

MÓDULO III PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM TRAIRI

VOLUME III – DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO

TOMO 1 – MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
00	Jun/02	Emissão Inicial	WBSR	JRPR/WBSR	NKT	NKT
01	Jul/02	Alterações Segundo as Considerações da 39ª Reunião do PISB	WBSR	JRPR/WBSR	NKT	NKT
02	Set/02	Alterações Segundo as Considerações 40ª Reunião do PISB	WBSR	JRPR/WBSR	NKT	NKT
03	Dez/02	Alterações Segundo as Considerações 41ª Reunião do PISB	WBSR	JRPR/WBSR	NKT	NKT
04	Dez/02	Projeto Final – Com as Alterações da 42ª Reunião do PISB	WBSR	JRPB/WBSR	NKT	NKT

ÍNDICE

ÍNDICE

<u>APRESENTAÇÃO</u>	5
<u>1 - INTRODUÇÃO</u>	8
<u>2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO</u>	14
<u>3 - ESTUDOS BÁSICOS</u>	17
<u>3.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS</u>	18
<u>3.1.1 - Cartografia</u>	18
<u>3.1.2 - Transporte de Coordenadas</u>	20
<u>3.1.3 - Transportes de Cotas</u>	20
<u>3.1.4 - Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro</u>	21
<u>3.1.5 - Levantamento da Bacia Hidráulica</u>	21
<u>3.1.6 - Levantamento das Jazidas</u>	23
<u>3.1.7 - Apresentação dos Estudos Topográficos</u>	25
<u>3.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS</u>	25
<u>3.2.1 - Geologia Regional</u>	25
<u>3.2.2 - Geologia Local</u>	28
<u>3.2.3 - Levantamento Geológico de Superfície</u>	30
<u>3.3 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS</u>	32
<u>3.3.1 - Investigação Geotécnica</u>	32
<u>3.3.2 - Estudos das Ocorrências de Materiais</u>	34
<u>3.4 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS</u>	37
<u>3.4.1 - Caracterização Física da Bacia Hidrográfica</u>	38
<u>3.4.2 - Estudos Hidroclimatológicos</u>	38
<u>3.4.3 - Estudos Pluviométricos</u>	40
<u>3.4.4 - Estudo de Cheias</u>	42
<u>3.4.5 - Curvas de Regulação do Reservatório</u>	45
<u>3.4.6 - Determinação da Capacidade do Reservatório</u>	49
<u>3.4.7 - Dimensionamento do Sangradouro</u>	50
<u>3.4.8 - Estudos Adicionais</u>	51
<u>4 - PROJETO DA BARRAGEM</u>	55
<u>4.1 - CONCEPÇÃO DA BARRAGEM</u>	56
<u>4.1.1 - Caracterização da Fundação</u>	56
<u>4.1.2 - Rebaixamento do Lençol Freático</u>	59
<u>4.1.3 - Geometria da Trincheira de Fundação</u>	59
<u>4.1.4 - Cortina de Injeção</u>	60
<u>4.1.5 - Local de Bota-Fora</u>	61
<u>4.1.6 - Materiais de Construções</u>	62

<u>4.1.7 - Maciço da Barragem</u>	64
<u>4.1.8 - Análise de Estabilidade</u>	70
<u>4.1.9 - Estudo de Percolação da Barragem</u>	74
<u>4.1.10 - Análise dos Recalques</u>	74
<u>4.1.11 - Sangradouro</u>	76
<u>4.1.12 - Tomada D'água</u>	84
<u>4.1.13 - Apresentação do Projeto</u>	85
<u>5 - CANTEIRO DE OBRAS</u>	88
<u>6 - CRONOGRAMA FÍSICO</u>	90
<u>7 - EQUIPAMENTO MÍNIMO</u>	94

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 Adustras

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.

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 Trairi, no Estado do Ceará, estamos apresentando o presente relatório, descrevendo as etapas que foram empreendidas no “Módulo III” do mencionado contrato, inerentes ao Projeto da Barragem Trairi.

O objetivo deste trabalho é descrever os estudos básicos elaborados e apresentar a concepção do projeto da Barragem Trairi. Assim sendo, o relatório aborda os seguintes tópicos:

- Localização e Acesso;
- Estudos Básicos;
 - Estudos Topográficos;
 - Estudos Geológicos;
 - Estudos Geotécnicos;
 - Estudos Hidrológicos; e
- Projeto da Barragem.

As principais características da Barragem Trairi são apresentadas na ficha técnica a seguir:

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM TRAIRI

– Identificação

Denominação: Barragem Trairi
 Estado: Ceará
 Município: Trairi
 Sistema: Bacia Litorânea
 Rio Barrado: Rio Trairi
 Coordenadas UTM (Marco M-01=Est. 70+00): (9.627.510,507 N; 463.032,097 E)
 Proprietário: Estado do Ceará/SRH
 Autor do Projeto: Consórcio JP-ENG/AGUASOLOS/ESC-TE
 Data do Projeto: Dez/2002

– **Bacia Hidrográfica**

Área:	327,02 km ²
Precipitação média anual:	1.150,50 mm
Evaporação média anual:	1.914,70 mm

– **Características do Reservatório**

Área da bacia hidráulica (cota 30,50m):	1.016,00 ha
Volume acumulado (cota 30,50 m):	58,80 hm ³
Volume afluente médio anual:	66,00 hm ³
Volume morto do reservatório (cota: 21,00m):	5,67 hm ³
Vazão regularizada (90%):	0,638 m ³ /s
Vazão afluente max. de projeto (TR=1.000anos):	661,00 m ³ /s
Vazão max. de projeto amortecida (TR=1.000anos):	218,00 m ³ /s
Vazão afluente max. de verificação (TR=10.000anos):	845,00 m ³ /s
Vazão max. de verificação amortecida (TR=10.000anos):	292,00 m ³ /s
Nível d'água máximo normal:	30,50 m
Nível d' água max. maximorum (TR=1.000anos):	31,70 m
Nível d' água max. maximorum (TR=10.000anos):	31,90 m

– **Barragem Principal**

Tipo:	homôgenea de Solo
Altura máxima:	19,09 m
Largura do coroamento:	6,00 m
Extensão pelo coroamento:	1.305,16 m
Cota do coroamento:	El. 34,00 m
Volume de escavação (fundação):	110.000,00 m ³
Volume do maciço:	520.000,00 m ³
Volume do maciço (cut-off):	110,000,00 m ³
Volume de enrocamento (rip-rap e rock-fill):	41.000,00 m ³
Volume de transições:	12.000,00 m ³
Volume de areia (filtro e transições):	31.000,00 m ³
Largura máxima da base:	93,90 m
Talude de montante:	1,0 v: 2,5 h
Talude de jusante:	1,0 v: 2,0 h

– **Barragem Auxiliar BA-01**

Tipo: Homogênea de Solo
 Altura Máxima: 0,90 m
 Largura do Coroamento: 6,00 m
 Extensão pelo Coroamento: 83,07 m
 Cota do Coroamento: 34,00 m
 Volume de Escavação (Fundação): 605,00 m³
 Volume do Maciço: 120,00 m³
 Volume de Enrocamento (rip-rap e rock-fill): 50,00 m³
 Volume de Transições: 38,00 m³
 Largura máxima da base: 10,05 m
 Talude de Montante: 1:2,5 (V:H)
 Talude de Jusante: 1:2,0 (V:H)

– **Tomada de água**

Tipo: galeria com tubo em Aço ASTM A-36 em chapa de ¼”
 Localização: ombreira esquerda estaca 13
 Número de condutos: 1 (um)
 Diâmetro: 700,00 mm
 Comprimento do conduto: 88,00 m
 Cota da geratriz inferior a montante: El. 17,65 m
 Cota de geratriz inferior a jusante: El. 17,65 m
 Volume de escavação: 44.000,00 m³
 Volume de concreto armado: 180,00 m³
 Volume do concreto de regularização: 26,00 m³
 Comprimento total (incluindo entrada e saída): 100,85 m

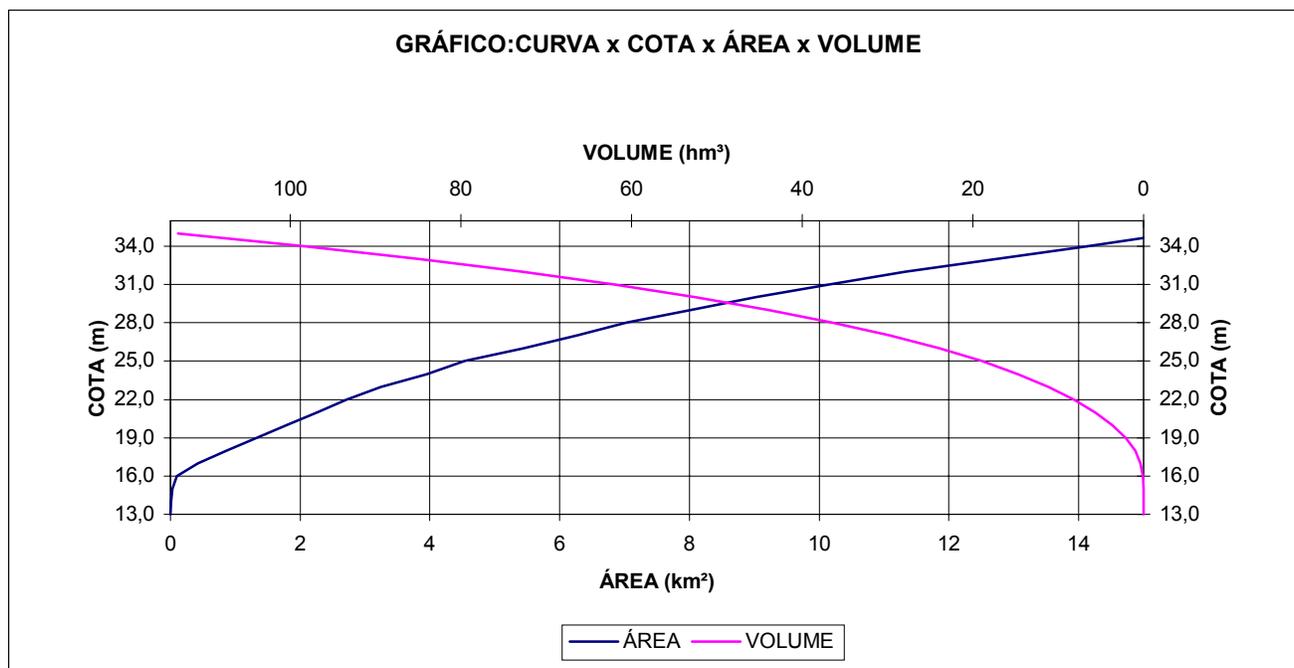
– **Sangradouro**

Tipo: perfil creager, bacia de dissipação, canal rápido e canal escavado em solo.
 Largura: 80,00 m
 Cota da soleira: 30,50 m
 Material: concreto ciclópico e concreto armado

Altura do muro creager:	4,50 m
Vazão máxima de projeto (Tr=1000 anos):	218,00 m ³ /s
Lâmina máxima prevista (T.R=1000anos):	1,20 m
Lâmina máxima prevista (T.R=10.000anos):	1,40 m
Borda livre:	2,10 m
Volume de concreto ciclópico do perfil Creager:	1.700,00 m ³
Extensão total do canal (Restituição + Aproximação):	547,00 m
Canal de Restituição	
Tipo:	Canal escavado em solo
Largura:	90,00 m
Extensão:	367,00 m
Volume de escavação comum:	327.000,00 m ³
Canal de Aproximação	
Tipo:	Canal escavado em solo
Largura:	90,00 m
Extensão:	180,00 m
Volume de escavação comum:	161.000,00 m ³
Muros de Contenção Lateral	
Material:	concreto estrutural
Altura máxima:	5,50 m
Comp. na margem direita:	106,00 m
Comp. na margem esquerda:	106,00 m
Volume de concreto estrutural:	3.580,00 m ³
Bacia de Dissipação	
Extensão:	21,00 m
Largura:	80,00 m
Material:	concreto estrutural
Volume de concreto estrutural:	3.720,00 m ³

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: Tabulação dos Dados da Curva

COTA	AREA (m ²)	VOLUME (m ³)	VOLUME ACUMULADO (m ³)
13,0	0	0	0
14,0	8.370,00	4.185,00	4.185,00
15,0	30.141,00	19.255,50	23.440,50
16,0	94.752,00	62.446,50	85.887,00
17,0	418.584,00	256.668,00	342.555,00
18,0	865.548,00	642.066,00	984.621,00
19,0	1.328.581,00	1.097.064,50	2.081.685,50
20,0	1.791.320,00	1.559.950,50	3.641.636,00
21,0	2.257.606,00	2.024.463,00	5.666.099,00
22,0	2.710.245,00	2.483.925,50	8.150.024,50
23,0	3.240.783,00	2.975.514,00	11.125.538,50
24,0	3.947.450,00	3.594.116,50	14.719.655,00
25,0	4.532.538,00	4.239.994,00	18.959.649,00
26,0	5.444.050,00	4.988.294,00	23.947.943,00
27,0	6.268.346,00	5.856.198,00	29.804.141,00
28,0	7.030.859,00	6.649.602,50	36.453.743,50
29,0	8.032.934,00	7.531.896,50	43.985.640,00
30,0	9.025.660,00	8.529.297,00	52.514.937,00
31,0	10.160.935,00	9.593.297,50	62.108.234,50
32,0	11.330.692,00	10.745.813,50	72.854.048,00
33,0	12.730.910,00	12.030.801,00	84.884.849,00
34,0	14.131.642,00	13.431.276,00	98.316.125,00
35,0	15.456.782,00	14.794.212,00	113.110.337,00

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O município de Trairi localiza-se na região Norte do Estado do Ceará. Sua situação geográfica é definida pelas coordenadas 3°16'40" de latitude Sul e 39°16'08" de longitude Oeste. A altitude da sede é de 18 m. Os seus limites são: ao Norte o Oceano Atlântico; ao Sul os municípios de São Luiz do Curu e Tururu; a Leste Paraipaba e São Gonçalo do Amarante e a Oeste Itapipoca. A sua extensão territorial é de 756 km² e a distância a Fortaleza é de 130 km. O acesso a Fortaleza é feito pela BR-222 e pelas CE's-163 e 085.

O acesso ao sítio do barramento pode ser feito a partir de Fortaleza pela rodovia BR-222 até, aproximadamente, 4,2 km após a cidade de São Luiz do Curu. A partir desse ponto toma-se a direita (sentido norte) pela CE-163, na qual percorre-se cerca de 33 km, onde entra-se a esquerda, numa estrada carroçável na qual percorre-se cerca de 5 km e chega-se ao local do boqueirão, à 1 km da localidade denominada Córrego Fundo, bem próximo à rodovia CE-085. (ver figura a seguir).

Outra forma de acesso ao local do boqueirão partindo de Fortaleza é pela Rodovia Estruturante (CE-085) até a localidade de Córrego Fundo, aproximadamente 119 km. Deste ponto toma-se à esquerda em estrada carroçável e a 1 km chega-se ao local do boqueirão.

Mapa de localização

3 - ESTUDOS BÁSICOS

3 - ESTUDOS BÁSICOS

Os estudos básicos consistiram dos estudos topográficos, geológicos, geotécnicos e hidrológicos, desenvolvidos para subsidiar o Projeto Executivo da Barragem Trairi.

3.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Os trabalhos de topografia abrangeram os seguintes serviços:

1. Cartografia;
2. Transporte de coordenadas;
3. Transporte de cotas;
4. Levantamento do eixo barrável e de sangradouro;
5. Levantamento da bacia hidráulica;
6. Levantamento de empréstimos.

3.1.1 - Cartografia

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.

A partir das cartas da SUDENE foi delimitado o contorno da Bacia Hidrográfica que é mostrado na Figura N°3.1 a seguir.

Figura Nº 3.1

3.1.2 - Transporte de Coordenadas

O transporte de coordenadas teve como ponto de partida o 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” e altitude de 51,69m existentes na área em estudo. Foram implantados 06 marcos, M-01 a M-06, que serviram de origem para o traçado da malha de coordenadas necessárias à elaboração das plantas topográficas. O Quadro nº3.1, a seguir, apresenta as características dos marcos implantados. As medições foram feitas com GPS (Sistema de Posicionamento Global) Trimble 4600LS, de uma frequência com duração de rastreamento de 01 hora.

Quadro nº3.1: Marcos Implantados na Barragem Trairi					
Ponto	Localização (*)	Coordenadas UTM (m) SAD-69		Longitude Geodésica SAD-69	Latitude Geodésica SAD-69
		Norte	Este		
Marco M-01	Km 1,42 LD	9.628.137,081	461.750,513	39°20'39,56860”W	03°21'51,29666”S
Marco M-02	Km 6,15 LE	9.626.980,356	462.797,275	39°20'05,65898”W	03°22'28,98137”S
Marco M-03	Km 10,30 LD	9.624.765,624	462.333,108	39°20'20,72650”W	03°23'41,10662”S
Marco M-04	Km 1,65 LE	9.627.153,331	460.825,655	39°21'09,55205”W	03°22'23,32517”S
Marco M-05	Km 1,65 LE	9.627.201,296	460.962,437	39°21'05,11875”W	03°22'11,76461”S
Marco M-06	Km 4,90 LD	9.624.724,082	462.238,788	39°20'23,78373”W	03°23'42,45852”S

(*) A localização dos marcos teve como Km 00 o Chafariz de Córrego Fundo. 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..

3.1.3 - Transportes de Cotas

O transporte de cotas se fez 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 nº 1852T do IBGE (chapa cravada no canto SE da ponte sobre o rio Trairi) com cota igual a 7,00 m, a uma distância de 18,94 km 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 do Volume I – Estudos Básicos, Tomo 4 – Estudos Topográficos.

3.1.4 - Levantamento do Eixo Barrável e 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, nº 156.024, locou-se o eixo da barragem e 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 2 marcos de concreto para facilitar uma futura relocação. O primeiro denominado de M0 foi implantado na estaca 0, localizado na ombreira esquerda com cota 34,66 m e o segundo, denominado de M1, na estaca 70 do eixo barrável, com cota 34,84 m.

O levantamento altimétrico da barragem Trairi, foi realizado utilizando-se um nível Wild NAK-1, nº 343.367, onde foram niveladas todas as estacas dos eixos materializados.

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.

3.1.5 - Levantamento da Bacia Hidráulica

Para a execução dos serviços plani-altimétricos na área da bacia hidráulica da barragem Trairi, 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 Trairi.

- 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 vãos 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.

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-se papel fotográfico, semimate com graduação que permitiu bom contraste.

Para a confecção do foto-índice digital, as fotografias foram scannerizadas e montadas em faixas e estas em blocos, e, em seguida, reproduzidas em escala 4 vezes menores 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.

- Mapeamento Planialtimétrico

Para o apoio básico, foram implantados 06 vértices, 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.

