

## MÓDULO III PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM MARANGUAPE II

### VOLUME III – DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO

#### TOMO 1 – MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
0	Jun/02	Emissão Inicial	WBSR	JRPB	NKT	NKT
1	Jul/02	Alterações Segundo as Considerações da 39º Reunião do PISB	WBSR	JRPB	NKT	NKT
2	Set/02	Alterações Segundo as Considerações 40º Reunião do PISB	WBSR	JRPB	NKT	NKT
3	Nov/02	Alterações Segundo as Considerações 41º Reunião do PISB	WBSR	JRPB	NKT	NKT
4	Dez/02	Projeto Final com as considerações da 42º Reunião do PISB	WBSR	JRPB	NKT	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> .....	14
<a href="#"><u>3 - ESTUDOS BÁSICOS</u></a> .....	17
<a href="#"><u>3.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS</u></a> .....	18
<a href="#"><u>3.1.1 - Cartografia</u></a> .....	18
<a href="#"><u>3.1.2 - Fotointerpretação</u></a> .....	20
<a href="#"><u>3.1.3 - Transportes de Coordenadas</u></a> .....	20
<a href="#"><u>3.1.4 - Transportes de Cotas</u></a> .....	21
<a href="#"><u>3.1.5 - Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro</u></a> .....	21
<a href="#"><u>3.1.6 - Levantamento da Bacia Hidráulica</u></a> .....	22
<a href="#"><u>3.1.7 - Levantamento das Jazidas</u></a> .....	26
<a href="#"><u>3.1.8 - Apresentação dos Estudos Topográficos</u></a> .....	26
<a href="#"><u>3.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS</u></a> .....	26
<a href="#"><u>3.2.1 - Geologia Regional - Bacia Hidrográfica</u></a> .....	26
<a href="#"><u>3.2.2 - Geologia Local</u></a> .....	30
<a href="#"><u>3.3 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS</u></a> .....	31
<a href="#"><u>3.3.1 - Investigação Geotécnica</u></a> .....	31
<a href="#"><u>3.3.2 - Estudos das Ocorrências de Materiais</u></a> .....	34
<a href="#"><u>3.4 - COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE OS ESTUDOS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS</u></a> .....	38
<a href="#"><u>3.4.1 - Análise dos Estudos Geológicos</u></a> .....	38
<a href="#"><u>3.4.2 - Análise das Sondagens</u></a> .....	40
<a href="#"><u>3.4.3 - Análise das Ocorrências Estudadas</u></a> .....	47
<a href="#"><u>3.5 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS</u></a> .....	51
<a href="#"><u>3.5.1 - Caracterização Física da Bacia Hidrográfica</u></a> .....	52
<a href="#"><u>3.5.2 - ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS</u></a> .....	56
<a href="#"><u>3.5.3 - Estudos Pluviométricos</u></a> .....	63
<a href="#"><u>4 - PROJETO DA BARRAGEM</u></a> .....	84
<a href="#"><u>4.1 - ESCOLHA DA ALTERNATIVA DO EIXO BARRÁVEL</u></a> .....	85
<a href="#"><u>4.1.1 - Seleção dos Eixos na 1ª Fase</u></a> .....	85
<a href="#"><u>4.1.2 - Justificativa da Escolha do Eixo - 1</u></a> .....	96
<a href="#"><u>4.2 - ALTERNATIVAS EXAMINADAS DE SEÇÃO DE MACIÇO</u></a> .....	101
<a href="#"><u>4.3 - CONCEPÇÃO DA BARRAGEM</u></a> .....	101
<a href="#"><u>4.3.1 - Caracterização da Fundação</u></a> .....	102
<a href="#"><u>4.3.2 - Rebaixamento do Lençol Freático</u></a> .....	105
<a href="#"><u>4.3.3 - Geometria da Trincheira de Fundação</u></a> .....	105
<a href="#"><u>4.3.4 - Cortina de Injeção</u></a> .....	106

<a href="#">4.3.5 - Local de Bota-Fora</a> .....	107
<a href="#">4.3.6 - Maciço da Barragem</a> .....	107
<a href="#">4.3.7 - Análise de Estabilidade</a> .....	113
<a href="#">4.3.8 - Estudo de Percolação da Barragem</a> .....	117
<a href="#">4.3.9 - Análise dos Recalques</a> .....	117
<a href="#">4.3.10 - Sangradouro</a> .....	119
<a href="#">4.3.11 - Tomada D'água</a> .....	117
<a href="#">4.3.12 - Apresentação do Projeto</a> .....	119
<a href="#">5 - CANTEIRO DE OBRA</a> .....	121
<a href="#">6 - CRONOGRAMA FÍSICO</a> .....	123
<a href="#">7 - EQUIPAMENTO MÍNIMO</a> .....	127

## APRESENTAÇÃO

## APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

### Módulo II – Estudos dos Impactos Ambientais

VOLUME I – Estudos dos Impactos Ambientais - EIA

VOLUME II – Relatório dos Estudos dos Impactos Ambientais - RIMA

### Módulo III – Projeto Executivo das Barragens

VOLUME I – Estudos Básicos

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Estudos Hidrológicos

Tomo 3 – Estudos Cartográficos

Tomo 4 – Estudos Topográficos

Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

VOLUME II – Anteprojeto

Tomo 1 – Relatório de Concepção Geral

Tomo 2 – Plantas

## **VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo**

### **Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto**

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Especificações Técnicas

Tomo 4 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 5 – Síntese

Tomo 6 – Plantas

### Módulo IV – Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento

#### VOLUME I – Levantamento Cadastral

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Laudos Individuais de Avaliação

#### VOLUME II – Plano de Reassentamento

Tomo 1 – Diagnóstico Socioeconômico

Tomo 2 – Detalhamento do Plano de Reassentamento

### Módulo V – Projeto Executivo das Adustras

#### VOLUME I – Estudos Básicos - Levantamentos Topográficos e Investigações Geotécnicas

#### VOLUME II – Anteprojeto

#### VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo

Tomo 1 – Memorial Descritivo

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 4 – Especificações Técnicas e Normas de Medições

Tomo 5 – Plantas

### Módulo VI – Elaboração dos Manuais de Operação e Manutenção

#### VOLUME 1 – Manuais de Operação e Manutenção

### Módulo VII – Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

#### VOLUME 1 – Relatório de Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

O presente relatório é nomeado como Volume III – Detalhamento do Projeto Executivo, Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto 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 Maranguape II, no Estado do Ceará, estamos apresentando o presente relatório, descrevendo as etapas que foram empreendidas no “Módulo III” do mencionado contrato, inerentes ao Projeto da Barragem Maranguape II.

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

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

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

### FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM MARANGUAPE II

#### – Identificação

Denominação: ..... Barragem Maranguape II  
 Estado:..... Ceará  
 Município: ..... Maranguape  
 Coordenadas UTM (SAD 69): .....Marco M-05 (9.561.863,588 N; 534.609,747 E)  
 Sistema: ..... Bacia Metropolitana  
 Rio Barrado: ..... Sapupara  
 Proprietário: .....Estado do Ceará/SRH  
 Autor do Projeto: ..... Consórcio JP-ENG/AGUASOLOS/ESC-TE  
 Data do Projeto: .....Dez/2002

– **Bacia Hidrográfica**

Área: .....	18,50 km <sup>2</sup>
Precipitação média anual:.....	1.386,00 mm
Evaporação média anual: .....	1.468,00 mm

– **Características do Reservatório**

Área da bacia hidráulica (cota 94,00m): .....	165,00 ha
Volume acumulado (cota 94,00m): .....	9,14 hm <sup>3</sup>
Volume morto do reservatório (cota 87,00m):.....	1,41 hm <sup>3</sup>
Volume médio afluente anual: .....	5,96 hm <sup>3</sup>
Vazão regularizada (90%): .....	0,10 m <sup>3</sup> /s
Vazão afluente max. de projeto (TR=1.000anos) .....	378,00 m <sup>3</sup> /s
Vazão max. de projeto amortecida (TR=1.000anos) .....	90,00 m <sup>3</sup> /s
Vazão afluente max. de verificação (TR=10.000anos) .....	500,00 m <sup>3</sup> /s
Vazão max. de verificação amortecida (TR=10.000anos) .....	135,00 m <sup>3</sup> /s
Nível d'água máximo normal: .....	94,00 m
Nível d' água max. maximorum (TR=1.000anos):.....	94,79 m
Nível d' água max. Maximorum (TR=10.000anos):.....	95,04 m

– **Barragem**

Tipo:.....	homôgenea de Solo
Altura máxima:.....	17,93 m
Largura do coroamento:.....	6,00 m
Extensão pelo coroamento: .....	530,10 m
Cota do coroamento: .....	El.96,50 m
Volume de escavação (Fundação): .....	91.160,00 m <sup>3</sup>
Volume do maciço: .....	405.810,00 m <sup>3</sup>
Volume do Cut-off:.....	46.800,00 m <sup>3</sup>
Volume do Enrocamento (Rip-Rap e Rock-Fill): .....	37.600,00 m <sup>3</sup>
Volume de transições: .....	8.800,00 m <sup>3</sup>
Volume de Areia (Filtro e Transições):.....	24.350,00 m <sup>3</sup>
Largura máxima da base: .....	115,00 m
Talude de montante: .....	1,0 v: 2,5 h
Talude de jusante: .....	1,0 v: 2,0 h

