times 4,23 = 25,80m$$

Entretanto, face ao fato de que a bacia em questão é encaixada, a formação do ressalto é facilitada, portanto será adotado $L = 5 \times (Y_2 - Y_1) = 5 \times 3,96 = 19,78m$ será adotado uma bacia com comprimento $L = 20,00m$.

O canal de saída será escavado em solo. Nos primeiros sessenta metros a declividade será nula e o canal será revestido com um enrocamento que ficará com a face superior na cota 23,00 m. A espessura do enrocamento será de 75,00 cm. A camada de enrocamento ficará assente sobre uma camada de transição formada de areia e brita com 0,25 m de espessura cada.

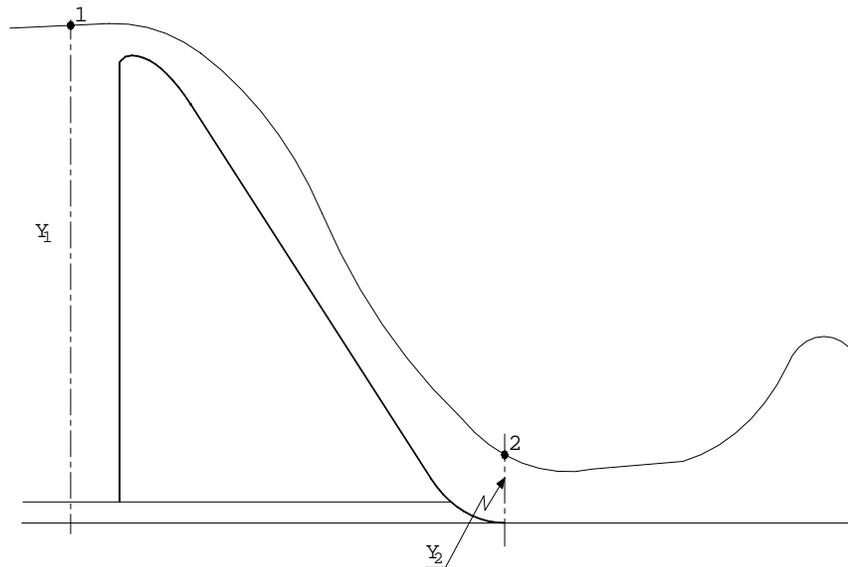
A partir do término do enrocamento o canal será em solo com declividade de 1:2000 (V:H).

O canal em toda a sua extensão tem seção trapezoidal, com base menor igual a 80,0 m e taludes transversais de 1:2 (V:H). A extensão do canal contado do fim da mureta até a entrada na calha do rio é de 180,00 m.

3.3.10.4 - Dimensionamento da altura do muro lateral em jusante da bacia de dissipação

Para a vazão decamilenar tem-se $Q_{10000} = 469,00m^3 / s$ e $q = 5,86m^3 / s / m$.

A altura na entrada da bacia será:



$$h_b = 1,98m$$

$$Y_1 = 37,0 + 1,98 - 21 = 17,98m$$

Aplicando Bernoulli entre os pontos 1 e 2 tem-se:

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V_1 \cong 0$$

$$V_2 = \frac{q}{Y_2}$$

$$Y_1 = Y_2 + \frac{q^2}{2 \times g \times Y_2^2}$$

Substituindo os valores conhecidos e resolvendo a equação por iteração obtém-se:

$$Y_2 = d_1 = 0,315m$$

A velocidade na entrada da bacia será:

$$V_2 = \frac{5,86}{0,315} = 18,60m/s$$

O número de Fronde na entrada da bacia será:

$$F_R = \frac{V}{\sqrt{g \cdot Y}} = \frac{18,60}{\sqrt{9,81 \times 0,315}} = 10,58$$

A altura conjugada será:

$$d_2 = \frac{d_1}{2} [\sqrt{1 + 8 \times 111,93} - 1]$$

$$d_2 = \frac{0,315}{2} \times 28,94 = 4,56m$$

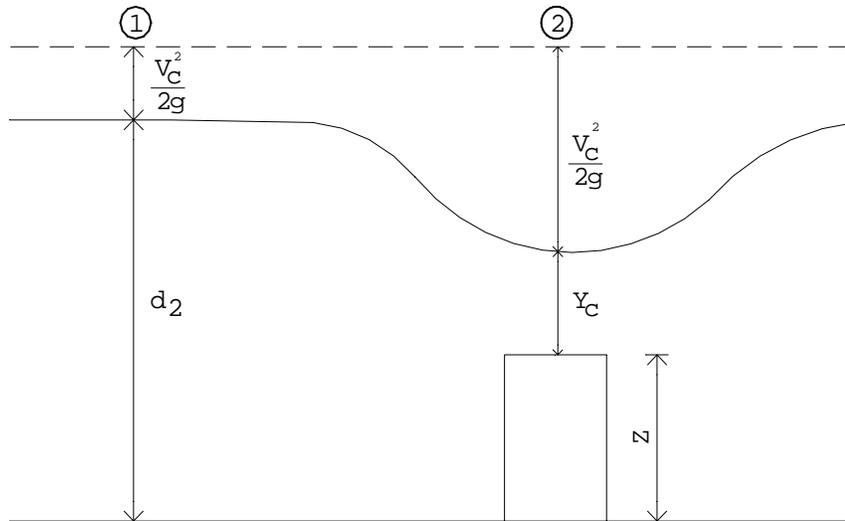
A cota máxima do nível d'água na bacia será:

$$C_{máx} = 21,00 + 4,56 = 25,56m$$

Por questões construtivas tendo em vista que o muro lateral esquerdo acomodará a galeria a cota deste será 28,50 m. O muro do lado direito terá a cota do coroamento igual a 26,50 m com 0,94 m de bordo livre.

3.3.10.5 - Cálculo da cota da soleira da saída da bacia

A cota da soleira da mureta da saída da bacia de dissipação foi fixa considerando que sobre esta ocorrerá o fluxo crítico.



Considerando a vazão milenar, tem-se:

$$d_2 = 4,23m$$

$$V_2 = \frac{q}{d_2} = \frac{5,06}{4,23} = 1,19m/s$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = \frac{1,19^2}{2 \times 9,81} = 0,072m$$

Aplicando a conservação da energia entre os pontos 1 e 2 obtém-se:

$$d_2 + \frac{V_2^2}{2g} = Z + y_c + \frac{V_c^2}{2g}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{25,60}{9,81}} = 1,37m$$

$$V_c = \frac{q}{y_c} = \frac{5,06}{1,37} = 3,69m/s$$

Substituindo na equação de conservação tem-se:

$$Z = d_2 + \frac{V_2^2}{2g} - y_c - \frac{V_c^2}{2g}$$

$$Z = 4,23 + 0,072 - 1,37 - 0,69 = 2,24m$$

A cota da soleira será:

$$C_s = 21,00 + 2,24 = 23,24m$$

3.3.10.6 - Cálculo da cota do nível na saída da bacia de dissipação

Admitindo a formação do fluxo crítico na entrada da calha do rio, que fica a 180,00 m de distância do muro frontal, foi calculado para as vazões de 100 m³/s, 200 m³/s, 300 m³/s, 405 m³/s e 469 m³/s a curva de remanso partindo-se da seção crítica no rio e chegando-se na mureta da bacia de dissipação.

Para o cálculo do remanso foi adotado o “Step Method” que é apresentado nas planilhas a seguir:

Foi considerado que o canal tem seção trapezoidal com base menor ou igual a 80,00 m de largura e taludes laterais de 1:2 (V:H).