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

Inicialmente foram implantados os vértices M-01 a M-04, posteriormente complementados com M-05 e M-06. 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.

Para a geração dos trabalhos de aerotriangulação, as imagens foram obtidas a partir da scanerização 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 scanerização executada.

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

Para a vetorização dos elementos cartográficos: sistema hidrográfico; altimetria; referências de nível; e ortofoto, foram utilizados restituidores digitais dotados de programa específico.

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

Dos resultados dos estudos realizados pela Empresa BASE é apresentado na Figura N°3.2, a seguir, a Bacia hidráulica da Barragem Trairi.

3.1.6 - Levantamento das Jazidas

Nos locais das ocorrências de materiais de construção foram realizados pelas equipes de topografia o levantamento planialtimétrico das áreas com a amarração dos poços realizados e a locação de uma poligonal pelas estradas existentes, saindo das ocorrências e fazendo a amarração no eixo da barragem.

Figura N°3.2

3.1.7 - Apresentação dos Estudos Topográficos

No Tomo 6 são apresentados os desenhos relativos aos estudos topográficos da bacia hidráulica, do boqueirão e do sangradouro.

3.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS

3.2.1 - Geologia Regional

A descrição da geologia regional para este trabalho teve como fonte de pesquisa o Mapa Geológico do Estado do Ceará, elaborado em 1983, pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) em convênio com o Governo do Estado do Ceará, em escala 1:500.000 e o Projeto Fortaleza, executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais através do convênio DNPM/CPRM, em 1981, tendo sido consideradas as terminologias adotadas pelo Projeto Fortaleza.

O Rio Trairi, escolhido para a formação da barragem é um rio intermitente que integra a bacia litorânea à noroeste do Estado do Ceará, desaguardo no mar.

Quatro feições morfológicas estão presentes. A primeira compreende a faixa litorânea caracterizada pelas dunas, dispostas em cordões paralelos à costa. Entre o relevo litorâneo e as serras altas do interior, desenvolve-se a segunda feição, representada pelos tabuleiros cenozóicos, ocupando uma faixa de largura entre 30 a 50Km ao longo da costa, formando uma superfície aplainada, suavemente inclinada para o mar. Essas coberturas pertencem aos sedimentos do Grupo Barreiras Indivisas de idade Tércio-quaternária. A terceira feição corresponde a um extenso pediplano de rochas cristalinas Pré-cambrianas, constituindo um conjunto profundamente arrasado, com cotas em torno de 60m. Sobressaindo desse relevo monótono tem-se a feição representados pelos maciços montanhosos esculpidos em rochas cristalinas, destacando-se a Serra Sítio Verde, próximo à cidade de Itapipoca, e a Serra de Uruburetama, no município de mesmo nome.

A geologia da área é representada em grande parte pelas rochas cristalinas pré-cambrianas, ocorrendo os sedimentos cenozóicos na porção ao norte de Itapipoca, bem como nas áreas onde se situam Trairi e Paraipaba, próximo ao litoral.

As rochas cristalinas pré-cambrianas foram agrupadas em cinco unidades litoestratigráficas individualizadas segundo os critérios estruturais e sendo consideradas as associações litológicas, estratigraficamente indiferenciadas, visto que os elementos estruturais relacionados aos eventos geológicos foram mascarados pela tectônica superimposta desenvolvida em vários ciclos de reativação. Passa-se a descrever a seguir as unidades descritas nas fontes de pesquisa supracitadas:

- Complexo Caicó: esta unidade é constituída de gnaisses variados, incluindo lentes de quartzito, metarcósio, anfibolito e calcário cristalino. Além de migmatitos com estruturas planares bem desenvolvidas (metatexitos) e com estruturas homogeneizadas (diatexitos). O “trend” estrutural está orientado segundo NE-SW, tendo como características na região de domínio dos gnaisses as feições retilíneas. A ausência de foliação é característica no domínio dos diatexitos.
- Rochas Plutônicas Granulares: esta unidade representa todas as rochas granulares formadas em baixo da superfície terrestre, representada por granitóides, gabróides e sienitos posicionados concordantes com o “trend” regional. Os granitóides estão representados por um corpo a noroeste de Itapipoca, com coloração rósea, granulação grosseira e contatos transicionais. Os gabróides ocorrem em corpos geralmente com forma ovóide, apresentando contatos transicionais, eventualmente bruscos, bordejados por rochas foliadas e apresentando composição predominantemente diorítica, ocorrendo em dois pequenos corpos situados na porção sudeste da área, entre Apuiarés e Canafístula, próximo do Rio Curú.
- Complexo Tamboril-Santa-Quitéria: Apresenta uma morfologia uniformemente elevada e tem contatos transicionais para com as rochas cristalinas circunjacentes. Compreende litologias altamente migmatizadas, apresentando uma zonação da periferia para o núcleo, começando com gnaisses e migmatitos homogeneizados, com culminações granitóides nas porções mais centrais da unidade. Estratigraficamente trata-se de um domo gnaiss-granito, também chamado de domo migmatítico. Está orientado segundo o “trend” da estruturação regional. Os corpos granitóides pertencentes às porções centrais deste domo são, petrograficamente, constituídos por granitos granodioritos de grã média a grossa equigranulares ou porfiróides.
- Grupo Ceará: compreende uma sequência formada por quartzitos na base, seguida de xistos, filitos, gnaisses e lentes carbonáticas no topo da sequência. O quartzito, o filito e a fácies carbonática podem, localmente estar ausentes. Via de regra a unidade mostra-se dobrada, formando sinclinais assimétricas ou reviradas, fazendo contatos aparentemente concordantes com o Complexo Caicó.
- Diques Ácidos: são agrupadas nesta unidade todas as rochas filoneanas de caráter petrográfico ácido e hiperácido, como granitos filoneanos, pegmatitos e veios quartzosos e de sílica cripto-cristalina. Essas rochas geralmente não são mapeáveis em escala regional e ocorrem preenchendo fraturas com direções NW, NE ou N-S.

Da era Cenozóica, estão presentes as unidades mais recentes, estratigraficamente falando, divididas da seguinte forma:

- Grupo Barreiras Indiviso: de idade Tércio-quadernária, ocorre formando extensos tabuleiros, fazendo contatos nítidos com as rochas cristalinas e constituindo uma sequência sedimentar representada por conglomerados, arenitos e siltitos de cores variegadas com intercalações de argila e cascalhos.
- Sedimentos Litorâneos: esta unidade é formada por cordões areníticos de idade recente, representado por arenitos flúvio-marinhos e sedimentos inconsolidados de origem eólica, que constituem as dunas, desenvolvendo-se paralelamente à linha de costa, capeando a sequência sedimentar do Grupo Barreiras, podendo ser subdivididas, de acordo com suas características genéticas, morfológicas e faciológicas, em dunas móveis e paleodunas; as primeiras constituídas de sedimentos inconsolidados, formadores de dunas de praia, estando intimamente condicionados ao desenvolvimento da geomorfologia litorânea; as segundas, representadas pelas dunas antigas, rebaixadas quase ao nível dos tabuleiros costeiros, pelo constante retrabalhamento dos ventos, constituídas litologicamente por areias de grã fina a média, raramente siltosas, quartzosas e/ou quartzofeldspáticas, com grãos arredondados e foscas, bem selecionados, de coloração variando de cinza-claro a alaranjado no topo e avermelhado na base.
- Aluviões: são formações recentes, de idade quadernária, constituídas de depósitos fluviais ou lagunares, compondo-se de sedimentos arenosos inconsolidados. Ocorrem principalmente nos leitos e margens dos principais rios e riachos da região, destacando-se os rios Aracatiaçu, Cruxati, Mundaú, Trairi e Curú.

Estruturalmente nenhum evento de grandes proporções se destaca na região. Na porção noroeste da região, a aproximadamente 35Km de Córrego Fundo (local escolhido para o barramento), tem-se o final da falha de Forquilha, que apresenta uma direção NE-SW e rejeito dextrógiro. Sua extensão total é de aproximadamente 130Km, passando por Groaíras, Forquilha e adentrando na calha do rio Cruxati, onde é coberta pelos aluviões e pelos sedimentos tércio-quadernários existentes na porção setentrional da região. Ao longo da área que será ocupada pela bacia hidráulica da barragem em estudo, se desenvolve um extenso falhamento, com aproximadamente 15Km de extensão, com direção quase N-S.

3.2.2 - Geologia Local

A área estudada fica no município de Trairi, próximo à localidade de Córrego Fundo, no Estado do Ceará.

Ao longo do eixo topográfico locado, o terreno se desenvolve através de uma topografia plana, com suaves declividades para os talwegues dos rios, constituído de sedimentos inconsolidados pertencentes ao Grupo Barreiras, sendo um fato marcante, a ausência total de afloramentos. Esses sedimentos possuem uma cobertura arenosa rasa (em torno de 10 a 40 cm de espessura), de coloração esbranquiçada, com pedregulhos de quartzo, sobre um pacote espesso de sedimento silto-areno-argiloso de granulação fina a média, de coloração avermelhada, creme ou amarelada, com estratificação indistinta e, muitas vezes, apresentando um bom índice de plasticidade. Ainda no local do barramento, ocorre, pela margem esquerda do Rio Trairi, uma faixa de depósito aluvial constituída por sedimentos de granulação fina, siltosos e argilosos de coloração cinza clara a escura, contendo matéria orgânica. No local definido para o sangradouro, todo o terreno é constituído pelos mesmos sedimentos pertencentes ao Grupo Barreiras supra descritas, verificando-se total ausência de afloramentos de rocha ao longo da superfície.

Ao longo da área de ocupação da bacia hidráulica foram identificadas feições geológicas mais diversificadas, com ocorrências de rochas pré-cambrianas graníticas, gnáissicas e quartzíticas, bem como áreas dominadas por sedimentos do Grupo Barreiras, de idade Tércio-quadernária, e/ou por coberturas colúvio-eluviais, também Tércio-quadernárias, além dos depósitos aluviais, do Quadernário, que se desenvolvem nas margens dos principais rios e riachos. A maior parte da área é caracterizada por uma topografia plana com suaves ondulações, com predominância dos terrenos de superfície arenosa que muitas vezes dificultam visualmente a distinção e separação entre um tipo e outro, ou seja, se pertencem ao Grupo Barreiras ou se representam sedimentos colúvio-eluviais. Na área constituída predominantemente pelos sedimentos colúvio-eluviais o terreno é caracterizado por uma camada superficial de solo proveniente da decomposição da rocha subjacente, formando um manto com espessura média entre 0,60m a 2,00m de profundidade, que recobre rochas cristalinas, com escassez de afloramentos, de topografia plana e suave. Trata-se de sedimentos imaturos, inconsolidados, provenientes da alteração de rochas cristalinas transformados em sedimentos areno-silto-argilosos, contendo grãos de quartzo pouco desgastados e palhetas de mica e grãos de feldspatos em vias de alteração com coloração avermelhada ou amarelada e granulação fina a média. Esses sedimentos, quando mais lixiviados, apresentam-se mais arenosos e são mais esbranquiçados. Nos leitos das grotas, onde o terreno é mais dissecado pela erosão ocorrem com frequência afloramentos de pegmatito, que caracterizam as rochas filoneanas que preenchem fraturas. Muitas vezes se pode notar, na superfície do terreno, veios de quartzo que se preservaram durante o processo de formação desses sedimentos, bem como extensas

áreas com cobertura de seixos angulosos e/ou rolados de quartzo e sílica e fragmentos de rochas formando zonas que se pode definir como “cascalheiras”; no mapa geológico da bacia hidráulica, apresentado no Volume I, Tomo 1 – Estudos Geológicos e Geotécnicos, está indicado o ponto de coordenadas 459.731E / 9.626.994N em uma área de ocorrência desse tipo de material com recobrimento de seixos de quartzo sobre a superfície do terreno. Há também uma área de concentração laterítica, cujo solo de matriz areno-argilosa, com concreções ferruginosas e seixos rolados de quartzo, de cor vermelho e amarelo, variegado e mosqueado, constitui uma jazida de “piçarra”, indicada no mapa geológico da bacia hidráulica através dos pontos com as seguintes coordenadas: 460.100E/9.627.200N, 460.491E/9.627.366N, 460.348E/9.627440N, 460.766E/9.627.162N. Na área de domínio dos sedimentos pertencentes ao Grupo Barreiras a topografia do terreno também é plana e suave e o solo tem grandes espessuras que, conforme pode-se verificar nos cacimbões escavados na área, ultrapassa 10m de profundidade, e é constituído de sedimentos areno-argilosos, não ou poucos litificados, consistentes, pois em muitos casos as paredes dos cacimbões não possuem revestimento, de coloração avermelhada, creme ou amarelada, muitas vezes com aspecto mosqueado, mal selecionados, de granulação fina a média, com horizontes conglomeráticos e níveis lateríticos, de matriz argilosa caulínica, com cimento argilo-ferruginoso e às vezes silicoso.

Na área de ocorrência dos granitos há grandes afloramentos distribuídos de forma dispersa, sobressaindo-se da topografia plana do terreno, muitas vezes constituindo áreas de potencial para exploração de material pétreo, inclusive alguns locais com indícios de exploração paralisada. A rocha, via de regra, apresenta aspecto são e alta dureza, de coloração cinza clara a rósea, leucocrática, textura equigranular, algumas vezes porfiróide, granulação média a grossa, pouco fraturada, eventualmente recortada por veios quartzo-feldspáticos, constituída essencialmente de quartzo, feldspato (plagioclásio e ortoclásio) e biotita. Foram indicados alguns pontos que merecem atenção no sentido de se investigar a viabilidade de exploração de material pétreo para a obra, cujas coordenadas são enumeradas a seguir: 460.112E/9.626.450N, 459.507E/9.626.170N, 459.310E/9.626.200N, 459.115E/9.626.276N, 459.981E/9.626.076N.

Na porção mais à montante ao longo do Rio Trairi, ou seja, no extremo da bacia hidráulica, ocorrem às rochas gnáissicas, que afloram próximo às margens e no leito do Rio Trairi, apresentando cor cinza clara a escura, granulação fina a média, com minerais bem orientados, exibindo foliação e bandeamento, algumas vezes migmatizada, em alguns locais intensamente fraturada e alterada, milonítica, de cor amarelada e granulação muito fina, constituída essencialmente de quartzo, feldspato e biotita, e subordinadamente muscovita e hornblenda, tendo a granada como mineral acessório em grande quantidade. A rocha é frequentemente recortada por veios de quartzo com espessura variando de 1cm a 3cm, concordantes com a foliação, que tem orientação preferencial segundo NE-SW e mergulhos subverticais entre 60° a 70°, ora

para NW, ora para SE, atribuindo-se essa variação aos dobramentos a que foi submetida a rocha.. São também comuns as ocorrências de zonas cataclásticas e miloníticas além de veios pegmatíticos que recortam a litologia tanto de forma concordante como discordante com a foliação. As características descritas evidenciam a presença de zona de falha.

A este do eixo da barragem, a uma distância aproximada de 1.200 m da ombreira direita, ocorre uma área constituída de quartzito, formando uma elevação alongada que se sobressai na topografia, configurando um corpo de forma elipsoidal. A rocha apresenta uma certa anisotropia, com minerais bem orientados constituindo uma lineação, com acamamento visível, de cor creme e amarela com tons avermelhados, bastante fraturados, de granulação fina e textura maciça, contendo essencialmente quartzo, mas também apresentando presença marcante de mica (muscovita), sendo recortada, concordantemente, com frequência, por veios pegmatíticos. A atitude do acamamento medida se dá segundo N168°Az/68°SW, ou seja, com direção segundo NW-SE, discordante com o “trend” regional, que é NE-SW.

Os aluviões constituem depósitos sedimentares recentes de idade quaternária que formam faixas alongadas estreitas e sinuosas depositadas nas calhas e margens do Rio Trairi e de seus contribuintes, constituídos de silte-areno-argiloso de cor cinza escura nas margens, e areias finas mal selecionadas, algumas vezes com seixos e fragmentos de rochas nas calhas. As ocorrências de areia para agregados nas calhas dos rios e riachos da área são muito escassas, com potencial de volume indisponível para a exploração necessária à obra, sendo necessário à investigação em outra região próxima que venha atender essa necessidade.

A drenagem local, nas áreas de domínio das rochas cristalinas, ocorre conforme o modelo regional, ou seja, mantém o padrão dendrítico, que é condicionado à litologia das rochas cristalinas.

Quanto ao aspecto estrutural, a feição mais relevante que evidencia a existência de movimentação ruptural e dúctil, é um falhamento existente na porção mais à montante da bacia hidráulica, na área de domínio dos gnaisses, com direção aproximadamente segundo N-S, com evidências de cataclase e milonitização nos afloramentos visualizados. Outro aspecto estrutural é a configuração retilínea de alguns córregos e riachos com afloramentos de pegmatito nos seus leitos, evidenciando fraturamentos com preenchimento dessas rochas filoneanas. Na faixa próxima ao eixo locado, nenhuma estrutura pode ser visualizada ao nível de superfície, já que o terreno é totalmente encoberto por espesso pacote de sedimentos inconsolidados.

3.2.3 - Levantamento Geológico de Superfície

O levantamento geológico de superfície realizado ao longo do eixo topográfico locado, e na área de ocupação da bacia hidráulica, teve como principal objetivo a

identificação e classificação dos tipos litológicos ocorrentes, visando a definição dos traçados dos contatos litológicos e não necessariamente geológicos.

O eixo topográfico locado se subdivide em dois segmentos contínuos que dividem o sangradouro e a barragem, ficando o sangradouro na ombreira esquerda com estaqueamento ao longo do eixo a cada 20 metros, com um trecho decrescente da esquerda para a direita (Est. 08 a Est. 00=11+10,00m), e outro trecho também decrescente da esquerda para a direita (Est. 11+10,00m a Est. 00=00 da barragem); o eixo da barragem, também estaqueada a cada 20m, com a numeração das estacas crescendo no sentido oposto ao do sangradouro, ou seja, da ombreira esquerda para a direita (Est. 00=Est.00 do sangradouro a Est. 79). Ao longo do eixo foram identificadas as seguintes litologias:

- Da estaca 08 do sangradouro a 22+10,00m da barragem: O terreno tem topografia plana com suave declividade em direção ao talvegue do rio. Em toda a extensão dessa área o terreno se constitui de um solo composto de sedimentos inconsolidados pertencentes ao Grupo Barreiras, com ausência total de afloramentos, e com cultivo de melancias em toda área. O solo de cobertura mais superficial é silto-arenoso, de granulação fina, com pedregulhos de quartzo, de cor cinza clara e vermelha, variegada, contendo raízes, até uma espessura em torno de 40 cm, recobrando um solo contendo areia fina, argilosa de cor vermelha, com boa trabalhabilidade, em termos de plasticidade. Na Est. 10+10,00m, em torno de 190 metros para jusante do eixo do sangradouro há um cacimbão escavado com profundidade em torno de 8,00m, cujo nível d'água está a aproximadamente 6,50m. Não há indícios de rocha e o solo escavado é composto de silte areno-argiloso com concreções ferruginosas (laterita), com níveis conglomeráticos, com porções caulínicas, de coloração mosqueada de tons branco, vermelho e amarelo. O material escavado tem ótima consistência, pois as paredes do cacimbão não possuem revestimento. Nas margens e leito de um córrego que passa mais à jusante, não há indícios de afloramentos, e o solo é arenoso, de granulação fina, homogêneo, de cor cinza claro. Na Est. 22+10,00m, no eixo, tem-se o contato entre os sedimentos da Formação Barreiras e a faixa de aluvião que ocorre pela margem esquerda do Rio Trairi, abrangendo o Riacho Santana.
- Da estaca 22+10,00m a 39+10,00m (barragem): nesta faixa tem-se o domínio dos solos aluviais, apresentando uma constituição fina e formada por areia fina, silte e argila, de cor cinza clara a escura, ricos em matéria orgânica. As calhas do Rio Trairi e do Riacho Santana com largura em torno de 20 metros encontravam-se com água.