– **Barragens Auxiliares**

**Barragem Auxiliar BA-01**

Tipo: .....	Homogênea de Solo
Altura Máxima: .....	0,35 m
Largura do Coroamento: .....	6,00 m
Extensão pelo Coroamento: .....	40,00 m
Cota do Coroamento: .....	96,50 m
Volume de Escavação (Fundação): .....	213,80 m <sup>3</sup>
Volume do Maciço: .....	91,40 m <sup>3</sup>
Volume de Enrocamento: .....	28,60 m <sup>3</sup>
Volume de Transições: .....	19,20 m <sup>3</sup>
Talude de Montante: .....	1:2,5 (V:H)
Talude de Jusante: .....	1:2,0 (V:H)

– **Tomada de água**

Tipo: .....	galeria com tubo de Aço ASTM A-36 em chapa de ¼"
Número de condutos: .....	1 (um)
Diâmetro: .....	300 mm
Localização: .....	estaca 29 (ombreira direita)
Cota do eixo: .....	82,00 m
Comprimento do conduto: .....	84,00 m
Cota da geratriz inferior a montante: .....	81,85 m
Cota da geratriz inferior a jusante: .....	81,85 m
Volume de escavação: .....	120,00 m <sup>3</sup>
Volume de concreto armado: .....	104,00 m <sup>3</sup>
Volume do concreto de regularização: .....	20,00 m <sup>3</sup>
Comprimento total (incluindo entrada e saída): .....	90,00 m

– **Vertedouro**

Tipo: .....	canal escavado em rocha e perfil creager
Largura: .....	60,00 m
Cota da soleira: .....	El.94,00 m

Extensão total do canal:.....	346,04 m
Vazão máxima (Tr=10.000 anos):.....	500,00 m <sup>3</sup> /s
Lâmina máxima prevista (T.R=1000anos): .....	0,79 m
Lâmina máxima prevista (T.R=10.000anos): .....	1,04 m
Borda Livre: .....	1,46 m
Volume de concreto do perfil Creager: .....	650,00 m <sup>3</sup>
Volume total de escavação:.....	194.000,00 m <sup>3</sup>

– **Muros Laterais**

Material: .....	Concreto Ciclópico
Altura máxima: .....	6,50 m
Extensão: .....	85,00 m
Volume de concreto: .....	110,00 m <sup>3</sup>

– **Muros de Contenção**

Material: .....	Concreto Ciclópico
Altura máxima: .....	1,50 m
Extensão: .....	42,00 m
Volume de concreto: .....	50,00 m <sup>3</sup>

– **Canal de Restituição**

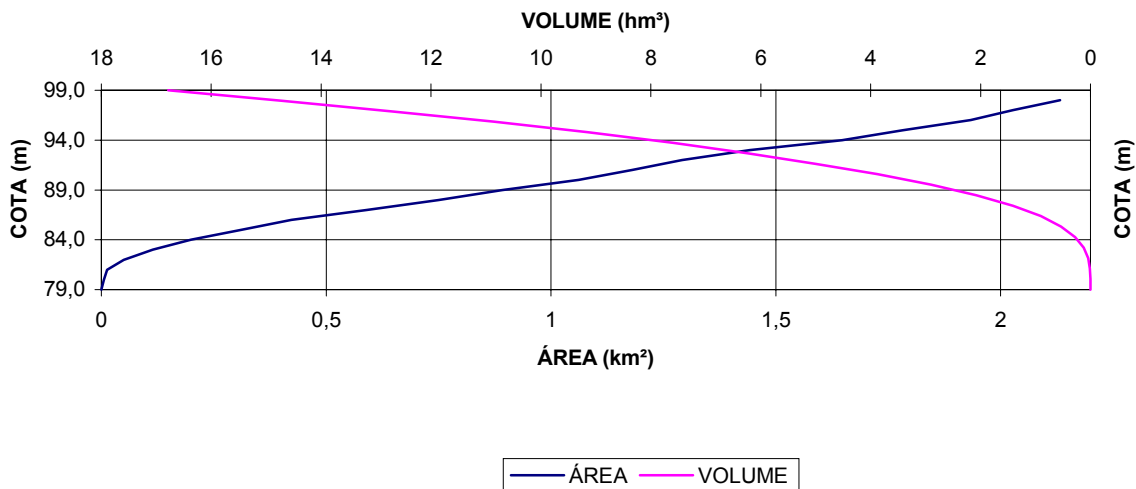
Tipo:.....	Canal escavado em rocha
Largura: .....	60,00 m
Extensão: .....	160,00 m
Volume de escavação comum: .....	60.000,00 m <sup>3</sup>
Volume de escavação em rocha:.....	27.000,00 m <sup>3</sup>

– **Canal de Aproximação**

Tipo:.....	Canal escavado em rocha
Largura: .....	60,00 m
Extensão: .....	110,00 m
Volume de escavação:.....	107.000,00 m <sup>3</sup>

A curva Cota x Área x Volume é mostrado no gráfico 1.1, enquanto no Quadro 1.1 é apresentado a tabulação dos dados da curva.

**GRÁFICO 1.1**  
**CURVA COTA x ÁREA x VOLUME**



**QUADRO 1.1**  
**Curva Cota x Área x Volume**

COTA	AREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )	VOLUME ACUMULADO (m <sup>3</sup> )
79,0	0	0	0
80,0	5.371,00	2.685,50	2.685,50
81,0	12.536,00	8.953,50	11.639,00
82,0	49.754,00	31.145,00	42.784,00
83,0	114.339,00	82.046,50	124.830,50
84,0	199.549,00	156.944,00	281.774,50
85,0	311.523,00	255.536,00	537.310,50
86,0	422.985,00	367.254,00	904.564,50
87,0	590.481,00	506.733,00	1.411.297,50
88,0	750.203,00	670.342,00	2.081.639,50
89,0	890.834,00	820.518,50	2.902.158,00
90,0	1.061.998,00	976.416,00	3.878.574,00
91,0	1.180.511,00	1.121.254,50	4.999.828,50
92,0	1.292.000,00	1.236.255,50	6.236.084,00
93,0	1.441.689,00	1.366.844,50	7.602.928,50
94,0	1.647.543,00	1.544.616,00	9.147.544,50
95,0	1.781.960,00	1.714.751,50	10.862.296,00
96,0	1.933.957,00	1.857.958,50	12.720.254,50
97,0	2.027.896,00	1.980.926,50	14.701.181,00
98,0	2.132.312,00	2.080.104,00	16.781.285,00

## 2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

## 2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

Localizado na Região Metropolitana de Fortaleza o município de Maranguape, tem sua posição geográfica definida pelas coordenadas 3°53'27" de latitude Sul e 38°41'08" de longitude Oeste. Com extensão territorial de 672 km<sup>2</sup>, limita-se ao norte com Caucaia e Maracanaú, ao sul com Palmácia e Caridade, a leste com Pacatuba e Guaiuba e a oeste com Pentecoste.

O eixo barrável Maranguape II está localizado no riacho Sapupara, afluente do riacho Tangureira, aproximadamente 7,0 km ao sul da sede do município de Maranguape, (ver figura 2.1 a seguir).

O acesso ao local é feito a partir de Fortaleza, pela CE-065, passando-se pela sede do município de Maranguape. Após esta, cerca de 7,0 km chega-se a localidade de Tabatinga, onde toma-se a esquerda uma estrada carroçável com destino a fazenda Sapupara e após percorrer aproximadamente 1,0 km chega-se ao local do boqueirão barrável.

## ***Mapa de localização FIG 2.1***



### 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 Maranguape II.

#### 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 topográficos tiveram como partida a cartografia com base nas cartas da SUDENE (escala 1:100.000) e no projeto RADAMBRASIL (escala 1:250.000). Tais estudos serviram de apoio para o planejamento na análise dos estudos preliminares da geologia regional e local, da cobertura vegetal e da situação geográfica da barragem. Sobre a base cartográfica foi definida a localização do barramento e delimitada a área da bacia hidrográfica da barragem. Para esse estudo também foram utilizadas fotos aéreas da região.

A partir das cartas da SUDENE foi delimitado o contorno da bacia hidrográfica que é mostrado na Figura N°3.1 a seguir:

### Figura N°3.1

### 3.1.2 - Fotointerpretação

Uma fotointerpretação básica para o detalhamento dos estudos foi executada, com base na aerofotogrametria realizada em escala de 1:15000, nos locais barráveis identificados preliminarmente quando da realização dos Estudos de Alternativas. Foram analisados os aspectos de relevo: a forma, a topografia e as declividades, como também os aspectos geológicos, determinando-se os tipos de formação, o traçado da rede de drenagem e a pré-locução de pontos de afloramentos rochosos, as fraturas, os depósitos aluvionares, as manchas de cascalhos e os solos residuais para empréstimos.

### 3.1.3 - Transportes de Coordenadas

O transporte de coordenadas teve como ponto de partida o vértice Bico Fino do IBGE de latitude 03°50'46,4641"S e longitude 38°53'10,6817"W e altitude de 408,67m e chegada no vértice AS-24-1022 do IBGE de latitude 03°52'28,7805"S e longitude 38°31'21,6900" e altitude de 114,23m, existentes na área em estudo. Inicialmente foram implantados os marcos (M-01 a M-08), posteriormente executado um adensamento com mais quatro marcos (M-09 a M12), que serviram de origem para o traçado da malha de coordenadas necessárias à elaboração das plantas topográficas. O Quadro nº3.1, a seguir, apresenta as características dos marcos implantados. As medições foram feitas com GPS (Sistema de Posicionamento Global) Trimble 4600LS, de uma frequência com duração de rastreamento de 01 hora.