O cálculo da lâmina crítica para as diversas vazões foi determinada a partir da equação da energia.

$$E = y + \frac{V^2}{2g}$$

Tem-se ainda:

$$Q = V \cdot A$$

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

$$A = \frac{(80 + 80 + 2y)}{2} \cdot y = (80 + y) \cdot y$$

Substituindo na equação da energia tem-se:

$$E = Y + \frac{Q^2}{2 \cdot g[(80 + y) \cdot y]^2}$$

Fazendo a derivada em relação a y e igualando a zero tem-se:

$$\frac{80 + 2y}{[(80 + y) \cdot y]^3} = \frac{g}{Q^2}$$

Resolvendo para os diversos valores de vazão obtém-se as várias lâminas críticas.

Vazões x Lâminas Críticas					
Q (m ³ /s)	469	405	300	200	100
Y_c (m)	1,554	1,367	1,116	0,85	0,54

Partindo-se destas lâminas usando o “Step Method” obtém-se as lâminas na saída da bacia que são mostradas nas planilhas em anexo e resumidas no quadro a seguir:

Vazões x Lâminas na Saída da Bacia					
Q	469	405	300	200	100
y	25,39	25,21	24,89	24,49	24,99

CÁLCULO DO REMANSO

CÁLCULO DO REMANSO													
Q(m³/s) = 469,00				n = 0,029				b (m) = 80,00					
Yc (m) = 1,554				TALUDE 1:2 (V:H)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Yc	A	Rh	R ⁴ /3	V	V ² /2*g	E	ΔE	So	Sf	Sfmed	ΔX	X	COTA
1,554	126,73	1,4576	1,652694	3,70	0,6980	2,25202	-	0,00050	0,006960	-	-	0,0000	24,49
1,600	130,56	1,4981	1,714128	3,59	0,6577	2,25772	0,005699	0,00050	0,006324	0,006642	0,92781	0,9278	24,54
1,700	138,89	1,5855	1,848822	3,38	0,5812	2,28119	0,023472	0,00050	0,005181	0,005752	4,46902	5,3968	24,64
1,800	147,24	1,6723	1,984971	3,19	0,5171	2,31714	0,03595	0,00050	0,004294	0,004737	8,48459	13,8814	24,75
1,900	155,61	1,7584	2,122449	3,01	0,4630	2,36300	0,045864	0,00050	0,003595	0,003944	13,31572	27,1971	24,85
2,000	164,00	1,8439	2,261143	2,86	0,4168	2,41684	0,053838	0,00050	0,003038	0,003317	19,11449	46,3116	24,96
2,100	172,41	1,9288	2,400950	2,72	0,3772	2,47717	0,060325	0,00050	0,002589	0,002814	26,07505	72,3867	25,08
2,200	180,84	2,0130	2,541776	2,59	0,3428	2,54282	0,065656	0,00050	0,002223	0,002406	34,44949	106,8362	25,19
2,233	183,63	2,0407	2,588458	2,55	0,3325	2,56550	0,022675	0,00050	0,002117	0,002170	13,57890	120,4151	25,23
2,250	185,06	2,0549	2,612544	2,53	0,3274	2,57736	0,011859	0,00000	0,002065	0,002091	5,67155	126,0866	25,25
2,260	185,91	2,0633	2,626725	2,52	0,3244	2,58439	0,007031	0,00000	0,002035	0,002050	3,42932	129,5159	25,26
2,280	187,60	2,0800	2,655113	2,50	0,3186	2,59857	0,014179	0,00000	0,001977	0,002006	7,06725	136,5832	25,28
2,300	189,29	2,0967	2,683535	2,48	0,3129	2,61290	0,014332	0,00000	0,001922	0,001949	7,35154	143,9347	25,30
2,320	190,98	2,1133	2,711992	2,46	0,3074	2,62738	0,014479	0,00000	0,001868	0,001895	7,64169	151,5764	25,32
2,350	193,52	2,1383	2,754740	2,42	0,2994	2,64936	0,021984	0,00000	0,001791	0,001829	12,01691	163,5933	25,35
2,360	194,37	2,1466	2,769006	2,41	0,2968	2,65676	0,007396	0,00000	0,001766	0,001779	4,15856	167,7519	25,36
2,365	194,79	2,1507	2,776142	2,41	0,2955	2,66047	0,003711	0,00000	0,001754	0,001760	2,10818	169,8601	25,37
2,370	195,22	2,1549	2,783280	2,40	0,2942	2,66419	0,003719	0,00000	0,001742	0,001748	2,12753	171,9876	25,37
2,380	196,06	2,1631	2,797561	2,39	0,2917	2,67165	0,007462	0,00000	0,001718	0,001730	4,31336	176,3010	25,38
2,389	196,83	2,1706	2,810422	2,38	0,2894	2,67839	0,006743	0,00000	0,001697	0,001708	3,94920	180,2502	25,39

CONSÓRCIO:



CÁLCULO DO REMANSO

CÁLCULO DO REMANSO													
Q(m³/s) = 405,00				n = 0,029				b (m) = 80,00					
Yc (m) = 1,367				TALUDE 1:2 (V:H)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Yc	A	Rh	R ^{4/3}	V	V ^{2/2*g}	E	ΔE	So	Sf	Sfmed	ΔX	X	COTA
1,367	111,23	1,2917	1,406740	3,64	0,6758	2,04276	-	0,00050	0,007917	-	-	0,0000	24,31
1,370	111,48	1,2944	1,410635	3,63	0,6728	2,04275	5,89E-06	0,00050	0,007860	0,007888	0,00080	0,0008	24,31
1,380	112,30	1,3033	1,423628	3,61	0,6629	2,04287	0,000122	0,00050	0,007674	0,007767	0,01684	0,0176	24,32
1,390	113,13	1,3122	1,436641	3,58	0,6532	2,04321	0,000336	0,00050	0,007493	0,007583	0,04744	0,0651	24,33
1,400	113,96	1,3212	1,449674	3,55	0,6438	2,04375	0,000544	0,00050	0,007318	0,007406	0,07871	0,1438	24,34
1,500	122,25	1,4100	1,581026	3,31	0,5594	2,05941	0,015652	0,00050	0,005831	0,006575	2,57657	2,7203	24,44
1,550	126,40	1,4541	1,647369	3,20	0,5233	2,07325	0,013849	0,00050	0,005235	0,005533	2,75174	5,4721	24,49
1,600	130,56	1,4981	1,714128	3,10	0,4905	2,09046	0,017206	0,00050	0,004715	0,004975	3,84485	9,3169	24,54
1,650	134,72	1,5419	1,781285	3,01	0,4606	2,11062	0,020161	0,00050	0,004262	0,004489	5,05467	14,3716	24,60
1,700	138,89	1,5855	1,848822	2,92	0,4334	2,13339	0,022772	0,00050	0,003863	0,004062	6,39228	20,7639	24,65
1,750	143,06	1,6290	1,916723	2,83	0,4085	2,15848	0,025088	0,00050	0,003512	0,003688	7,87030	28,6342	24,70
1,800	147,24	1,6723	1,984971	2,75	0,3856	2,18563	0,02715	0,00050	0,003202	0,003357	9,50307	38,1373	24,76
1,850	151,42	1,7155	2,053551	2,67	0,3646	2,21462	0,028991	0,00050	0,002926	0,003064	11,30706	49,4443	24,81
1,900	155,61	1,7584	2,122449	2,60	0,3453	2,24526	0,03064	0,00050	0,002681	0,002804	13,30124	62,7456	24,87
1,950	159,80	1,8013	2,191651	2,53	0,3274	2,27738	0,032121	0,00050	0,002462	0,002571	15,50758	78,2531	24,93
2,000	164,00	1,8439	2,261143	2,47	0,3108	2,31084	0,033456	0,00050	0,002266	0,002364	17,95168	96,2048	24,99
2,060	169,04	1,8949	2,344900	2,40	0,2926	2,35257	0,041728	0,00050	0,002056	0,002161	25,12416	121,3290	25,06
2,100	172,41	1,9288	2,400950	2,35	0,2813	2,38125	0,028686	0,00000	0,001931	0,001993	14,39084	135,7198	25,10
2,150	176,62	1,9710	2,471241	2,29	0,2680	2,41800	0,036744	0,00000	0,001787	0,001859	19,76658	155,4864	25,15
2,208	181,52	2,0198	2,553084	2,23	0,2537	2,46175	0,043747	0,00000	0,001638	0,001713	25,54429	181,0307	25,21