Da Est. 39+10,00m a Est. 79: O terreno tem as mesmas características descritas no primeiro trecho, com topografia plana, com suave declive em direção ao leito do rio. O solo superficial, que é mais lixiviado, tem composição silto-arenosa, granulação fina, com pedregulhos de quartzo. O solo subjacente, verificado através de formigueiros, tem composição silto-areno-argilosa, de granulação fina a média, de coloração avermelhada, creme ou amarelada, apresentando um bom índice de plasticidade.

A escassez de afloramentos de rocha na área impossibilita a confecção do Diagrama de Roseta para definição da direção preferencial média percentual das fraturas, que por esse motivo não é apresentado neste relatório.

3.3 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Os estudos geotécnicos consistiram na investigação do subsolo no eixo barrável e sangradouro e do estudo das ocorrências de materiais para construção.

3.3.1 - Investigação Geotécnica

As sondagens realizadas na Barragem Trairi foram executadas no eixo barrável e no sangradouro, as quais estão relacionadas no Quadro nº3.2. No Tomo 6 é mostrada a planta de locação dos furos de sondagem.

Quadro nº3.2: Sondagem à Percussão e Mista		
SONDAGEM Nº	ESTACA	LOCAL
SP-02	10	Eixo
SP-05	05 + 10,00	Eixo
SP-08	03 + 10,00	Eixo
SP-10	21	Eixo
SP-15	51	Eixo
SP-17	72	Eixo
SP-20	76 +10,00	Eixo
SP-21	25	Eixo
SP-22	25	Deslocado 60,0m para montante
SP-23	25	Deslocado 60,0 para jusante
SP-24	17	Eixo
SP-25	13	Eixo
SP-26	02 + 10,00	Eixo
SP-27	05	Eixo
SP-28	02	Eixo
SP-29	46	Eixo
SP-30	55	Eixo
SM-11	29	Eixo
SM-12	34 + 10,00	Eixo
SM-13	38 + 10,00	Eixo
SM-14	42	Eixo
SM-15	0	Eixo

Além das sondagens percussivas e rotativas, foram realizados, conforme o Quadro nº3.3, os seguintes poços de inspeção a pá e picareta:

Quadro nº3.3: Sondagem à Pá e Picareta		
SONDAGEM Nº	ESTACA	LOCAL
SANGRADOURO		
SPP-01	1 + 0,00	Eixo Longitudinal do Sangradouro
SPP-02	4 + 0,00	Eixo Longitudinal do Sangradouro
SPP-03	7 + 0,00	Eixo Longitudinal do Sangradouro
SPP-04	10 + 10,00	Eixo Longitudinal do Sangradouro
SPP-05	1 + 0,00	Eixo Longitudinal do Sangradouro
SPP-06	4 + 0,00	Eixo Longitudinal do Sangradouro
SPP-07	7 + 0,00	Eixo Longitudinal do Sangradouro
SPP-08	9 + 0,00	Eixo Longitudinal do Sangradouro
SPP-09	11 + 0,00	Eixo Longitudinal do Sangradouro

3.3.1.1 - Metodologia Empregada

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

Para a extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2" e 3/8" de diâmetros externo e interno, respectivamente, o qual era cravado no terreno por meio de golpes de um martelo de 65kg, com altura de queda de 75cm. Durante a cravação do amostrador foram registrados os números de golpes necessários para uma penetração de cada 15cm no terreno, até uma penetração total de 45cm. A soma dos golpes das duas últimas parcelas de 15cm, ou seja, dos 30cm finais de cravação, é apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens. Este número de golpes é denominado de "Standard Penetration Test (SPT)".

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas com uma sonda rotativa. O processo de execução do furo no trecho percussivo obedeceu às diretrizes descritas anteriormente. As sondagens rotativas foram executadas com coroa NX (diâmetro externo igual a 2,965pol e diâmetro interno igual a 2,155pol) de diamante acoplada a um barrilete giratório com caixa de mola. Para cada operação do barrilete foram registrados a percentagem de recuperação e o número de peças, dados que estão indicados nos perfis de sondagens.

3.3.1.2 - Apresentação dos Resultados da Investigação Geotécnica

A locação dos furos de sondagem é apresentada no Tomo 6.

Os resultados das investigações geotécnicas são apresentados no Volume I, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos, sob a forma de perfis individuais.

A partir dos boletins de sondagem elaborou-se o perfil geotécnico das camadas do subsolo, mostrado no Tomo 6.

3.3.2 - Estudos das Ocorrências de Materiais

Como fonte de materiais para a construção da barragem foram identificadas uma jazida de solo, denominada de J-01, dois areais denominados de A-01 e A-02 e uma pedreira, denominada de P-01. No Tomo 6 é mostrada a locação de todas as ocorrências.

3.3.2.1 - Jazida

Foi identificada uma jazida de material terroso para a construção da barragem, denominada de J-01. No Tomo 6 do Projeto é apresentada a localização da jazida.

No Quadro nº3.4 são apresentadas as características da jazida.

Quadro nº3.4: Característica da Jazida	
Característica	Jazida J-01
DISTÂNCIA AO CENTRO DA BARRAGEM (m)	700,00
ÁREA (m ²)	340.000,00
PROF. MÉDIA (m)	1,07
VOLUME ÚTIL (m ³)	363.800,00
VEGETAÇÃO	ROÇADO
PROPRIETÁRIO	JOSÉ HELDECY E MIGUEL ARCANJO
LADO	Direito e Esquerdo
ESTACA	67 = 00 – Eixo da Barragem
EXPURGO (m)	0,27
QUANTIDADE DE FUROS	89 unid
MALHA (m)	100 x 50

Na jazida de solo foram implantados furos abertos a pá e picareta, localizados 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 foram os seguintes:

- Granulometria por Peneiramento.
- Limite de Liquidez.
- Limite de Plasticidade.
- Compactação – Proctor Normal.

No Quadro nº3.5 são apresentados os valores médios dos ensaios geotécnicos de laboratório.

Quadro nº3.5: 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	γ _{máx} (g/cm ³)
J-01	100	100	100	100	94	67	22	29	9	SC	12,3	1,975

Foram realizados sobre amostras de solo da jazida J-01 ensaios de permeabilidade com carga variável, cujos resultados, são apresentados no Quadro nº3.6.

Quadro nº3.6: Ensaio de Permeabilidade com Carga Variável					
Furo	K (cm/s)	Furo	K (cm/s)	Furo	K (cm/s)
03	$7,4 \times 10^{-7}$	39	$6,3 \times 10^{-7}$	62	$6,2 \times 10^{-7}$
17	$6,7 \times 10^{-7}$	41	$5,3 \times 10^{-7}$	66	$5,9 \times 10^{-7}$
21	$7,6 \times 10^{-7}$	45	$5,5 \times 10^{-7}$	68	$7,1 \times 10^{-7}$
31	$5,3 \times 10^{-7}$	47	$5,6 \times 10^{-7}$	72	$5,3 \times 10^{-7}$
35	$7,0 \times 10^{-7}$	52	$8,7 \times 10^{-7}$	75	$8,4 \times 10^{-7}$

Também foram realizados ensaios de cisalhamento direto sobre amostras de solos da jazida J-01, cujos resultados são apresentados no Quadro nº3.7.

Quadro nº3.7: Ensaio de Cisalhamento Direto		
Furo	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)
19	17,0	35,1°
39	18,0	33,4°
51	17,0	34,3°
56	15,0	33,8°
62	20,0	33,4°
72	25,0	33,0°
81	12,0	36,2°

3.3.2.2 - Areal

Foram identificados dois areais para a construção da barragem, denominados de A-01 e A-02. No Tomo 6 são apresentadas as localizações dos areais. O areal A-01 está localizado em um afluente do rio Trairi denominado rio Santana, enquanto o areal A-02 está localizado no Rio Mundaú.

Para os areais foram realizado em laboratório, ensaios geotécnicos de granulometria por peneiramento, cujos valores médios são apresentados no Quadro nº3.8 a seguir.

Quadro nº3.8: Valores Médios dos Ensaio de Laboratório – Areal												
Granulometria (% que passa)											D _{máx}	M.F
2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16	Nº30	Nº50	Nº100		
100	100	100	100	100	96	85	63	28	6	1	4,8	3,50

No Quadro nº3.9 são apresentadas as características dos areais.

Quadro nº3.9: Características do Areal		
Característica	Areal A-01	Areal A-02
DISTÂNCIA AO CENTRO DA BARRAGEM (m)	1.150,00	19.200,00
ÁREA (m ²)	20.000,00	30.000,00
ESTACA	37	37
VOLUME ÚTIL (m ³)	30.000,00	50.000,00
PROF. MÉDIA	1,50	1,67
PROPRIETÁRIO	Torres de Melo Alimentos Ltda	José Heldecy de Queiroz
NOME DO RIO	Santana	Mundaú
LOCALIDADE	Córrego Fundo	Gameleira

3.3.2.3 - Pedreira

Foi identificada uma pedreira para a construção da barragem, denominada de P-01. No Tomo 6 do Projeto é apresentada a localização da pedreira.

No Quadro nº3.10 são apresentadas as características da pedreira.

Quadro nº3.10: Características da Pedreira	
Característica	Pedreira P-01
DISTÂNCIA AO CENTRO DA BARRAGEM (m)	6.700,00
ÁREA (m ²)	15.000,00
ESTACA	00
VOLUME ÚTIL (m ³)	135.000,00
PROPRIETÁRIO	CELSO DIAS MOURA
VEGETAÇÃO	RALA

Para a pedreira foi realizado em laboratório, o ensaio de Desgaste de Agregado por Abrasão Los Angeles (DNER-ME 35-64).

No Quadro nº3.11 é apresentado o valor médio do ensaio geotécnico de laboratório.

Quadro nº3.11: Valor Médio do Ensaio de Laboratório – Pedreira
Los Angeles
31%

Os boletins de sondagens e os resultados dos ensaios de laboratório da jazida J-01, do areal A-01, do areal A-02 e da pedreira P-01 são apresentados no Volume I, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

3.3.2.4 - Sangradouro

O material das escavações obrigatórias do sangradouro será utilizado no maciço da barragem. Assim sendo, foi realizada coleta do material para o procedimento dos seguintes ensaios de laboratório:

- Granulometria por Peneiramento;
- Limite de Liquidez;
- Limite de Plasticidade;
- Compactação – Proctor Normal.

No Quadro nº3.12 são apresentados os valores médios dos ensaios geotécnicos de laboratório.

Quadro nº3.12: Valores Médios dos Ensaios de Laboratório – Sangradouro												
GRANULOMETRIA (% QUE PASSA)								PLASTICIDADE (%)		USC	COMPACTAÇÃO	
LOCAL	2"	1"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP		Hot	$\gamma_{\text{máx}}$ (g/cm ³)
Sangradouro	100	100	98	96	90	80	47	36	10	SC	11,2	1,830

3.4 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os Estudos Hidrológicos do Açude Trairi objetivaram conhecer os fenômenos hidrológicos da sua bacia Hidrográfica, diretamente relacionados com o processo de regularização de vazões, para o dimensionamento do reservatório e das estruturas hidráulicas de descarga.

No desenvolvimento do trabalho foram realizados os seguintes estudos:

- Caracterização Física da Bacia Hidrográfica;
- Caracterização Climática da Bacia Hidrográfica;
- Regime Pluviométrico da Bacia Hidrográfica;
- Regime Fluvial e Dimensionamento do Reservatório;
- Regime Fluvial Médio;
- Emprego de Metodologias; e
- Dimensionamento do Sangradouro.

3.4.1 - Caracterização Física da Bacia Hidrográfica

A barragem Trairi barra o rio Trairi no ponto de coordenadas 462.477,717 E e 9.642.782,442 N. A sua bacia hidrográfica abrange uma área de 327,02 km², perímetro de 83,7 km, declividade de 5,85 m/km e 31,85 km de comprimento de curso principal. Apresenta um fator de forma (k_1) de 0,32 e um fator de compacidade (K_c) de 1,31 o que indica uma bacia não muito sujeita a enchentes. Os solos da bacia são predominantemente Latosol Vermelho Amarelo Distrófico e Regosol Distrófico (LVd10 e Red32, respectivamente) que associados ao seu relevo resultam em moderada a elevada capacidade de drenagem. A vegetação predominante é o complexo vegetacional da zona litorânea onde se verifica a existência de culturas anuais, temporárias e permanentes.

3.4.2 - Estudos Hidroclimatológicos

O rio Trairi tem sua nascente próxima a Lagoa Queimada e Serrote do Bringel desaguando em um complexo de lagoas (Lagamar da Rua, do Carrapicho, da Torta, do Livramento e do Sal) drenando uma área de 327,02 km². Não existe nenhuma estação hidroclimatológica nos domínios da bacia do rio Trairi, 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.

A síntese dos estudos hidroclimatológicos está caracterizada pelos indicadores do Quadro nº3.13 a seguir.

Quadro nº3.13: Síntese Hidroclimatológica	
Indicador	Índice
Pluviometria média anual	1150,5mm
Semestre chuvoso e índice de concentração	Jan/Jun
Trimestre úmido	Mar/Maio
Trimestre seco	Ago/Out
Mês de maior pluviosidade	Abril
Temperatura média anual	26,6 °C
Média das temperaturas mínimas	22,0 °C
Média das temperaturas máximas	33,3 °C
Umidade relativa média anual	67,9 %
Período de maior umidade relativa	Abril
Período de menor umidade relativa	Setembro
Insolação anual	2416,6 h
Período de maior insolação	Agosto
Período de menor insolação	Fevereiro
Ventos de 1ª predominância	Nordest/Este
Velocidade média dos ventos	2,7 m/s
Evaporação média anual em tanque classe A	1914,7mm
Período de maior evaporação	Set/Out/Nov
Período de menor evaporação	Mar/Abr/Maio
ETP média anual	1853,8 mm

3.4.2.1 - Balanço Hídrico

O princípio da conservação da massa à água aplicada a um determinado local ou área (em um dado volume de controle), nos fornece a diferença entre o ganho (precipitação) e o consumo (escoamento superficial e profundo, evaporação ou evapotranspiração). Este princípio é a base do balanço hídrico, concebido por Thornthwaite & Mather em 1955, e tem sido utilizado amplamente quando não se dispõe de muitos dados para um estudo mais apurado.

Aplicando-se a metodologia do balanço hídrico concebido por Thornthwaite & Mather em 1955 para a bacia em questão, supondo-se uma capacidade de armazenamento de 100 mm (PERH, 1992), obtém-se o Quadro nº3.14.

Quadro nº3.14: Balanço Hídrico segundo Thornthwaite e Mather									
CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO = 10mm									
Mês	P mm	ETP mm	P-ETP mm	Neg mm	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	84,60	168,30	-83,70	0,00	0,00	0,00	84,60	83,70	0,00
Fev	167,60	141,90	25,70	134,00	25,70	25,70	141,90	0,00	0,00
Mar	266,30	129,40	136,90	0,00	100,00	74,30	129,40	0,00	62,60
Abr	278,60	108,20	170,40	0,00	100,00	0,00	108,20	0,00	170,40
Mai	169,10	115,80	53,30	0,00	100,00	0,00	115,80	0,00	53,30
Jun	85,80	118,00	-32,20	32,20	72,00	-28,00	113,80	4,20	0,00
Jul	52,30	147,60	-95,30	127,50	27,00	-45,00	97,30	50,30	0,00
Ago	13,80	175,70	-161,90	289,40	5,00	-22,00	35,80	139,90	0,00
Set	6,50	178,90	-172,40	461,80	0,00	-5,00	11,50	167,40	0,00
Out	3,70	192,80	-189,10	650,90	0,00	0,00	3,70	189,10	0,00
Nov	6,10	187,80	-181,70	832,60	0,00	0,00	6,10	181,70	0,00
Dez	16,10	189,40	-173,30	1005,90	0,00	0,00	16,10	173,30	0,00
ANO	1150,50	1853,80	-703,30		429,70	0,00	864,20	989,60	286,30

A primeira coluna (P) representa os valores da precipitação mensal do posto Mundaú, que foi escolhido como representativo da bacia hidrográfica do Trairi. A coluna da evapotranspiração potencial foi preenchida com os dados da estação climatológica de Sobral; a coluna NEG (negativo acumulado) representa um hipotético potencial matricial expresso em milímetros de déficit de água para o solo; ETR indica o valor da evapotranspiração real; a coluna DEF representa o déficit de água à planta e a última coluna EXC representa a quantidade de água que ultrapassou a capacidade de retenção máxima do perfil considerado.

3.4.2.2 - Classificação do Clima

- Classificação segundo Köppen

A região do estudo encontra-se classificada como Zona de Climas Secos, tipo B. As chuvas são classificadas como do tipo Bwx', uma vez que a distribuição temporal da precipitação da área abrange o verão e o outono. O clima, segundo o aspecto térmico, é do tipo muito quente, ou megatérmico.

- Classificação Segundo Thornthwaite

Segundo esta Classificação, a área apresenta um clima seco e sub-úmido; tipo C1, com índice efetivo de umidade variando entre 0% e -20%; clima seco, sub-tipo S, com índice de aridez superior a 33%; tipo A', megatérmico e sub-tipo a', baixa variação estacional (C1SA'a').

3.4.3 - Estudos Pluviométricos

A pluviometria do Estado foi detalhadamente analisada por ocasião do PERH (Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, 1992), sendo esta análise iniciada com a coleta dos registros inventariados e atualizados até 1988 pela SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste). Esta etapa foi seguida por várias outras, entre as quais destacam-se, para os fins deste trabalho: a caracterização do regime pluviométrico em vários intervalos de tempo e o estabelecimento de série pluviométrica média para as bacias hidrográficas dos açudes de médio e grande porte.

Dois postos foram utilizados neste estudo, Mundaú e Trairi, que compõem o grupo regional PARACURU. Na estimativa dos dois vetores regionais, um a nível anual e o outro a nível mensal, foram utilizados dados até 1988, ver Quadro nº3.15.