Quadro nº3.1 – Marcos Implantados na Barragem Maranguape I e II				
Ponto	Coordenadas UTM (m)		Longitude Geodésica	Latitude Geodésica
	Norte	Este		
Marco M-01	9.564.360,536	532.756,819	38°42'17,75498"W	03°56'28,45862"S
Marco M-02	9.563.608,044	532.750,366	38°42'17,95557"W	03°56'52,96601"S
Marco M-03	9.563.915,610	531.622,487	38°42'54,53407"W	03°56'42,96164"S
Marco M-04	9.563.589,830	530.685,332	38°43'24,92075"W	03°56'53,58230"S
Marco M-05	9.561.863,588	534.609,747	38°41'17,63805"W	03°57'49,75771"S
Marco M-06	9.562.126,196	535.193,276	38°40'58,71819"W	03°57'41,19782"S
Marco M-07	9.560.330,105	535.132,608	38°41'00,66330"W	03°58'39,69394"S
Marco M-08	9.559.372,187	533.772,249	38°41'44,76733"W	03°59'10,90822"S
Marco M-09	9.559.313,868	533.694,748	38°41'47,27996"W	03°59'12,80851"S
Marco M-10	9.560.295,344	535.270,200	38°40'56,20086"W	03°58'40,82430"S
Marco M-11	9.564.150,742	531.650,828	38°42'53,61765"W	03°56'35,30376"S
Marco M-12	9.563.637,165	530.764,660	38°43'22,34878"W	03°56'52,03982"S

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.

### 3.1.4 - Transportes de Cotas

O transporte de cotas se fez a partir do marco do M-05=HE00, implantado pela BASE, localizado na ombreira esquerda, estaca 0=0 do levantamento do eixo da barragem, com cota 119,787m.

### 3.1.5 - 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.

O levantamento altimétrico da barragem MARANGUAPE II, 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.

### 3.1.6 - Levantamento da Bacia Hidráulica

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

#### **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 12 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 Maranguape II tivemos na planimetria origem no Vértice Bico Fino do IBGE de latitude  $03^{\circ}50'46,4641''S$  e longitude  $38^{\circ}53'10,6817''W$  e altitude de 408,67m, e chegada no Vértice AS-24-1022 do IBGE de latitude  $03^{\circ}52'28,7805''S$  e longitude  $38^{\circ}31'21,6900''$  e altitude de 114,23m.

Inicialmente foram implantados os vértices M-01 a M-08, posteriormente complementados com M-09 e M-12. A determinação foi executada pelo método diferencial estático com rastreamento em tempo suficiente para resolver a ambigüidade com constelação mínima de 05 (cinco) satélites e PDOP de 06 (seis) ou menor, a fim de garantir uma precisão mínima de 1:100.000.

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

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

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

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

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

Dos resultados dos estudos realizados pela Empresa BASE é apresentado na Figura N° 3.2, a seguir, a bacia Hidráulica da Barragem Maranguape II.



## Figura N°3.2

### 3.1.7 - Levantamento das Jazidas

Nos locais onde as equipes de geotécnia fizeram as prospecções das ocorrências de materiais terrosos e pétreos, que serão utilizados na construção da barragem, as equipes de topografia fizeram as amarrações destas e o caminhamento topográfico até o eixo do barramento.

Deve-se ressaltar aqui que está previsto o uso dos materiais das escavações obrigatórias do sangradouro no espaldar de jusante da barragem.

### 3.1.8 - Apresentação dos Estudos Topográficos

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

## 3.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS

Os estudos geológicos consistiram na caracterização da geologia regional e local, além do levantamento geológico de superfície, como descritos sucintamente a seguir.

### 3.2.1 - Geologia Regional - Bacia Hidrográfica

O esboço geológico regional compreende basicamente um complexo de rochas pertencentes ao Pré-Cambriano não diferenciado PCX, que incluem rochas do tipo PI(B), do Proterozóico Inferior. Baseando-se em critérios estritamente litoestratigráficos, foram distinguidas as seguintes unidades pré-cambrianas: complexos Caicó e Tamboril/Santa Quitéria, Complexo Independência e Grupo Ceará e finalmente os diques ácidos.

Esta unidade apresenta como tipo litológico predominante, os migmatitos e gnaisses diversos, com ocorrência maior na parte central da bacia. A área exibe nos relevos elevados, corpos de granitóides de composição granítica a granodiorítica, e granitos diversificados, de textura grosseira e porfiróides, que datam do Proterozóico Inferior onde indicados (Ymi), com ocorrência na parte leste e sudeste da bacia hidráulica.

Toda seqüência variegada, constituída de clásticos finos a grosseiros que ocorrem na costa, infrajacentes às dunas, foi denominada de Grupo Barreiras Indiviso (TQBi). Estes depósitos sedimentares ocorrem por toda a faixa costeira. Individualiza-se como uma região de tabuleiros planos, localmente ondulada com depressões suaves, sendo truncada por falésias e pelos vales dos rios. Todo este pacote sedimentar repousa discordantemente sobre o embasamento cristalino em

discordância erosiva angular. É capeada na linha da costa pelo cordão litorâneo de dunas, através de discordância e, no interior, passa transicionalmente para as coberturas Colúvio-eluviais indiferenciadas.

Nas áreas onde estão expostas as rochas cristalinas, principalmente na faixa de contato com os sedimentos costeiros, ocorrem tabuleiros constituídos por sedimentos de natureza colúvio-eluvial (TQc). Tais sedimentos foram individualizados como uma unidade com características próprias e bem definida. Estes capeamentos foram definidos como produtos da alteração de rochas cristalinas transformados em sedimentos areno-silto-argilosos inconsolidados, de idade tercio-quadernária. Na região de Maranguape, constatou-se uma passagem gradativa para estas coberturas, dando um solo avermelhado com matriz areno-siltosa-ferruginosa contendo fragmentos angulosos de quartzo, pouco espesso, que evolui para um material mais alaranjado, homogêneo e visivelmente mais estável.

Os sedimentos litorâneos definiram-se pelo agrupamento dos cordões areníticos de idade recente, representados pelos arenitos flúvio-marinhos, com os sedimentos inconsolidados de origem eólica representados pelas dunas.

Os sedimentos aluviais do holoceno (Qa) são representados por todos os depósitos fluviais ou lagunares recentes. Compreendem as faixas alongadas, estreitas e sinuosas depositadas nas calhas dos rios. Litologicamente são representadas pelas argilas, areias argilosas, areias quartzosas, areias puras e cascalho.

Um resumo das principais características de cada um dos grupos litológicos é apresentado a seguir:

- **Unidade sem Denominação – PCX, que incluem rochas do tipo PI(B)**

É constituída por uma associação complexa de migmatitos e gnaisses diversos, encerrando jazimentos subordinados de corpos metacalcários, anfíbolitos, rochas calciosilicáticas, quartzitos e rochas graníticas a dioríticas. Zonas de intensa migmatização com núcleos granitoides e migmatitos homogêneos dominantes onde individualizados – Ymi.

Os gnaisses apresentam-se laminados, algo migmatizados, gradando para anfíbolitos. Os biotita-quartzo-feldspato gnaisses exibem tonalidades cinza-claro a cinza médio e cinza-escuro. A estrutura normalmente mostra uma intercalação de bandas escuras, enriquecidas em máficos, com bandas claras, quartzo-feldspáticas. A granulação é principalmente equigranular média podendo variar para fina. Os gnaisses próximos às zonas de falha exibem porfiroblastos estirados de feldspatos, caracterizando os gnaisses facoidais.

Os migmatitos diversos exibem estruturas flebíticas, estromática, oftálmica, “schlieren” e homofônica; envolvem granitóides geralmente porfiroblásticos. Apresentam coloração cinza-clara a rósea, granulação média e grosseira, textura equigranular, pórfiro-granular, estrutura granítica (isotrópica), constituída essencialmente por quartzo, feldspato plagioclásio e biotita, às vezes muscovita, como mineral acessório.

Os quartzitos ocorrem dispersos e sob a forma de lentes, encaixadas concordantemente ao lineamento das rochas gnáissicas e migmatíticas. Exibem tonalidades esbranquiçadas, granulação que varia de média a grossa, laminadas, quando micáceas.

O granito exhibe coloração cinza-clara, granulação média a grosseira e textura granular. É constituído essencialmente por quartzo, feldspatos (plagioclásio e ortoclásio) e biotita.

- **Grupo Barreiras Indiviso – TQb - TQbi**

Litologicamente, se caracteriza por arenitos argilosos de coloração variegada (tons avermelhados, amarelados e esverdeados), matriz argilo-caulínica, com cimento argiloso, ferruginoso e, algumas vezes silicoso. A granulação apresenta-se de fina à média, com leitos conglomeráticos e nódulos lateríticos na base. Apresentam estratificação cruzada e discreta estratificação plano-paralela/fluvial.

- **Coberturas Colúvio-Eluviais – TQc / QHa**

Litologicamente, as aluviões estão representadas pelas argilas, areias argilosas, areias puras e cascalho. As argilas são abundantes e se encontram com freqüência em todas as calhas de rios e riachos. Os cascalhos e areias constituem grandes reservas, constituídas principalmente de areias grossas, mal selecionadas, puras, com seixos de quartzo e rochas cristalinas diversas.

- **As Aluviões – Qa**

São representadas por todos os depósitos fluviais ou lagunares recentes. Constituem uma unidade importante, tanto do ponto de vista geológico quanto econômico. Compreendem as faixas alongadas, estreitas e sinuosas das calhas dos rios. Litologicamente, as aluviões estão representadas pelas argilas, areias argilosas, areias puras e cascalho. As argilas são abundantes e se encontram com freqüência em todas as calhas dos rios. Geralmente são argilas detríticas, de boa plasticidade, de cores muito variadas, quase sempre brancas, amarelas, alaranjadas e vários tons de cinza.

