

## MÓDULO III PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM TRAIRI

### VOLUME II – ANTEPROJETO

### TOMO 1 – RELATÓRIO DE CONCEPÇÃO GERAL

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
00	Nov/01	Apresentação – Edição Preliminar	CONSÓRCIO	FAL/EVO	NKT	NKT
a	Mar/02	Revisão da Hidrologia e Concepção	CONSÓRCIO	JRPB/WBSR	TAD	NKT
b	Abr/02	Alterações segundo recomendações da 37ª Reunião do Painel de Segurança	CONSÓRCIO	JRPB/WBSR	TAD	NKT

## ÍNDICE

## ÍNDICE

<a href="#"><u>APRESENTAÇÃO</u></a> .....	5
<a href="#"><u>1 - INTRODUÇÃO</u></a> .....	8
<a href="#"><u>2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO</u></a> .....	12
<a href="#"><u>3 - ESTUDOS BÁSICOS</u></a> .....	15
<a href="#"><u>3.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS</u></a> .....	16
<a href="#"><u>3.1.1 - Cartografia</u></a> .....	16
<a href="#"><u>3.1.2 - Transportes de Coordenadas</u></a> .....	16
<a href="#"><u>3.1.3 - Transportes de Cotas</u></a> .....	17
<a href="#"><u>3.1.4 - Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro</u></a> .....	17
<a href="#"><u>3.1.5 - Levantamento da Bacia Hidráulica</u></a> .....	18
<a href="#"><u>3.1.6 - Levantamento das Jazidas</u></a> .....	20
<a href="#"><u>3.1.7 - Apresentação dos Estudos Topográficos</u></a> .....	20
<a href="#"><u>3.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS</u></a> .....	21
<a href="#"><u>3.2.1 - Geologia Regional</u></a> .....	21
<a href="#"><u>3.2.2 - Geologia Local</u></a> .....	23
<a href="#"><u>3.2.3 - Levantamento Geológico de Superfície</u></a> .....	26
<a href="#"><u>3.3 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS</u></a> .....	28
<a href="#"><u>3.3.1 - Investigação Geotécnica</u></a> .....	28
<a href="#"><u>3.3.2 - Estudos das Ocorrências de Materiais</u></a> .....	30
<a href="#"><u>3.4 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS</u></a> .....	32
<a href="#"><u>3.4.1 - Caracterização Física da Bacia Hidrográfica</u></a> .....	32
<a href="#"><u>3.4.2 - Estudos Hidroclimatológicos</u></a> .....	33
<a href="#"><u>3.4.3 - Estudos Pluviométricos</u></a> .....	35
<a href="#"><u>3.4.4 - Estudo de Cheias</u></a> .....	37
<a href="#"><u>3.4.5 - Curvas de Regulação do Reservatório</u></a> .....	41
<a href="#"><u>3.4.6 - Determinação da Capacidade do Reservatório</u></a> .....	45
<a href="#"><u>3.4.7 - Dimensionamento do Sangradouro</u></a> .....	46
<a href="#"><u>3.4.8 - Estudos Adicionais</u></a> .....	48
<a href="#"><u>4 - ANTEPROJETO DA BARRAGEM</u></a> .....	53
<a href="#"><u>4.1 - ALTERNATIVAS EXAMINADAS</u></a> .....	54
<a href="#"><u>4.2 - CRITÉRIO E JUSTIFICATIVA DE ESCOLHA DA ALTERNATIVA</u></a> .....	55
<a href="#"><u>4.3 - ESCOLHA DO LOCAL DO BARRAMENTO</u></a> .....	61
<a href="#"><u>4.3.1 - Considerações Finais</u></a> .....	62
<a href="#"><u>4.4 - CONCEPÇÃO GERAL DA BARRAGEM</u></a> .....	62
<a href="#"><u>4.4.1 - Anteprojeto do Sangradouro</u></a> .....	68

<a href="#">4.4.2 - Anteprojeto da Tomada D'água</a> .....	75
<a href="#">4.4.3 - Apresentação do Anteprojeto</a> .....	76
<a href="#">4.4.4 - Orçamento</a> .....	77
<a href="#">4.4.5 - Considerações Finais</a> .....	77
<a href="#">5 - ANEXOS</a> .....	78
<a href="#">5.1 - ORÇAMENTO</a> .....	79
<a href="#">5.2 - SANGRADOURO – LOCAÇÃO</a> .....	85
<a href="#">5.3 - SANGRADOURO – NOTAS DE SERVIÇO</a> .....	87
<a href="#">5.4 - SANGRADOURO – QUADRO DE CUBAÇÃO</a> .....	95

## 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 Viabilidade Técnica, Ambientais e Econômicas, EIAS-RIMAS, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais e Planos de Reassentamentos de Populações, Manuais de Operação e Manutenção e Avaliações 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.

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 no Meio Ambiente

VOLUME I – Estudos Básicos e Diagnóstico

Tomo 1 – Estudos Básicos

Tomo 2 – Diagnóstico Ambiental

VOLUME II – EIA/RIMA

Tomo 1 – Relatório Preliminar dos Estudos Ambientais

Tomo 2 – Relatório Final EIA/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

Tomo 3 – Levantamentos Topográficos

**VOLUME II – Plano de Reassentamento**

Tomo 1 – Diagnóstico

Tomo 2 – Programação das Ações

Tomo 3 – Detalhamento do Plano de Reassentamento

Tomo 4 – Relatório Final do Reassentamento

**Módulo V – Projeto Executivo das Adustras****VOLUME I – Estudos Básicos**

Tomo 1 – Levantamentos Topográficos

Tomo 2 – 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 Medição e Pagamento

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 II – Anteprojeto, Tomo 1 – Relatório de Concepção Geral, e é parte integrante do Módulo III.

## 1 - INTRODUÇÃO



## 1 - INTRODUÇÃO

Atendendo ao disposto nos Termos do Contrato Nº 005-PROGERIRH/PILOTO/CE/SRH/2001 e seus correspondentes anexos, compostos do Edital de Concorrência SDP Nº 05/00-PROGERIR/SRH/CE e a Proposta Técnica e de Preços, referente ao Projeto Executivo da Barragem Trairi, no Estado do Ceará, estamos apresentando o presente relatório, descrevendo as etapas que foram empreendidas no “Módulo III” do mencionado contrato, inerentes ao Anteprojeto 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
- Anteprojeto 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  
 Coordenadas Geográficas: ..... 3°16”40’ S e 39°16”08’ W  
 Sistema: ..... Trairi  
 Rio Barrado: ..... Rio Trairi  
 Proprietário: ..... Estado do Ceará/SRH  
 Autor do Projeto: ..... Consórcio JP-ENG/AGUASOLOS/ESC-TE  
 Data do Projeto: ..... Abril/2002

– **Bacia Hidrográfica**

Área: .....	327,02 km <sup>2</sup>
Precipitação média anual:.....	1.550,5 mm
Evaporação média anual: .....	1.914,7 mm

– **Características do Reservatório**

Área da bacia hidráulica (cota 30,50m): .....	1.016 ha
Volume acumulado (cota 30,50 m): .....	58,8 hm <sup>3</sup>
Volume afluente médio anual: .....	20,1 hm <sup>3</sup>
Volume morto do reservatório:.....	5,67 hm <sup>3</sup>
Volume de alerta:.....	21,0 hm <sup>3</sup>
Vazão regularizada (90%): .....	0,618 m <sup>3</sup> /s
Vazão afluente max. de projeto (TR=1.000anos) .....	661 m <sup>3</sup> /s
Vazão max. de projeto amortecida (TR=1.000anos) .....	218 m <sup>3</sup> /s
Vazão afluente max. de projeto (TR=10.000anos) .....	845 m <sup>3</sup> /s
Vazão max. de projeto amortecida (TR=10.000anos) .....	292 m <sup>3</sup> /s
Nível d'água máximo normal: .....	30,5 m
Nível d' água max. maximorum (TR=1.000anos): .....	31,70 m
Nível d' água max. maximorum (TR=10.000anos): .....	31,90 m

– **Barragem**

Tipo:.....	homôgenea de Solo
Altura máxima: .....	19,09 m
Largura do coroamento:.....	6,0 m
Extensão pelo coroamento: .....	1280m (margem direita + margem esquerda)
Cota do coroamento: .....	El. 34,00 m
Volume de escavação (fundação): .....	109.507,10 m <sup>3</sup>
Volume do maciço e cut off:.....	571.158,90 m <sup>3</sup>
Volume de enrocamento (rip-rap e rock-fill):.....	40.365,10 m <sup>3</sup>
Volume de transições: .....	11.265,90 m <sup>3</sup>
Volume de areia (filtro e transições): .....	30.040,40 m <sup>3</sup>
Largura máxima da base: .....	93,9 m
Talude de montante: .....	1,0 v: 2,5 h
Talude de jusante: .....	1,0 v: 2,0h

– **Tomada de água**

Tipo: ..... galeria com tubo de ferro fundido  
 Número de condutos:..... 1 (um)  
 Diâmetro: ..... 700 mm  
 Comprimento do conduto:..... 99,45 m  
 Cota da geratriz inferior a montante: ..... El. 17,65 m  
 Cota de geratriz inferior a jusante: ..... El. 17,65 m  
 Volume de escavação:..... 400,00 m<sup>3</sup>  
 Volume de concreto armado: ..... 45,00 m<sup>3</sup>  
 Volume de concreto de regularização: ..... 3,20 m<sup>3</sup>  
 Comprimento: ..... 107,30 m  
 Localização: ..... ombreira direita estaca 42

– **Vertedouro**

Tipo: perfil creager, bacia de dissipação, canal rápido e canal escavado em solo.  
 Largura: ..... 80 m  
 Extensão total do canal:..... 420 m  
 Vazão máxima (Tr=10.000 anos):..... 292 m<sup>3</sup>/s  
 Lâmina máxima prevista (T.R=1000anos): ..... 1,2 m  
 Lâmina máxima prevista (T.R=10.000anos): ..... 1,4 m  
 Borda livre:..... 2,10 m  
 Volume de escavação:..... 487.278,27 m<sup>3</sup>  
 Volume de concreto ogiva: ..... 1.642,40 m<sup>3</sup>  
 Volume de concreto da bacia - Lajes:..... 5.812,80 m<sup>3</sup>

– **Muros de contenção**

Material: ..... concreto estrutural  
 Altura máxima: ..... 5,50 m  
 Comp. na margem direita: ..... 174,80 m  
 Comp. na margem esquerda: ..... 174,80 m  
 Volume de concreto estrutural: ..... 1.382,16 m<sup>3</sup>

## 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 km<sup>2</sup> 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.