Quadro nº3.15: Postos Utilizados Gerados pelo Método do Vetor Regional: Grupo Paracuru					
Posto	Código	Período	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Mundaú	2861329	1912 - 1982	03°11'	39°22'	5
Trairi	2861553	1962 - 1988	03°17'	39°15'	20

Fonte: PERH-CE (1992)

3.4.3.1 - Caracterização do Regime Pluviométrico

- Nível Anual

Uma análise freqüencial foi realizada para os postos de Mundaú e Trairi, sendo testadas várias distribuições, e escolhida a Log-Pearson III como a de melhor ajuste, sendo seus parâmetros estimados pelo método dos momentos. O Quadro nº3.16 resume esta análise de freqüência.

Quadro nº 3.16: Análise de Frequência dos Totais Anuais Distribuição Log-Pearson III							
Código	N	Período de Retorno					
		10	50	100	200	500	1000
2861329	53	1680,99	2051,20	2191,34	2324,61	2493,23	2616,58
2861553	12	2236,89	3570,49	4276,08	5083,93	6341,40	7465,03

- Nível Mensal

No Quadro nº3.17 mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), enquanto que no Quadro nº3.18 apresenta-se um resumo da análise de frequência utilizando a série de totais mensais para o mês mais chuvoso no posto considerado. Os períodos de retorno utilizados variam de 10 a 1000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Log-Pearson III.

Quadro nº3.17: Índices de Concentração Pluviométrica – Série de Valores Médios Mensais									
Código	MÊS	VALOR	%TOT	TRIMES	VALOR	%	SEM	VALOR	%
2861329	ABRIL	277,7	24,2	FMA	712,1	62,1	1	1039,1	90,7
2861553	ABRIL	367,1	24,3	MAM	906,6	60,0	1	1321,3	87,5

Quadro nº3.18: Análise de Frequência – Nível Mensal – Distribuição Log Pearson III							
Código	N	Período de Retorno					
		10	50	100	200	500	1000
2861329	70	475,13	661,91	739,68	817,01	919,36	997,29
2861553	20	708,75	1042,73	1189,84	1341,92	1553,09	1722,16

- Nível Diário

Diversas distribuições podem ser utilizadas como teóricas para as frequências observadas. Depois de comparar diversas distribuições, foi escolhida a Log-Pearson III, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no Quadro nº3.19.

Quadro nº3.19: Análise de Frequência – Nível Diário – Distribuição Log Pearson III							
Código	N	Período de Retorno					
		10	50	100	200	500	1000
2861329	67	110,95	134,91	144,31	153,40	165,10	173,78
2861553	18	124,58	154,08	165,87	177,50	192,84	204,58

- Chuvas Intensas

Para projetos de obras hidráulicas em geral é importante a caracterização do regime pluviométrico em intervalos de tempo inferiores a 24 horas.

Devido à inexistência de registros de pluviógrafos na área em estudo, a metodologia convencional fica impossibilitada de ser usada. Como alternativa, tem-se o método das Isozonas (Torricco,1975), que partindo da transformação da chuva de 1 dia em 24 horas, permite estimar valores para intervalos de menor duração.

O método das isozonas apresenta diferenças bem significativas quando comparado com o método tradicional, conforme mostra Silva, Kern e Henrique (1989), o que sugere que os resultados obtidos pelo método das isozonas sejam observados com certas restrições.

O posto de Mundaú (2861329) foi escolhido uma vez que o de Trairi tem uma extensão bem menor e muitas falhas.

3.4.4 - Estudo de Cheias

A determinação da cheia de projeto para o dimensionamento do sangradouro com base em dados históricos de vazão (métodos diretos) fica impossibilitada, diante da inexistência de registros fluviométricos na Bacia Litoral. A determinação do hidrograma de projeto fica então baseada nos métodos indiretos, ou seja, utilizando a precipitação. Foram calculadas as cheias de projeto de 1.000 e 10.000 anos

3.4.4.1 - Metodologia

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Rio Trairi foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, um modelo projetado para simular o escoamento superficial em uma bacia, sendo esta representada como um sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Para esta bacia foi estudada a sua resposta aos hidrogramas de projeto correspondentes a 1000 e a 10000 anos (T_r = tempo de retorno).

O modelo HEC-1 permite o uso de várias metodologias para determinação da chuva efetiva, simulação do escoamento superficial em bacia (overland flow) e propagação do escoamento em canais e reservatórios.

3.4.4.1.1 - Precipitação

Para o cálculo do escoamento superficial da bacia do Rio Trairi foi assumido uma precipitação uniformemente distribuída sobre a referida bacia. O HEC-1 permite a entrada de tormentas históricas ou sintéticas, sendo as últimas freqüentemente utilizadas para planejamento e estudos de projetos.

A partir da aplicação da metodologia das 150 zonas foram obtidos os valores de chuva pontual e de chuva reduzida (ver Quadro nº3.20). No cálculo da chuva reduzida foi utilizado o fator redutor igual a $0,87 \cdot (1 - W \cdot \log(A/A_o))$.

A partir das curvas de chuva reduzida, foram obtidas as precipitações associadas 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 nº3.20: Valor de Chuva (mm) de 24 horas – Pontual e Reduzida								
Chuva Pontual (mm)								
Duração	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) – TR 1000	13,6	36,7	65,7	91,0	105,8	131,1	140,4	181,6
P(mm) – TR 10000	15,8	42,6	76,4	105,8	122,9	152,3	163,2	211,0
Chuva Reduzida (mm)								
Duração	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) – TR 1000	10,6	28,5	51,1	70,7	82,2	101,8	109,1	141,1
P(mm) – TR 10000	12,3	33,1	59,3	82,1	95,5	118,3	126,8	163,9

O HEC-1 utiliza estes dados para construir uma distribuição triangular da precipitação, onde é assumido que cada total precipitado para qualquer duração ocorre durante a parte central da tormenta (tormenta balanceada).

A chuva de projeto associada ao tempo de retorno de 1000 e 10000 anos para a aplicação da metodologia do hidrograma triangular foi àquela correspondente a uma duração igual ao tempo de concentração da bacia. Obteve-se a partir da curva altura-duração-freqüência os totais precipitados aos intervalos $1/6 \cdot t_c$. A partir desta série de precipitação acumulada calcula-se a precipitação efetiva utilizando-se o método curva número. Depois de obtida a precipitação efetiva, procede-se uma reordenação dos valores precipitados de modo a manter o pico no terceiro intervalo (Quadros nº3.21 e 3.22).

Quadro nº3.21: Cálculo do Hietograma de Projeto para a Bacia Contribuinte do Reservatório Trairi usando o Hidrograma Triangular (Tr=1000 anos) – CN=75

DT (h)	PAcum (mm)	S (mm)	Pef Ac (mm)	Pef (mm)	Pef Ord (mm)	DPef (mm)	Qp	Tp	Tb	Q pico (m3/s)
1,21	55,18	84,67	11,90	11,90	1,11	5,62	77,23	4,95	13,23	485,38
2,42	75,49		23,94	12,04	5,62	7,28	100,03	6,16	13,23	
3,62	86,28		31,23	7,28	5,67	12,04	165,30	7,37	13,23	
4,83	94,18		36,85	5,62	7,28	11,90	163,42	8,58	13,23	
6,04	101,85		42,52	5,67	11,90	5,67	77,86	9,79	13,23	
7,25	103,32		43,63	1,11	12,04	1,11	15,20	11,00	13,23	

DT - tempo
 Precipitação Efetiva: Pef
 DPef – Pef Ord Desagregada
 Tp - Tempo de pico de cada hidrograma
 Vazão de Pico: Qp - de cada hidrograma
 S – Armazenamento
 Pef Ac - Acumulada
 Pacum - Precipitação Acumulada
 Pef Ord - Ordenada
 Tb - Tempo de base de cada hidrograma
 Qpico - do hidrograma total (após convolução)

Quadro nº3.22: Cálculo do Hietograma de Projeto para a Bacia Contribuinte do Reservatório Trairi usando o Hidrograma Triangular (Tr=10000 anos) – CN=75

DT (h)	PAcum (mm)	S (mm)	Pef Ac (mm)	Pef (mm)	Pef Ord (mm)	DPef (mm)	Qp	Tp	Tb	Q pico (m3/s)
1,21	65,76	63,50	24,15	24,15	1,47	7,60	104,34	4,95	13,23	756,02
2,42	87,68		40,60	16,45	7,60	10,14	139,29	6,16	13,23	
3,62	100,25		50,74	10,14	7,65	24,15	331,61	7,37	13,23	
4,83	109,43		58,40	7,65	10,14	16,45	225,84	8,58	13,23	
6,04	118,36		66,00	7,60	16,45	7,65	105,08	9,79	13,23	
7,25	120,07		67,47	1,47	24,15	1,47	20,22	11,00	13,23	

DT - tempo
 Precipitação Efetiva: Pef
 DPef – Pef Ord Desagregada
 Tp - Tempo de pico de cada hidrograma
 Vazão de Pico: Qp - de cada hidrograma
 S – Armazenamento
 Pef Ac - Acumulada
 Pacum - Precipitação Acumulada
 Pef Ord - Ordenada
 Tb - Tempo de base de cada hidrograma
 Qpico - do hidrograma total (após convolução).

3.4.4.1.2 - Precipitação Efetiva para aplicação do HEC-1

O modelo utilizado pelo HEC-1 refere-se a interceptação superficial, armazenamento em depressões e infiltração como perdas de precipitação, ou seja, a parcela da precipitação que não contribui para gerar escoamento é considerada perda, sendo o restante, considerado precipitação efetiva.

Dentre as metodologias utilizadas para a determinação da chuva efetiva, o método curva número do Soil Conservation Service foi considerado o mais adequado.

O método Curva Número é um procedimento desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo USDA, no qual a lâmina escoada (isto é, a altura de chuva efetiva) é uma função da altura total de 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) condição de umidade antecedente. Para a bacia do Rio Trairi foi adotado um CN = 75 com base nos mapas de solo (grupos hidrológicos), uso e ocupação e relevo contidos no PERH (1992).

Desde que o método do SCS dá o excesso total para uma tormenta, o excesso incremental de precipitação para um período de tempo é calculado como a diferença entre o excesso acumulado no fim do presente período e o acumulado do período anterior.

3.4.4.1.3 - Hidrograma Unitário - SCS

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. Este método foi escolhido por ter sido idealizado para bacias de áreas entre 2,5 e 1000 km², e por ser construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas. Além disto, este modelo necessita apenas de um parâmetro: o T_{LAG} . Este parâmetro, T_{LAG} , é igual à distância (lag) entre o centro de massa do excesso de chuva e o pico do hidrograma unitário.

Para a bacia contribuinte ao reservatório, tem-se:

- $T_c = 7,25$ h (tempo de concentração);
- $T_{LAG} = 4,35$ h;
- Vazão de pico $Q_{p1} = 661$ m³/s para $T_r = 1.000$ anos;
- Vazão de pico $Q_{p2} = 845$ m³/s para $T_r = 10.000$ anos.

3.4.4.1.4 - Hidrograma Triangular

A cheia de projeto foi calculada utilizando o critério do Hidrograma Unitário Triangular do Soil Conservation Service (S.C.S.), sendo o excesso de precipitação determinado a partir de um parâmetro (CN) que define o complexo solo, vegetação.

Para a bacia contribuinte ao reservatório tem-se:

- $T_c = 7,25$ horas (tempo de concentração);
- $t_b = 13,23$ horas (tempo de base);
- $\Delta t = 1,21$ horas;
- $t_p = 4,95$ horas (tempo de pico);
- $q_p = 137,31$ m³/s/cm (vazão de pico).

Traçado o Hidrograma Triangular, obtém-se os seguintes valores:

- $Q_{p1} = 485,38$ m³/s, para $Tr = 1.000$ anos;
- $Q_{p2} = 756,02$ m³/s, para $Tr = 10.000$ anos.

3.4.5 - Curvas de Regulação do Reservatório

A importância do estudo da capacidade de regularização de um reservatório está ligada ao conhecimento das mudanças temporais e espaciais dos deflúvios naturais, visando o atendimento das demandas da sociedade. Busca-se aqui avaliar o tamanho que deve ser a obra de maneira que ganhos em regularização de águas justifiquem os investimentos a serem realizados.

Hidrologicamente, os objetivos centrais deste capítulo são:

1. Análise incremental do ganho em volume regularizado em relação ao aumento da capacidade para a Barragem Trairi;
2. Estimativa das perdas por evaporação e sangria da Barragem Trairi;

O traçado das curvas de regulação inclui: volumes evaporado (E), liberado (M) e sangrado (S) versus capacidade (K) e dM/dK versus K.

O estudo foi feito em duas etapas, as quais consistem em:

1. Determinar série de sangrias do açude a montante do açude Trairi pelo balanço hídrico utilizando o deflúvio correspondente à parte alta da bacia hidrográfica (bacia do açude a montante do Trairi);

2. Simular balanço hídrico do açude Trairi considerando a influência das sangrias calculadas em 1, utilizando o defluvio correspondente à bacia hidrográfica do Trairi retirada a porção correspondente à bacia do açude a montante do Trairi.

3.4.5.1 - Metodologia

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.

3.4.5.2 - Resultados

As características do escoamento estabelecidas no PERH (1992) foram utilizadas aqui para a geração de séries sintéticas de vazão, a saber:

- lâmina média escoada: 202 mm
- volume afluyente médio escoado (μ): 66.058.040 m³

O coeficiente de variação de CV = 1,1 foi adotado com base no valor indicado por CAMPOS et al. (1995).

No Quadro nº3.23 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados para o reservatório a montante do açude Trairi.

Quadro nº3.23: Volumes Evaporado, e Liberado, Vazão Regularizada com 90% de Garantia para o Açude a Montante do Açude Trairi									
K (hm ³)	F _k =K/ μ	%LIB	LIB (hm ³ /ano)	%EV	EV (hm ³ /ano)	%SG	SG (hm ³ /ano)	Q90 (m ³ /s)	M90 (hm ³ /ano)
24	0,71	26,43	8,905	7,03	2.368	66,55	22,426	0,297	9,363

No Quadro nº3.24 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 Trairi. A Figura 3.3 apresenta as curvas de regulação para o reservatório Trairi, que nada mais é que a graficação dos valores apresentados no Quadro nº3.24.

K (hm ³)	F _k =K/μ	%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)
16,515	0,25	10,67	7,319	4,11	2,817	85,22	58,467	-----	0,241	7,612
33,029	0,50	18,36	12,591	6,63	4,546	75,01	51,448	0,330	0,414	13,060
49,544	0,75	25,63	17,578	8,48	5,818	65,89	45,185	0,327	0,585	18,453
66,058	1,00	29,82	20,444	10,45	7,163	59,73	40,955	0,179	0,679	21,410
82,573	1,25	34,08	23,363	12,10	8,298	53,81	36,888	0,186	0,777	24,489
99,087	1,50	38,08	26,095	13,53	9,276	48,39	33,163	0,179	0,870	27,439
115,602	1,75	41,30	28,300	14,88	10,194	43,83	30,038	0,144	0,946	29,821

A análise da Figura 3.3 e dos dados apresentados no Quadro nº3.24 sugere que a faixa de volumes estudada está bem aquém da hidrológicamente possível, fato este refletido pelo baixo fator de capacidade ($f_k < 1,75$). 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 58,8 hm³ ($f_k = 0,89$), pelas condições físicas do local, correspondente a cota 30,5 m (cota de coroamento = 34 m). Para esta capacidade o reservatório regulariza cerca de 28,8% do volume afluente médio anual, ou seja, 20,1 hm³/ano, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada de 0,638m³/s com 90% de garantia.

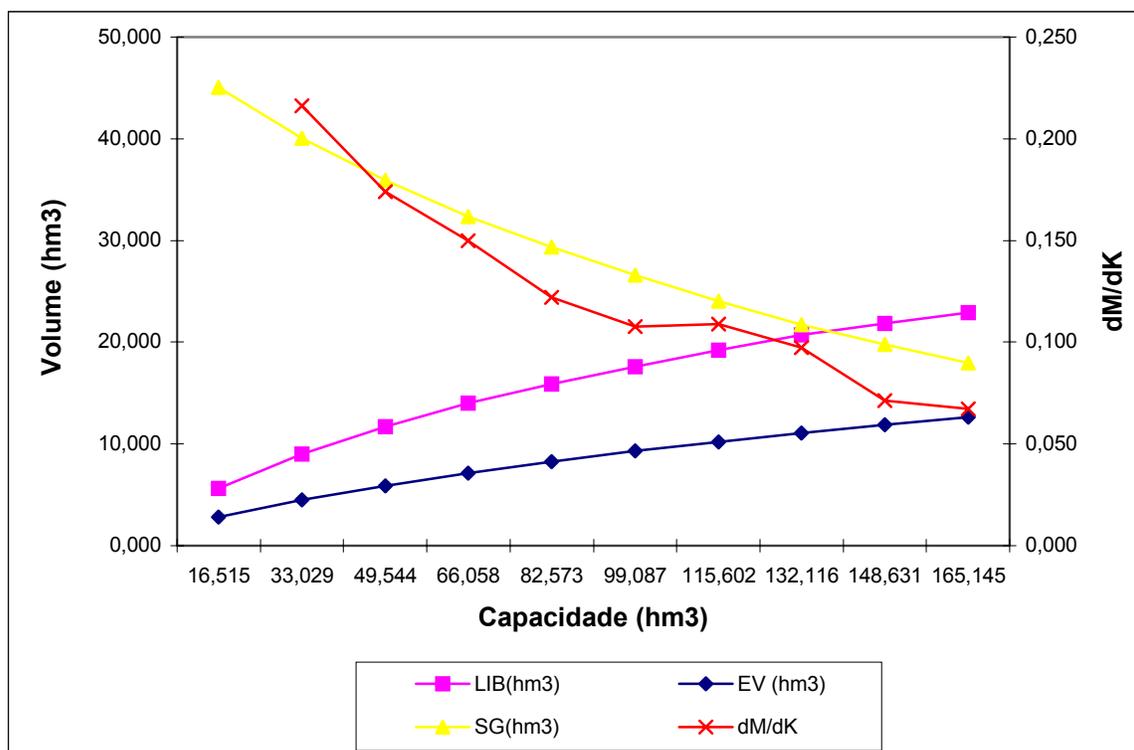


Figura 3.3 - Curvas de Regulação do Reservatório Trairi – Resolução Direta da Equação do Balanço Hídrico.

Utilizando-se o método do Diagrama Triangular de Regularização com $f_E = 0,16$, $f_K = 0,89$ e $CV = 1,1$, obtém-se um volume de $19,48 \text{ hm}^3$ regularizado anualmente, ou em termos de vazão, $Q_{90} = 0,618 \text{ m}^3/\text{s}$. Este valor está bem próximo ao valor obtido pela solução direta da equação do balanço hídrico (Quadro nº3.25). A Figura 3.4 apresenta o Diagrama Triangular ($CV = 1,1$) e nele o caso da Barragem Trairi.