CONSÓRCIO:



CÁLCULO DO REMANSO

Q(m³/s) = 300,00				n = 0,029				b (m) = 80,00					
Yc (m) = 1,116				TALUDE 1:2 (V:H)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Yc	A	Rh	R ^{4/3}	V	V ^{2/2} *g	E	ΔE	So	Sf	Sfmed	ΔX	X	COTA
1,116	90,53	1,0651	1,087795	3,31	0,5598	1,67578	-	0,00050	0,008481	-	-	0,0000	24,06
1,115	90,44	1,0642	1,086554	3,32	0,5608	1,67580	1,84E-05	0,00050	0,008506	0,008493	0,00230	0,0023	24,05
1,120	90,85	1,0688	1,092762	3,30	0,5557	1,67573	6,44E-05	0,00050	0,008381	0,008444	0,00811	0,0104	24,06
1,130	91,68	1,0779	1,105197	3,27	0,5458	1,67580	7,3E-05	0,00050	0,008139	0,008260	0,00941	0,0198	24,07
1,140	92,50	1,0870	1,117658	3,24	0,5361	1,67614	0,000334	0,00050	0,007906	0,008022	0,04444	0,0643	24,08
1,150	93,32	1,0961	1,130143	3,21	0,5267	1,67673	0,000587	0,00050	0,007681	0,007793	0,08042	0,1447	24,09
1,200	97,44	1,1415	1,192934	3,08	0,4832	1,68315	0,006425	0,00050	0,006675	0,007178	0,96215	1,1068	24,14
1,300	105,69	1,2317	1,320244	2,84	0,4107	1,71067	0,027516	0,00050	0,005126	0,005900	5,09509	6,2019	24,24
1,600	130,56	1,4981	1,714128	2,30	0,2691	1,86911	0,158448	0,00050	0,002587	0,003857	47,20190	53,4038	24,57
1,700	138,89	1,5855	1,848822	2,16	0,2378	1,93780	0,068687	0,00050	0,002120	0,002354	37,05706	90,4609	24,68
1,761	143,98	1,6385	1,931708	2,08	0,2213	1,98228	0,04448	0,00050	0,001888	0,002004	29,57842	120,0393	24,76
1,800	147,24	1,6723	1,984971	2,04	0,2116	2,01160	0,029313	0,00000	0,001757	0,001822	16,08562	136,1249	24,80
1,810	148,08	1,6810	1,998661	2,03	0,2092	2,01921	0,007617	0,00000	0,001725	0,001741	4,37537	140,5003	24,81
1,820	148,91	1,6896	2,012364	2,01	0,2069	2,02687	0,007657	0,00000	0,001694	0,001710	4,47859	144,9789	24,82
1,830	149,75	1,6982	2,026080	2,00	0,2046	2,03456	0,007695	0,00000	0,001664	0,001679	4,58314	149,5620	24,83
1,840	150,59	1,7068	2,039809	1,99	0,2023	2,04230	0,007733	0,00000	0,001634	0,001649	4,68903	154,2511	24,84
1,850	151,42	1,7155	2,053551	1,98	0,2001	2,05007	0,00777	0,00000	0,001606	0,001620	4,79628	159,0473	24,85
1,880	153,93	1,7413	2,094853	1,95	0,1936	2,07359	0,023524	0,00000	0,001523	0,001564	15,03804	174,0854	24,88
1,890	154,77	1,7499	2,108645	1,94	0,1915	2,08150	0,00791	0,00000	0,001497	0,001510	5,23900	179,3244	24,89
1,892	154,94	1,7516	2,111405	1,94	0,1911	2,08309	0,001586	0,00000	0,001492	0,001494	1,06152	180,3859	24,89

CONSÓRCIO:



CÁLCULO DO REMANSO

Q(m³/s) = 200,00				n = 0,029				b (m) = 80,00					
Yc (m) = 0,85				TALUDE 1:2 (V:H)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Yc	A	Rh	R ^{4/3}	V	V ^{2/2*g}	E	ΔE	So	Sf	Sfmed	ΔX	X	COTA
0,850	68,72	0,8201	0,767615	2,91	0,4317	1,28169	-	0,00050	0,009268	-	-	0,0000	23,79
0,880	71,17	0,8480	0,802634	2,81	0,4025	1,28246	0,000769	0,00050	0,008264	0,008766	0,09306	0,0931	23,82
0,900	72,81	0,8665	0,826147	2,75	0,3846	1,28459	0,002121	0,00050	0,007672	0,007968	0,28405	0,3771	23,84
0,950	76,90	0,9128	0,885493	2,60	0,3447	1,29474	0,010156	0,00050	0,006416	0,007044	1,55202	1,9291	23,89
1,000	81,00	0,9589	0,945606	2,47	0,3107	1,31075	0,016004	0,00050	0,005416	0,005916	2,95492	4,8841	23,94
1,200	97,44	1,1415	1,192934	2,05	0,2147	1,41473	0,103988	0,00050	0,002967	0,004191	28,17240	33,0565	24,16
1,350	109,82	1,2765	1,384707	1,82	0,1690	1,51904	0,104307	0,00050	0,002012	0,002489	52,43695	85,4934	24,33
1,400	113,96	1,3212	1,449674	1,76	0,1570	1,55699	0,037948	0,00050	0,001785	0,001898	27,13922	112,6326	24,40
1,412	114,95	1,3318	1,465338	1,74	0,1543	1,56629	0,009297	0,00050	0,001735	0,001760	7,37919	120,0118	24,41
1,450	118,10	1,3656	1,515121	1,69	0,1462	1,59617	0,029883	0,00000	0,001590	0,001663	17,97384	137,9856	24,45
1,460	118,93	1,3745	1,528266	1,68	0,1441	1,60414	0,007969	0,00000	0,001554	0,001572	5,06902	143,0547	24,46
1,470	119,76	1,3834	1,541430	1,67	0,1421	1,61215	0,008011	0,00000	0,001520	0,001537	5,21168	148,2663	24,47
1,480	120,59	1,3922	1,554611	1,66	0,1402	1,62020	0,008051	0,00000	0,001486	0,001503	5,35662	153,6230	24,48
1,488	121,25	1,3993	1,565169	1,65	0,1387	1,62667	0,006469	0,00000	0,001460	0,001473	4,39138	158,0143	24,49
1,489	121,34	1,4002	1,566489	1,65	0,1385	1,62748	0,00081	0,00000	0,001457	0,001458	0,55564	158,5700	24,49
1,490	121,42	1,4011	1,567810	1,65	0,1383	1,62829	0,000811	0,00000	0,001454	0,001455	0,55714	159,1271	24,49
1,491	121,50	1,4020	1,569131	1,65	0,1381	1,62910	0,000811	0,00000	0,001450	0,001452	0,55863	159,6858	24,49
1,492	121,59	1,4029	1,570452	1,64	0,1379	1,62991	0,000812	0,00000	0,001447	0,001449	0,56013	160,2459	24,49
1,493	121,67	1,4038	1,571773	1,64	0,1377	1,63073	0,000812	0,00000	0,001444	0,001446	0,56163	160,8075	24,49
1,494	121,75	1,4046	1,573094	1,64	0,1375	1,63154	0,000812	0,00000	0,001441	0,001442	0,56314	161,3707	24,49