##### 3.1.2 - Transportes de Coordenadas

Foram utilizados como ponto de partida, marcos geodésicos do IBGE existentes na área em estudo. Inicialmente foram implantados os marcos (M-01 a M-04), posteriormente complementados com mais dois marcos (M-05 e M-06), que serviram de origem para o traçado da malha de coordenadas necessárias à elaboração das plantas topográficas. O Quadro 3.1, 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 3.1 – Marcos Implantados na Barragem Trairi**

Ponto	Localização (*)	Coordenadas UTM (m)		Longitude Geodésica	Latitude Geodésica
		Norte	Este		
Marco M-01	Km 1,42 LD	9.628.137,081	461.750,503	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 vôos aerofotogramétricos.

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

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

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, semi-mate com graduação que permitiu bom contraste.

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

#### ▪ 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°17'58,5465" S e longitude 39°37'33,9045" W e altitude de 53,65 m, 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.

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 scannerização dos negativos fotogramétricos na escala 1:15.000, com utilização de “scanner fotogramétrico” com capacidade de geração de imagens digitais com pixel de 28 microns.

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

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

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.

### **3.1.6 - Levantamento das Jazidas**

As equipes de estudos geológicos e geotécnicos encontravam-se em campo realizando os serviços expeditos de identificação e classificação das áreas de ocorrências de materiais que poderão ser utilizados na construção da barragem. Estas áreas foram informadas a equipe topográfica e foram locadas em relação ao eixo da barragem.

### **3.1.7 - Apresentação dos Estudos Topográficos**

No Tomo 2 são apresentados os desenhos relativos aos estudos topográficos da bacia hidráulica, do boqueirão e do sangradouro, conforme a relação dos desenhos a seguir:

II – 2 – 01 / 20 – 02 - Planta da Bacia Hidráulica

II – 2 – 02 / 20 – 02 - Boqueirão e Sangradouro – Planta e Locação das Sondagens

II – 2 – 03 / 20 – 02 - Planta Geral de Locação das Ocorrências

II – 2 – 04 / 20 – 02 - Locação das Ocorrências

## 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 Trairí, 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 Indiviso de idade Tércio-quadernária. 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 representada 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 Trairí 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, anfíbolito 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

gnaisse 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 gabróideas 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, representados 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 foscos, bem selecionados, de coloração variando de cinza-claro a alaranjado no topo e avermelhado na base.
- Aluviões: são formações recentes, de idade quaternária, 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 terciário-quaternários 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 talvegues 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 Trairí, 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 descritos, 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 / 9.626.994 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/9.627.440N, 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 Trairí, ou seja, no extremo da bacia hidráulica, ocorrem as rochas gnáissicas, que afloram próximo às margens e no leito do Rio Trairí, 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 fraturada, 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.

As aluviões constituem depósitos sedimentares recentes de idade quaternária que formam faixas alongadas estreitas e sinuosas depositadas nas calhas e margens do Rio Trairí 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 a 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 a 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 estaqueado 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 cacimão 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 caulíníficas, de coloração mosqueada de tons branco, vermelho e amarelo. O material escavado tem ótima consistência, pois as paredes do cacimão 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 Trairí, 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 formados por areia fina, silte e argila, de cor cinza clara a escura, ricos em matéria orgânica. As calhas do Rio Trairí 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 3.2. No Desenho II – 2 – 02 / 20 – 02, apresentado no Tomo 2 do Anteprojeto, é mostrada a planta de locação dos furos de sondagem.

<b>Quadro 3.2: Sondagem à Percussão e Mista – Barragem e Sangradouro</b>		
<b>SONDAGEM Nº</b>	<b>ESTACA</b>	<b>LOCAL</b>
<b>SANGRADOURO</b>		
SP-02	10 + 0,00	Eixo
SP-05	5 + 10,00	Eixo
SP-08	3 + 10,00	Eixo
SP-26	2 + 10,00	Eixo
SP-27	5 + 0,00	
SP-28	2+10,00	Eixo
<b>BARRAGEM</b>		
SP-10	21 + 0,00	Eixo
SP-15	51 + 0,00	Eixo
SP-17	72 + 0,00	Eixo
SP-20	76 + 10,00	Eixo
SP-21	25 + 0,00	Eixo
SP-22	25 + 0,00	60m para montante
SP-23	25 + 0,00	60m para jusante
SP-24	17 + 0,00	Eixo
SP-25	13 + 0,00	Eixo
SP-29	46 + 0,00	Eixo
SP-30	55 + 0,00	Eixo
SM-11	29 + 0,00	Eixo
SM-12	34 + 10,00	Eixo
SM-13	38 + 10,00	Eixo
SM-14	42 + 0,00	Eixo

Além das sondagens percussivas e rotativas, foram realizados, conforme o quadro 3.3, os seguintes poços de inspeção a pá e picareta:

### Quadro 3.3: Sondagem à Pá e Picareta

SONDAGEM N°	ESTACA	LOCAL
<b>SANGRADOURO</b>		
SPP-01	1 + 0,00	Eixo
SPP-02	4 + 0,00	Eixo
SPP-03	7 + 0,00	Eixo
SPP-04	10 + 10,00	Eixo
SPP-05	1 + 0,00	Eixo
SPP-06	4 + 0,00	Eixo
SPP-07	7 + 0,00	Eixo
SPP-08	9 + 0,00	Eixo
SPP-09	11 + 0,00	Eixo

#### 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 Desenho II – 2 – 02 / 20 – 02, Tomo 2 do Anteprojeto.

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 Desenho II – 2 – 03 / 20 – 02 do Tomo 2 do Anteprojeto.

### 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 pedra, denominada de P-01. O Desenho N° II – 2 – 04 / 20 – 02 do Tomo 2 do Anteprojeto mostra 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 Desenho N° II – 2 – 05 / 20 – 02 do Tomo 2 do Anteprojeto é apresentada a localização da jazida.

No Quadro 3.4 é apresentada a características da jazida.

<b>Quadro 3.4: Característica da Jazida</b>	
<b>Característica</b>	<b>Jazida J-01</b>
ÁREA (m <sup>2</sup> )	340.000
VOLUME ÚTIL (m <sup>3</sup> )	363.800
VEGETAÇÃO	ROÇADO
PROPRIEDADE	JOSÉ HELDECY E MIGUEL ARCANJO
ESPESSURA MÉDIA DE ESPURGO (m <sup>2</sup> )	0,27
QUANTIDADE DE FUROS	88
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 3.5 são apresentados os valores médios dos ensaios geotécnicos de laboratório.

Quadro 3.5: Valores Médios dos Ensaio de Laboratório – Jazidas												
GRANULOMETRIA (% QUE PASSA)								PLASTICIDADE (%)		USC	COMPACTAÇÃO	
JAZIDA	2”	1”	3/8”	Nº 4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP		Hot	$\gamma_{\text{máx}}$ (g/cm <sup>3</sup> )
J-01	100	100	100	100	94	67	22	29	9	SC	12,3	1,975

### 3.3.2.2 - Areal

Foram identificados dois areais para a construção da barragem, denominados de A-01 e A-02. No Desenho Nº II – 2 – 05 / 20 – 02 do Tomo 2 do Anteprojeto são apresentadas as localizações dos areais. O areal A-01 está localizado no próprio rio Trairi, enquanto o areal A-02 está localizado no Córrego Fundo.

Para os areais foram realizados em laboratório, ensaios geotécnicos de granulometria por peneiramento, cujos valores médios são apresentados no Quadro 3.6 a seguir.

Quadro 3.6: Valores Médios dos Ensaio de Laboratório – Areal												
Granulometria (% que passa)											D <sub>máx</sub>	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

### 3.3.2.3 - PEDREIRA

Foi identificada uma pedra para a construção da barragem, denominada de P-01. No Desenho Nº II – 2 – 05 / 20 – 02 do Tomo 2 do Anteprojeto é apresentado a localização da pedra.

No Quadro 3.6 é apresentado a característica da pedra.

Quadro 3.6: Característica da Pedreira	
Característica	Pedreira P-01
ÁREA (m <sup>2</sup> )	45.000
VOLUME ÚTIL (m <sup>3</sup> )	135.000
PROPRIETÁRIO	CELSO DIAS MOURA
VEGETAÇÃO	RALA

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



No Quadro 3.7 é apresentado o valor médio do ensaio geotécnico de laboratório.

<b>Quadro 3.7: Valor Médio do Ensaio de Laboratório – Pedreira</b>
<b>Los Angeles</b>
30%

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.

### 3.4 - 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 km<sup>2</sup>, 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 compactidade ( $K_c$ ) 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 km<sup>2</sup>. 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 3.8 a seguir.

**Quadro 3.8 – 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 aplicado 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, 1990) , obtém-se o Quadro 3.9.

**Quadro 3.9 - Balanço Hídrico segundo Thornthwaite e Mather**

**CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO = 100 mm**

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

De acordo com esta Classificação, 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, 1990), 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 3.10.

**Quadro 3.10 - 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 (1990)

### 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 3.11 resume esta análise de freqüência.

**Quadro 3.11 - 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 3.12 mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), enquanto que no Quadro 3.13 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 3.12 - 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 3.13 - 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 3.14.

**Quadro 3.14 - 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 a 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 (Torrico, 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 3.15). No cálculo da chuva reduzida foi utilizado o fator redutor igual a  $0,87 \cdot (1 - W \cdot \log(A/Ao))$ .

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 3.15 - Valores 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 das curvas 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 3.16 e 3.17).

**Quadro 3.16 - 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	<b>485,38</b>
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 3.17 - 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	<b>756,02</b>
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 (1990).

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 km<sup>2</sup>, 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  $Q_{p1} = 661$  m<sup>3</sup>/s para  $Tr = 1.000$  anos;
- Vazão de pico  $Q_{p2} = 845$  m<sup>3</sup>/s para  $Tr = 10.000$  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);
- $q_p = 137,31$  m<sup>3</sup>/s/cm (vazão de pico).