Quadro nº3.25: Distribuição do Volume Afluente e Qr (90%) para a Barragem Trairi			
Equação do Balanço Hídrico			
LIB - %	SG - %	EV-%	Qr 90% (m3/s)
19,190 – 28,0%	42,806 – 62,4%	6,575 – 9,6%	0,638
Diagrama Triangular de Regularização (sem interferência do açude de montante)			
19,487 – 29,5%	40,626 – 61,5%	5,945 – 9,0%	0,618

EV - Volume Evaporado (hm^3/ano) SG - Volume Sangrado (hm^3/ano)
 LIB - Volume Liberado (hm^3/ano) Qr 90% - Vazão regularizada com 90% de garantia (m^3/s)

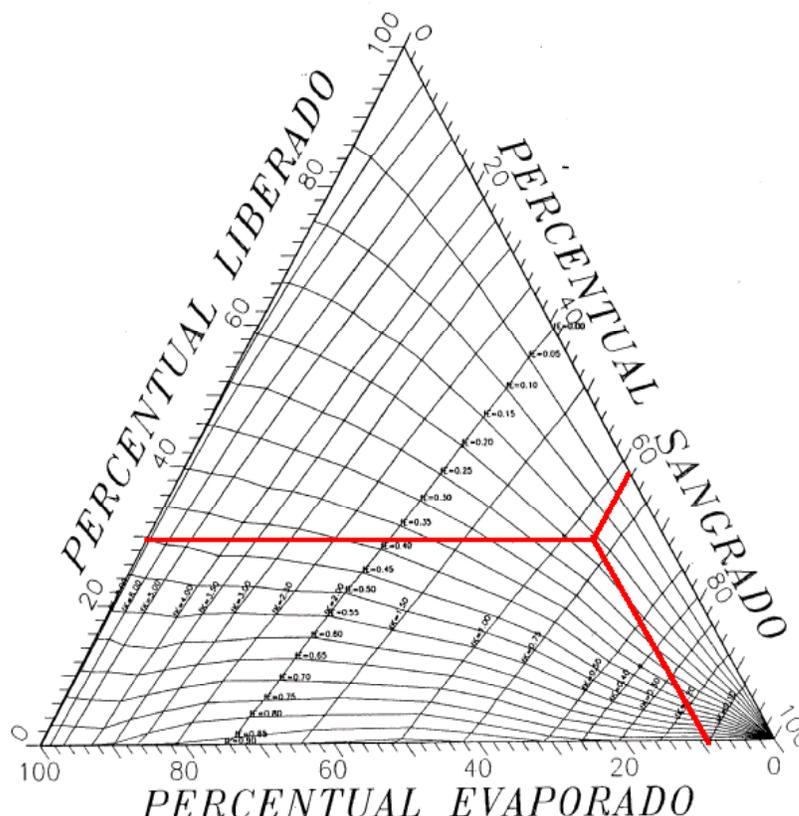


Figura 3.4 – Diagrama Triangular de Regularização Aplicado a Barragem de Trairi Sem Levar em Consideração a Interferência do Açude de Montante.

3.4.6 - Determinação da Capacidade do Reservatório

O presente capítulo reúne os resultados dos estudos hidrológicos e dados de custos da barragem Trairi, com vistas a dar suporte à decisão sobre a capacidade de acumulação da mesma.

3.4.6.1 - Estudos Hidrológicos

Os resultados obtidos nas curvas de regulação do reservatório demonstram que a faixa de volumes estudada está bem aquém da hidrológicamente possível, fato este refletido pelo baixo fator de capacidade ($f_K < 1,75$). O volume adotado, em torno de $58,8 \text{ hm}^3$, foi determinado em função das limitações topográficas do eixo, o que resulta em uma regularização de 28,8% do volume afluente médio anual, correspondente em termo de volume a $20,1 \text{ hm}^3$ ano e a uma vazão de $0,638 \text{ m}^3/\text{s}$ com garantia de 90%.

3.4.6.2 - Análise econômica

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

- Variação do custo anual do m^3 de água acumulada em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos a uma taxa de 8%;
- Variação do custo anual do m^3 de água regularizada com 90% de garantia, em função da cota de soleira do reservatório, para um período de 30 anos a 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 3.5 mostra que:

- O custo anual do m^3 regularizado variou entre R\$ 0,037 (cota 31 m) e R\$ 0,032 (cota 34 m).
- O custo anual do m^3 de acumulação variou entre R\$ 0,008 (cota 31 m) e R\$ 0,006 (cota 34 m).

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

Apesar de tanto o custo anual do m^3 regularizado como também de custo anual do m^3 acumulado terem uma tendência negativa ao aumentarmos a cota de soleira de 31 para 34 m existem limitantes topográficos que determinaram a escolha da cota da soleira. Assim, considerando os aspectos hidrológico-econômicos e os limitantes topográficos (cota de coroamento no máximo = 34 m) sugere-se a adoção da cota de soleira igual a 30,5m (volume de armazenamento = $58,8 \text{ hm}^3$).

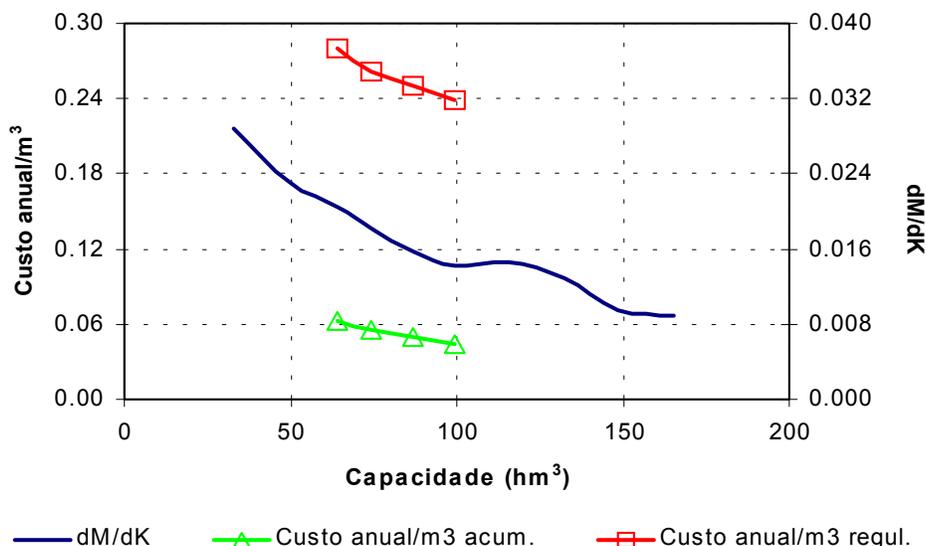


Figura 3.5 - Análise Hidrológico-Econômica para Seleção da Capacidade da Barragem Trairi

3.4.7 - Dimensionamento do Sangradouro

Uma vez realizado o dimensionamento do reservatório com base nos estudos hidrológicos, econômicos e limitações topográficas, faz-se necessário agora o dimensionamento do sangradouro visando a definição de sua largura, seu tipo e a cota de coroamento da barragem associada à alternativa adotada.

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.

Não havia marcas de cheias históricas no local da barragem, o que impossibilitou o uso desta informação.

Com base nestes princípios, apresenta-se o dimensionamento do sangradouro.

3.4.7.1 - Propagação da Cheia no Reservatório

Técnicas de propagação em reservatórios são baseadas no conceito de armazenamento, sendo o método de Puls um dos mais conhecidos para propagação em reservatórios. Este método consiste em uma expressão discretizada da equação de continuidade concentrada e na relação entre vazão e armazenamento.

O Sangradouro é do tipo perfil creager, sendo o seu coeficiente de descarga adotado 2.1.

3.4.7.2 - Resultados

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.

Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro nº3.26, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

Quadro nº3.26: Resultado da Simulação			
L (m)	Q_{out} (m ³ /s)	Cota (m)	Lâmina (m)
Perfil Creager: $Z_w = 30.5$ m			
Tr = 1000 anos - $Q_{in} = 661$ m³/s			
80	218	31.7	1.2
100	243	31.6	1.1
120	267	31.5	1.0
Tr = 10000 anos - $Q_{in} = 845$ m³/s			
80	292	31.9	1.4
100	328	31.8	1.3
120	361	31.8	1.3

L = Largura do Sangradouro

Z_w = cota da soleira do sangradouro

Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório

Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)

3.4.8 - Estudos Adicionais

A seguir são apresentados alguns estudos adicionais visando identificar as características do açude Trairi quanto a: probabilidade de enchimento, probabilidade de esvaziamento e assoreamento.

3.4.8.1 - 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 intermittent 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 40% dos anos ocorre sangria para uma retirada anual de 50 hm³. A Figura 3.6 apresenta as duas curvas probabilísticas de esvaziamento e enchimento. Nesta Figura pode-se observar que para uma retirada igual a 20 hm³/ano tem-se uma probabilidade de esvaziamento na fase de equilíbrio próximo de 10%, o que implica em uma garantia de 90%.

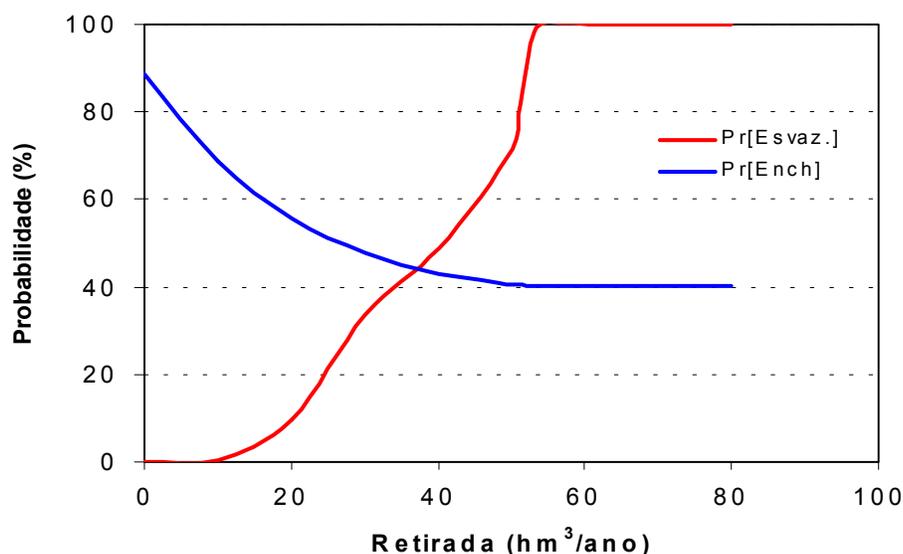


Figura 3.6 - Probabilidades de Esvaziamento e Enchimento do Açude Trairi

3.4.8.2 - Assoreamento do açude Trairi

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 se podem 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 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 Trairi foi simulado durante 100 anos com Δt igual a 10 anos. O Quadro nº3.27 apresenta os valores obtidos de acordo com a metodologia de Veiga (1993), mostrando o acompanhamento, a cada intervalo de simulação, das variáveis utilizadas bem como sedimento acumulado e do volume efetivo. Foi assim obtido um volume final ao período de 100 anos de 44,42 hm³, havendo uma redução de 24,5% no volume útil do açude Trairi, o qual era inicialmente de 58,8 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.

Quadro nº3.27: Simulação do Assoreamento do Reservatório ao Longo do Tempo

Período Parcial (anos)		Volume inicial (hm ³)	Volume/μ	Er	γ _T (t/m ³)	Sedimento Período (10 ³ t)	Sedimento Acumulado (hm ³)	Volume Efetivo ou útil (hm ³)
0	10	58,800	0,890	0,968	1,420	2060,0	1,451	57,349
10	20	57,349	0,868	0,967	1,424	2059,3	2,896	55,904
20	30	55,904	0,846	0,967	1,427	2058,6	4,339	54,461
30	40	54,461	0,824	0,967	1,429	2057,8	5,779	53,021
40	50	53,021	0,802	0,966	1,430	2057,1	7,217	51,583
50	60	51,583	0,780	0,966	1,432	2056,2	8,653	50,147
60	70	50,147	0,759	0,965	1,433	2055,3	10,088	48,712
70	80	48,712	0,737	0,965	1,434	2054,4	11,521	47,279
80	90	47,279	0,715	0,965	1,434	2053,4	12,952	45,848
90	100	45,848	0,694	0,964	1,435	2052,4	14,382	44,418

Veiga Lopes, Ayde, Aplicação de Métodos de Previsão de Assoreamento de Reservatórios. Dissertação de Mestrado, Campinas, SP (1993).

Quadro nº3.28: Sumário Técnico dos Estudos Hidrológicos

Caracterização da Bacia

Área da bacia do Açude Trairi	327,02 km ²
Perímetro da bacia do Açude Trairi	81,7 km
Declividade média da bacia do Açude Trairi	5,85 m/km
Comprimento do rio principal	31,85 km
Fator de compacidade	1,31
Fator de forma	0,32
Tempo de concentração	7,25 hrs

Hidroclimatologia

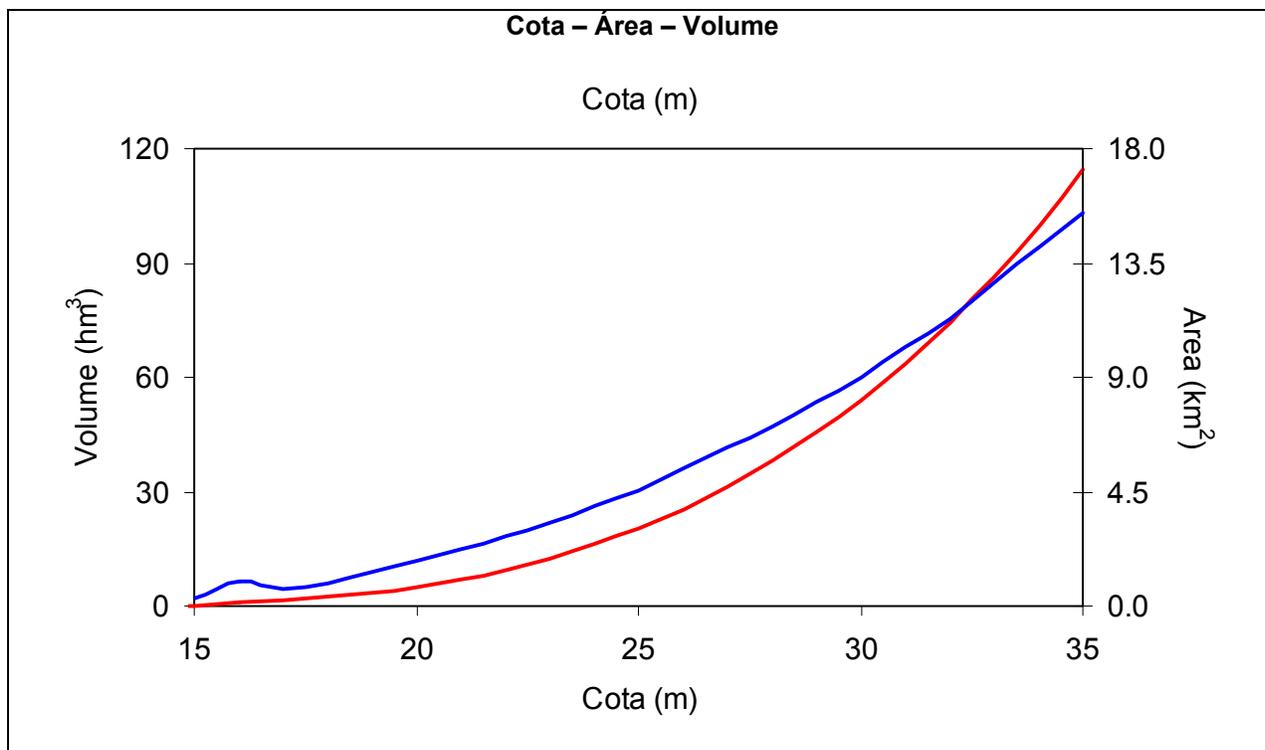
Pluviometria média anual	1150,5 mm
Evaporação média anual	1914,7 mm
Evapotranspiração potencial (Hargreaves)	1853,8 mm
Insolação média anual	2416,6 h
Umidade relativa média anual	67,9 %
Temperatura média anual: média das máximas	33,3 °C
Temperatura média anual: média das médias	26,6 °C
Temperatura média anual: média das mínimas	22,0 °C
Classificação climática segundo Köppen	BWx'
Classificação climática segundo Thornthwaite	C1SA'a'

Estudo de Cheias

Precipitação efetiva	SCS
Propagação do escoamento na bacia	Hidrograma Unitário do SCS
CN	75
Vazão afluente – tempo de retorno = 1000 anos	661 m ³ /s
Vazão afluente – tempo de retorno = 10000 anos	845 m ³ /s

Capacidade do Reservatório

Capacidade máxima	58,8 hm ³
Cota da soleira do sangradouro	30,5 m
Cota de coroamento	34,0 m
Custo anual do m ³ armazenado	0,009 R\$/ano
Custo anual do m ³ regularizado	0,04 R\$/ano



Capacidade de Regularização			
<i>Resolução Direta da Equação do Balanço Hídrico – Cota 30,5 m</i>			
Regularizado - % (hm ³ /ano)	Sangrado - % (hm ³ /ano)	Evaporado - % (hm ³ /ano)	Qr 90% (m ³ /s)
19,190 – 28,%	42,806 – 62,4%	6,575 – 9,6%	0,638

Dimensionamento do Sangradouro – Perfil Creager – Cota soleira 30,5 m			
Largura(m)	Q _{out} (m ³ /s)	Cota de pico(m)	Lâmina (m)
Tr = 1.000 anos - Q_{in} = 661 m³/s			
80	218	31,7	1,2
100	243	31,6	1,1
120	267	31,5	1,0
Tr = 10.000 anos - Q_{in} = 845 m³/s			
80	292	31,9	1,4
100	328	31,8	1,3
120	361	31,8	1,3

Estudos Adicionais	
<i>Probabilidade Esvaziamento/Enchimento</i>	
Demanda a partir da qual a probabilidade de esvaziamento é de 100%	54 hm ³ /ano
Demanda a partir da qual a probabilidade de enchimento é de 40,2%	54 hm ³ /ano
<i>Assoreamento</i>	
Volume final após 100 anos de simulação	44,42 hm ³
% assoreado	24,5 %
Descarga sólida média	212897 t/ano

4 - PROJETO DA BARRAGEM

4 – PROJETO DA BARRAGEM

4.1 - CONCEPÇÃO DA BARRAGEM

O presente capítulo contém o memorial descritivo e justificativo do Projeto Executivo da Barragem Trairi, 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.

4.1.1 - 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.

As características da fundação da Barragem Trairi podem ser visualizadas nos boletins de sondagens, nos ensaios de infiltração e perda d'água realizada, bem como no perfil geológico – geotécnico.