A bacia de contribuição a partir da seção do barramento proposto, encontra-se completamente em terreno do Embasamento Cristalino, compreendidas pelas rochas Pré-Cambrianas e Proterozóicas descritas anteriormente.

### 3.2.1.1 - Caracterização Estrutural

A bacia hidrográfica do açude Maranguape II, sofre um controle estrutural ao longo dos seus eixos de drenagem, através de zonas de falhas indiscriminadas (segundo carta geológica da CPRM – Projeto Radam Brasil), com direção preferencial NE/SW.

Outra feição estrutural, peculiar dos plutões concordantes é reconhecida, na área do projeto, nos terrenos altamente metamorfoseados do Complexo Tamboril/Santa Quitéria. A estrutura é de domo gnaisse-granito, formando dois corpos rochosos, alongados e concordantes com o “trend” da estruturação regional. Nestes corpos observa-se uma forte lineação marginal que forma a região transicional entre o domo e as rochas circundantes, cujos elementos planares vão sendo diluídos da periferia para o núcleo. Nas porções centrais destes corpos, são encontradas rochas graníticas, no lato sensu, cuja formação é derivada da culminação dos processos anatéticos. Estes corpos graníticos apresentam-se homogeneizados, orientados segundo a foliação regional, com uma forte lineação mineral.

Pequenos traços de fraturas, distribuídos com maior intensidade na direção NW/SW denunciam o controle da drenagem. Algumas deflexões abruptas ao longo dos eixos de 1ª ordem e 2ª ordem da drenagem, sugerem zonas de pequenas lineações que caracterizam o complexo litológico dos gnaisses diversos e migmatitos.

A influência dos planos de lineação são identificadas do lado oeste da serra de Pacatuba, bordo direito da bacia da barragem Maranguape II.

### 3.2.1.2 - Metamorfismo

A grande variedade de rochas que constituem a Unidade sem Denominação (PX) é resultante do metamorfismo regional e está caracterizada por assembléias minerais diversas, que possibilitaram sugerir as condições genéticas da seqüência. As assembléias minerais ocorrem dentro de uma faixa ampla de temperatura e pressão, dentro do metamorfismo regional, e não são suficientemente seguros para determinar condições específicas de metamorfismos. Caracteriza-se pela presença constante de migmatização, que em certos casos leva a mesma a uma homogeneização total, originando núcleos granitóides.

### 3.2.2 - Geologia Local

Na etapa de desenvolvimento dos Estudos Básicos da Barragem Maranguape II, foram realizados estudos geológicos que compreenderam inicialmente consultas a mapas geológicos e bibliografias disponíveis sobre a região. Posteriormente foram efetuadas visitas de inspeção ao local dos serviços onde foi procedida uma campanha de investigações geológicas de campo.

A geologia do sítio da Barragem, principalmente em seu eixo, apresenta uma situação geológica característica da região, pois a área situa-se sobre rochas cristalinas do tipo granito. Na área que corresponde à ombreira esquerda, verificou-se um capeamento de solo residual de espessura considerável, podendo chegar até 8 metros, constituído de argila areno-siltosa (laterita), de coloração amarela e vermelha variegada, com muitos seixos rolados e pedregulhos. Esta situação é observada principalmente no trecho entre as estacas 0 e 5 (eixo da barragem) e em direção ao local de implantação do sangradouro até a estaca 9, onde os afloramentos rochosos são inexistentes.

Na área que corresponde à ombreira direita, verificou-se um capeamento de solo de pequena espessura, podendo chegar a 2 metros, constituído de silte arenoso, de coloração creme, amarela e cinza variegada, com muitos seixos rolados (solo residual). Esta situação é observada principalmente no trecho a partir da estaca 29 até a estaca 52+13,00 (eixo da barragem).

Logo abaixo desta camada de solo residual encontra-se rocha granítica pouco a medianamente alterada em superfície, apresentando coloração cinza claro e escuro, com granulação variando de média a grossa. Apresentam pórfiroblastos de feldspatos, de coloração rósea. Os afloramentos de rocha granítica foram observados a partir da estaca 52+13,00, sob a forma de grandes blocos maciços e matações dispersos. O granito exibe coloração cinza-clara e escura, granulação média a grosseira e textura granular. É constituído essencialmente por quartzo, feldspatos (plagioclásio e ortoclásio) e biotita.

Estas ocorrências rochosas apresentam características resistentes aos processos de decomposição e recobrem praticamente toda a extensão, a partir da estaca 52+13,00, com grandes afloramentos rochosos.

Na parte baixa do vale, nas margens do Riacho Sapupara, entre as estacas 5 e 29, estão restritos os sedimentos colúvio-aluviais representativos no local do sítio barrável, sob a forma de solos areno-silto-argilosos com pedregulhos, micáceos, medianamente compacta a compacta, cinza e amarela, do período Terciário e estendem-se por toda a extensão do Riacho Sapupara, desenvolvendo planícies

aluviais (várzeas), de topografia plana e suave, sujeitas a inundações. Trata-se de sedimentos imaturos, inconsolidados, provenientes da alteração das rochas cristalinas transformadas em sedimentos areno-silto-argilosos. Estes sedimentos atingem espessuras que podem chegar a 15 metros.

Em particular, na calha principal do rio, estão os depósitos de aluviões recentes, do período Quaternário, em forma de pequenos bancos de areias, bem graduadas, de cor creme e com granulometria de média a grossa, com pedregulho, medianamente compacta.

### 3.2.2.1 - Estudos Geológicos e Geotécnicos Preliminares

Os estudos geológicos e geotécnicos preliminares, quando da visita ao sítio do barramento, foram desenvolvidos ao nível de reconhecimento, baseados na Carta Geológica do Estado do Ceará – DNPM, confeccionada na escala de 1:500.000 e através dos estudos do Projeto RADAMBRASIL. Foram considerados também nesta etapa, todos os estudos geológicos e geotécnicos atualmente existentes e os que foram executados anteriormente, os quais forneceram subsídios para uma melhor definição das características geológicas.

## 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 Maranguape II foram executadas no eixo barrável e no sangradouro, as quais estão relacionadas no Quadro nº3.2. No Tomo 6 é mostrada a planta de locação dos furos de sondagem.

<b>Quadro nº3.2: Sondagem à Percussão e Mista – Barragem e Sangradouro</b>		
<b>SONDAGEM Nº</b>	<b>ESTACA</b>	<b>LOCAL</b>
SM – 01	09	Eixo – Sangradouro a 20m para lado de jusante
SM – 02	09	Eixo – Sangradouro
SM – 03	09	Eixo – Sangradouro a 20m para lado de montante
SM – 04	08	Eixo – Sangradouro a 20m para lado de jusante
SM – 05	08	Eixo – Sangradouro
SM – 06	08	Eixo – Sangradouro a 20m para lado de montante
SM – 07	07	Eixo – Sangradouro a 20m para lado de jusante
SM – 08	07	Eixo – Sangradouro
SM – 09	07	Eixo – Sangradouro 20m para lado de montante
SM – 10	06	Eixo – Sangradouro 20m para lado de jusante

**Quadro nº3.2: Sondagem à Percussão e Mista – Barragem e Sangradouro**

SONDAGEM Nº	ESTACA	LOCAL
SM – 11	06	Eixo – Sangradouro
SM – 12	06	Eixo – Sangradouro 20m para lado de montante
SM – 14	05	Eixo – Barragem
SM – 17	09	Eixo – Barragem
SM – 20	12	Eixo – Barragem
SM – 23	17	Eixo – Barragem
SM – 26	21	Eixo – Barragem
SM – 29	25	Eixo – Barragem
SP – 13	05	Eixo – Barragem 40m para lado de jusante
SP – 15	05	Eixo – Barragem 40m para lado de montante
SP – 16	09	Eixo – Barragem 40m para lado de jusante
SP – 18	09	Eixo – Barragem 40m para lado de montante
SP – 19	13	Eixo – Barragem 40m para lado de jusante
SP – 21	13	Eixo – Barragem 40m para lado de montante
SP – 22	17	Eixo – Barragem 40m para lado de jusante
SP – 24	17	Eixo – Barragem 40m para lado de montante
SP – 25	21	Eixo – Barragem 40m para lado de jusante
SP – 27	21	Eixo – Barragem 40m para lado de montante
SP – 28	21	Eixo – Barragem 40m para lado de jusante
SP – 30	25	Eixo – Barragem 40 m para lado de montante

### 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 - Ensaio de Campo

Nas sondagens mistas SM-14, SM-17, SM-20, SM-23, SM-26 E SM-29 foram executados ensaios de perda d’água sob pressão (Ensaio Lugeon), para determinação quantitativa sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso. Os ensaios de perda d’água Lugeon foram executados conforme as orientações preconizadas no Boletim nº 02 da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.

No Quadro nº3.3 são mostrados os resultados dos ensaios de perda d’água.