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

- $Q_{p1} = 485,38$  m<sup>3</sup>/s, para  $Tr = 1.000$  anos;
- $Q_{p2} = 756,02$  m<sup>3</sup>/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 (1990) foram utilizadas aqui para a geração de séries sintéticas de vazão, a saber:

- lâmina média escoada: 202 mm
- volume afluyente médio escoado ( $\mu$ ): 66.058.040 m<sup>3</sup>

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

No Quadro 3.18 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados para o reservatório a montante do açude Trairi.

**Quadro 3.18 – Volumes evaporado, sangrado e liberado, vazão regularizada com 90% de garantia para o açude a montante do Açude Trairi.**

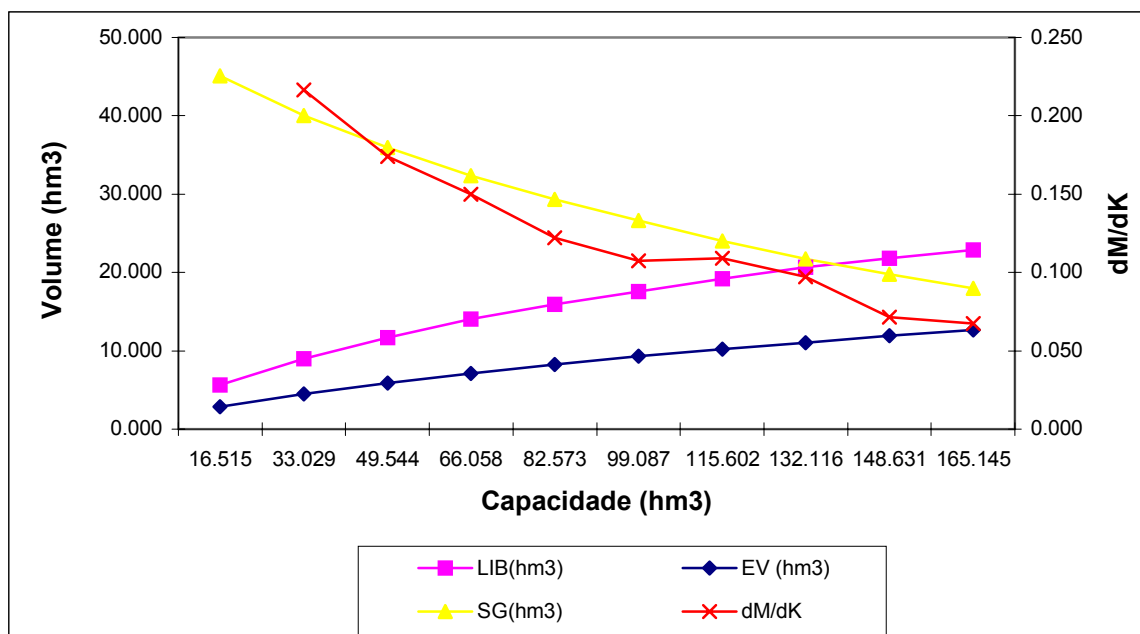
K (hm <sup>3</sup> )	F <sub>k</sub> =K/ $\mu$	%LIB	LIB (hm <sup>3</sup> /ano)	%EV	EV (hm <sup>3</sup> /ano)	%SG	SG (hm <sup>3</sup> /ano)	Q90 (m <sup>3</sup> /s)	M90 (hm <sup>3</sup> /ano)
24	0,71	26,43	8,905	7,03	2.368	66,55	22,426	0,297	9,363

No Quadro 3.19 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de f<sub>k</sub> (fator de capacidade = K/ $\mu$ ) para o açude Trairi. A Figura 3.1 apresenta as curvas de regulação para o reservatório Trairi, que nada mais é que a graficação dos valores apresentados no Quadro 3.19.

**Quadro 3.19 - Estudo incremental de capacidades do Reservatório Trairi**

K (hm <sup>3</sup> )	F <sub>k</sub> =K/μ	%LIB	LIB (hm <sup>3</sup> /ano)	%EV	EV (hm <sup>3</sup> /ano)	%SG	SG (hm <sup>3</sup> /ano)	DM/dK	Q90 (m <sup>3</sup> /s)	M90 (hm <sup>3</sup> /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 3.1 e dos dados apresentados no Quadro 3.19 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 hm<sup>3</sup> ( $f_k = 0,89$ ), 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 hm<sup>3</sup>/ano, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada de 0,638m<sup>3</sup>/s com 90% de garantia.



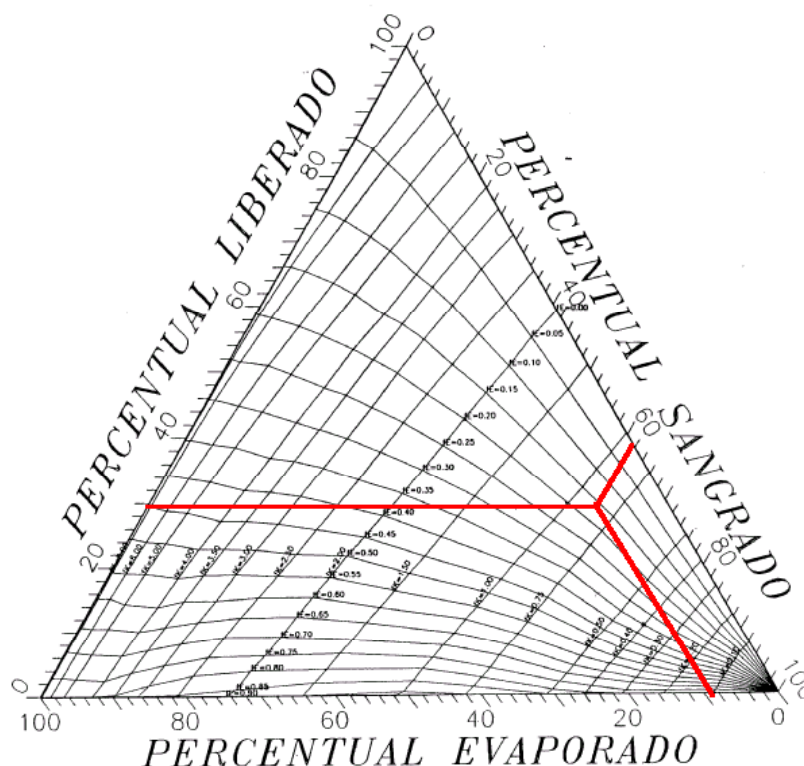
**Figura 3.1 - Curvas de Regulação do Reservatório Trairi – Resolução direta da equação do balanço hídrico.**

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 3.20). A Figura 3.2 apresenta o Diagrama Triangular ( $CV = 1,1$ ) e nele o caso da Barragem Trairi.

**Quadro 3.20 - Distribuição do volume afluyente e  $Q_r$  (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 ( $\text{hm}^3/\text{ano}$ ) SG - Volume Sangrado ( $\text{hm}^3/\text{ano}$ )  
 LIB - Volume Liberado ( $\text{hm}^3/\text{ano}$ ) Qr 90% - Vazão regularizada com 90% de garantia ( $\text{m}^3/\text{s}$ )



**Figura 3.2 – 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 no item 3.4.5.2 demonstram que a faixa de volumes estudada está bem aquém da hidrológicamente possível, fato este refletivo 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:

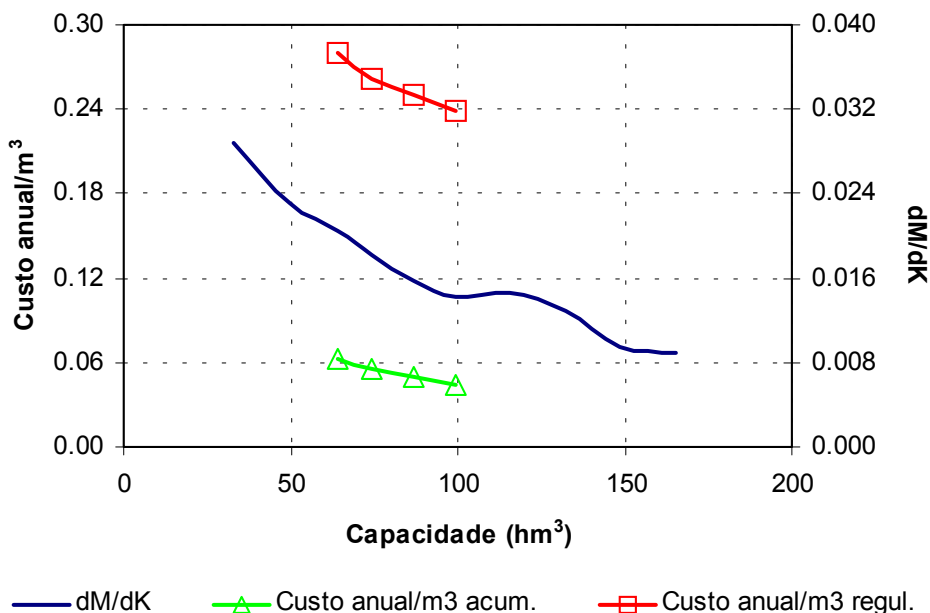
- Variação do custo anual do  $\text{m}^3$  de água acumulada em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos à uma taxa de 8%;
- Variação do custo anual do  $\text{m}^3$  de água regularizada com 90% de garantia, em função da cota de soleira do reservatório, para um período de 30 anos à uma taxa de 8%;
- Variação do ganho em unidades de volume regularizado por unidade de volume acrescido na capacidade do reservatório ( $\text{dM}/\text{dK}$ );

A análise dos resultados da Figura 3.3 mostra que:

- O custo anual do  $\text{m}^3$  regularizado variou entre R\$ 0,037 (cota 31 m) e R\$ 0,032 (cota 34 m).
- O custo anual do  $\text{m}^3$  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  $\text{m}^3$  regularizado como também de custo anual do  $\text{m}^3$  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 3.3 - 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 discretizado de equação de continuidade concentrada e na relação entre vazão e armazenamento.