O eixo locado é dividido por dois segmentos contínuos, compostos pelo sangradouro e a barragem propriamente dita, ficando o sangradouro na ombreira esquerda com estaqueamento ao longo do eixo.

4.1.1.1 - Calha do Rio

Através da análise das sondagens consideradas representativas para esta área (SM-12 a SM-14), observa-se que o subsolo é formado predominantemente por depósitos de solos aluvionares (sedimentar recente), constituídos por areia fina e média siltosa com pedregulhos, medianamente compacta, de coloração cinza e amarela, com valores de SPT variando de 3 a 46 golpes em média. A profundidade

média deste pacote aluvionar apresentou-se mais espesso no trecho central do rio, em torno de 4,90m, diminuindo para até 2,85m em direção às ombreiras.

Abaixo destas, encontra-se uma camada de solo residual, classificado como silte arenoso micáceo, com pedregulhos, pouco compacto, com colorações variando entre cinza e amarelo, com SPT variando entre 20 a 21/7 golpes em média. Em alguns trechos, mais especificamente na sondagem SM-14, encontra-se uma camada de argila arenosa com pedregulho, rija a dura, cinza e amarela. A camada de solo residual atingiu um máximo de 6,50m de profundidade, quando então encontrou-se rocha. Nos trechos a percussão, as profundidades foram limitadas, portanto, pelo solo residual, que se mostrou impenetrável à ferramenta de percussão.

A rocha de fundação se apresenta profunda nestas sondagens – a partir de 6,00m em média. O material detectado está classificado como biotita-xisto, dura, meio granulada, com recuperações baixas, denotando um alto grau de fraturamento. As porcentagens de recuperação ficaram em torno de 20 a 70%.

O nível d'água se apresentou entre 2,70m e 4,00m e não foi detectado na SM-14.

Os ensaios de permeabilidade “in situ” nas camadas de solo apresentaram resultados variando entre $k =$ coeficiente de permeabilidade $\cong 1,98 \times 10^{-5}$ cm/s a $k \cong 2,78 \times 10^{-4}$ cm/s para as primeiras camadas de areia. Nas camadas seguintes, determinaram-se valores entre $k =$ coeficiente de permeabilidade $\cong 1,54 \times 10^{-6}$ cm/s a $k \cong 6,97 \times 10^{-6}$ cm/s para o solo residual.

Os ensaios de perda d'água específica nas rochas, apresentaram, valores de condutividade hidráulica do maciço variando entre $P.E =$ Perda d'Água Específica = 0,07 a 9,06 l/min/m/kg/cm², que traduz permeabilidades variando em torno de $k = 7,02 \times 10^{-6}$ a $9,55 \times 10^{-4}$ 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-12, no trecho de 6,50 a 9,50m, o regime se dá como turbulento com discreta abertura de fendas.

Para o caso da Barragem Trairi, 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.

A recomendação que se faz, quando do início das obras, que 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.

Estes dados serão utilizados para refinar uma eventual campanha de injeção de calda de cimento nas fraturas do maciço para impermeabilização do mesmo, bem como evitar a “clacagem”, 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.

4.1.1.2 - Ombreiras

Na região das ombreiras encontra-se uma camada de solo sedimentar antigo na ombreira direita e solo sedimentar recente na ombreira esquerda. Este é caracterizado por areia siltosa fina e média, de colorações variando entre amarelo, cinza e marrom, com espessuras variando entre 0,70m e 9,17m. Os valores de SPT encontrados nas sondagens estavam em torno de 2 a 19 golpes em média.

Na ombreira esquerda, abaixo da camada de areia, encontra-se uma camada de argila silto-arenosa com pedregulhos, rija, com coloração variando entre vermelho e cinza variegada. Esta camada foi observada até 24,32m, conforme consta na SP-02. Na SM-15, a partir de 19,00m, detectou-se arenito muito macio, branco esverdeado, com recuperações em torno de 10% e 40%.

Na ombreira direita, esta camada de argila areno siltosa é detectada, aparecendo, no entanto, com concreções lateríticas. A profundidade máxima observada é de 14,18m e valores de SPT em torno de 22 a 15/3 golpes. Não foram executadas sondagens mistas nesta ombreira.

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 na SP-15, apresentaram resultados variando entre $k =$ coeficiente de permeabilidade $\cong 1,36 \times 10^{-6}$ cm/s.

4.1.1.3 - Sangradouro

O terreno apresenta topografia plana e suave, com declividade em direção ao talvegue do rio, formado por solo sedimentar recente. Este é caracterizado por areia

siltosa fina e média, de colorações variando entre amarelo, cinza e marrom, com espessuras variando entre 4,40m e 6,00m. Os valores de SPT encontrados nas sondagens estavam em torno de 2 a 19 golpes em média.

Abaixo da camada de areia, encontra-se camada de argila silto-arenosa com pedregulhos, rija, com coloração variando entre vermelho e amarelo, variegada. Esta camada foi observada até 24,32m, profundidade esta atingida na SP-02.

A sondagem mista mais próxima da região do sangradouro é a SM-15, que, a partir de 19,00m, detectou arenito muito macio, branco esverdeado, com recuperações em torno de 10% e 40%.

O nível d'água não foi detectado na região. Também não foram executados ensaios para determinação da permeabilidade "in situ".

4.1.2 - Rebaixamento do Lençol Freático

As escavações para a fundação nas ombreiras da Barragem Trairi estão acima do nível do lençol freático, conforme indicação das sondagens realizadas na campanha de investigação geotécnica.

Já as escavações no vale do boqueirão da barragem interceptarão o lençol freático para atingir a cota do fundo da vala. Na estaca 29 foi realizada a sondagem SM-11, a qual indicou o nível d'água a uma profundidade de 4,45m. Nesta mesma estaca, a linha de assentamento do cut-off será na profundidade 8,00m, no topo rochoso. Na estaca 34+10,00, o nível do lençol freático encontra-se a uma profundidade de 3,40m, segundo dados da sondagem SM-12, enquanto o cut-off estará assente na profundidade de 6,50m, no topo rochoso. Na estaca 38+10,00, segundo a sondagem SM-13, o nível d'água está na profundidade de 2,70m e a base do cut-off estará assente na profundidade de 6,00m. Assim sendo, observa-se que a execução das escavações obrigatórias da barragem no trecho da calha do rio haverá a necessidade de rebaixar o lençol freático de altura média de 3,00m.

4.1.3 - 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) Nas zonas das ombreiras o cut-off possui uma profundidade máxima de 1,00m abaixo do terreno natural, após a execução da escavação obrigatória para remoção de matéria orgânica;

3) Na zona do vale do boqueirão, o cut-off tem sua profundidade variável, indo de 1,00m a 7,00m. Os taludes iniciais até 4,00m de altura serão 1,0(V):1,0(H) e a partir desta profundidade será criada uma berma de 2,00m de largura e o talude de continuação de escavação será suavizado para 1,0(V):1,5(H) até o fundo da vala;

4) A largura do Cut-off será de 6,00m, quando a sua profundidade for inferior ou igual a 4,00m. Quando a profundidade do Cut-off for superior a 4,00m, a largura do Cut-off será de 8,0m.

No perfil longitudinal da Barragem Trairi é mostrado a linha que limita a profundidade da trincheira de escavação, ou seja, a linha de fundação do Cut-off.

Nas seções transversais da Barragem Trairi é representado a geometria da trincheira de fundação.

4.1.4 - 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 geotécnica foram realizados ensaios de perda d'água tipo LUGEON, cujos resultados são resumidos no Quadro nº4.1.

Quadro nº4.1: Ensaio de Perda D'Água Tipo Lugeon				
Sondagem	Estaca	Profundidade do Obturador (m)	Vazão Específica (l/min/m)	Perda D'Água Específica (l/min/m/kgf/cm ²)
SM-11	29	8,00 – 11,00	3,13	1,27
		11,00 – 14,00	1,00	0,30
		14,00 – 17,00	0,27	0,07
SM-12	34+10,00	6,50 – 9,50	1,73	1,55
		9,50 – 12,50	3,20	1,19
		12,50 – 16,50	0,43	0,13
SM-13	38+10,00	6,00 – 9,00	9,90	13,06
		9,00 – 12,00	2,33	1,73
		12,00 – 15,00	0,77	0,46
SM-14	42	6,20 – 9,20	3,07	1,59
		9,20 – 12,20	3,17	1,17
		12,20 – 15,20	1,50	0,45

Tendo em vista os resultados mostrados no Quadro nº4.1, verifica-se que:

- 1) Nas ombreiras as perdas d'águas específicas foram baixas ou mesmo nulas;
- 2) Na zona do vale do boqueirão, as perdas d'águas específicas revelaram valores entre zero e 13,06 l/min x m x kgf/cm²

Na Barragem Trairi será adotado o critério de injeção de calda de cimento quando as perdas específicas máximas forem superior a 0,1 l/min x m x kgf/cm².

A cortina terá fisicamente uma única linha, a qual será locada em planta, no eixo da trincheira de fundação entre as estacas 13 e 56, numa extensão de 860m na zona do vale do boqueirão.

A cortina será formada de furos denominados de exploratórios, primários, secundários e terciários e terá a seguinte constituição:

- 1) Inicialmente serão executados os furos exploratórios, espaçados de 48,0m em 48,0m, com 12,0m de comprimento no maciço rochoso. Os furos exploratórios serão executados com sonda rotativa com diâmetro ϕ NX (75,3mm) e em cada furo serão executados ensaios de perda d' água em segmentos de 3,0m.
- 2) Em seguida serão executados os furos primários, espaçados de 12,0m em 12,0m, com 12,0m de comprimento no maciço rochoso, defasados de 6,0m dos furos exploratórios. Os furos primários serão executados com equipamento roto-percursor (rock-drill) de diâmetro de 3" (76,2mm). Em cada furo primário que apresentar um consumo superior de 20kg/m de cimento, serão executados dois furos secundários, espaçados entre si de 12,0m, defasados 6,0m do furo primário e com 12,0m de comprimento dentro do maciço rochoso.
- 3) Para cada furo secundário que apresentar consumo de cimento igual ou superior a 20kg/m serão executados dois furos terciários em cada lado do furo secundário. Os furos terciários serão espaçados entre si de 6,0m, defasado em 3,0m dos furos secundários, com comprimento de 12,0m dentro do maciço rochoso.

4.1.5 - Local de Bota-Fora

No lado de montante do eixo da Barragem Trairi, ao longo da calha do rio, abaixo da cota 17,00m está destinada ao depósito de material de bota-fora, proveniente das escavações obrigatórias para a execução da obra.

4.1.6 - Materiais de Construções

Foram identificadas uma jazida de solo, denominada de J-01, dois areais denominados de A-01 e A-02 e uma pedreira, denominada de P-01.

4.1.6.1 - Materiais Terrosos

A jazida de empréstimo em questão é constituída essencialmente por uma camada de solo de expurgo, de espessura média de 0,10m 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 com SC (USC), ou seja, areia argilosa, bem graduada, com excelente ligante argiloso.

O comportamento geotécnico esperado para estes solos quando compactados dentro das especificações, é de média a alta resistência de 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 obtidos dos ensaios de cisalhamento direto lento cujas amostras foram compactadas nas densidades e umidade ótimas obtidas no ensaio de Proctor receberam tratamento estatístico e indicaram os valores de $c' = \text{coesão} = 0,18 \text{ kgf/cm}^2$ e $\phi = \text{ângulo de atrito interno do material} = 34,2^\circ$.

Com relação aos ensaios de permeabilidade com carga variável, encontraram-se valores médios de $k = 6,55 \times 10^{-7}$ para a J-01.

Dos resultados obtidos dos ensaios de compactação, após receberem também tratamento estatístico apresentaram a jazida J-01, valores de $\gamma_{s \text{ Max}} = 1,874 \text{ g/cm}^3$ e $h_{\text{ótmax}} = 12,87\%$.

Os materiais da escavação obrigatória do sangradouro deverão ser utilizados na construção dos espaldares do corpo do maciço. Os ensaios de laboratório realizados nas amostras indicaram que o material de escavação do sangradouro, até a profundidade de 5,0 m, pode ser classificado como solo tipo SC na classificação unificada USC, ou seja, areia argilosa, bem graduada, com excelente ligante argiloso.

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

Os materiais de escavação do sangradouro abaixo da profundidade de 5,0 m deverão ser estudados por meio de ensaios geotécnicos de laboratório para seu emprego como empréstimo para construção dos espaldares do maciço da barragem. Tais ensaios deverão ser executados na fase executiva da obra.

4.1.6.2 - 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 executados nas amostras apresentaram valores médios de $k =$ coeficiente de permeabilidade $\cong 8,875 \times 10^{-3}$ cm/s.

4.1.6.3 - Pedreira

O material da pedreira foi classificado com valor resultante do ensaio “Los Angeles” = L.A. = 31%, 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.

4.1.6.4 - Considerações Finais

O material areno-argiloso a ser utilizado na construção do corpo da barragem será proveniente de uma jazida que se encontra a montante do eixo, na área da bacia hidráulica, a uma distância média de 700,00 m para a jazida J-01, em relação ao eixo, com um volume total disponível da ordem de 363.800,00m³ e complementado com materiais das escavações do sangradouro.

Os valores obtidos dos ensaios rotineiros foram submetidos a tratamento estatístico, sendo definidas as faixas representativas do material, de acordo com a média e o desvio padrão. Portanto, os resultados deste tratamento estatístico dos parâmetros de interesse ao projeto, são apresentados a seguir:

- Classificação de acordo com o Sistema Unificado.....SC
- Permeabilidade média..... $k=6,55 \times 10^{-7}$ cm/s
- Umidade ótima de compactação – Proctor Normal.....12,87%
- Massa específica aparente máxima.....1,874 g/cm³
- Coesão (cisalhamento direto).....0,18 kg/cm²
- Ângulo de atrito interno (cisalhamento direto).....34,2°

Para o areal, cujos dados também receberam tratamento estatístico, apresenta as seguintes características:

- Classificação de acordo com o Sistema Unificado.....SP
- Permeabilidade média..... $8,875 \times 10^{-3}$ cm/s
- Volume disponível.....52.500 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 pedreiras n^{os} 4, 10 e 16, correspondentes respectivamente às aberturas da malha 4,8mm, 2mm e 1,2mm. Os percentuais de material pulverulentos em todas as amostras estão muito aquém do máximo permissível 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.

4.1.7 - Maciço da Barragem

A barragem foi concebida como sendo um maciço homogêneo a ser construída com material proveniente da jazida J-01 e das escavações do sangradouro, chama-se a atenção para o fato de que o local do sangradouro está dentro da área da jazida J-01. A barragem ficará com coroamento na cota 34,00m, com altura máxima de 19,00m na estaca 39.

A crista da barragem terá 6,0m de largura com caimento de 2% para montante. A camada final com 0,20m 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(V):2,5(H) em toda a sua extensão. O talude de montante será protegido da ação da energia da onda do reservatório com a construção de um *riprap*. 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:

$$\begin{aligned}
 P_{50} &= 0,45tf & D_{50} &= 0,62m \\
 P_{\min} &= 0,112tf & D_{\min} &= 0,39m \\
 P_{\max} &= 0,64tf & D_{\max} &= 0,70m
 \end{aligned}$$

A camada de transição tem a granulometria mostrada no Quadro nº4.2.

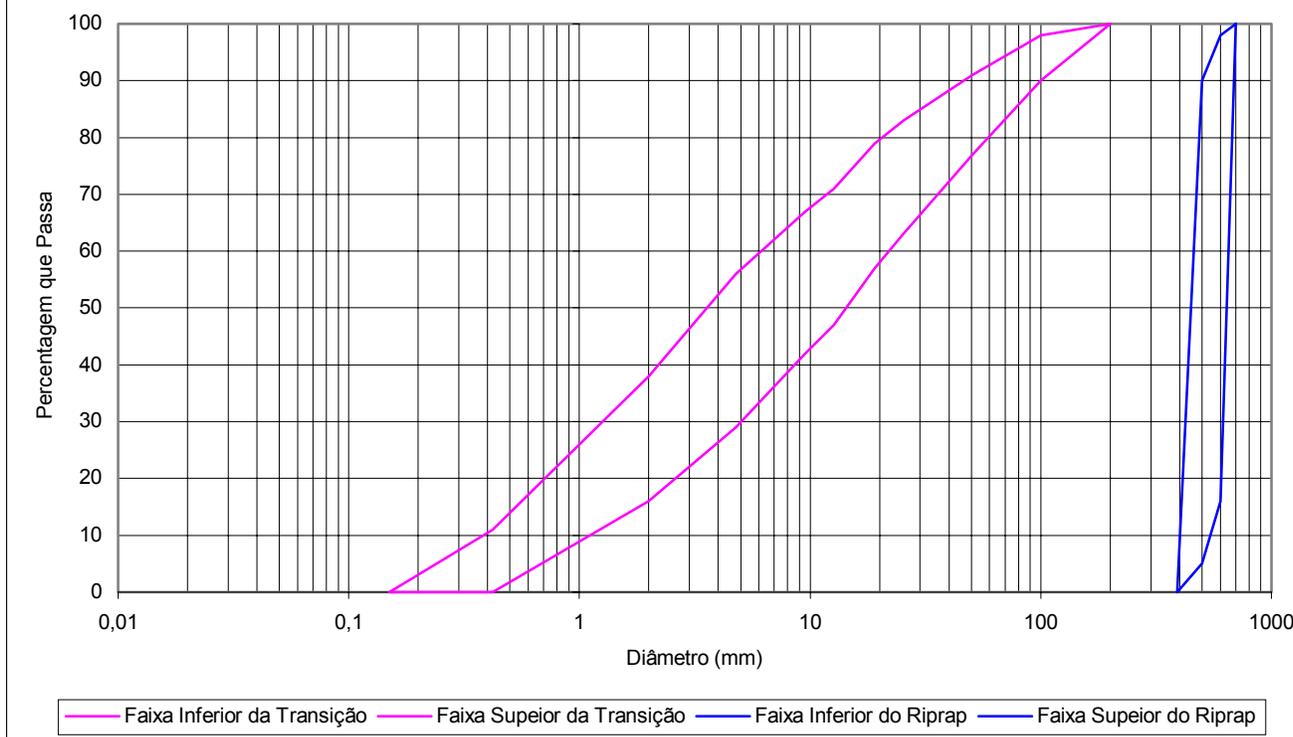
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)
700mm	100
600mm	16 – 98
500mm	5 – 90
390mm	0

A camada de transição tem a granulometria mostrada no Quadro nº4.3:

Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)
200mm	100
100mm	90 – 98
2" (50,8mm)	77 – 91
1" (25,4mm)	63 – 83
3/4" (19,10mm)	57 – 79
1/2" (12,27mm)	47 – 71
3/8" (9,52mm)	42 – 67
Nº 4 (4,76mm)	29 – 56
Nº 10 (2,00mm)	16 – 38
Nº 40 (0,42mm)	0 – 11
Nº 100 (0,15mm)	0

No gráfico 4.1 são mostradas as faixas granulométricas dos materiais constituintes do *riprap*.