Quadro nº3.3: Ensaio de Perda D’Água Lugeon				
Sondagem	Estaca	Profundidade do Obturador (m)	Vazão Específica (l/min/m)	Perda D’ Água Específica (l/min/kgf/cm <sup>2</sup> )
SM - 14	5	8,50 – 11,50	3,80	2,44
		11,50 – 14,50	0,00	0,00
		14,50 – 19,05	0,13	0,05
SM - 17	9	13,00 – 16,00	2,60	5,47
		16,00 – 19,00	0,07	0,01
		19,00 – 23,00	0,17	0,03
SM - 20	12	13,50 – 16,50	1,97	0,50
		16,50 – 19,50	0,50	0,11
		19,50 – 23,00	0,03	0,08
SM – 23	17	11,00 – 14,00	3,97	2,35
		14,00 – 17,00	0,03	0,02
		17,00 – 20,00	0,07	0,01
SM – 26	21	7,70 – 10,70	0,77	0,26
		10,70 – 13,70	0,40	0,11
		13,70 – 19,10	0,07	0,01
SM - 29	25	11,00 – 14,00	0,17	0,05
		14,00 – 17,00	0,13	0,03
		17,00 – 21,00	0,10	0,02

### 3.3.1.3 - Apresentação dos Resultados das Investigações Geotécnicas

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

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

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

### 3.3.2 - Estudos das Ocorrências de Materiais

Como fonte de materiais para a construção da barragem foram identificadas duas jazidas de solo, denominadas de J-01 e J-02, um areal denominado de A-01 e uma pedreira, denominada de P-01. No Tomo 6 mostra a locação de todas as ocorrências.

#### 3.3.2.1 - Jazida

Foram identificadas duas jazidas de material terroso para a construção da barragem, denominadas de J-01 e J-02. No Tomo 6 é apresentada a localização da jazida.

No Quadro nº3.4 são apresentadas as características das jazidas.

<b>Quadro nº3.4: Características das Jazidas de Solo</b>		
<b>Características</b>	<b>Jazida J-01</b>	<b>Jazida J-02</b>
DISTÂNCIA AO EIXO DO SANGRADOURO (m)	150,00	150,00
ÁREA (m <sup>2</sup> )	275.000,00	40.000,00
PROF. MÉDIA (m)	1,16	0,80
VOLUME ÚTIL (m <sup>3</sup> )	319.000,00	32.000,00
VEGETAÇÃO	Mata rala e rasteira	Mata rala e rasteira
PROPRIETÁRIO	D Julieta Diógenes Cirino Nogueira	D Julieta Diógenes Cirino Nogueira
LADO	Direito / Esquerdo	Direito
ESTACA	6S	21 – EIXO
EXPURGO (m)	0,10	0,10
QUANTIDADE DE FUROS	51	12
MALHA (m)	100 X 50	100 X 50

Nas jazidas 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.
- Granulometria por Sedimentação
- Limite de Liquidez.
- Limite de Plasticidade.
- Compactação – Proctor Normal.
- Permeabilidade de Carga Variável
- Cisalhamento Direto Lento

No Quadro nº3.5 são apresentados os valores médios dos ensaios geotécnicos de laboratório realizados nas jazidas J-01 e J-02.

Quadro nº3.5: Valores Médios dos Ensaios de Laboratório – Jazidas de Solo												
Ensaio de Caracterização												
GRANULOMETRIA (% QUE PASSA)								PLASTICIDADE (%)		USC	COMPACTAÇÃO	
JAZIDA	2"	1"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP		Hot	$\gamma_{\text{máx}}$ (g/cm³)
J-01	100	100	97	88	80	64	35	33	10	SM-SC	12,1	1,874
J-02	100	100	96	91	86	72	42	35	11	SM-SC	13,4	1,859

Os ensaios de permeabilidade com carga constante, realizados nas amostras de solo das jazidas J-01 e J-02, são mostrados no Quadro nº3.6.

Quadro nº3.6: Ensaio de Permeabilidade			
Jazida J-01		Jazida J-02	
Furo	K (cm/s)	Furo	K (cm/s)
1	$7,6 \times 10^{-7}$	3	$6,9 \times 10^{-7}$
3	$7,9 \times 10^{-7}$	6	$9,3 \times 10^{-7}$
9	$9,8 \times 10^{-7}$	9	$8,5 \times 10^{-7}$
13	$9,6 \times 10^{-7}$	11	$8,2 \times 10^{-7}$
19	$1,0 \times 10^{-7}$	12	$9,5 \times 10^{-7}$
26	$8,1 \times 10^{-7}$	-	-
30	$6,7 \times 10^{-7}$	-	-
34	$8,3 \times 10^{-7}$	-	-
38	$8,7 \times 10^{-7}$	-	-
42	$9,2 \times 10^{-7}$	-	-
46	$6,6 \times 10^{-7}$	-	-

Os ensaios de cisalhamento direto, realizados nas amostras de solo das jazidas J-01 e J-02, são mostrados no Quadro nº3.7.

Quadro nº3.7: Ensaio de Cisalhamento Direto					
Jazida J-01			Jazida J-02		
Furo nº	Coesão (kgf/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	Furo nº	Coesão (kgf/cm <sup>2</sup> )	φ (°)
03	0,10	32,7°	06	0,12	36,5°
19	0,07	34,7°	12	0,13	35,8°
38	0,10	33,1°	-	-	-
46	0,15	32,3°	-	-	-

### 3.3.2.2 - Materiais Oriundos do Sangradouro

Os materiais do sangradouro foram coletados e submetidos aos seguintes ensaios:

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

Quadro nº3.8: Valores Médios dos Ensaio de Laboratório – Sangradouro											
GRANULOMETRIA (% QUE PASSA)							PLASTICIDADE (%)		USC	COMPACTAÇÃO	
2"	1"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP		Hot	γ <sub>máx</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
100	99	97	93	79	43	14	15	04	SM	9,4	1,874

### 3.3.2.3 - Areal

Foi identificado um único areal para a construção da barragem, denominado de A-01. No Tomo 6 é apresentada a localização do areal. O areal A-01 está localizado no Riacho da Mata.

Para o areal foram realizados em laboratório, ensaios geotécnicos de granulometria por peneiramento e a permeabilidade. Nos Quadros nºs 3.9 e 3.10 são apresentados os resultados médios dos ensaios realizados.

Quadro nº3.9: Ensaio de Granulometria do Areal												
Granulometria (percentagem 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	98	78	50	15	5	1	4,8	3,50

<b>Quadro nº3.10: Ensaios de Permeabilidade com Carga Constante</b>	
<b>Furo Nº</b>	<b>Coefficiente de Permeabilidade (cm/s)</b>
2	$5,2 \times 10^{-3}$
4	$5,4 \times 10^{-3}$
5	$5,2 \times 10^{-3}$
6	$5,1 \times 10^{-3}$
9	$5,9 \times 10^{-3}$

No Quadro nº3.11 são apresentadas as características do Areal.

<b>Quadro nº3.11: Características do Areal</b>	
<b>Característica</b>	<b>Areal A-01</b>
DISTÂNCIA AO EIXO DA BARRAGEM (m)	150,00
ÁREA (m <sup>2</sup> )	40.000,00
ESTACA	04 – EIXO
VOLUME ÚTIL (m <sup>3</sup> )	48.000,00
PROPRIETÁRIO	D. Julieta Diógenes Cirino Nogueira
PROF. MÉDIA (m)	1,20
NOME DO RIO	Riacho da Mata
LOCALIDADE	Fazenda Sapupara

### 3.3.2.4 - Pedreira

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

No Quadro nº3.12 são apresentadas as características da pedreira.

<b>Quadro nº3.12: Características da Pedreira</b>	
<b>Característica</b>	<b>Pedreira P-01</b>
DISTÂNCIA AO EIXO DA BARRAGEM (m)	600,00
ÁREA (m <sup>2</sup> )	30.000,00
ESTACA	19 – EIXO
VOLUME ÚTIL (m <sup>3</sup> )	60.000,00
PROPRIETÁRIO	D Julieta Diógenes Cirino Nogueira
VEGETAÇÃO	Densa

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

No Quadro nº3.13 são apresentados os valores médios dos ensaios geotécnicos de laboratório.

<b>Quadro nº3.13: Ensaios de Desgaste Los Angeles</b>	
<b>Amostra Nº</b>	<b>Los Angeles</b>
1	30%
2	28%
3	31%
Média	30%

### 3.4 - COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE OS ESTUDOS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS

Nesse capítulo são apresentados os comentários gerais retirados dos estudos geológicos e geotécnicos que foram realizados para servir de suporte ao desenvolvimento do projeto da Barragem Maranguape II.

#### 3.4.1 - Análise dos Estudos Geológicos

A nível de escala regional a área da bacia hidráulica é caracterizada por quatro feições morfológicas. Que são: o relevo litorâneo, a superfície aplainada das coberturas cenozóicas, o extenso pediplano de rochas cristalinas e os maciços montanhosos cristalino.

A feição morfológica mais característica e que mais se destaca na área do projeto, são os acidentes topográficos relacionados aos maciços montanhosos cristalino, escudidos em rochas graníticas.

O esboço geológico regional compreende basicamente um complexo de rochas pertencentes ao Pré-Cambriano não diferenciado PCX, que incluem rochas do tipo PI (B), do Proterozóico inferior.

Foram distinguida as seguintes unidades pré-cambrianas: Complexos Caicó e Tamboril/Santa Quitéria, Complexo Independência, grupo Ceará e Diques Ácidos.

São predominantes os migmatitos e gnaisses diversos, com ocorrência maior na parte central da bacia. A área exibe nos relevos elevados, corpos de granitóide de composição granítica a granodiorítica e granitos diversificados, com ocorrência na parte leste e sudoeste da bacia hidráulica.

Nas áreas onde estão expostas as rochas cristalinas, principalmente na faixa de contato com os sedimentos costeiros, ocorrem tabuleiros constituídos por sedimentos de natureza colúvio-eluvial. Na região de Maranguape, constatou-se uma passagem gradativa para estas coberturas, dando um solo avermelhado com matriz areno-siltosa-ferruginosa contendo fragmentos angulosos de quartzo, pouco espesso, que evolui para um material mais alaranjado, homogêneo e visivelmente mais estável.