O vertedouro 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 3.21, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

**Quadro 3.21 - Resultado da simulação**

<b>L</b> <b>(m)</b>	<b>Q<sub>out</sub></b> <b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Cota</b> <b>(m)</b>	<b>Lâmina</b> <b>(m)</b>
<b>Perfil Creager: Z<sub>w</sub> = 30.5 m</b>			
<b>Tr = 1000 anos - Q<sub>in</sub> = 661 m3/s</b>			
80	218	31.7	1.2
100	243	31.6	1.1
120	267	31.5	1.0
<b>Tr = 10000 anos - Q<sub>in</sub> = 845 m3/s</b>			
80	292	31.9	1.4
100	328	31.8	1.3
120	361	31.8	1.3

L = Largura do Sangradouro

Z<sub>w</sub> = cota da soleira do sangradouro

Q<sub>in</sub> = Vazão afluyente ao reservatório

Q<sub>out</sub> = Vazão de saída (sangradouro)

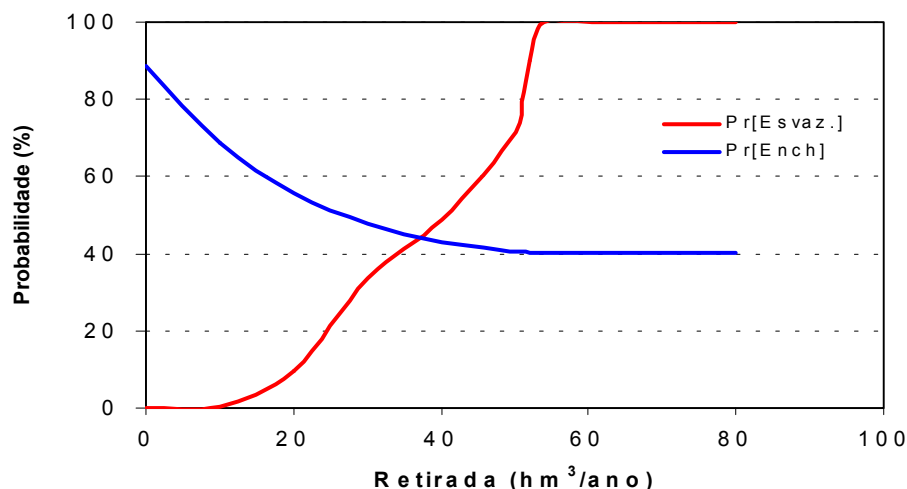
### 3.4.8 - Estudos Adicionais

A seguir são apresentados capítulo apresenta 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 intermitent rivers under high evaporation rates, PhD Thesis, Colorado State University, Fort Collins, 1987, pp. 133.)

Também foi realizada a análise probabilística de esvaziamento e de enchimento na fase de equilíbrio. A última análise mostra que, no equilíbrio, em cerca de 40% dos anos ocorre sangria para uma retirada anual de 50 hm<sup>3</sup>. A Figura 3.4 apresenta as duas curvas probabilísticas de esvaziamento e enchimento. Nesta Figura pode-se observar que para uma retirada igual a 20 hm<sup>3</sup>/ano tem-se uma probabilidade de esvaziamento na fase de equilíbrio próximo de 10%, o que implica em uma garantia de 90%.



**Figura 3.4 - 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  $\Delta t$  igualmente espaçados durante um tempo suficientemente longo. O açude Trairi foi simulado durante 100 anos com  $\Delta t$  igual a 10 anos. O Quadro 3.22 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 hm<sup>3</sup>, havendo uma redução de 24,5% no volume útil do açude Trairi, o qual era inicialmente de 58,8 hm<sup>3</sup>. 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 3.22 - Simulação do assoreamento do reservatório ao longo do tempo**

Período Parcial (anos)		Volume inicial (hm <sup>3</sup> )	Volume/ $\mu$	Er	$\gamma_T$ (t/m <sup>3</sup> )	Sedimento Período (10 <sup>3</sup> t)	Sedimento Acumulado (hm <sup>3</sup> )	Volume Efetivo ou útil (hm <sup>3</sup> )
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

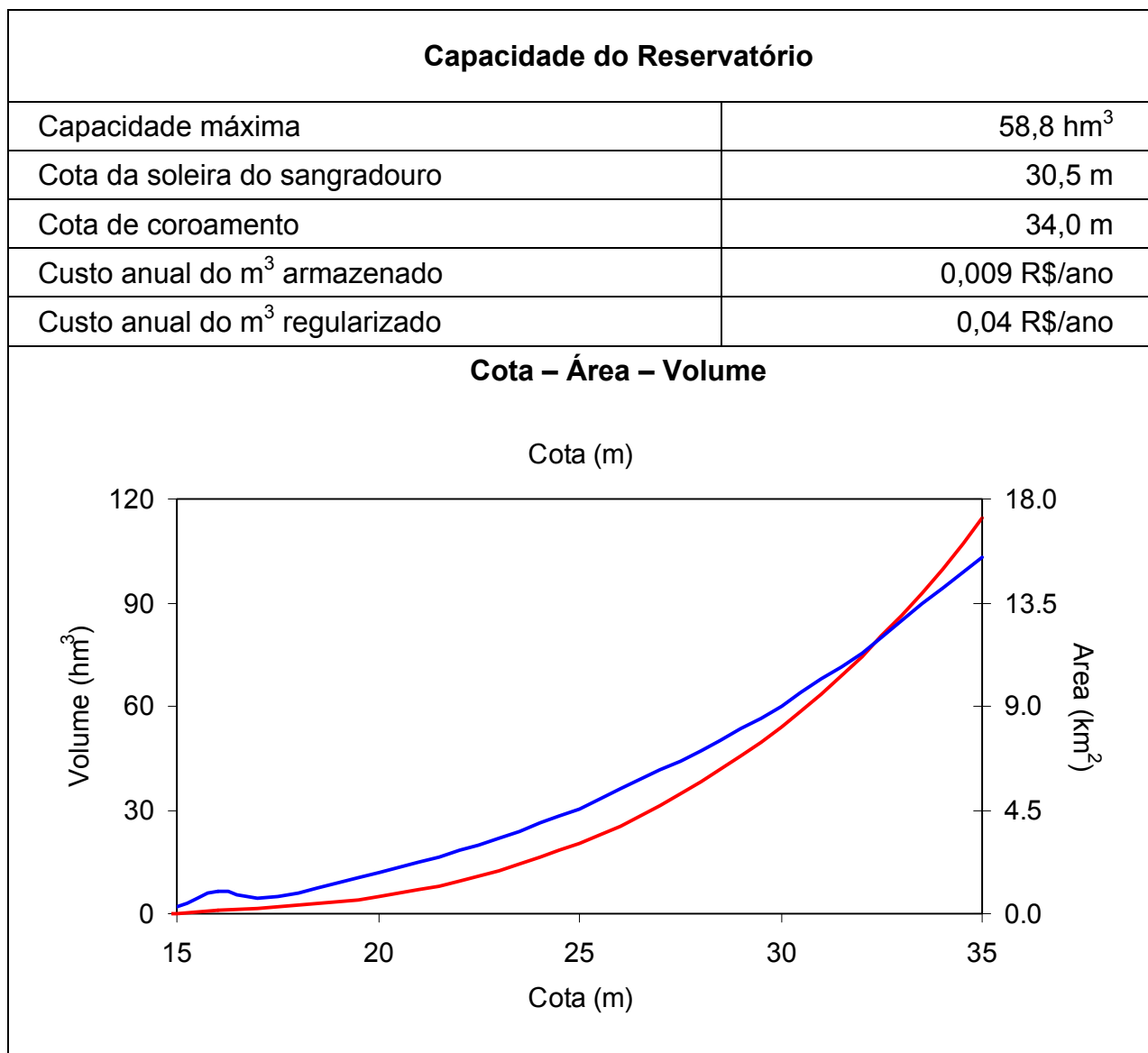
Veiga Lopes, Ayde, Aplicação de Métodos de Previsão de Assoreamento de Reservatórios. Dissertação de Mestrado, Campinas, SP (1993).

**Quadro 3.23 - Sumário Técnico dos Estudos Hidrológicos**

<b>Caracterização da Bacia</b>	
Área da bacia do Açude Trairi	327,02 km <sup>2</sup>
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

<b>Hidroclimatologia</b>	
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'

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



### Capacidade de Regularização

*Resolução Direta da Equação do Balanço Hídrico – Cota 30,5 m*

Regularizado - % (hm <sup>3</sup> /ano)	Sangrado - % (hm <sup>3</sup> /ano)	Evaporado - % (hm <sup>3</sup> /ano)	Qr 90% (m <sup>3</sup> /s)
19,190 – 28,%	42,806 – 62,4%	6,575 – 9,6%	0,638

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

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

#### 4 - ANTEPROJETO DA BARRAGEM

## 4 – ANTEPROJETO DA BARRAGEM

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

O anteprojeto é abordado e descrito nos seguintes tópicos, a saber:

- Alternativas Examinadas
- Critério e Justificativa de Escolha da Alternativa
- Concepção Geral da Barragem

### 4.1 - ALTERNATIVAS EXAMINADAS

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

#### 1. Maciço Tipo – 1: Barragem de Enrocamento:

- ✓ A barragem é constituída de um maciço de enrocamento, com núcleo impermeável central com material proveniente da jazida J-01. Os espaldares de montante e de jusante serão construídos com material pétreo proveniente da pedreira P-01.
- ✓ O núcleo será construído com um talude, tanto de montante como de jusante, de 1,0 (H) : 0,5 (V), protegido por uma zona de transição. A zona de transição será proveniente do areal A-01 e da pedreira P-01.
- ✓ De acordo com a investigação geotécnica, as sondagens apresentaram ao longo do eixo barrável uma camada permeável, determinando a necessidade de uma trincheira corta fluxo, impermeável, o cutoff. Logo, foi previsto um cutoff assente em rocha ou embutido em alteração de rocha. Os taludes de escavação serão de 1,0 (H) : 1,0 (V).
- ✓ Os espaldares de montante e de jusante serão assentes no topo rochoso ou incrustado em alteração de rocha.
- ✓ Na Figura Nº 4.1 é apresentado a seção tipo em enrocamento da Barragem Trairi.