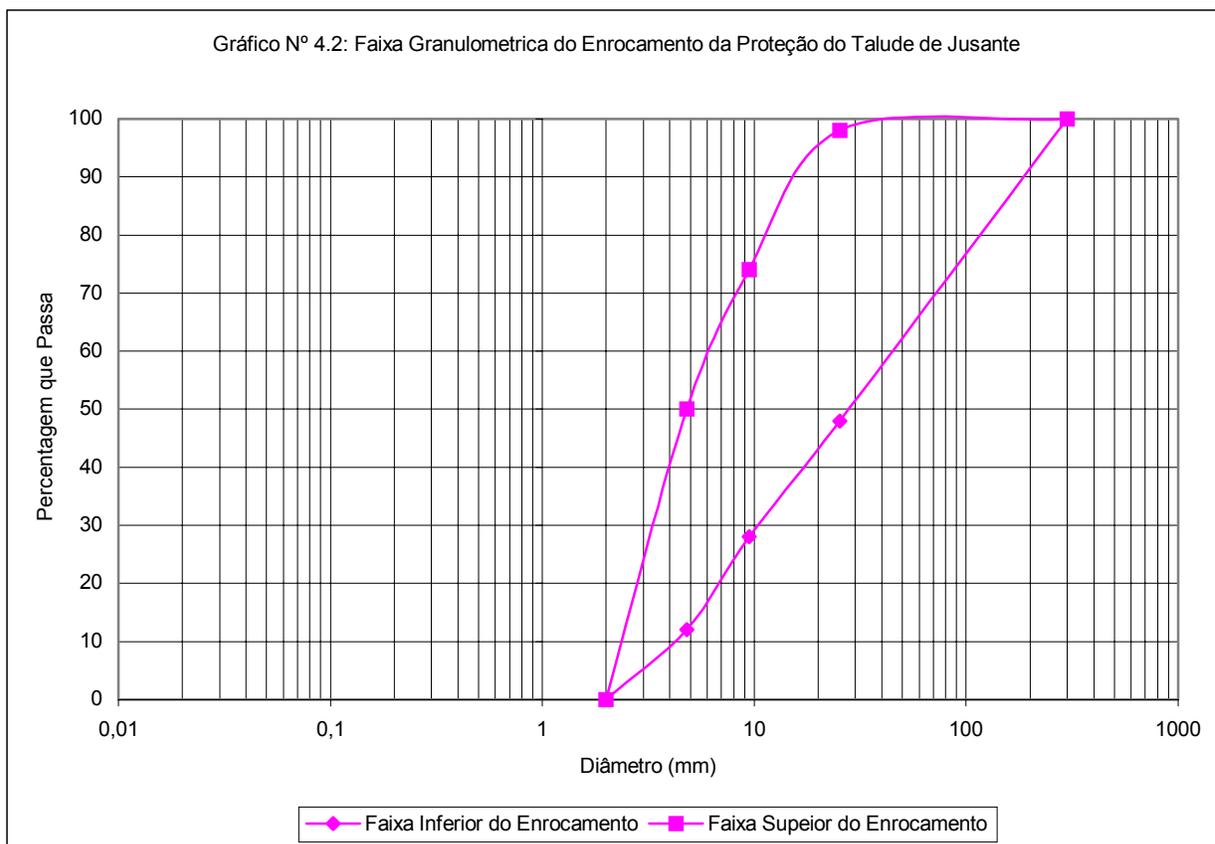
Gráfico N° 4.1: Faixa Granulometrica do Riprap



O talude de jusante terá inclinação de 1,0(V):2,0(H) em toda a sua extensão. Na cota 26,00m 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 n°4.4.

Quadro n°4.4: Material de Proteção do Talude de Jusante	
Peneira	Faixa Granulométrica (Percentagem que Passa)
300mm	100
1" (25,4mm)	48 – 100
3/8" (9,5mm)	28 – 74
N° 4 (4,8mm)	12 – 50
N° 10 (2,0mm)	0

No gráfico N° 4.2 é mostrado as faixas granulométricas dos materiais constituintes do enrocamento de proteção o talude de jusante.



Para a drenagem interna do maciço da Barragem Trairi, está prevista a construção de um filtro vertical e um tapete drenante. O filtro vertical terá 1,0m de espessura e será executado com areia grossa proveniente do areal A-01. O filtro ficará com topo na cota 31,90m, coincidindo com a cota da cheia decamilenar. O tapete horizontal consiste em um colchão de areia grossa proveniente do areal A-01, com espessura de 1,00m.

No Quadro n°4.5 é mostrada a faixa granulométrica a qual a areia grossa deverá estar enquadrada para formar o filtro e o tapete do sistema de drenagem interna da barragem.

Quadro n°4.5: Areia Grossa	
Peneira	Faixa Granulométrica (Percentagem que Passa)
2" (50,8mm)	100
1" (25,4mm)	100
3/4" (19,10mm)	94 – 100
1/2" (12,27mm)	78 – 100
3/8" (9,5mm)	68 – 98
N° 4 (4,76mm)	28 – 94
N° 10 (2,00mm)	11 – 76
N° 40 (0,42mm)	0 – 40
N° 100 (0,15mm)	0 – 10
N° 200 (0,075mm)	0

No gráfico 4.3 são mostradas as faixas granulométricas da areia grossa que formará o sistema de drenagem interna da barragem.

Entre as estacas 21 a 43 será executado um dreno de pé no talude de jusante consistindo num enrocamento de pedra com seção trapezoidal com crista na cota 21,00m e largura da crista de 2,0m, em toda a sua extensão, com talude de 1,0 (V): 1,5 (H). Entre as interfaces da base do terreno natural e enrocamento e maciço da barragem serão colocadas camadas de transição com 0,60m de espessura, sendo 0,30m de areia grossa e 0,30m de Brita “A”.

Entre as estacas 7 a 20 e entre as estacas 44-58 será executado um dreno de pé no talude de jusante, consistindo em um enrocamento de pedra com seção trapezoidal, com altura fixa de 2,0 m, contados a partir do terreno de escavação e largura de crista de 3,30 m, em toda a sua extensão. O enrocamento terá talude de 1,0 (V) : 2,0 (H). Entre a interface do encontro do paramento de jusante da barragem com o enrocamento, será colocada uma camada de transição, constituída por Brita “A”, com 1,0 m de altura, contados a partir do terreno de escavação, com largura de crista de 1,0 m e com talude de 1,0 (V) : 1,5 (H).



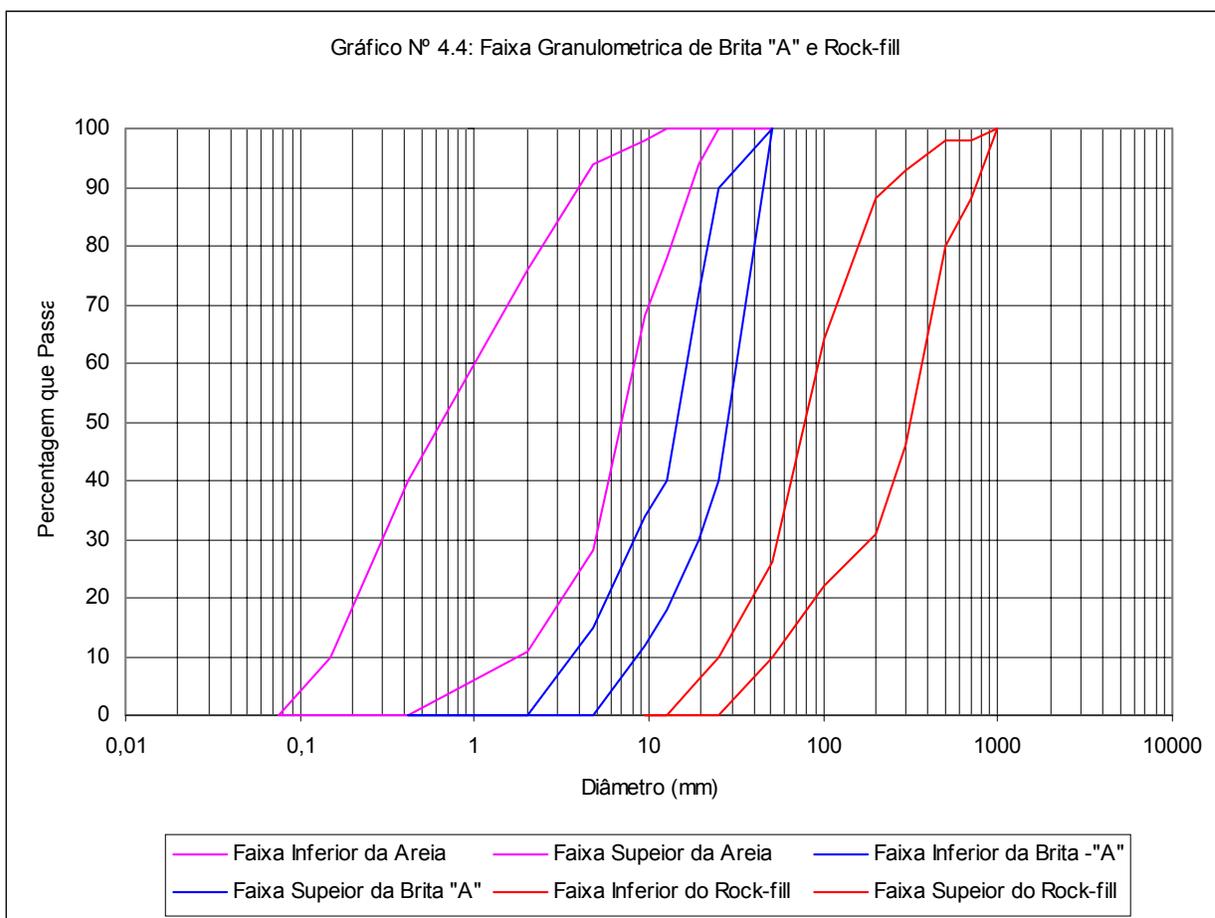
A areia grossa que formará a transição do rock-fill deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada no Quadro nº4.5. A brita da transição do rock-fill, denominada de brita “A”, deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada no Quadro nº4.6.

Quadro nº4.6: Brita “A”	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)
2” (50,8mm)	100
1” (25,4mm)	40 – 90
¾” (12,5mm)	30 – 72
½” (12,5mm)	18 – 78
3/8” (9,2mm)	12 – 34
Nº 4 (4,8mm)	0 – 15
Nº 10 (2,0mm)	0
Nº40 (0,42mm)	0

O enrocamento do rock-fill deverá estar enquadrado na faixa granulométrica apresentada no Quadro nº4.7.

Quadro nº4.7: Enrocamento do Rock-fill	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)
1000mm	100
700mm	80 – 98
500mm	46 – 98
300mm	31 – 93
200mm	22 – 88
100mm	10 – 64
2” (50,80mm)	0 – 26
1” (25,4mm)	0 – 10
¾” (19,1mm)	0 – 6
½” (12,7mm)	0
3/8” (9,5mm)	0

No gráfico 4.4 são mostradas as faixas granulométricas dos materiais que formam o sistema de drenagem interna da barragem, ou seja, areia grossa, brita “A” e enrocamento do rock-fill.



4.1.8 - Análise de Estabilidade

A geometria da Barragem Trairi 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.

As análises da estabilidade sísmicas foram efetuadas 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 da Jazida J-01 foram realizados ensaios de cisalhamento direto nos poços. Os parâmetros efetivos obtidos são apresentados no Quadro nº4.8:

Quadro nº4.8: Parâmetros Efetivos do Ensaio de Cisalhamento Direto			
Jazida	Furo	Coesão (kgf/cm ²)	Ângulo de Atrito
J - 01	F - 19	C = 0,17	$\phi = 35,1^\circ$
	F - 39	C = 0,18	$\phi = 33,4^\circ$
	F - 51	C = 0,17	$\phi = 34,3^\circ$
	F - 56	C = 0,15	$\phi = 33,8^\circ$
	F - 62	C = 0,20	$\phi = 33,4^\circ$
	F - 72	C = 0,25	$\phi = 33,0^\circ$
	F - 81	C = 0,12	$\phi = 36,2^\circ$

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 SC (Argila Arenosa), com densidade aparente seca máxima de laboratório igual a 1,860 tf/m³ e umidade ótima de 12,3%. Os ensaios de cisalhamento direto indicaram parâmetros efetivos de C'=17,7 kPa e ϕ' =34,2°.

Das conclusões das análises dos estudos geológicos e geotécnicos, foram estimados os parâmetros de resistência dos solos da jazida J-01. 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 nº4.9 mostrado a seguir indica os valores dos parâmetros geotécnicos adotados para a análise da estabilidade da barragem.

Quadro nº4.9: 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

4.1.8.1 - Resultados Obtidos

Após o processamento do programa SLOPE/W foram obtidos os seguintes resultados:

a) Análise da Estabilidade Estática

Os valores dos fatores de segurança obtidos na análise de estabilidade estática são mostrados no Quadro nº4.10:

Quadro nº4.10: Análise de Estabilidade – Estática				
Simulação	C.S. Mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,3	2,134	1,975	2,028
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	1,853	1,795	1,893
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	1,837	1,777	1,740
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,1	1,421	1,230	1,229

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

b) Análise Sísmica

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 nº4.11:

Quadro nº4.11: Análise de Estabilidade – Abalo Sísmico				
Simulação	C.S. Mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,0	1,643	1,526	1,569
Final de Construção – Talude de Jusante	1,0	1,454	1,410	1,503
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,0	1,437	1,398	1,379
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,0	1,120	1,002	1,004

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

4.1.9 - 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 da Jazida J-01. Os resultados dos ensaios são mostrados no Quadro nº3.8:

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 $5,36 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$, obtido com base na análise dos ensaios de permeabilidade realizados sobre as amostras do areal A-01.

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

$$Q_{\text{maciço}} = 1,8 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s} \cdot \text{m}$$

$$Q_{\text{fundação}} = 3,8 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s} \cdot \text{m}$$

4.1.10 - 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:

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

onde:

S = Recalque total em m

σ_{mi} = Tensão vertical no meio de cada lamela, em kgf/cm²

ΔH_i = 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 nº 4.12:

Considerando o peso específico aparente seco máxima obtida do ensaio de compactação é de 1,87tf/m³ e a umidade ótima correspondente é de 12,8%. O peso úmido será de 2,0tf/m³. 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 nº4.12: 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 nº4.12, foram determinados os módulos de elasticidade para uso no cálculo dos recalques. Esses resultados são mostrados no Quadro nº4.13:

Quadro nº4.13: Módulo de Elasticidade	
Tensão Confinante (kgf/cm²)	Módulo de Elasticidade (kPa)
1,0	12.000
2,0	17.000
4,0	19.000

O recalque elástico esperado é de 205,53mm. Esse rebaixamento do coroamento deve ser corrigido antes da colocação do revestimento primário, ao longo de toda a barragem.

4.1.11 - Sangradouro

O sangradouro da Barragem Trairi foi projetado com base nas informações dos estudos hidrológicos e, principalmente, nas condições geotécnicas do subsolo do local do sangradouro.

Os estudos geotécnicos localizados na área do sangradouro mostram que o topo rochoso está abaixo da cota 14,00m, ou seja, vinte metros abaixo do terreno natural.

Baseados nas características geotécnicas imaginou-se um sangradouro que pudesse conviver com essa realidade do subsolo e fosse capaz de receber as águas na cota 32,00m e restituir ao rio na cota 16,00m, sem ocasionar danos. Desta forma, concebeu-se um canal sangradouro composto de um canal de aproximação escavado na cota 28,50m, com largura de 90,00, até atingir um muro em perfil Creager. A montante do perfil Creager, numa distância de 20,0m, o canal de aproximação é revestido por uma laje de concreto, confinada por muros laterais. O perfil Creager está com a ogiva na cota 30,50m, composto de um muro de concreto ciclópico, assente na cota 26,50m, com largura de 80,00m. Na saída do Creager, o sangradouro passa para um canal rápido, com inclinação de 1,0 (H) : 5,0(V), de concreto armado, com muro de concreto nas laterais. O canal rápido entra na cota 15,50m em uma bacia de dissipação, com 20,00m de comprimento. A saída da bacia de dissipação fica na cota 17,00m. Nos primeiros 50,00m, o canal é trapezoidal revestido com uma camada de enrocamento, até atingir a cota 16,00m. A partir deste ponto, o canal de saída é sem revestimento, com largura de 90,00m, sem declividade.

4.1.11.1 - Canal do Sangradouro

O eixo longitudinal do canal sangradouro está localizado perpendicularmente ao eixo topográfico do sangradouro na estaca 2. O eixo longitudinal projetado possui uma extensão de 546,607, estando estaqueado de 20 em 20m. As estacas estão nomeadas em quilômetros. A estaca 0+000 está localizada na coordenada UTM 461.714,401 E e 9.628.002,710 N e a estaca 0+546,607 está localizada na coordenada UTM 462.017,601 E e 9.628.434,929 N. O eixo longitudinal do canal sangradouro cruza a estaca 2 do eixo topográfico do sangradouro na estaca 0+161,433.

O canal do sangradouro será escavado em solo, na cota 28,50m, com largura de base de 90,00m, com talude de 1,0 (V) : 2,0 (H).

O canal do sangradouro possui uma curva circular, com as características descritas no Quadro nº4.14

Quadro nº4.14: Elementos das Curvas do Canal Sangradouro							
Curva nº	Tipo	Estaca		AC	R (m)	T (m)	D (m)
		PC	PT				
1	Circular	0+17,306	0+113,833	55°18'33"	100,00	52,40	96,53

4.1.11.2 - Perfil Creager

A ogiva do perfil Creager foi dimensionada pelos procedimentos recomendados pelo Bureau of Reclamation. Esse dimensionamento é mostrado a seguir:

$$Q = 218m^3 / s$$

$$q = \frac{218}{80} = 2,72m^3 / s.m$$

Adotando $h_b = 1,10m$, tem-se:

$$h_a = \frac{q^2}{2.g.(P + h_b)^2}$$

Para $P = 2,0m$
 $h_b = 1,10m$

Tem-se:

$$h_a = \frac{2,72^2}{2 \times 9,81 \times (2,0 + 1,10)^2} = 0,04m$$

$$H_o = h_o + h_a$$

$$H_o = 1,10 + 0,04 = 1,14m$$

$$\frac{P}{H_o} = 1,75 \Rightarrow C_o = 3,90 ft^{1/2} / s = 2,15 m^{1/2} / s$$

A equação do Creager a jusante do eixo é dada por:

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

Onde K e n são obtidos de ábacos, em função da relação de $\frac{h_a}{H_o}$

Para $\frac{h_a}{H_o} = 0,035$, tem-se $K = 0,505$ e $n = 1,855$.

$$\frac{y}{1,14} = -0,505 \times \left(\frac{x}{1,14} \right)^{1,855}$$

$$y = -0,451 \cdot x^{1,855}$$

Fazendo a derivada de y em relação a x, tem-se:

$$\frac{dy}{dx} = -0,836 \cdot x^{0,855}$$

Fazendo $\frac{dy}{dx} = -0,80$, que corresponde um talude de 1:1,25 (V:H)

tem-se:

$$-0,80 = -0,836 \cdot x^{0,855}$$

$$x^{0,855} = 0,956$$

$$x_T = 0,948m$$

$$y_T = -0,451 \times 0,948^{1,855} = -0,408$$

A curva do Creager é dada no Quadro nº15.1 abaixo:

X	Y
0,00	0,00
0,10	-0,006
0,20	-0,022
0,30	-0,048
0,40	-0,082
0,50	-0,124
0,60	-0,174
0,70	-0,232
0,80	-0,298
0,90	-0,370
0,948	-0,408

As curvas circulares de montante da ogiva são determinadas em ábacos a partir da relação $\frac{h_a}{H_0} = 0,035$.