A bacia hidrográfica do Açude Maranguape II, sofre um controle estrutural ao longo dos seus eixos de drenagem através de zonas de falhas indiscriminadas com direção preferencial NE/SW.

Pequenos traços de fraturas, distribuídos com maior intensidade na direção NW/SW denunciam o controle da drenagem e caracterizam o complexo litológico dos gnaisses diversos e migmatitos.

A geologia do sítio barrável, principalmente em seu eixo, apresenta uma situação geológica característica da região, pois a área situa-se sobre as rochas cristalinas do tipo granito. Na área correspondente à ombreira esquerda, verificou-se um capeamento de solo residual de espessura considerável podendo chegar até 8,0m de profundidade, constituído de argila areno-siltosa (laterita), de coloração amarela e vermelha variegada, com muitos seixos rolados e pedregulhos.

Na área correspondente à ombreira direita, verificou-se um capeamento de solo de pequena espessura, podendo chegar a 2,0 metros, constituído de silte arenoso, de coloração creme, amarela e cinza variegada, com muitos seixos rolados (solo residual).

Logo abaixo desta camada de solo residual, encontra-se a rocha granítica pouco a medianamente alterada, apresentando coloração cinza claro e escuro com granulação variando de média a grossa.

Os afloramentos de rocha granítica foram observados a partir da estaca 52+13,00m, sob forma de grandes blocos maciços e matacões dispersos. Estas ocorrências rochosas apresentam características resistentes aos processos de decomposição.

Na parte baixa do vale, nas margens do Riacho Sapupara, entre as estacas 5 e 29, estão restritos os sedimentos colúvio-aluviais representativos no local do sítio barrável, sob a forma de solos areno-silto-argilosos com pedregulhos, micáceos, medianamente compacta a compacta, cinza e amarela. Trata-se de sedimentos imaturos, inconsolidados, provenientes da alteração das rochas cristalinas transformadas em sedimentos areno-silto-argilosos. Esses sedimentos atingem espessuras que podem chegar a 15 metros.

Em particular, na calha principal do rio, estão os depósitos de aluviões recentes, do período quaternário, em forma de pequenos bancos de areias, bem graduadas, de cor creme e com granulometria de média a grossa, com pedregulhos, medianamente compacta.

### 3.4.2 - Análise das Sondagens

Durante as investigações geotécnicas da barragem e sangradouro foram realizadas doze sondagens a percussão e 18 sondagens mista.

No sangradouro foram executadas doze sondagens mista numeradas de 01 a 12. Foram investigadas quatro seções na sela topográfica onde será implantado o sangradouro. As seções foram estudadas por três sondagens, uma 20,00m a montante, outra no eixo e a terceira a 20,00m a jusante. As seções estudadas localizam-se nas estacas 6, 7, 8 e 9 do eixo do sangradouro pela ombreira esquerda.

Na estaca 6 foram executadas as sondagens SM-12 a montante, SM-11 no eixo e SM-10 a jusante. Examinando os perfis dessas sondagens verifica-se que a sondagem SM-12 apresentou uma camada de solo de 7,60m formado por areia siltosa micácea de 0,00m a 0,23m e silte arenoso micáceo de 0,23 a 7,60m, os SPT'S nesse horizonte são elevados da ordem de 10/1 golpes. O topo rochoso está na cota 88,30m. A partir dessa cota o furo foi prosseguido com sonda rotativa por 5,0m. Foi encontrado granito granulado com RQD variando de 20% a 80%. O número de fraturas é da ordem 10 fraturas/m.

Examinando a sondagem SM-11, executada no eixo na estaca 6, verifica-se uma semelhança muito grande com SM-12. A camada de solo tem 7,8m de espessura e atravessa dois horizontes. De 0,00m a 0,87m encontra-se areia siltosa micácea e de 0,87 a 7,80m, encontra-se silte arenoso micáceo (solo residual). O topo rochoso é encontrado na cota 93,88m. Ao ser atingido o topo rochoso o furo foi prosseguido por sonda rotativa por 5,0m, a rocha encontrada é do tipo granito cinza, ele apresenta RQD da ordem de 60% e em média 5 fraturas/m.

Examinando o perfil da sondagem SM-10, executada 20,0m a jusante da estaca 6, verifica-se que a camada de solo atingiu 8,55m de profundidade e atravessou dois horizontes de solo. De 0,00m a 0,40m encontrou-se areia siltosa micácea e de 0,40m a 8,55m silte arenoso micáceo (solo residual). Os SPT'S variaram de 19 a 20/4 golpes. O topo rochoso foi encontrado na cota 97,95m. Ao ser atingido essa cota o furo foi prosseguido por sonda rotativa por 5,0m, a rocha encontrada é do tipo granito cinza com RQD da ordem de 80% e apresentou 5 fraturas/m.

A seção da estaca 7 foi estudada pela execução das sondagens SM-09, 20 metros a montante, SM-08 no eixo e SM-07, 20 metros a jusante. Examinando os perfis dessas sondagens observa-se que a SM-09 apresentou 1,20m de solo, de 0,00m a 0,30m foi encontrado areia siltosa micácea e de 0,30m a 1,20m foi encontrado silte arenoso micáceo (solo residual). O topo rochoso foi encontrado na cota 92,31m. Dessa



cota em diante o furo foi feito com sonda rotativa por mais 5,0m. A rocha encontrada é do tipo granito cinza, com RQD da ordem de 80% e uma média de 5 fraturas/m.

A sondagem SM-08, executada no eixo, apresentou uma camada de solo com 1,80m de espessura, formada por dois horizontes. De 0,00m a 0,20m foi encontrado areia siltosa micácea e de 0,20m a 1,80m foi encontrado silte arenoso micáceo (solo residual). O topo rochoso foi encontrado na cota 91,45m. A partir desse ponto o furo foi prosseguido com sonda rotativa por mais 5,0m. A rocha encontrada foi do tipo granito cinza com RQD da ordem de 70% e apresentou em média 10 fraturas/m.

A sondagem SM-07, executada 20 metros a jusante, atravessou uma camada de solo de 6,15m, encontrando dois horizontes. De 0,00m a 0,68m foi encontrado areia siltosa micácea e de 0,68 a 6,15m, foi encontrado silte arenoso micáceo (solo residual). Os SPT'S variaram de 41 a 10/1 golpes. O topo rochoso foi encontrado na cota 91,66m. Desse ponto em diante o furo foi prosseguido por mais 5,0 metros com sonda rotativa. A rocha encontrada é do tipo granito cinza, com RQD médio de 80% e apresentou em média 5 fraturas/m.

A seção da estaca 8 foi estudada pela execução das sondagens SM-06, 20,0 metros a montante, SM-05 no eixo e SM-04, 20,0 metros a jusante. Examinando os perfis dessas sondagens observa-se que a sondagem SM-06 apresentou 7,50 metros em solo, atravessando dois horizontes. De 0,00m a 0,68m foi encontrado areia micácea cinza escuro. De 0,68m a 7,50m foi encontrado silte arenoso micáceo (solo residual). Os SPT'S encontrados variaram de 8 a 10/1 golpes. O topo rochoso foi encontrado na cota 92,76m. A partir dessa cota a sondagem foi prosseguida por mais 5,0m, com sonda rotativa. A rocha encontrada é do tipo granito cinza com RQD médio de 80% e apresentou em média 10 fraturas/m.

A sondagem SM-05 executada no eixo do levantamento penetrou 5,80m em solo, atravessando três camadas. De 0,00m a 0,23m foi encontrado areia siltosa com pedregulhos cinza escuro. De 0,23m a 1,00m foi encontrado silte arenoso micáceo com pedregulhos (solo residual) e de 1,00m a 5,80 foi encontrado silte arenoso micáceo cinza escuro (solo residual). O topo rochoso foi encontrado na cota 95,51m. Os SPT'S variaram de 20/5 a 10/1 golpes. Após encontrado o topo rochoso o furo foi prosseguido por mais 5,0m com sonda rotativa. A rocha encontrada teve o RQD variando de 40% a 80% e no máximo 5 fraturas por metro.

A sondagem SM-04 atingiu 8,60m em solo ultrapassando três camadas. De 0,00m a 0,20m foi encontrado areia siltosa cinza. De 0,20m a 1,00m foi encontrado argila arenosa cinza e de 1,00m a 8,60 encontrou-se silte arenoso micáceo cinza e amarelo. Os SPT'S dessas camadas variaram de 6 a 10/1. O topo rochoso foi encontrado na cota 96,50m. Desse ponto em diante o furo foi prosseguido por mais

5,0m por sonda rotativa. A rocha encontrada é do tipo granito cinza. Essa rocha apresentou RQD variando de 90% a 100% e nenhuma fratura por metro.

A seção da estaca 9 foi estudada pela execução das sondagens SM-03, 20,0m a montante, SM-02 no eixo e SM-01, 20,0m a jusante. Examinando os perfis dessas sondagens observa-se a sondagem SM-03 apresentou 7,50m em solo, atravessando três horizontes. De 0,00m a 0,68m foi encontrado areia argilosa cinza e amarela de 0,68 a 2,0m foi encontrado silte arenoso amarelo e cinza (solo residual). Os SPT'S variaram de 11 a 10/1 golpes. O topo rochoso foi encontrado na cota 97,70m. Desta cota em diante o furo foi prosseguido com sonda rotativa por mais 5,0m. A rocha encontrada foi do tipo granito com RQD médio de 80%. A rocha apresentou no horizonte sondado no máximo de 5 fraturas/m.