CONSÓRCIO:



CÁLCULO DO REMANSO

Q(m³/s) = 100,00				n = 0,029				b (m) = 80,00					
Yc (m) = 0,54				TALUDE 1:2 (V:H)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Yc	A	Rh	R ⁴ /3	V	V ² /2*g	E	ΔE	So	Sf	Sfmed	ΔX	X	COTA
0,540	43,49	0,5277	0,426457	2,30	0,2695	0,80947	-	0,00050	0,010413	-	-	0,0000	23,48
0,600	48,36	0,5849	0,489142	8,37	3,5748	4,17480	3,365337	0,00050	0,120443	0,065428	51,83159	51,8316	23,56
0,650	52,42	0,6323	0,542725	7,73	3,0422	3,69221	0,482593	0,00050	0,092379	0,106411	4,55658	56,3882	23,62
0,700	56,49	0,6795	0,597438	7,17	2,6199	3,31988	0,372329	0,00050	0,072269	0,082324	4,55036	60,9385	23,67
0,750	60,56	0,7266	0,653202	6,69	2,2794	3,02938	0,290499	0,00050	0,057509	0,064889	4,51162	65,4501	23,72
0,800	64,64	0,7734	0,709948	6,27	2,0009	2,80088	0,228498	0,00050	0,046447	0,051978	4,43874	69,8889	23,77
0,850	68,72	0,8201	0,767615	5,89	1,7702	2,62022	0,180666	0,00050	0,038006	0,042226	4,32978	74,2187	23,83
0,900	72,81	0,8665	0,826147	5,56	1,5770	2,47704	0,143178	0,00050	0,031459	0,034732	4,18253	78,4012	23,88
1,000	81,00	0,9589	0,945606	5,00	1,2743	2,27425	0,20279	0,00050	0,022208	0,026834	7,70077	86,1020	23,98
1,200	97,44	1,1415	1,192934	4,16	0,8805	2,08054	0,193708	0,00050	0,012165	0,017186	11,60880	97,7108	24,19
1,300	105,69	1,2317	1,320244	3,83	0,7484	2,04844	0,032102	0,00050	0,009343	0,010754	3,13083	100,8416	24,29
1,400	113,96	1,3212	1,449674	3,55	0,6438	2,04375	0,004686	0,00050	0,007318	0,008330	0,59843	101,4400	24,39
1,500	122,25	1,4100	1,581026	3,31	0,5594	2,05941	0,015652	0,00050	0,005831	0,006575	2,57657	104,0166	24,49
1,600	130,56	1,4981	1,714128	3,10	0,4905	2,09046	0,031055	0,00050	0,004715	0,005273	6,50600	110,5226	24,59
1,690	138,06	1,5768	1,835285	2,93	0,4386	2,12865	0,038184	0,00050	0,003939	0,004327	9,97714	120,4997	24,69
1,700	138,89	1,5855	1,848822	2,92	0,4334	2,13339	0,004749	0,00000	0,003863	0,003901	1,21724	121,7170	24,70
1,900	155,61	1,7584	2,122449	2,60	0,3453	2,24526	0,111869	0,00000	0,002681	0,003272	34,18911	155,9061	24,90
1,950	159,80	1,8013	2,191651	2,53	0,3274	2,27738	0,032121	0,00000	0,002462	0,002571	12,49210	168,3982	24,95
1,960	160,64	1,8098	2,205527	2,52	0,3240	2,28397	0,006589	0,00000	0,002421	0,002441	2,69889	171,0971	24,96
1,992	163,33	1,8371	2,250005	2,48	0,3134	2,30540	0,02143	0,00000	0,002296	0,002358	9,08757	180,1846	24,99

3.3.10.7 - Dimensionamento do Enrocamento

Para dimensionamento do enrocamento do canal de restituição, foi usado o ábaco do Manual de Projeto da CETESB, para a velocidade $V = 3,69\text{m/s}$ que ocorre na vizinhança de mureta. Para esta velocidade verifica-se que o diâmetro da pedra média D_{50} deve ser maior ou igual a 0,45 m. Adotando $D_{50} = 0,45\text{m}$, $D_{máx} = 0,70\text{m}$ e $D_{mín} = 0,30\text{m}$ para compor o enrocamento. Os pesos das respectivas pedras, admitindo que elas tenham um volume médio entre a esfera e o cubo são:

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{rocha}} &= 2,65\text{tf} / \text{m}^3 \\ D_{50} = 0,45 &\Rightarrow P_{50} = 140,8\text{kgf} \\ D_{mín} = 0,30 &\Rightarrow P_{mín} = 41,7\text{kgf} \\ D_{máx} = 0,70 &\Rightarrow P_{máx} = 530,0\text{kgf} \end{aligned}$$

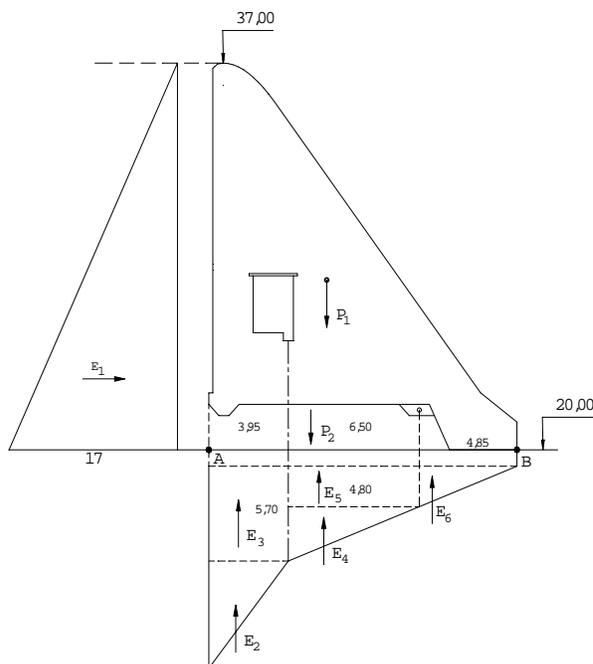
A granulometria do enrocamento deve obedecer à seguinte faixa granulométrica.

DIÂMETRO (mm)	% PASSANDO
$D_{máx} = 700$	100
$D_{50} = 450$	50
$D_{mín} = 300$	0

3.3.10.8 - Análise da Estabilidade

A análise da estabilidade foi realizada sob a ótica de duas hipóteses, a primeira com a barragem cheia na cota 37,00 m e a segunda supondo a situação de sangria passando a lâmina milenar.

1ª Hipótese (Barragem Cheia na cota 37,00 m)



Cálculo dos Esforços

$$P_1 = 117,36 \times 2,20 = 258,19$$

$$P_2 = 22,40 \times 2,0 = 44,80$$

$$E_1 = \frac{1}{2} \times 17,00 \times 17,00 \times 1,0 = 144,50$$

$$E_2 = \frac{1}{2} \times 11,30 \times 3,95 \times 1,0 = 22,31$$

$$E_3 = 5,70 \times 3,95 \times 1,0 = 22,51$$

$$E_4 = \frac{1}{2} \times 0,90 \times 6,5 \times 1,0 = 2,92$$

$$E_5 = 4,8 \times 6,5 \times 1,0 = 31,20$$

$$E_6 = \frac{1}{2} \times 4,8 \times 4,85 = 11,64$$

- Cálculo das Coordenadas dos Esforços em Relação ao Ponto B

$$\text{Abscissa de } P_1 \Rightarrow X_{P_1} = 9,93;$$

$$\text{Abscissa de } P_2 \Rightarrow X_{P_2} = 9,46;$$

$$\text{Ordenada de } E_1 \Rightarrow Y_1 = 5,66;$$

$$\text{Abscissa de } E_2 \Rightarrow X_2 = 13,98;$$

$$\text{Abscissa de } E_3 \Rightarrow X_3 = 13,32;$$

$$\text{Abscissa de } E_4 \Rightarrow X_4 = 9,18;$$

Abcissa de $E_5 \Rightarrow X_5 = 8,10$;

Abcissa de $E_6 \Rightarrow X_6 = 3,23$.