Dessas curvas tira-se:

$$\frac{x_c}{H_0} = 0,265 \Rightarrow x_c = 0,302$$

$$\frac{y_c}{H_0} = 0,115 \Rightarrow y_c = 0,131$$

$$\frac{R_1}{H_0} = 0,515 \Rightarrow R_1 = 0,587$$

$$\frac{R_2}{H_0} = 0,215 \Rightarrow R_2 = 0,245$$

4.1.11.3 - Determinação das Cotas da Linha D'água no Canal Rápido e Entrada da Bacia de Dissipação

O canal rápido inicia na cota 27,00m. A lâmina nesse ponto é obtida aplicando a equação de Bernoulli entre dois pontos, desprezando as perdas por atrito, conforme Figura nº4.3.

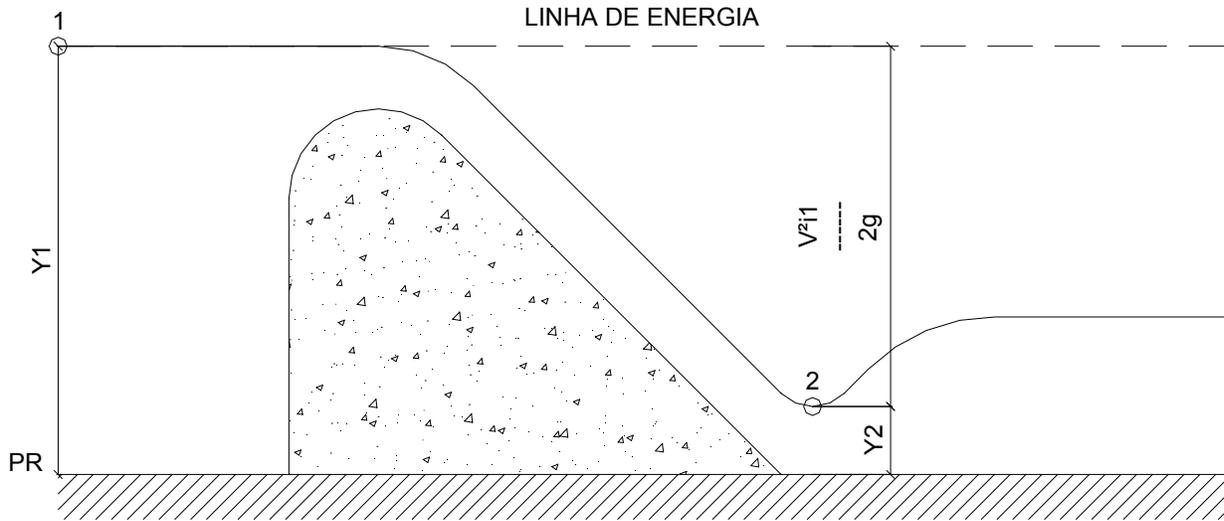


Figura nº4.3

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

$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

A lâmina milenar $L=1,20m$.

O plano de referência está na cota 27,00m. Logo, a cota do ponto 1 vale:

$$C_1 = 30,50 + 1,20 = 31,70m$$

$$y_1 = 31,70 - 27,00 = 4,70m$$

$$V_1 \cong 0,0$$

$$Q = V_2 \cdot y_2 \cdot L$$

$$V_2 = \frac{Q}{y_2 \cdot L} = \frac{218}{y_2 \cdot 80} = \frac{2,725}{y_2}$$

Portanto tem-se:

$$y_1 = y_2 + \frac{0,378}{y_2^2}$$

Substituindo y_1 por 4,70m e resolvendo esta equação, tem-se $y_2 = 0,290m$

Aplicando-se o “Direct Step Method” para uma variação da lâmina de 0,290m a 0,221m, obtém-se para $y=0,222$ a cota da entrada da bacia de dissipação. Os passos para evolução do cálculo são mostrados no Quadro nº4.16 a seguir. No Quadro nº4.16 são mostrados para cada lâmina atribuída a distância do ponto inicial do canal rápido.

O “Direct Step Method” consiste em pegar duas seções próximas onde as lâminas são conhecidas. A partir da geometria, obtém-se os elementos que permitem calcular o comprimento do segmento de canal pela seguinte expressão:

$$\Delta x = \frac{\Delta E}{S_0 - \overline{S_f}}$$

Onde:

Δx = comprimento do segmento do canal.

ΔE = variação de energia

S_0 = inclinação do canal

$\overline{S_f}$ = declividade média da linha de energia.

A energia é dada por:

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

A inclinação da linha de energia em cada seção é dada por:

$$\overline{S_f} = \frac{n^2 \cdot V^2}{R_H^{4/3}}$$

Onde:

n = coeficiente de rugosidade do concreto, adotado 0,014.

R_H = raio hidráulico

DIRECT STEP METHOD (VERTEDOIRO DA BARRAGEM TRAIRI)

	Q	218(m³/s)		n	0,013							
	Y1			L	80(m)							
Y1	A	Rh	Rh ^{4/3}	V	V ^{2/2} *g	E	S0	Sf	Sfmed	S0-Sfmed	ΔX	X
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,290	23,20	0,2879	0,1901	9,397	4,5003	4,790	-	0,0789535	-	-	-	0,000
0,295	23,60	0,2928	0,1945	9,237	4,3490	4,644	0,000	0,0745928	0,0767732	0,0767732	1,905	1,905
0,297	23,76	0,2948	0,1962	9,175	4,2906	4,588	0,000	0,0729364	0,0737646	0,0737646	0,764	2,669
0,300	24,00	0,2978	0,1988	9,083	4,2052	4,505	0,000	0,0705404	0,0717384	0,0717384	1,148	3,818
0,299	23,92	0,2968	0,1980	9,114	4,2334	4,532	0,200	0,0713275	0,0709339	0,1290661	0,211	4,028
0,298	23,84	0,2958	0,1971	9,144	4,2619	4,560	0,200	0,0721261	0,0717268	0,1282732	0,214	4,242
0,297	23,76	0,2948	0,1962	9,175	4,2906	4,588	0,200	0,0729364	0,0725312	0,1274688	0,218	4,460
0,296	23,68	0,2938	0,1953	9,206	4,3197	4,616	0,200	0,0737585	0,0733474	0,1266526	0,221	4,681
0,295	23,60	0,2928	0,1945	9,237	4,3490	4,644	0,200	0,0745928	0,0741756	0,1258244	0,225	4,907
0,294	23,52	0,2919	0,1936	9,269	4,3786	4,673	0,200	0,0754394	0,0750161	0,1249839	0,229	5,136
0,293	23,44	0,2909	0,1927	9,300	4,4086	4,702	0,200	0,0762985	0,0758689	0,1241311	0,233	5,369
0,290	23,20	0,2879	0,1901	9,397	4,5003	4,790	0,200	0,0789535	0,0776260	0,1223740	0,725	6,094
0,280	22,40	0,2781	0,1815	9,732	4,8275	5,107	0,200	0,0887213	0,0838374	0,1161626	2,731	8,824
0,270	21,60	0,2682	0,1730	10,093	5,1917	5,462	0,200	0,1001225	0,0944219	0,1055781	3,355	12,179
0,260	20,80	0,2583	0,1645	10,481	5,5987	5,859	0,200	0,113507	0,1068147	0,0931853	4,261	16,440
0,250	20,00	0,2484	0,1562	10,900	6,0556	6,306	0,200	0,1293172	0,1214121	0,0785879	5,686	22,126
0,240	19,20	0,2386	0,1480	11,354	6,5707	6,811	0,200	0,1481182	0,1387177	0,0612823	8,243	30,369
0,230	18,40	0,2287	0,1398	11,848	7,1545	7,384	0,200	0,170638	0,1593781	0,0406219	14,125	44,494
0,225	18,00	0,2237	0,1358	12,111	7,4760	7,701	0,200	0,1835784	0,1771082	0,0228918	13,826	58,320
0,224	17,92	0,2228	0,1350	12,165	7,5429	7,767	0,200	0,1863183	0,1849484	0,0150516	4,378	62,698
0,223	17,84	0,2218	0,1342	12,220	7,6107	7,834	0,200	0,1891117	0,1877150	0,0122850	5,438	68,136
0,222	17,76	0,2208	0,1334	12,275	7,6794	7,901	0,200	0,1919598	0,1905357	0,0094643	7,155	75,291
0,221	17,68	0,2198	0,1326	12,330	7,7491	7,970	0,200	0,194864	0,1934119	0,0065881	10,421	85,712

4.1.11.4 - Dimensionamento da Bacia de Dissipação

Da aplicação do Step Method, obteve-se na entrada da bacia de dissipação $y_1 = 0,222m$ e $V_1 = 12,275m/s$. O número de Froude na entrada da bacia de dissipação vale:

$$F = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot y_1}} = 8,31$$

A altura conjugada y_2 é obtida pela expressão:

$$y_2 = \frac{y_1}{2} \left[\sqrt{1 + 8F_r^2} - 1 \right]$$

Para: $y_1 = 0,222m$ e $F_r = 8,31$, tem-se $y_2 = 2,50m$.

O comprimento do ressalto é dado em função da altura conjugada. Do ábaco de Desing of Small Dams, tira-se:

$$\frac{L}{y_2} = 6,2 \therefore L = 15,50m$$

Adotou-se a bacia de dissipação com 20,0m de comprimento.

4.1.11.5 - Canal de Restituição

O canal de restituição tem seção trapezoidal, com fundo de 90,0m de largura e taludes de 1,0:2,5 (H:V).

A cota de fundo é 17,00m e a declividade de cálculo adotada igual 1,0 (V) : 10.000 (H). A lâmina nesse canal é 3,31m e o ressalto funcionará afogado.

A determinação da lâmina no canal de restituição foi feita aplicando a equação de Manning, dado por:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_H^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Onde:

Q = vazão em m³/s, igual a 218m³/s.

n = coeficiente de rugosidade, adotado 0,029.

A = área da seção do fluxo.

R_H = raio hidráulico.

I = declividade do fundo, igual a 0,0287.

4.1.11.6 - Rede de Drenagem Profunda e Chumbadores

O Consórcio Projetista concebeu uma rede de drenagem profunda na área do sangradouro e do canal rápido com o objetivo de aliviar as subpressões.

A rede de drenagem é formada por valas abaixo das estruturas de concreto com 0,80 m de largura e 0,50 m de profundidade.

As valas serão cheias com areia grossa envolta em manta geotêxtil Bidim OP-20. As águas serão coletadas em tubos perfurados de PEAD da marca KANANET com diâmetro de 200 mm.

Os tubos tronco condutores que retirarão as águas de baixo das áreas serão em PVC de 200 mm de diâmetro. As declividades de toda a rede de drenagem estão indicadas em Projeto.

Nas lajes do canal rápido e da bacia de dissipação está previsto a execução de chumbadores com 5,50 m de comprimento colocado em furos de 10 cm de diâmetro feito com equipamento roto-percussor. Em cada furo será colocada uma barra de aço CA-50 de diâmetro de $\phi=25,0$ mm. Os chumbadores serão espaçados em média de 2,25 m.

4.1.12 - Tomada D'água

A tomada d'água será implantada na estaca 13 do eixo barrável, cujo terreno natural está na cota 25,86m. A tomada d'água terá extensão de 90,0m. A tomada d'água consistirá de uma galeria tubular de diâmetro $\phi = 700$ mm de aço ASTM A-36. O eixo da galeria ficará na cota 18,00m. O corpo da galeria será envolto em concreto estrutural. A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de 0,638 m³/s.

O volume morto da Barragem Trairi será na cota 21,00m, com um armazenamento de 5,67hm³, correspondente a aproximadamente 10,7% da capacidade do reservatório.

No lado de montante, o extremo da tubulação será protegido por uma caixa de concreto, com grade de barra de ferro chato de malha 100mm x 100mm.

No lado de jusante serão instalados os equipamentos hidromecânicos de controle de vazão, composto por um registro de gaveta e uma válvula borboleta. Será também prevista uma caixa de jusante em concreto armado, com a finalidade de dissipar a energia e medir a vazão das águas de descarga da tomada d'água. A medição de vazão será feita através de um Sangradouro triangular isósceles.

4.1.12.1 - Canal da Tomada D'Água

Para a implantação da tomada d'água, foi projetados um canal escavado em solo, com base assente em rocha. O canal projetado terá uma extensão de 638,079m, com largura de base de 3,0m, com talude de 1,0 (V) : 2,0 (H) e escavado até a cota 17,25m.

O eixo longitudinal do canal da tomada d'água está localizado perpendicularmente ao eixo barrável na estaca 13. Quando projetado, o eixo longitudinal do canal foi estaqueado de 20 em 20 metros, nomeados em quilômetros. A estaca 0+000 do eixo do canal está localizado na coordenada UTM 462.158,087 E e 9.627.792,899 N e a estaca 0+638,079 está localizado na coordenada UTM 462.275,927 E e 9.628.106,126 N. O eixo longitudinal do canal da tomada d'água cruza a estaca 13 do eixo barrável na estaca 0+320,309.

O canal da tomada d'água possui duas curvas circulares com as características descritas no Quadro nº4.17:

Quadro nº4.17: Elementos das Curvas do Canal da Tomada D'Água							
Curva	Tipo	Estaca		AC	R (m)	T (m)	D (m)
		PC	PT				
1	Circular	0 + 188,556	0 + 260,973	82°59'00"	50,00	44,22	72,42
2	Circular	0 + 383,980	0 + 463,323	64°56'35"	70,00	44,55	79,34

4.1.13 - Apresentação do Projeto

No Tomo 6 são apresentados os desenhos do projeto da Barragem Trairi, como discriminado no Quadro nº4.18 a seguir.

Quadro Nº 4.18: Relação dos Desenhos

DESENHO Nº	DESCRIÇÃO
III – 6 – 01 / 37 – 010	Bacia Hidráulica
III – 6 – 02 / 37 – 010	Boqueirão e Sangradouro – Levantamento Topográfico
III – 6 – 03 / 37 – 010	Perfil Longitudinal pelo Eixo da Barragem
III – 6 – 04 / 37 – 010	Boqueirão e Sangradouro – Planta e Locação das Sondagens
III – 6 – 05 / 37 – 010	Boqueirão e Sangradouro – Perfil Longitudinal do Subsolo
III – 6 – 06 / 37 – 010	Planta Geral da Locação das Ocorrências
III – 6 – 07 / 37 – 010	Locação das Ocorrências
III – 6 – 08 / 37 – 010	Arranjo Geral da Barragem, Sangradouro e Tomada D'Água
III – 6 – 09 / 37 – 010	Perfil Longitudinal pelo Eixo da Barragem e Sangradouro
III – 6 – 10 / 37 – 010	Seção Máxima e Detalhes
III – 6 – 11 / 37 – 010	Seção Tipo e Detalhes
III – 6 – 12 / 37 – 010	Seções Transversais (01/04)
III – 6 – 13 / 37 – 010	Seções Transversais (02/04)
III – 6 – 14 / 37 – 010	Seções Transversais (03/04)
III – 6 – 15 / 37 – 010	Seções Transversais do Eixo Barrável (04/04)
III – 6 – 16 / 37 – 010	Seção da Tomada D'água e Detalhes
III – 6 – 17 / 37 – 010	Caixa de Montante e Caixa de Dissipação – Fôrma
III – 6 – 18 / 37 – 010	Armadura da Caixa de Dissipação da Tomada D'Água
III – 6 – 19 / 37 – 010	Armadura da Caixa de Montante da Tomada D'Água
III – 6 – 20 / 37 – 010	Escavação da Tomada D'água – Planta, Perfil e Seção Tipo
III – 6 – 21 / 37 – 010	Escavação do Sangradouro – Planta, Perfil e Seção Tipo
III – 6 – 22 / 37 – 010	Seções Transversais de Escavação do Sangradouro (01/02)

Quadro Nº 4.18: Relação dos Desenhos

DESENHO Nº	DESCRIÇÃO
III – 6 – 23 / 37 – 010	Seções Transversais de Escavação do Sangradouro (02/02)
III – 6 – 24 / 37 – 010	Arranjo Geral do Sangradouro
III – 6 – 25 / 37 – 010	Planta de Locação das Sondagens – Perfil Geotécnico do Sangradouro
III – 6 – 26 / 37 – 010	Projeto do Sangradouro com Sistema de Drenagem (01/03)
III – 6 – 27 / 37 – 010	Projeto do Sangradouro – Cortes e Detalhes (02/03)
III – 6 – 28 / 37 – 010	Projeto do Sangradouro – Cortes e Detalhes (03/03)
III – 6 – 29 / 37 – 010	Fôrma e Armadura do Sangradouro (01/06)
III – 6 – 30 / 37 – 010	Fôrma e Armadura do Sangradouro (02/06)
III – 6 – 31 / 37 – 010	Fôrma e Armadura do Sangradouro (03/06)
III – 6 – 32 / 37 – 010	Fôrma e Armadura do Sangradouro (04/06)
III – 6 – 33 / 37 – 010	Fôrma e Armadura do Sangradouro (05/06)
III – 6 – 34 / 37 – 010	Fôrma e Armadura – Bacia de Dissipação (06/06)
III – 6 – 35 / 37 – 010	Drenagem Superficial - Planta (01/02)
III – 6 – 36 / 37 – 010	Drenagem Superficial – Detalhes (02/02)
III – 6 – 37 / 37 – 010	Cortina de Injeção de Cimento

5 - CANTEIRO DE OBRAS

5. 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 das obras, ou seja, a 300m da barragem e a 100m do sangradouro. 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 nº5.1:

Quadro nº5.1: 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

6 - CRONOGRAMA FÍSICO

6. CRONOGRAMA FÍSICO

Previu-se de acordo com as dimensões das obras da Barragem Trairi 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 6.1.

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

Nesta 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 carregados pela cheia;
- d) Tratamento de fundações da barragem
- e) Execução da barragem no vale do rio
- f) Montagem dos equipamentos hidromecânicos.

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 6.1: Cronograma

7 - EQUIPAMENTO MÍNIMO

7. 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 nº7.1: 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.	Betoneiras 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