A sondagem SM-02 apresentou 8,40m em solo, atravessando três horizontes. De 0,00m a 1,00m foi encontrado areia siltosa com pedregulhos marrom. De 1,00m a 2,80m foi encontrado silte arenoso micáceo amarelo (solo residual). De 2,80 a 8,40m foi encontrado silte arenoso micáceo cinza escuro (solo residual). Os SPT'S variaram de 8 a 10 golpes. O topo rochoso foi encontrado na cota 97,37m. A partir dessa cota o furo foi prosseguido por mais 5,0m com sonda rotativa. A rocha encontrada é do tipo granito cinza com RQD variando de 40% a 80% e apresentando no máximo 10 fraturas/m.

A sondagem SM-01 apresentou 10,20m em solo em duas camadas: De 0,00m a 1,00m foi encontrado areia siltosa micácea com pedregulhos marrom. De 1,00m a 10,20m foi encontrado silte arenoso micáceo com pedregulhos amarelo e cinza (solo residual). Os SPT'S encontrados variaram de 10 a 10/1 golpes. O topo rochoso foi encontrado na cota 93,80. Desse ponto em diante o furo foi prosseguido por mais 5,0m com sonda rotativa. A rocha encontrada é do tipo granito com RQD variando de 0% a 80%. O número de fraturas encontrada foi no máximo 5 fraturas por metro.

Concluindo a análise do local do sangradouro que foi investigado por doze sondagens verificou-se que o topo rochoso está variando entre as cotas 91,00m e 97,00m. Portanto o assentamento das estruturas do sangradouro deve ser na cota 90,00m. Verificou-se, também, da análise das sondagens que a camada de solo pode ser aproveitada na execução da barragem e a rocha da escavação pode ser usada na confecção do Rip-Rap ou britada para constituição das transições.

Entrando no segmento da barragem principal entre as estacas 2 e 31, observa-se que esse segmento foi estudado por seis sondagens mista SM-14, SM-17, SM-20, SM-23, SM-26 e SM-29 e doze sondagens a percussão SP-13, SP-15, SP-16, SP-18, SP-19, SP-21, SP22, SP-24, SP-25, SP-27, SP-28 e SP-30.

A ombreira esquerda foi investigada pelos furos SP-13, SM-14 e SP-15 executados na seção da estaca 5.

Examinando os perfis dessas três sondagens observa-se que SP-13 executada a 40m a jusante atingiu 5,29m, dando o impenetrável a percussão. Encontrou-se de 0,00m a 0,20m argila siltosa micácea. De 0,20m a 4,00m areia siltosa micácea cinza escuro. De 4,0 a 5,00m areia grossa amarela e cinza e de 5,0m a 5,20 silte arenoso micáceo cinza (solo residual). Examinados os SPT'S desta sondagem verifica-se que até 3,0m de profundidade os SPT'S são baixo atingindo 2 golpes (valor mínimo). A sondagem está a 40,0m do eixo para jusante. Nesse furo foram executados cinco ensaios de infiltração e a permeabilidade é da ordem de  $1,0 \times 10^{-5}$  cm/s.

No eixo da barragem foi executado na estaca 5 a sondagem mista SM-14. O trecho de percussão nessa sondagem foi de 8,50m. Os SPT'S encontrados variam entre 8 e 10/2 golpes. Não foram executados ensaios de infiltração. Na execução da sondagem foram encontradas três camadas de solos, de 0,00m a 0,80 foi encontrada areia siltosa micácea cinza (aluvião). De 2,00m a 2,35m foi encontrada areia grossa amarela (aluvião) e de 2,35 a 8,50m encontrou-se solo residual sob a forma de silte arenoso micáceo cinza amarelo.

Ao final do trecho de percussão na cota 70,39m o furo foi prosseguido por sonda rotativa por mais 10,56m. A rocha encontrada foi o granito cinza. Nesse trecho de rocha foram executados três ensaios de perda d'água em rocha que apresentou no primeiro segmento perda específica de 2,44 l/min/m/atm. Nos dois últimos segmentos as perdas específicas foram nula e 0,05 l/min/m/atm.

Finalmente a 40,00 metros a montante da estaca 5 foi executada a sondagem SP-15 que atingiu 6,42m e atravessou quatro horizontes de solos. De 0,00m a 2,00m encontrou-se areia siltosa micácea cinza. De 2,00m a 3,82m foi encontrada areia grossa com pedregulhos cinza e amarela. De 3,82m a 5,00m tem-se areia siltosa micácea cinza e de 5,0m a 6,42m encontrou-se o solo residual sob forma de silte arenoso micáceo. Os SPT'S dos primeiros cinco metros variam de 3 a 5 golpes. Nesse trecho foram executados 6 ensaios de infiltração que mostram que a permeabilidade média do meio é de  $1,4 \times 10^{-5}$  cm/s.

A seção da estaca 9, junto ao Riacho Sapupara, foi investigada pela execução das sondagens SP-16 a 40,0m jusante, SM-17 no eixo e SP-18 a 40,0m montante. Examinando a sondagem SP-16 verifica-se que ela atingiu 11,53m e atravessou sete camadas de solo. De 0,00m a 0,23 tem-se argila siltosa escura. De 0,23m a 0,80m tem-se argila arenosa escura. De 0,80m a 3,00m tem-se argila siltosa cinza. De 3,00m a 4,49m tem-se argila arenosa cinza escura. De 4,49m a 6,00m encontrou-se areia grossa siltosa cinza. De 6,00m a 6,90m tem-se areia siltosa cinza escura. De 6,90m a

10,00m foi encontrada areia grossa siltosa com pedregulhos cinza e amarelo e de 10,00m a 11,53m foi encontrado silte arenoso micáceo cinza e amarelo (solo residual). O SPT superficial é de 4 golpes e no restante do furo os SPT'S são maiores que 7 golpes. Nesse furo foram executados onze ensaios de infiltração onde verificou-se que de 0,00m até 4,00m a permeabilidade média é de  $7,10 \times 10^{-6}$  cm/s e de 4,00m a 11,30m a permeabilidade média é de  $5,8 \times 10^{-5}$  cm/s.

A sondagem SM-17 foi executada no eixo. O trecho de percussão foi de 13,00m. O aluvião foi encontrado até 10,60m sob forma de areia grossa, areia fina, argila arenosa, silte arenoso e argila siltosa. O solo residual foi encontrado entre 10,60m e 13,00m constituído de areia siltosa cinza e amarela. Nesse trecho não foram realizados ensaios de infiltração. Os SPT'S variaram de 4 a 14 golpes. Encontrado o topo da rocha na cota 65,91m o furo foi prosseguido por mais 10,65m com sonda rotativa. A rocha encontrada foi do tipo granito cinza. Nesse trecho de rocha foram executados três ensaios de perda d'água, que apresentaram os valores de 5,47, 0,03 e 0,03 l/min/m/atm. A rocha tem RQD maior que 70%.

A 40,0m a montante da estaca 9 foi executada a sondagem SP-18. Examinando o perfil desta sondagem verifica-se que o solo residual foi encontrado a 7,0m de profundidade. Sobre o solo residual foram encontradas argila siltosa cinza e areia siltosa micácea. De 7,0m a 9,02m foi encontrado o solo residual. Nesse furo os SPT'S variam de 2 a 20/2 golpes, sendo que nos dois primeiros metros os SPT'S encontrados foram de 2, 6 e 4 golpes. No furo foram realizados nove ensaios de permeabilidade que apresentaram permeabilidade média de  $1,20 \times 10^{-5}$  cm/s.

Na seção da estaca 13 foram realizados três furos de sondagem SP-19 40,0m a jusante, SM-20 no eixo e SP-21 40,00 a montante. Examinando o perfil da sondagem SP-19 verifica-se que o solo residual foi encontrado a 3,90m de profundidade. Acima desta profundidade foram encontrados argila siltosa micácea cinza escura, areia grossa siltosa micácea cinza e amarela e areia média siltosa micácea cinza escura. Nos dois primeiros metros os SPT'S encontrados foram baixo 2, 4 e 1/45 golpes a partir daí os valores encontrados variaram de 6 a 14 golpes. Nesse furo foram executados onze ensaios de infiltração o valor médio da permeabilidade foi de  $2,2 \times 10^{-5}$  cm/s.

No eixo foi executada a sondagem SM-20. No trecho a percussão dessa sondagem o furo foi até 13,50m e o solo residual foi encontrado a 6,33m de profundidade, em cima do solo residual foram encontrados argila areno siltosa cinza escura, argila arenosa mole cinza escura, silte arenoso micáceo compacto cinza e argila areno siltosa cinza escuro. Os SPT'S variaram de 4 a 20/5 golpes. Ressalta-se que nos dois primeiros metros os SPT'S foram de 12, 4 e 6 golpes. Não foram executados ensaios de infiltração. Do final do trecho a percussão, na cota 64,69m, até

a cota 55,69m o furo foi feito com sondagem rotativa. A rocha encontrada foi granito, com RQD acima de 60% e apresentou no máximo 10 fraturas por metro.

A sondagem SP-21, executada 40,00m a montante da estaca 13, encontrou o solo residual a 6,12m de profundidade. As camadas superiores são formadas de argila siltosa micácea cinza escura, areia grossa siltosa micácea cinza e amarela, areia média siltosa micácea cinza, argila siltosa cinza e areia média e grossa cinza e amarela. De 6,12m a 8,08 foi encontrado o solo residual. Os SPT'S dos dois primeiros metros foram 6 e 2 golpes. No restante do furo os SPT'S variaram de 7 a 45/8 golpes. Nesse furo foram executados oito ensaios de infiltração. O valor médio de permeabilidade foi de  $7,09 \times 10^{-5}$  m/s.