- Verificação da estabilidade contra o tombamento.

Deve-se ter:

$$M_R = f \cdot M_T$$

Onde f deve ser maior ou igual 1,5.

$$M_R = 258,19 \times 9,93 + 44,80 \times 9,46 = 2.987,63tf \cdot m/m$$

$$M_T = 144,50 \times 5,66 + 22,31 \times 13,98 + 22,51 \times 13,32 + 2,92 \times 9,18 + 31,20 \times 8,10 + 11,64 \times 3,23$$

$$M_T = 1.746,71tf \cdot m/m$$

$$f = \frac{2.987,63}{1.746,71} = 1,71 \Rightarrow OK!$$

- Verificação da estabilidade contra o deslizamento

Deve-se ter:

$$f \times (\Sigma H) = tg\phi \cdot (\Sigma V)$$

Onde f deve ser maior ou igual a 1,50.

Adotando:

$$tg\phi = 0,80$$

$$\Sigma(H) = 144,50 - 0,80 \times 20,86 \times 2,20 = 107,78$$

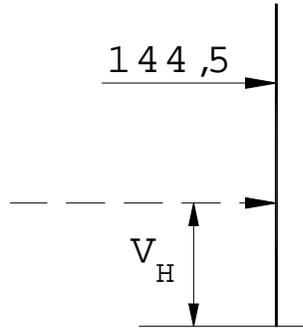
$$\Sigma(V) = 212,41$$

$$f = \frac{0,80 \times 212,41}{107,78} = 1,57 \Rightarrow OK!$$

- Verificação do estado de tensões na base
- Determinação da abcissa da resultante vertical em relação ao ponto B

$$X_V = \frac{\Sigma V_i \cdot X_i}{\Sigma V_i} = \frac{2.058,78}{212,41} = 9,69m$$

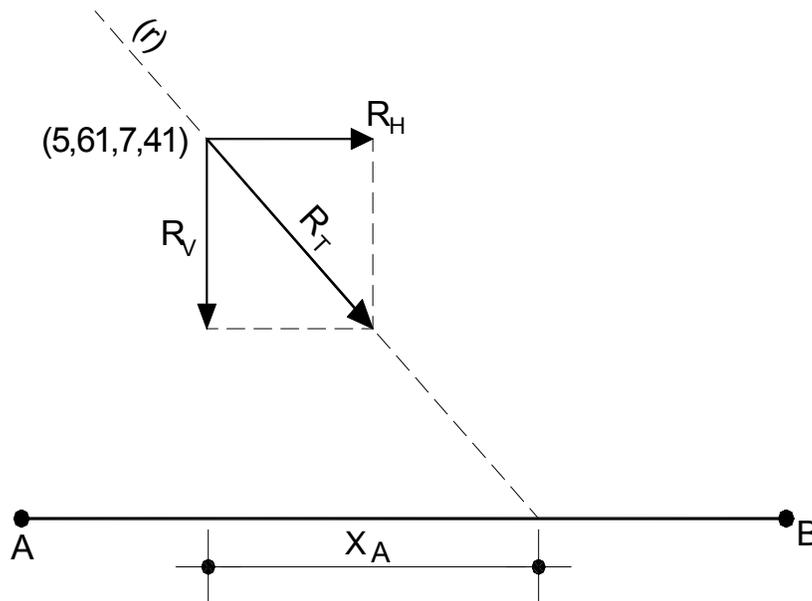
- Determinação da ordenada da resultante horizontal em relação a "B"



$$107,79 \times Y_H = 144,5 \times 5,66 - 36,71 \times 0,5$$

$$Y_H = 7,41$$

- Determinação do ponto onde a resultante atravessa a base, medido em relação ao ponto "A"



Determinação da equação da reta (r).

$$Y - 7,41 = -1,97 \times (X - 5,61)$$

$$Y = -1,97 \cdot X + 18,46$$

Para $y = 0$, tem-se $X_A = 9,37m$.

Cálculo da excentricidade

$$e = \left| \frac{AB}{2} - X_A \right| = |7,65 - 9,37| = 1,72m$$

Como $e < \frac{AB}{6} = 2,55$ a resultante cai dentro do terço central e portanto as tensões em A e B serão.

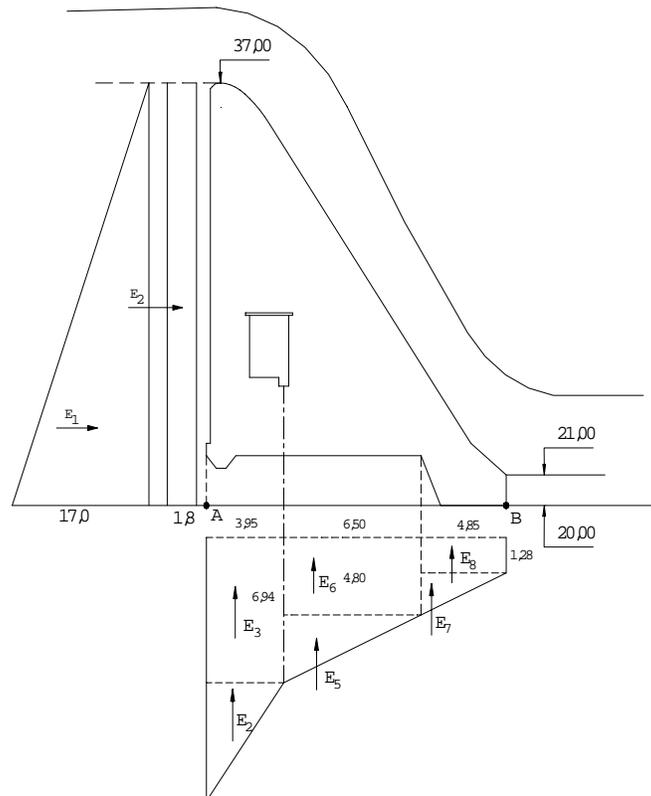
$$\sigma_A = \frac{V}{AB} \times \left(1 - \frac{6 \times e}{AB} \right)$$

$$\sigma_A = \frac{212,41}{15,30} \times \left(1 - \frac{6 \times 1,72}{15,30} \right) = 4,51tf / m^2$$

$$\sigma_B = \frac{V}{AB} \times \left(1 + \frac{6 \times e}{AB} \right)$$

$$\sigma_B = \frac{212,41}{15,30} \times \left(1 + \frac{6 \times 1,72}{15,30} \right) = 23,24tf / m^2$$

2ª Hipótese (Barragem Sangrando com Cheia Milenar)