## 2. Maciço Tipo – 2: Barragem Homogênea de Terra

- ✓ Foi idealizada uma barragem em seção homogênea, constituída com os materiais da jazida J-01 e materiais das escavações do sangradouro. O talude de montante terá inclinação de 1,0 (H) : 2,5 (V). O paramento de montante será protegido por riprap. O talude de jusante terá inclinação de 1,0 (H) : 2,0 (V). O sistema de drenagem interna compreende em um filtro tipo chaminé, com material do areal A-01 e um tapete drenante tipo sanduíche, com material do areal A-01 e da pedreira P-01. Será executado um dreno de pé, rock-fill de seção trapezoidal, de altura de 2,0m.
- ✓ De acordo com a investigação geotécnica, as sondagens apresentaram ao longo do eixo barrável uma camada permeável, determinando a necessidade de uma trincheira corta fluxo, impermeável, o cutoff. Logo, foi previsto um cutoff assente em rocha ou embutido em alteração de rocha. Os taludes de escavação serão de 1,0 (H) : 1,0 (V).
- ✓ Na Figura N° 4.2 é apresentado a seção tipo homogênea de terra da Barragem Trairi.

### 4.2 - CRITÉRIO E JUSTIFICATIVA DE ESCOLHA DA ALTERNATIVA

Aproveitando todo o potencial topográfico do boqueirão, foram simuladas a cubação da Barragem Trairi na alternativa de Seção Tipo 1 e na alternativa de Seção Tipo 2, como descrita anteriormente, com coroamento na cota 34,00m. A partir de então, procedeu-se a um confronto econômico entre as alternativas, com detalhamento suficiente para possibilitar o levantamento dos quantitativos dos grandes itens e orçando-se apenas os itens que diferem nas alternativas (por exemplo, o sangradouro e a tomada d'água independem da seção escolhida, portanto não foi orçado).

Figura N° 4.1



Figura N° 4.2

O orçamento da Barragem Trairi com maciço em enrocamento é apresentado no Quadro 4.1, e com maciço de terra no Quadro 4.2

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

1. Para as duas alternativas analisadas, as escavações obrigatórias em rocha, não são suficientes para atender as necessidades dos concretos e dos enrocamentos de proteção, sendo necessário a exploração de pedreira. A adoção da Seção Tipo 1, em enrocamento, apresentou custos não competitivos, uma vez que a rocha teria que ser importada.
2. As pesquisas efetuadas e relativas aos materiais naturais de construção evidenciaram a ocorrência de solos, constituídos de areias pouco argilosas, com volumes suficientes para execução da barragem com seção homogênea, como apresentado na Seção Tipo 2. O material das ocorrências além de oferecer excelentes características geotécnicas, quando compactados, apresenta grande trabalhabilidade, possibilitando a construção de um maciço com altas produções e custos competitivos.
3. Alternativa de maciço de gravidade ou em concreto compactado a rolo (CCR) para formar a Barragem Trairi foram descartadas pela característica topográfica do boqueirão, ou seja, um boqueirão muito aberto, de dimensões extensas. Porém, o fator determinante para a eliminação destas alternativas foi a investigação geotécnica do subsolo, o qual indicou a presença de rocha em camadas profundas, inviabilizando a fundação deste tipo de barragem.
4. As escavações obrigatórias do sangradouro são formadas dos mesmos materiais da Jazida J-01 e serão utilizadas no maciço de barragem.

Quadro 4.1

Quadro 4.2

### 4.3 - ESCOLHA DO LOCAL DO BARRAMENTO

Na fase de estudos preliminares foram estudadas três possibilidades de boqueirão ao longo do Rio Trairi, cujas características se mostraram bastantes promissoras à implantação do barramento pretendido.

Os boqueirões selecionados encontram-se próximos da localidade denominada Poço Redondo, distante da sede municipal cerca de 12km. Os estudos de aproveitamento hidroagrícola da Bacia do rio Trairi, elaborados para o PROGERIRH/SRH/1995 pela consultora ENGEPROL – Engenharia de Processos e Geologia, já havia identificado e levantado topograficamente alguns locais de barramento. Os sítios barráveis são extensos, de ombreiras suaves, com limitações topográficas, muito característico de bacias litorâneas. Poço Redondo dista em linha reta da orla marítima cerca de 20km. Os solos predominantes na região são de formação arenosa e argilosa, provenientes da unidade geomorfológica Barreiras, com pequenos afloramentos rochosos.

Verificou-se *in loco* que os boqueirões apresentam alturas máximas de barramento variando entre 16,0m e 22,0m, devido a geomorfologia de relevo suave. Os sangradouros poderão ser implantados, tanto na ombreira direita como na ombreira esquerda, já que as condições existentes a princípio são favoráveis, mas pouco visíveis topograficamente, embora os solos não se apresentem confiáveis nestes locais pela ausência de rocha.

As principais características dos boqueirões são descritas a seguir:

#### **Eixo – 1**

O Eixo – 1 corresponde ao sítio do projeto básico desenvolvido pela empresa de consultoria ENGEPROL, está localizado exatamente em Poço Redondo, na confluência do riacho Santana com o rio Trairi. Neste local a barragem tem comprimento pelo coroamento de 940,0m, para 16,0m de altura, o sangradouro está posicionado na margem esquerda do rio, tendo uma largura de 200,0m. A baixada corresponde ao manto aluvial, tem comprimento aproximado de 450,0m, com espessura média de 8,0m, constituído de um depósito de areia grossa e fina. A capacidade de acumulação deste local é da ordem de  $16,0 \times 10^6 \text{m}^3$ , para um NA de 13,0m, cobrindo uma área de 243,0ha, para uma bacia hidrográfica de 322,0km<sup>2</sup>.

#### **Eixo – 2**

O Eixo – 2, situado 200,0m a montante do Eixo – 1, possui comprimento pelo coroamento de 1380m, para uma altura de 18,0m, ficando o sangradouro posicionado na margem direita, com largura de 200,0m. O manto aluvial tem aproximadamente 440,0m de extensão, com espessura média da ordem de 8,0m. A capacidade de

acumulação foi estimada em  $16,7 \times 10^6 \text{m}^3$ , para um NA de 15,0m, cobrindo uma área de acumulação de 248,0ha, para uma bacia hidrográfica de 321,  $\text{km}^2$ .

### **Eixo – 3**

O Eixo – 3 está localizado a 1600m a jusante do Eixo – 1, também próximo a localidade de Poço Redondo. A barragem terá uma extensão pelo coroamento de 1600m, altura de 22,0m, sendo o sangradouro posicionado na margem esquerda, com largura de 200,0m. O manto aluvial tem comprimento de 640,0m e espessura média de 8,0m. A capacidade de acumulação é da ordem de  $20,0 \times 10^6 \text{m}^3$ , cobrindo uma área de 289,0ha, com bacia hidrográfica de 332,0  $\text{km}^2$ .

A grande desvantagem deste boqueirão é o fato do reservatório inundar a CE-085 (estruturante).

#### **4.3.1 - Considerações Finais**

A proximidade das alternativas de eixo, ora estudadas, mostram algumas características semelhantes entre os mesmos, não apenas do ponto de vista topográfico e geológico-geotécnico, como também hidrológicas.

A estimativa do potencial de armazenamento do reservatório para o rio Trairi na localidade de Poço Redondo, é imposta pela condição topográfica limitante do boqueirão e não pela potencialidade hídrica da bacia de contribuição.

Os levantamentos realizados na identificação das áreas de empréstimos, praticamente coincidiram. Tanto os empréstimos de material terroso, como de areia, apresentaram parâmetros geotécnicos favoráveis e são relativamente próximas aos locais dos barramentos, em torno de 3,0km, com exceção das jazidas de rocha (pedreira), a qual deverá ser transportada de maiores distâncias, em torno de 6,0km dos eixos, pela inexistência de quantidades suficientes desse material nas redondezas.

Dos três eixos identificados, aquele que apresentou melhores condições técnicas é o Eixo – 2. Os condicionantes que inviabilizaram o Eixo – 1 em relação ao Eixo – 2 são, basicamente, de ordem topográfica. Quanto ao Eixo – 3, o grande complicador é a sua localização, situada logo a jusante da rodovia estruturante CE-085.

#### **4.4 - CONCEPÇÃO GERAL 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 soleira será implantada na cota 30,50m, acumulando  $52,514 \text{hm}^3$ .

De acordo com os resultados das sondagens ao longo do eixo barrável, verifica-se que a barragem terá um *cutoff* entre a estaca 11 e a estaca 58, com profundidade média de 7,00m, repousando sobre o topo rochoso ou solo residual. Os taludes de escavação do *cutoff* serão de 1,0 (V) : 1,0 (H), até a profundidade de 4,00m. Quando as escavações do *cutoff* superar os 4,00m, será executado uma berma de largura de 2,00m na profundidade de 2,00m e as escavações prosseguirão com taludes de 1,0 (V) : 1,5 (H). A largura do *cutoff* será de 6,00m, quando a sua profundidade for inferior a 4,00m e de 8,00m, quando a sua profundidade for superior a 4,00m.

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 moldados *in situ* com abertura para montante e jusante.

O talude de montante terá inclinação de 1,0 (V): 2,5 (H) em toda a sua extensão e 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:

$$\begin{aligned}
 P_{50} &= 0,45\text{tf} & D_{50} &= 0,62\text{m} \\
 P_{\text{mín}} &= 0,23\text{tf} & D_{\text{mín}} &= 0,50\text{m} \\
 P_{\text{máx}} &= 0,64\text{tf} & D_{\text{máx}} &= 0,70\text{m}
 \end{aligned}$$