- Cálculo dos Esforços

$$P_1 = 117,36 \times 2,20 = 258,19$$

$$P_2 = 22,40 \times 2,0 = 44,80$$

$$E_1 = \frac{1}{2} \times 17,00 \times 17,00 \times 1,0 = 144,50$$

$$E_2 = 1,8 \times 17,00 \times 1,0 = 30,60$$

$$E_3 = \frac{1}{2} \times 11,86 \times 3,95 \times 1,0 = 23,42$$

$$E_4 = 6,94 \times 3,95 \times 1,0 = 27,41$$

$$E_5 = \frac{1}{2} \times 2,14 \times 6,50 \times 1,0 = 6,95$$

$$E_6 = 4,80 \times 6,50 \times 1,0 = 31,20$$

$$E_7 = \frac{1}{2} \times 3,52 \times 4,85 \times 1,0 = 8,53$$

$$E_8 = 1,28 \times 4,85 \times 1,0 = 6,20$$

- Cálculo das coordenadas dos esforços em relação ao ponto B

$$\text{Abscissa de } P_1 \Rightarrow X_{P_1} = 9,93m;$$

$$\text{Abscissa de } P_2 \Rightarrow X_{P_2} = 9,46m;$$

$$\text{Ordenada de } E_1 \Rightarrow Y_1 = 5,66m;$$

$$\text{Ordenada de } E_2 \Rightarrow Y_2 = 8,50m;$$

$$\text{Abscissa de } E_3 \Rightarrow X_3 = 13,98m;$$

$$\text{Abscissa de } E_4 \Rightarrow X_4 = 13,32m;$$

$$\text{Abscissa de } E_5 \Rightarrow X_5 = 9,18m;$$

$$\text{Abscissa de } E_6 \Rightarrow X_6 = 8,10m;$$

$$\text{Abscissa de } E_7 \Rightarrow X_7 = 3,23m;$$

$$\text{Abscissa de } E_8 \Rightarrow X_8 = 2,42m.$$

- Verificação da estabilidade contra o tombamento

Deve-se ter:

$$M_R = fM_T$$

Onde f deve ser maior ou igual a 1,5.

$$M_q = 25819 \times 9,93 + 4480 \times 9,46 = 2.987,63 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$M_r = 1445 \times 5,66 + 30,60 \times 8,50 + 23,42 \times 13,98 + 27,41 \times 13,32 + 6,95 \times 9,18 + 3120 \times 8,10 + 8,53 \times 3,23 + 6,20 \times 2,42 = 2.129,55 \text{ t} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$f = \frac{2.987,63}{2.129,55} = 1,40$$

Apesar de f ser menor que 1,50 será aceito o coeficiente de 1,40 tendo em vista a curta duração do episódio e a baixa frequência de ocorrência.

- Verificação da estabilidade contra o deslizamento

Deve-se ter:

$$f \times (\Sigma H) = \text{tg} \phi \times (\Sigma V)$$

Onde f , será aceito se maior ou igual a 1,10 tendo em vista a curta duração do evento e sua baixa frequência de ocorrência.

Adotando:

$$\text{tg} \phi = 0,80$$

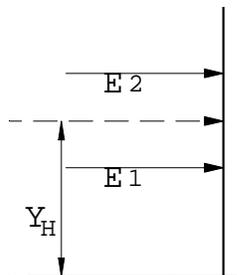
$$\Sigma(H) = 144,50 + 30,60 - 0,80 \times 20,86 \times 2,20 = 138,38 \text{ t} / \text{m}$$

$$\Sigma(V) = 199,28$$

$$f = \frac{0,80 \times 199,28}{138,38} = 1,15 \Rightarrow \text{OK!}$$

- Verificação do estado de tensões na base \overline{AB}

- Determinação da abscissa da resultante vertical em relação ao ponto B.



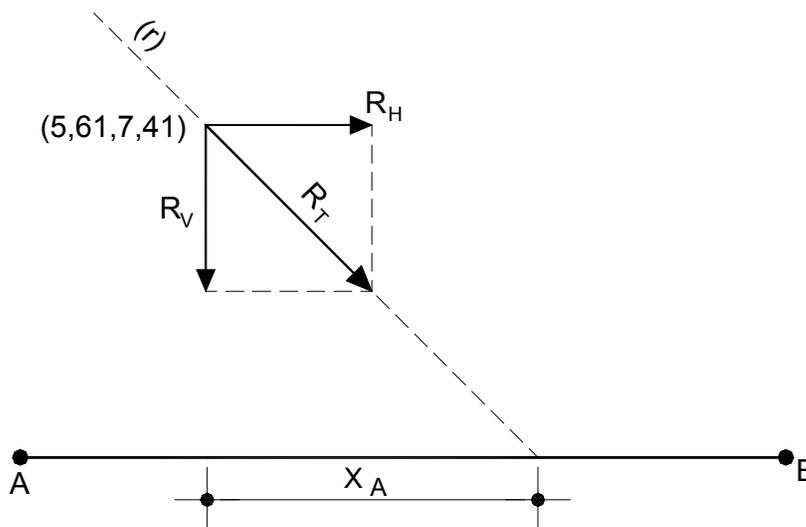
$$X_V = \frac{\sum V_i \cdot X_i}{\sum V_i} = \frac{1.936,04}{199,28} = 9,71m$$

- Determinação da ordenada da resultante horizontal em relação ao ponto B.

$$(\sum H) \cdot X_H = E_1 \times 5,66 + E_2 \times 8,5 - R \times 0,5m$$

$$y_H = \frac{1.059,61}{138,38} = 7,65$$

- Determinação do ponto onde a resultante atravessa a base, medido em relação ao ponto "A".



Determinação da equação da reta (r).

$$Y - 7,65 = -1,44 \times (X - 5,59)$$

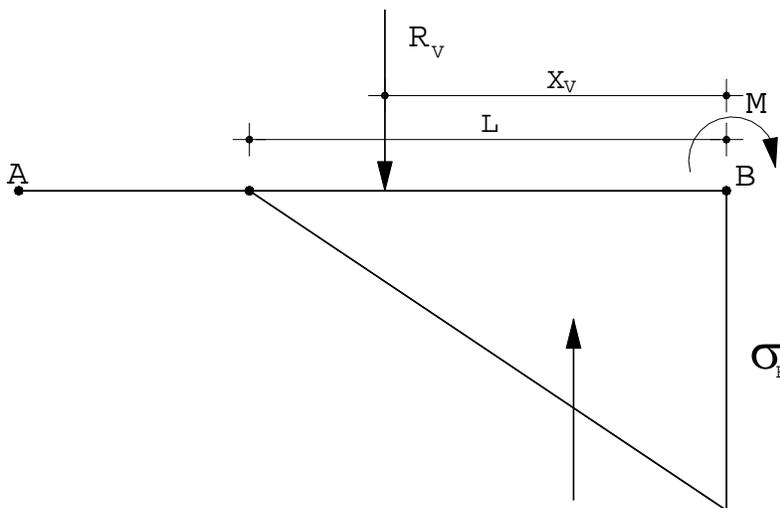
$$Y = -1,44X + 15,69$$

Para $y = 0$ tem-se $X_A = 10,89$

Determinação de excentricidade

$$e = \left| \frac{AB}{2} - X_A \right| = \left| \frac{15,30}{2} - 10,89 \right| = 3,24m$$

Como a excentricidade é maior que $e > \frac{AB}{6} = 2,55m$, verifica-se que a resultante cai fora do terço central o que implica numa redistribuição das tensões na base passando da forma trapezoidal para a forma triangular já que a base não reage a tensões de tração.