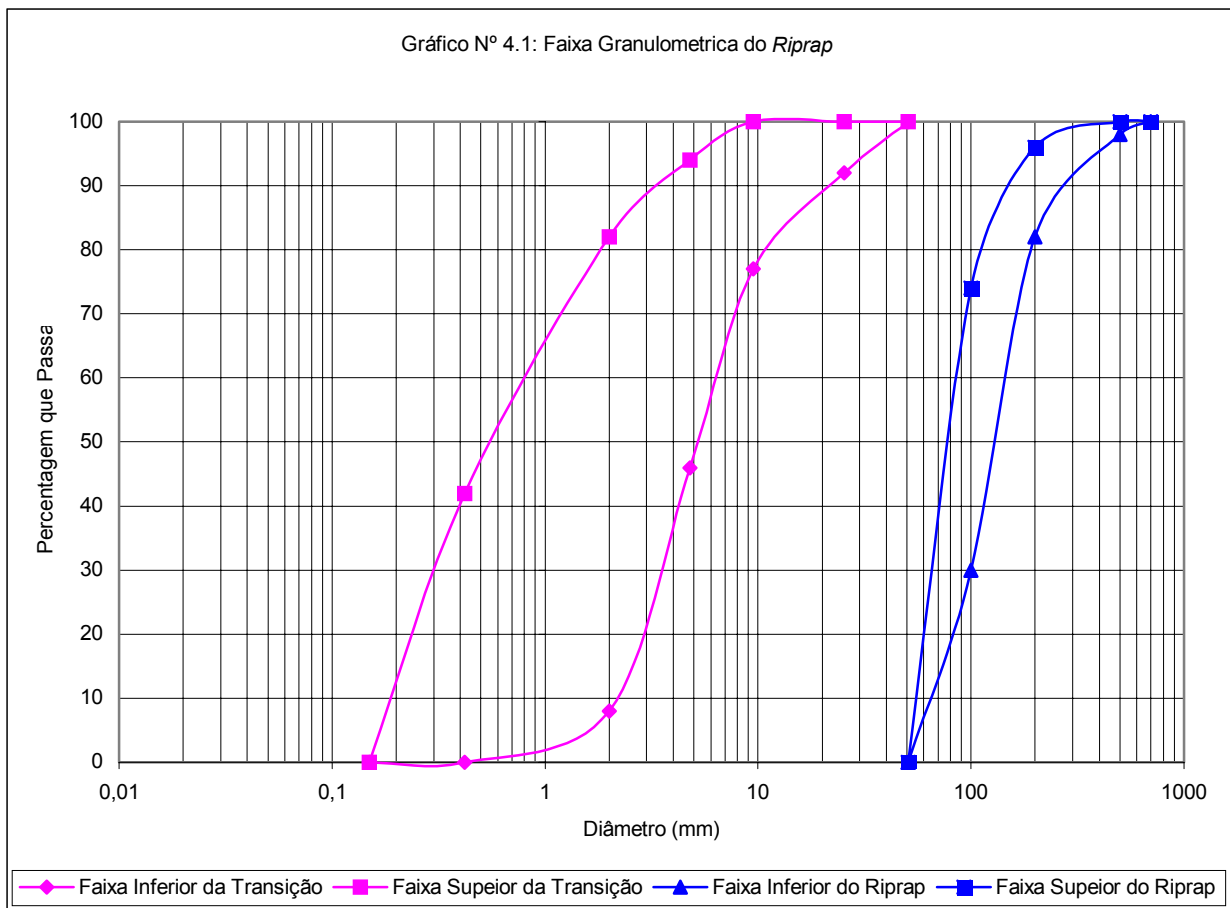
A camada de transição tem a granulometria mostrada no Quadro 4.3.

<b>Quadro 4.3: Material do Enrocamento do Riprap</b>	
<b>Peneira</b>	<b>Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)</b>
700mm	100
500mm	94 – 100
200mm	82 – 98
100mm	48 – 74
2" (50,8mm)	0

A camada de transição tem a granulometria mostrada no Quadro 4.4.

Quadro 4.4: Material de Transição	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)
2" (50,8mm)	100
1" (25,7mm)	92 – 100
3/8" (9,5mm)	77 – 100
Nº 4 (4,8mm)	46 – 94
Nº 10 (2,0mm)	8 – 82
Nº 40 (0,420mm)	0 – 42
Nº 100 (0,15mm)	0

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

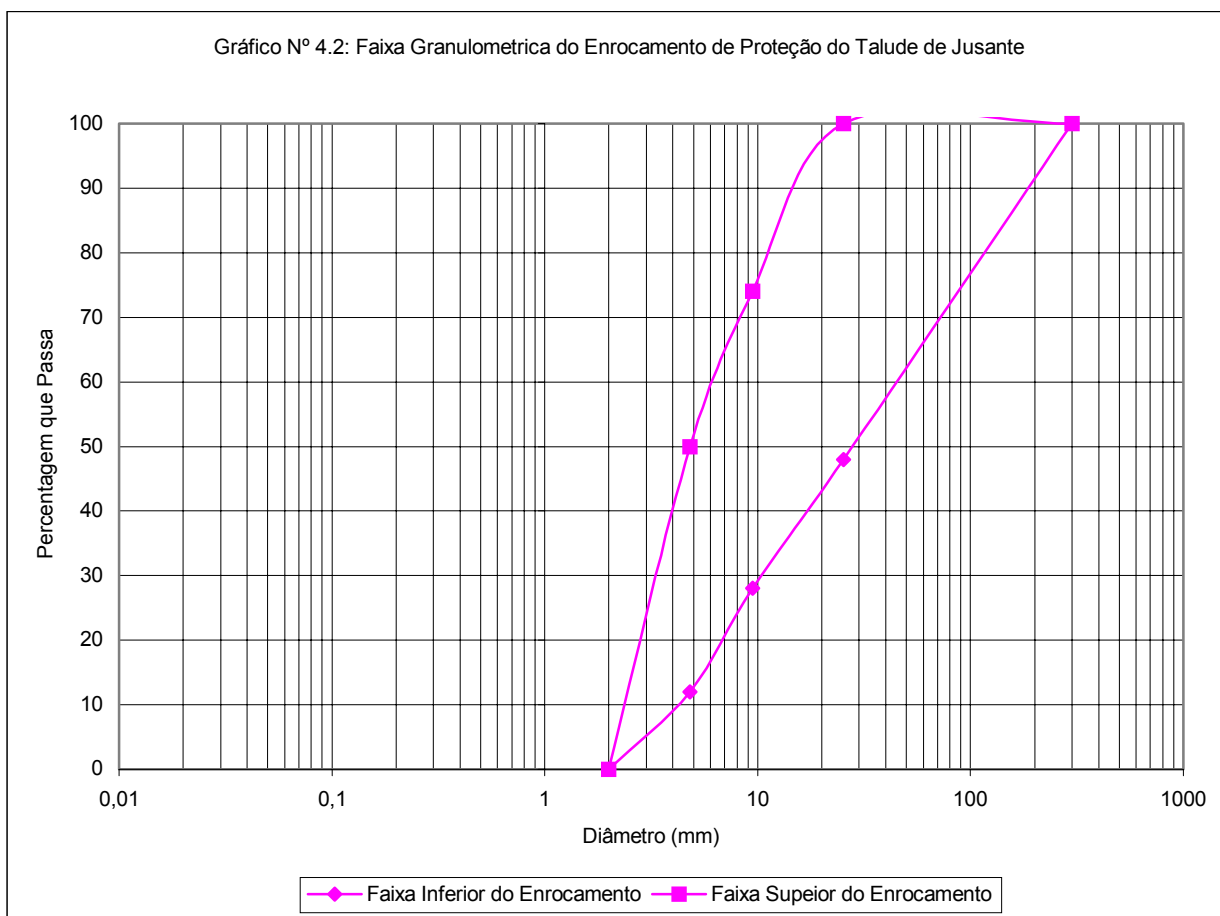




O talude de jusante terá inclinação de 1,0 (V) : 2,0 (H) em toda a sua extensão. Na cota 26,00m será colocada uma berma de 2,0m de largura. A proteção do talude será feita com uma camada de 0,30m de espessura de material britado, com granulometria mostrada no Quadro 4.5.

Quadro 4.5: Material de Proteção do Talude de Jusante	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)
300mm	100
1" (25,4mm)	48 – 100
3/8" (9,5mm)	28 – 74
Nº 4 (4,8mm)	12 – 50
Nº 10 (2,0mm)	0

No gráfico Nº 4.2 são mostradas as faixas granulométricas dos materiais constituintes do enrocamento de proteção do talude de jusante.

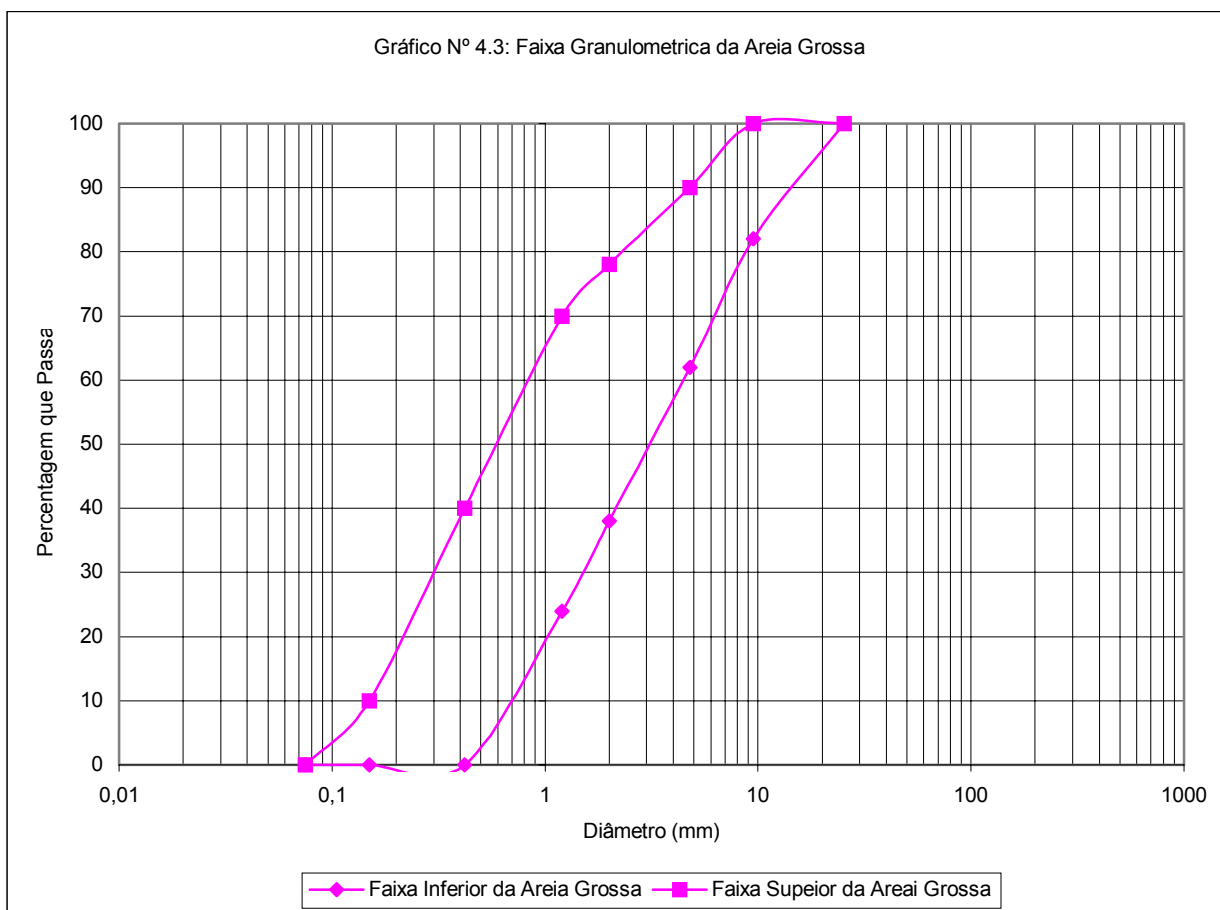


Para a drenagem interna do maciço da Barragem Trairi, está prevista a construção de um filtro vertical e um tapete drenante, entre as estacas 7 e 58. O filtro vertical terá 1,0m de espessura e será executado com areia grossa proveniente do areal A-01. O filtro ficará com topo na cota 31,80m, coincidindo com a cota da cheia decamilenar. O tapete horizontal consiste em um colchão de areia grossa proveniente do areal A-01 e com espessura de 1,00m.

No Quadro 4.6 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 4.6: Areia Grossa	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)
1" (25,4mm)	100
3/8" (9,5mm)	82 – 100
Nº 4 (4,8mm)	62 – 90
Nº 10 (2mm)	38 – 78
Nº 16 (1,2mm)	24 – 70
Nº 40 (0,42mm)	0 – 40
Nº 100 (0,15mm)	0 – 10
Nº 200 (0,075mm)	0

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



Entre as estacas 21 e 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.

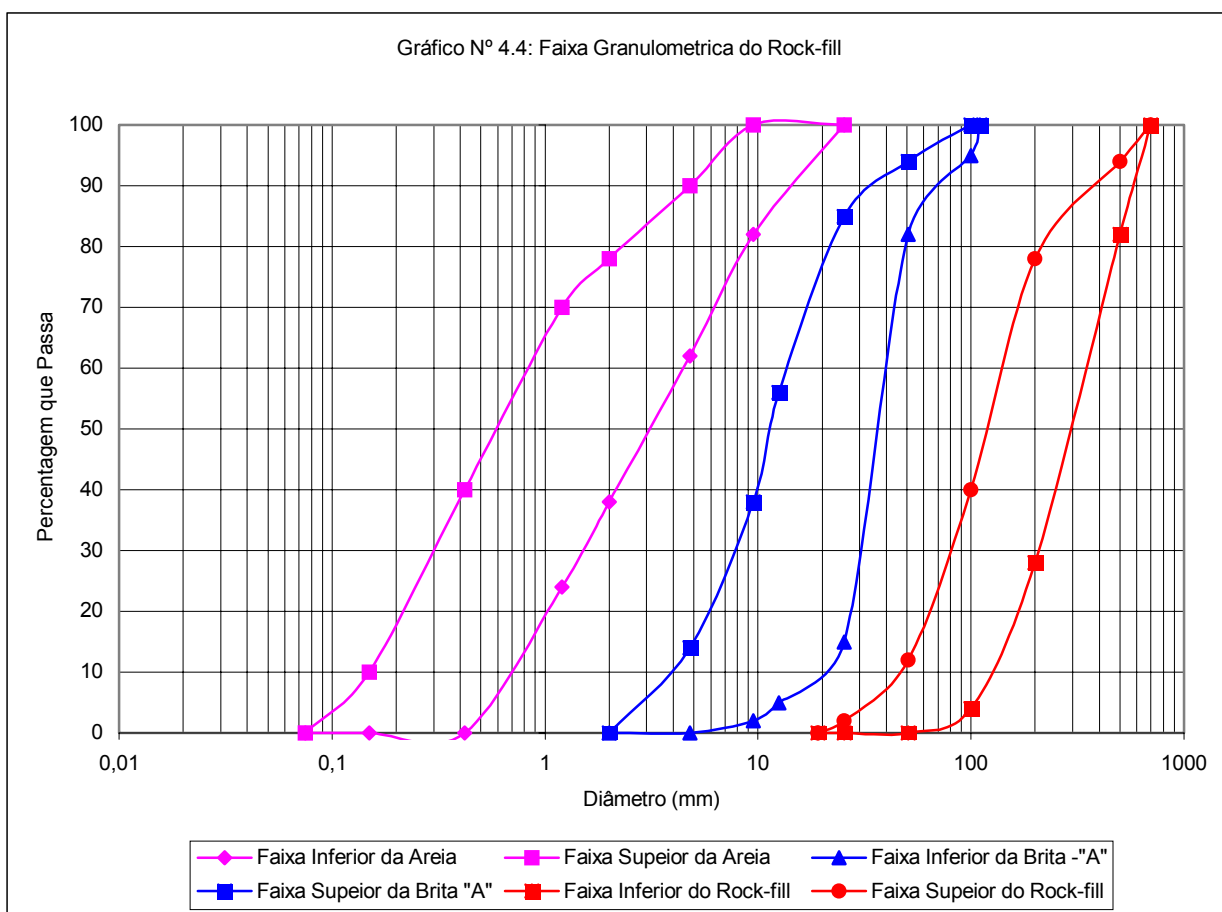
A areia grossa que formará o rock-fill deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada na Tabela Nº 4.6. A brita da transição do rock-fill, denominada de brita “A”, deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada no Quadro 4.7.

<b>Quadro 4.7: Brita “A”</b>	
<b>Peneira</b>	<b>Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)</b>
110mm	100
100mm	95 – 100
2” (50,8mm)	82 – 94
1” (25,4mm)	15 – 85
½” (12,5mm)	5 – 56
3/8” (9,2mm)	2 – 38
Nº 4 (4,8mm)	0 – 14
Nº 10 (2,0mm)	0

No gráfico Nº 4.4 são mostradas as faixas granulométricas da areia grossa que formará o sistema de drenagem interna da barragem.

Na ombreira direita, entre as estacas 73 e 77, deverá ser construído uma barragem auxiliar, para o fechamento de uma sela topográfica. As características da barragem auxiliar serão as mesmas adotadas na barragem principal, ou seja:

1. Coroamento na cota 34,00m.
2. Largura de coroamento de 6,0m, com declividade de 2% para montante.
3. Talude de montante com inclinação de 1,0 (V) para 2,5 (H), protegido por *riprap*.
4. Talude de jusante com inclinação de 1,0 (V) para 2,0 (H), protegido por um enrocamento de produto de britagem.



#### 4.4.1 - Anteprojeto do Sangradouro

O anteprojeto do sangradouro foi elaborado com base nas informações dos estudos hidrológicos e, principalmente, nas condições geotécnicas do subsolo do local da sua implantação.

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 80,00m, até atingir um muro em perfil Creager. A montante do perfil Creager, numa distancia 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 pedra assente na cota 25,00m, com largura de 80,00m. Na saída do Creager, o vertedouro 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, com declividade de 0,0287%.

Na entrada do canal de saída da bacia, a lâmina da vazão milenar é de 1,72m e a velocidade do fluxo é de 1,58m/s.

A ogiva do Creager e a bacia de dissipação foram dimensionadas pelos procedimentos recomendados pelo *Bureau of Reclamations*. Esses dimensionamentos são mostrados a seguir.

### Perfil Creager

$$Q = 218 \text{ m}^3 / \text{s}$$

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

Adotando  $h_0 = 1,10\text{m}$ , tem-se:

$$h_a = \frac{q^2}{2.g.(P + h_0)^2} = \frac{2,72^2}{2.9,81.(2,0 + 1,10)^2}$$

$$H_0 = h_0 + h_a = 1,10 + 0,12 = 1,22\text{m}$$

$$\frac{P}{H_0} = 1,52 \Rightarrow C_0 = 3,92 \text{ ft}^{1/2} / \text{s} = 2,16 \text{ m}^{1/2} / \text{s}$$

A equação do Creager a jusante é dada por:

$$\frac{y}{H_0} = -K \left( \frac{x}{H_0} \right)^n$$

Onde K e n são tirados de ábacos, em função da relação de  $\frac{h_a}{H_0}$

Para  $\frac{h_a}{H_0} = 0,09$ , tem-se  $K = 0,51$  e  $n = 1,836$ . Portanto:

$$\frac{y}{1,22} = -0,51 \cdot \left( \frac{x}{1,22} \right)^{1,836}$$

$$y = -0,431 \cdot x^{1,836}$$

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

$$\frac{dy}{dx} = -0,791 \cdot x^{0,836}$$

Fazendo  $\frac{dy}{dx} = -0,333$ , que corresponde um talude de 1,0 (V) : 3,0 (V), tem-se:

$$-0,333 = -0,791 \cdot x^{0,836}$$

$$x^{0,836} = 0,420$$

Portanto:

$$x_T = 0,35$$

$$y_T = 0,06$$

A curva do Creager é dada no Quadro N° 4.5 o quadro abaixo:

<b>Tabela N° 4.5: Coordenadas do Perfil Creager</b>	
<b>X</b>	<b>Y</b>
0,00	0,00
0,10	-0,01
0,20	-0,02
0,30	-0,04
0,35	-0,06

As curvas circulares de montante da ogiva são determinadas em ábacos a partir da relação  $\frac{h_a}{H_0} = 0,09$ .

Dessas curvas tira-se:

$$\frac{x_c}{H_0} = 0,235 \Rightarrow x_c = 0,28$$

$$\frac{y_c}{H_0} = 0,09 \Rightarrow y_c = 0,28$$

$$\frac{R_1}{H_0} = 0,48 \Rightarrow R_1 = 0,58$$

$$\frac{R_2}{H_0} = 0,20 \Rightarrow R_2 = 0,24$$

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

O canal rápido inicia na cota 29,11m. A lâmina nesse ponto é obtida aplicando a equação de Bernoulli entre dois pontos, desprezando as perdas por atrito, conforme Figura N° 4.3.