Das equações da estática tem-se:

$$\Sigma F = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

$$\frac{1}{2} \sigma_B \cdot L = R_v$$

$$\frac{\sigma_B \times L^2}{6} + M = R_v \cdot X_v$$

$$\sigma_B \cdot L = 398,56$$

$$66,42 \times L = 1.935,00 - 1.059,61$$

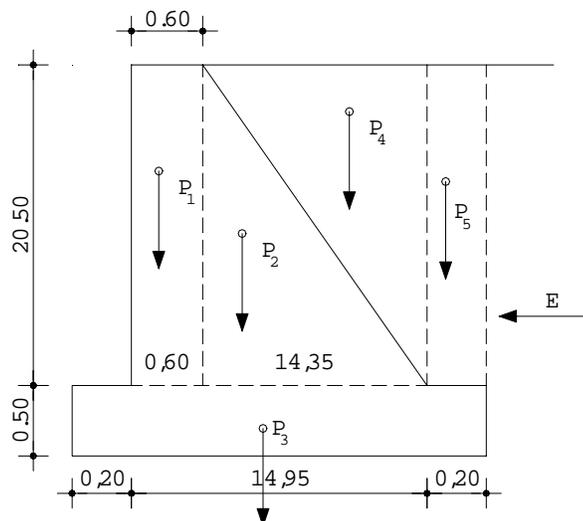
$$L = 13,17m$$

A tensão no ponto B será:

$$\sigma_B = 30,26tf / m^2 \Rightarrow OK!$$

3.3.10.9 - Análise da Estabilidade dos Muros Laterais

Análise desenvolvida na seção crítica



.Adotando:

$$\gamma_c = 2,20 \text{ tf} / \text{m}^3 \text{ para concreto massa};$$

$$\gamma_s = 2,0 \text{ tf} / \text{m}^3 \text{ para o solo};$$

$$tg\phi = 0,80 \text{ fator de atrito muro x fundação};$$

$$k_a = 0,40 \text{ coeficiente de empuxo ativo.}$$

Cálculo dos Esforços

$$P_1 = 0,60 \times 20,50 \times 2,20 = 27,06$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \times 20,50 \times 14,35 \times 2,20 = 323,59$$

$$P_3 = 15,35 \times 0,50 \times 2,20 = 16,88$$

$$P_4 = \frac{1}{2} \times 20,50 \times 14,35 \times 2,0 = 294,17$$

$$P_5 = 20,50 \times 0,20 \times 2,0 = 8,20$$

$$E = \frac{1}{2} \times 0,40 \times 2,0 \times 21,0^2 = 176,40$$

- Determinação das coordenadas em relação ao ponto "A"

$$\text{Abscissa de } P_1 \Rightarrow X_1 = 0,50 \text{m};$$

$$\text{Abscissa de } P_2 \Rightarrow X_2 = 5,58 \text{m};$$

Abcissa de $P_3 \Rightarrow X_3 = 7,67m$;

Abcissa de $P_4 \Rightarrow X_4 = 10,36m$;

Abcissa de $P_5 \Rightarrow X_5 = 15,25m$;

Ordenada de $E \Rightarrow Y_1 = 7,00m$.

- Verificação da estabilidade contra o tombamento

Deve-se ter:

$$M_R = f \cdot M_T$$

Onde f deve ser maior que 1,5.

$$M_R = 27,06 \times 0,50 + 323,59 \times 5,58 + 16,88 \times 7,67 + 294,17 \times 10,36 + 8,20 \times 15,25 = 5.121,28$$

$$M_T = 176,40 \times 7,0 = 1.234,80$$

$$f = \frac{5.121,28}{1.234,80} = 4,14$$

- Verificação da estabilidade ao deslizamento

Deve-se ter:

$$f \times (\Sigma H) = tg\phi \times (\Sigma V)$$

Onde f deve ser maior que 1,50.

$$tg\phi = 0,80$$

$$\Sigma(H) = 176,40$$

$$\Sigma(V) = 664,90$$

$$f = \frac{0,80 \times 669,90}{176,40} = 3,03 \Rightarrow OK!$$

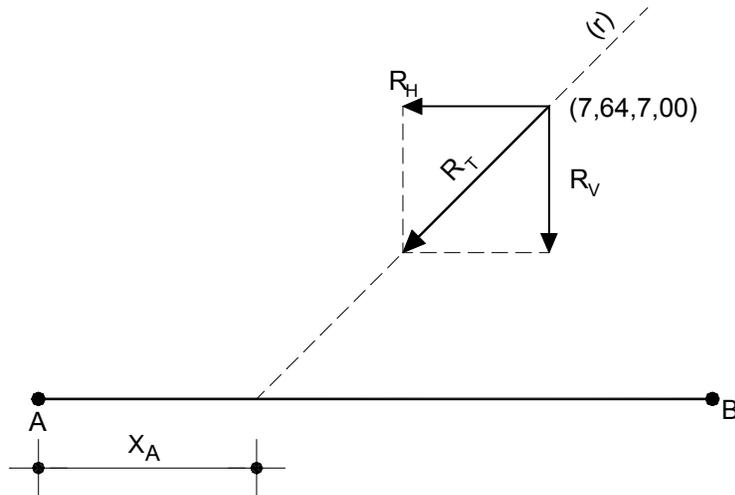
- Verificação do estado de tensões na base
- Determinação da abcissa da resultante vertical em relação ao ponto "A".

$$X_V = \frac{\Sigma V_i \cdot X_i}{\Sigma V_i} = \frac{5.121,28}{669,90} = 7,64m$$

- Determinação da ordenada da resultante horizontal em relação ao ponto "A".

$$Y_H = 7,0$$

- Determinação da abscissa do ponto onde a resultante atravessa a base, medido em relação ao ponto "A".



Determinação da equação na reta (r).

$$Y - 7,0 = 3,79 \cdot (X - 7,64)$$

$$Y = 3,79 \cdot X - 21,95$$

Para $Y = 0$ tem-se $X_A = 5,79m$.

Determinação de excentricidade

$$e = \left| \frac{AB}{2} - X_A \right| = \left| \frac{15,35}{2} - 5,79 \right| = 1,88m$$

Como $e < \frac{AB}{6} = 2,56m$ a resultante cai no terço central logo as tensões na base serão:

$$\sigma_A = \frac{V}{AB} \times \left(1 + \frac{6 \cdot e}{AB}\right)$$

$$\sigma_A = \frac{669,90}{15,35} \times \left(1 + \frac{6 \cdot 1,88}{15,35}\right) = 75,71 \text{tf} / \text{m}^2$$

$$\sigma_B = \frac{V}{AB} \times \left(1 - \frac{6 \cdot e}{AB}\right)$$

$$\sigma_B = \frac{669,90}{15,35} \times \left(1 - \frac{6 \cdot 1,88}{15,35}\right) = 11,57 \text{tf} / \text{m}^2$$

3.3.10.10 - Rede de Drenagem Profunda e Chumbadores

Foi projetada uma única linha de drenos horizontais em baixo do muro Creager para aliviar as pressões da água. Os tubos terão diâmetros de 200 mm e serão em PEAD perfurados e apropriados para drenagem. Os tubos serão colocados abaixo da estrutura de concreto numa vala que será preenchida com areia grossa. Após a chaveta de montante do muro Creager, serão construídos poços de alívio, espaçados de 2,0 em 2,0 metros. Os poços de alívio terão 6,0 m de comprimento para baixo e serão perfurados e direções alternadas diametralmente defasadas de 90°. Os furos terão 8,0 mm de diâmetro. Os tubos verticais serão colocados em poços de 150 mm de diâmetro envolto em bidim e com preenchimento de areia entre as paredes do furo e o tubo. As águas que chegarem a esse dreno serão desaguados dentro da calha da galeria na cota 24,80 m. O tubo de jusante também lançará as águas na calha da galeria que passa dentro do muro lateral esquerdo.

Na laje da bacia de dissipação foi prevista uma malha de chumbadores dispostos da seguinte maneira: nos 9,0 m iniciais, onde a laje tem uma espessura de 1,00 m, os chumbadores serão executados nos vértices de um retículo quadrado com 1,50 m de lado; no outro trecho, onde a laje da bacia de dissipação possui uma espessura de 0,50 m, os chumbadores serão executados nos vértices de um retículo quadrado com 2,00 m de lado. A perfuração dos furos será feita com diâmetro de 100 mm com 5,0 m de profundidade. O chumbador será uma barra de $\phi=32,0$ mm. O furo do chumbador será preenchido com nata de cimento no traço 0,5:1 (água:cimento). O ferro do chumbador fará um gancho que ficará sobre a armadura da laje.

3.3.10.11 - Planta e Perfil das Sondagens

No desenho N° 3.3 a seguir é mostrado em planta a localização das sondagens que serviram de embasamento para a definição do sangradouro. Seguindo o desenho N° 3.3 são mostrados os perfis das sondagens SM-10, SM-301, SM-302, SM-303, SM-304 e SM-305.

3.3.10.12 - Projeto de Escavação do Sangradouro

O projeto de escavação do sangradouro foi elaborado utilizando o programa SoftDesk da Autodesk. As notas de serviços da escavação são apresentadas no volume de Memória de Cálculo.

OBS: Inserir 7 páginas

3.3.11 - Tomada D'Água

A tomada d'água será implantada na estaca 13+11,75 do eixo barrável tendo boa parte do corpo da galeria locado dentro do muro lateral esquerdo. A tomada d'água terá extensão de 428,09m (incluindo o canal de aproximação e o canal de deságüe). A tomada d'água consistirá de uma galeria tubular de diâmetro de $\phi=700\text{mm}$ de aço ASTM A-36. O eixo da galeria ficará na cota 25,50m. O trecho de galeria externo ao muro será envolto em concreto estrutural. A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de $0,649\text{ m}^3/\text{s}$.

O volume morto da Barragem Gameleira será de $4,32\text{ hm}^3$, correspondente a 8,0% da capacidade do reservatório que corresponde ao nível d'água no lago atingir a cota 29,00 m.

No lado de montante a tubulação deixa o muro e é envelopada até a caixa de montante.

No lado de jusante serão instalados os equipamentos hidromecânicos de controle de vazão, composto por um registro de gaveta e uma válvula borboleta. Será construída uma caixa de concreto armado em jusante formada de três células. A primeira alojará os equipamentos hidromecânicos. A segunda haverá um anteparo para dissipação da energia cinética. A terceira célula será um tanque tranquilizador que terá na saída um medidor de vazão através de um vertedouro triangular isósceles.

3.3.12 - Apresentação do Projeto

No Tomo 6 são apresentados os desenhos do projeto da Barragem Gameleira.

4 - CANTEIRO DE OBRAS

4. CANTEIRO DE OBRAS

A área destinada ao canteiro de obras está localizada na ombreira esquerda, na plataforma mais elevada.

O acesso ao canteiro de obras se fará através da estrada existente, a qual deverá sofrer melhorias para comportar o tráfego durante as obras. O acesso ao canteiro é feito a partir desta estrada.

Optou-se por instalar o canteiro na ombreira esquerda pela sua proximidade da obra, ou seja, a 400m da barragem. Desta forma é possível concentrar as instalações em um só ponto, facilitando o gerenciamento e a fiscalização dos serviços. Nesta região indicada ao canteiro, há também ponto para captação de energia elétrica.

A instalação mínima para o canteiro de obras deverá ser composta dos elementos descritos no Quadro nº4.1:

Quadro nº4.1: Canteiro de Obras	
Item	Descrição
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

5 - CRONOGRAMA FÍSICO

5. CRONOGRAMA FÍSICO

Previu-se de acordo com as dimensões das obras da Barragem Gameleira e com as características climáticas da Região, um prazo de 12 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 na figura 5.1.

Considerou-se na concepção do cronograma de construção que as obras de terraplenagem tem 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.

Tendo em vista estas condições, a construção da barragem deverá ser executada na seguinte seqüência:

- a) Execução do sangradouro;
- b) Execução da tomada de água;
- c) Execução da barragem
- d) Execução da barragem na zona do leito do rio, após o período de chuvas (Fechamento da Barragem).

Assim, o programa de construção desenvolver-se-á conforme descrito a seguir:

Período de Janeiro / Ano 1 a Maio / Ano 1

Nestas etapa, a qual corresponde ao período de chuvas, deverão ser executadas:

- a) Escavação do Sangradouro;
- b) Escavação da barragem nas ombreiras e no vale do eixo.

- c) Início do tratamento de fundações da barragem.
- d) Execução do aterro compactado nas ombreiras
- e) Escavação da Tomada d'água
- f) Concretagem da tomada d'água.

Período de Junho / Ano 1 a Outubro / Ano 1

Nesta etapa corresponde ao período seco e deverá ser executado:

- a) Término da escavação do Sangradouro
- b) Concretagem do Sangradouro
- c) Limpeza geral do Vale do rio para retirada dos materiais eventualmente carreados pela cheia;
- d) Tratamento de fundações da barragem
- e) Execução da barragem no vale do rio
- f) Montagem dos equipamentos hidromecânicas.

Período de Novembro / Ano 1 a Dezembro / Ano 1

Neste período deverão ser executados os seguintes trabalhos:

- a) Complementação da barragem até a crista
- b) Acabamento da crista
- c) Drenagem superficial

Figura Nº 5.1: Cronograma Físico

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ - SRH/CE
 PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM GAMELEIRA

ITEM	ATIVIDADES	CRONOGRAMA FÍSICO											
		MESES											
		DIAS CORRIDOS	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
MESES CORRIDOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Instalação do Canteiro de Obras	█											
2	Manutenção do Canteiro de Obras, Estrada de Acesso e Caminhos de Serviços	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
3	Mobilização do Equipamento	█	█	█	█								
4	Construção da Estrada de Acesso e Caminhos de Serviço	█	█	█	█								
5	Limpeza do Local da Barragem e Empréstimo	█	█	█	█								
6	Escavação e Tratamento da Fundação da Barragem						█	█	█	█			
7	Limpeza e Escavação da Tomada D'Água			█	█	█	█	█	█				
8	Aquisição de Tubos e Equipamentos Hidromecânicos			█	█	█	█						
9	Concretagem e Montagem da Tomada D'Água						█	█	█	█	█		
10	Limpeza e Escavação do Sangradouro		█	█	█	█							
11	Concretagem do Sangradouro						█	█	█	█	█	█	█
12	Execução do Maciço da Barragem Principal			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
13	Instalação do Equipamento Hidromecânico											█	█
14	Drenagem Superficial											█	█
15	Desmatamento Racional da Bacia Hidráulica						█	█	█	█	█	█	█
16	Acabamento e Limpeza da Obra												█

6 - EQUIPAMENTO MÍNIMO

6. EQUIPAMENTO MÍNIMO

Para cumprimento do cronograma de implantação prevista no projeto, será necessário alocar a quantidade mínima de equipamento indicada na lista a seguir:

Quadro nº6.1: Equipamento Mínimo		
1.	Trator de esteiras com potência igual ou superior a 270HP	02
2.	Trator de esteiras com Potência igual ou superior a 140HP	02
3.	Trator de pneus com potência igual ou superior a 100HP	03
4.	Carregadeira frontal com potência igual ou superior a 170HP	04
5.	Motoniveladora com Potência igual ou superior a 125HP	03
6.	Caminhão basculante com capacidade igual ou superior a 6m ³	10
7.	Betoneira com capacidade mínima de 320l	03
8.	Caminhão pipa com capacidade igual ou superior a 6000l com irrigadeira	04
9.	Rolo compactador autopropelido vibratório pé-de-carneiro de 10 ton ou similar	03
10.	Rolo liso autopropelido vibratório de 10ton ou similar	01
11.	Retro-escavadeira com capacidade igual ou superior a 0,6m ³	02
12.	Conjunto de britagem com capacidade igual ou superior a 20m ³ /h	02
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.	Marteletes de 24Kg	04