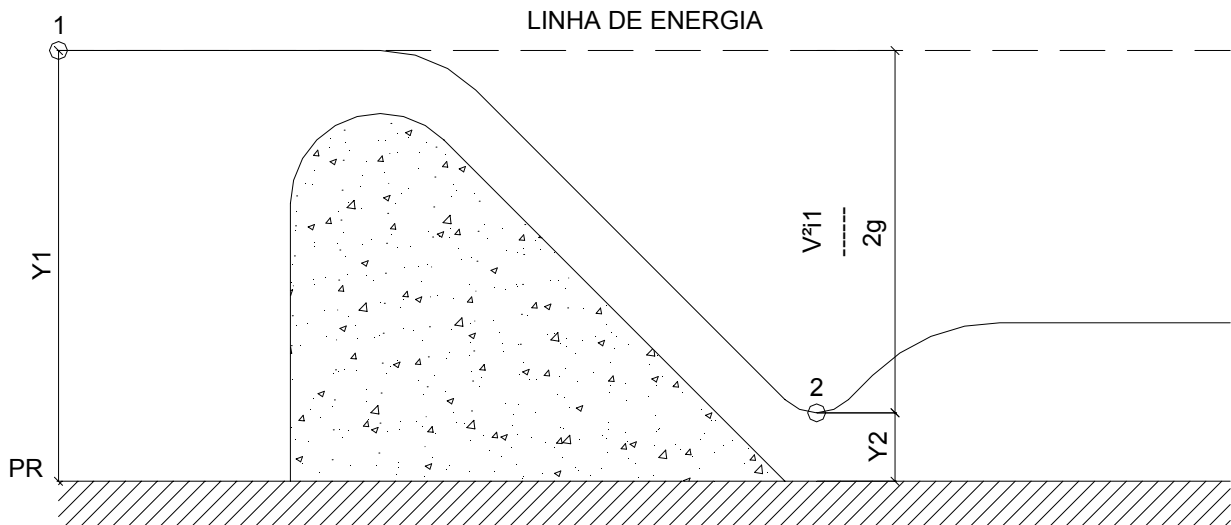


Figura 4.3

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 29,11m. Logo, a cota do ponto 1 vale:

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

$$y_1 = 31,70 - 29,11 = 2,59m$$

$$v_1 \cong 0,0$$

$$Q = v_2 \cdot y_2 \cdot L$$

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

Portanto tem-se:

$$y_1 = y_2 + \frac{Q^2}{2gy_2^2}$$

Substituindo  $y_1$  por 2,59m e resolvendo esta equação, tem-se  $y_2 = 0,42\text{m}$

Aplicando-se o “Direct Step Method” para uma variação da lâmina de 0,42m a 0,15m, obtém-se pra  $y=0,162$  a cota da entrada da bacia de dissipação. Os passos para evolução do cálculo são mostrados nos Quadros N° 4.6 e 4.7, a seguir. No Quadro N° 4,6 são mostrados para cada lâmina atribuída a distância do ponto inicial do canal rápido. No Quadro N° 4.7 apresenta as cotas da linha d’água.

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:

$$\Delta x = \frac{\Delta E}{S_0 - \bar{S}_f}$$

Onde:

$\Delta x$  = comprimento do segmento do canal.

$\Delta E$  = variação de energia

$S_0$  = inclinação do canal

$\bar{S}_f$  = 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:

$$\bar{S}_f = \frac{n^2 \cdot v^2}{R_H^{4/3}}$$

Onde:

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

$R_H$  = raio hidráulico



## Quadro N: 4.6:

Quadro N° 4.7: Linha D'água			
X	Y	Cota da Laje	Cota D'água
0,482	0,42	29,11	29,53
2,191	0,38	28,67	29,05
6,260	0,33	27,86	28,19
12,917	0,28	26,53	26,81
24,893	0,23	24,13	24,36
50,722	0,18	19,06	19,24
68,476	0,162	15,50	15,66

### Dimensionamento da Bacia de Dissipação

Da aplicação do Step Method, obteve-se na entrada da bacia de dissipação  $y_1 = 0,162\text{m}$  e  $v_1 = 16,821\text{m/s}$ . O número de Froude na entrada da bacia de dissipação vale:

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{g \cdot y_1}} = \frac{16,821}{\sqrt{9,81 \cdot 0,162}} = 13,34$$

A altura conjugada  $y_2$  é obtida pela expressão:

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

Para:  $y_1 = 0,162\text{m}$  e  $F_R = 13,34$ , tem-se  $y_2 = 2,97\text{m}$ .

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

$$\frac{L}{y_2} = 6 \therefore L = 17,82\text{m}$$

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

## 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 é de 1:3500 (V:H), ou seja, 0,0287%. A lâmina nesse canal é 2,81m 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 m<sup>3</sup>/s, igual a 218m<sup>3</sup>/s.

n = coeficiente de rugosidade, adotado 0,029.

A = área da seção do fluxo.

R<sub>H</sub> = raio hidráulico.

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

### 4.4.2 - Anteprojeto da Tomada D'água

O anteprojeto da tomada d'água consiste de uma tubulação de ferro fundido de diâmetro de  $\phi$ 700mm, localizado na estaca 13, envelopado em uma galeria de concreto. O eixo da tubulação ficará na cota 18,00m. A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de 0,638m<sup>3</sup>/s.

O volume de porão da Barragem Trairi será na cota 21,0m, com um armazenamento de 5,67hm<sup>3</sup>, 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 malha 100mm X 100mm.

No lado de jusante, serão colocados um registro de gaveta e uma válvula borboleta para a operação da tomada d'água. Será também prevista uma caixa de jusante com a finalidade de dissipar a energia e medir a vazão. A caixa será de concreto armado. A medida da vazão será feita através de um vertedouro triangular isósceles.

#### 4.4.3 - Apresentação do Anteprojeto

No Tomo 2 são apresentados os desenhos do anteprojeto da Barragem Trairi, assim discriminados:

Relação dos Desenhos do Anteprojeto	
DESENHO Nº	DESCRIÇÃO
II – 2 – 01 / 20 – 002	Bacia Hidráulica – Planta
II – 2 – 02 / 20 – 002	Boqueirão e Sangradouro – Planta e Locação de Sondagens
II – 2 – 03 / 20 – 002	Boqueirão e Sangradouro – Perfil Geotécnico
II – 2 – 04 / 20 – 002	Planta Geral da Locação das Ocorrências
II – 2 – 05 / 20 – 002	Locação das Ocorrências
II – 2 – 06 / 20 – 002	Arranjo Geral da Barragem e Sangradouro
II – 2 – 07 / 20 – 002	Perfil da Barragem e Sangradouro
II – 2 – 08 / 20 – 002	Seção Máxima e Detalhes
II – 2 – 09 / 20 – 002	Seção Tipo da Barragem
II – 2 – 10 / 20 – 002	Seções Transversais da Barragem (01/04)
II – 2 – 11 / 20 – 002	Seções Transversais da Barragem (02/04)
II – 2 – 12 / 20 – 002	Seções Transversais da Barragem (03/04)
II – 2 – 13 / 20 – 002	Seções Transversais da Barragem (04/04)
II – 2 – 14 / 20 – 002	Seção da Tomada D'água e Detalhes
II – 2 – 15 / 20 – 002	Caixa de Montante e Caixa de Jusante da Tomada D'água
II – 2 – 16 / 20 – 002	Escavação do Sangradouro – Planta, Perfil e Seção Tipo
II – 2 – 17 / 20 – 002	Seções Transversais de Escavação do Sangradouro (01/02)
II – 2 – 18 / 20 – 002	Seções Transversais de Escavação do Sangradouro (02/02)
II – 2 – 19 / 20 – 002	Arranjo Geral do Sangradouro
II – 2 – 20 / 20 – 002	Detalhes do Sangradouro

#### 4.4.4 - Orçamento

A partir dos elementos do anteprojeto, foi elaborado um orçamento o qual é apresentado nas planilhas em anexo. No Quadro 4.10 é mostrado o resumo do custo da Barragem Trairi.

O custo da Barragem Trairi foi elaborado com base nas tabelas orçamentárias da SRH/CE de maio de 1999 e do DERT/CE de abril de 2000.

<b>Quadro 4.10: Resumo do Custo da Barragem Trairi</b>	
Administração e Fiscalização	R\$5.667,04
Serviços Preliminares	R\$494.040,00
Barragem	R\$3.242.634,46
Sangradouro	R\$2.100.806,62
Tomada D'água	R\$10.660,06
<b>Total do Custo</b>	<b>R\$5.853.808,18</b>

#### 4.4.5 - Considerações Finais

O Anteprojeto da Barragem Trairi permitiu escolher o local de implantação da obra, além de assumir, justificar e quantificar a opção do maciço, sangradouro e tomada d'água.

Os estudos básicos, ou seja, a hidrologia, a geologia, a geotecnia e a topografia, estão consistentes. Os estudos básicos foram integrados no Anteprojeto, sendo que todos as opções de projeto assumidos tiveram esses elementos considerados e analisados.

Alguns aspectos que se prevê equacionar e discretizar na etapa seguinte dos trabalhos, podem ser sistematizados nos seguintes itens:

1. Apresentação da cortina de injeção.
2. Projeto estrutural da laje e dos muros de contenção do sangradouro.
3. Projeto estrutural da galeria da tomada d'água.
4. Detalhamento dos dispositivos de drenagem superficial da barragem.
5. Detalhamento dos equipamentos hidromecânicos da tomada d'água.
6. Elaboração de especificações técnicas e construtivas.
7. Apresentação do programa de trabalho.
8. Planilha orçamentária com os dados da tabela unificada da SEINFRA.

**5 - ANEXOS**

## 5.1 - ORÇAMENTO

C:\barragens e adutoras\barragem\_trairi\módulo III\volume II\_anteprojeto\tomo 1\revisão-A\TR-orçamento-R3.xls (5 PÁG'S)



## 5.2 - SANGRADOURO – LOCAÇÃO

C:\barragens e adutoras\barragem\_trairi\módulo III\volume II\_anteprojeto\tomo  
1\revisão-A\TCSL.doc

(1 PÁG)

### 5.3 - SANGRADOURO – NOTAS DE SERVIÇO

C:\barragens e adutoras\barragem\_trairi\módulo III\volume II\_anteprojeto\tomo  
1\revisão-A\TCSNS.doc (7 PÁG'S)

## 5.4 - SANGRADOURO – QUADRO DE CUBAÇÃO

C:\barragens e adutoras\barragem\_trairi\módulo III\volume II\_anteprojeto\tomo  
1\revisão-A\TCSQC.doc