Na seção da estaca 17 foram executados os furos SP-22 40,0m a jusante, SM-23 no eixo e SP-24, 40,00m a montante. Examinando o perfil do furo SP-22 verifica-se que o mesmo atingiu 6,95m e o solo residual foi encontrado a 6,00m de profundidade. As camadas acima são formadas de argila siltosa cinza escura e areia siltosa micácea com pedregulhos cinza. Esse furo apresentou SPT'S baixo até 4,0 metros. Os valores encontrados foram 2, 3, 5, 4 e 3 golpes. Nesse furo foram executados seis ensaios de infiltração. A permeabilidade média é de  $8,40 \times 10^{-5}$  cm/s.

Na estaca 17 foi executado o furo SM-23. O trechos a percussão foi até 11,00m e o solo residual foi encontrado a 4,20m. As camadas acima são formadas de areia grossa com pedregulhos medianamente compacta cinza e argila arenosa com pedregulhos mole a muito rija cinza. No trecho percussivo não foram executados ensaios de infiltração, os SPT'S no primeiro metro foram de 6 e 7 golpes. No restante do trecho a percussão eles variaram de 31 a 10/2 golpes.

Atingido o topo rochoso, na cota 67,66m, o furo foi prosseguido por mais 9,0m com sonda rotativa. A rocha encontrada foi o granito. A rocha apresentou de 11,00m a 13,00m RQD nulo e de 13,00 a 19,00 RQD variando de 60% a 90%. Quanto ao grau de fraturamento foi encontrado no máximo 10 fraturas/m.

No trecho em rocha foram executados três ensaios de perda d'água que apresentaram os seguintes valores de perda específica 2,56, 0,02 e 0,01 l/min/m/atm.

A sondagem SP-24 foi executada 40,00m a montante da estaca 17. O furo atingiu 7,80m e o solo residual foi encontrado a 6,00m de profundidade. As camadas acima são formadas por: areia argilosa com pedregulhos cinza escuro, argila siltosa micácea cinza escura, argila arenosa com pedregulhos cinza e silte muito arenoso com pedregulhos cinza e amarelo. Os SPT'S nos dois primeiros metros foram de 1/15, 2 e 5 golpes. No restante do furo variaram de 12 a 25/7 golpes. Nesse furo, foram

executados sete ensaios de infiltração que apresentaram uma permeabilidade média de  $2,4 \times 10^{-5}$  cm/s.

A seção da estaca 21 foi investigada pela execução dos furos SP-25, 40,00m a jusante, SM-26 no eixo e SP-27, 40,00m a montante. Examinando o perfil da sondagem SP-25 verifica-se que o solo residual foi encontrado a 5,05m de profundidade. As camadas acima são constituídas de argila arenosa com pedregulhos cinza escuro, areia grossa pouco siltosa com pedregulhos cinza e amarelo, areia siltosa com pedregulhos cinza e amarelo e areia fina e média siltosa micácea cinza. Os SPT'S dos três primeiros metros foram de 1/15, 2, 4 e 4 golpes. No restante do furo eles variaram de 6 a 25/4 golpes. O furo atingiu a 7,75m de profundidade e foram executados seis ensaios de infiltração que apresentaram uma permeabilidade média de  $1,09 \times 10^{-4}$  cm/s.

No eixo, na estaca 21, foi executado o furo SM-26. O trecho de percussão atingiu 7,70m e não foi encontrado solo residual. O topo rochoso ficou diretamente em contato com os solos de origem coluvial ou aluvial. As camadas de solo são formadas por argila areno siltosa muito rija amarela e cinza e silte arenoso com pedregulhos compacto cinza claro e cinza. Os SPT'S foram elevados maiores que 60 golpes. No trecho em solo não foram executados ensaios de infiltração. O trecho em rocha teve 10,40m de extensão e a rocha encontrada foi o granito com RQD variando de 80% a 90% e apresentando no máximo 5 fraturas/m. Foram realizados três ensaios de perda d'água que apresentaram os seguintes valores de perda específica 0,28, 0,11 e 0,01 l/min/m/atm. Na seção da estaca 21 foi executada a sondagem SP-27 que atingiu a profundidade de 6,90m. O solo residual foi encontrado a 2,90m de profundidade. Sobre este tem as seguintes camadas: areia siltosa com pedregulhos cinza escura, argila arenosa com pedregulhos cinza e amarelo areia fina e média siltosa amarela. Os SPT'S do primeiro metro são de 6 e 15 golpes. No restante do furo os SPT'S são maiores que 60 golpes. Nesse furo foram executados seis ensaios de infiltração que deram uma permeabilidade média de  $8,3 \times 10^{-6}$  cm/s.

Finalmente, a última seção estudada foi a da estaca 25 com a execução dos furos SP-28, 40,00m a jusante, SP-29 no eixo e SP-30, 40,00m a montante. Examinando o perfil da sondagem SP-28 verifica-se que o furo atingiu 3,93m de profundidade e o solo residual foi encontrado a 1,80m. A camada acima do solo residual é formada por areia siltosa, micácea, com pedregulhos, cinza escuro. Os SPT'S do primeiro metro foram 2 e 1/15 golpes. No restante do furo os SPT'S foram de 38 e 20/2 golpes. Nesse furo foram executados três ensaios de infiltração cujo o valor médio foi de  $2,02 \times 10^{-5}$  cm/s.

Na estaca 25 foi executada a sondagem SM-29. O trecho em solo foi executado até 11,00m de profundidade, examinados o perfil verifica-se que o solo residual foi encontrado a 10,0m de profundidade. As camadas de solo acima são



formadas por: argila areno siltosa com pedregulhos cinza escuro, areia siltosa cinza, silte arenoso cinza escuro e areia grossa siltosa. No trecho a percussão os SPT'S variaram de 5 a 28 golpes. Não foram executados ensaios de infiltração. Na cota 69,77m foi encontrado o topo rochoso. Desse ponto em diante o furo prosseguido com sonda rotativa por mais 10,00m. A rocha encontrada foi o granito cinza com RQD variando de 70% a 90% e apresentando 5 fraturas/m. No trecho em rocha foram executados três ensaios de perda d'água que apresentaram as seguintes perdas máximas 0,05, 0,03 e 0,02 l/min/m/atm.

A sondagem SP-30, executada 40m a montante atingiu a profundidade de 7,87m. O solo residual foi encontrado a 6,00m. As camadas superiores são formadas por: areia siltosa com pedregulhos, silte arenoso micáceo cinza escura, argila siltosa micácea cinza escuro, areia grossa siltosa com pedregulhos cinza e argila arenosa cinza escura. Os SPT'S do primeiro metro foram de 2 e 4 golpes, no restante do furo eles foram maior que 7 golpes. No furo foram executados sete ensaios de infiltração tipo "Le Franc". O valor médio de permeabilidade foi de  $5,5 \times 10^{-5}$  cm/s.

A ombreira direita fica situada entre as estacas 28 e 31 o gradiente da ombreira é de cerca de 21%. Não foram executados especificamente furos nesse local, mas pela quantidade de furos executados pode-se imaginar a formação geotécnica dessa ombreira como tendo uma camada de areia siltosa micácea com pedregulhos com profundidade de até 2,0m de espessura, encontrando-se a partir daí o solo residual.

No vale do rio verificou-se que o solo residual situa-se em média a 6,0m de profundidade e que a permeabilidade média do maciço de solo da fundação é de  $5,0 \times 10^{-5}$  cm/s. O cut-off deve ficar dentro do solo residual em todas as seções.

Observando os SPT'S dos furos executados no vale entre as estacas 5 e 27 é recomendável a retirada de no mínimo 2,0 metros da camada aluvionar para buscar melhores condições de fundação.

### 3.4.3 - Análise das Ocorrências Estudadas

Para construção da barragem foram estudadas duas jazidas de solos areno argiloso J-01 e J-02, um areal A-01 no riacho da Mata e uma pedreira que já é explorada comercialmente.

Nos materiais das jazidas foram executados os seguintes ensaios:

- Granulometria (por peneiramento);
- Granulometria (por sedimentação);

- Limite de Liquidez;
- Limite de Plasticidade;
- Compactação;
- Permeabilidade com Carga Variável;
- Cisalhamento Direto Lento.

Na jazida J-01, foram coletadas 29 amostras para realização dos ensaios.

Na jazida J-02, foram coletadas oito amostras para serem ensaiadas.

No areal A-01, foram coletadas cinco amostras sobre as quais foram realizados os ensaios de:

- Granulometria (por peneiramento);
- Permeabilidade com carga variável.

Na pedreira P-01 coletou-se três amostras para realização de ensaios de Desgaste por Abrasão tipo “Los Angeles”.

Examinando os resultados dos ensaios realizados nas amostras da Jazida J-01 pode se dizer o seguinte:

- Os solos da Jazida J-01 tem valores médio de:
  - $LL=33\%$ ;
  - $IP=10\%$ ;
  - $h_{ótima}=12,11\%$ ;
  - $\gamma_{s \text{ Max}}=1,874\text{tf/m}^3$ .
- O enquadramento dos solos da jazida J-01 na Classificação Unificada USC indica que eles são de dois tipos SM (silte arenoso) e



SC (argila arenosa). Os solos desses grupos, tem segundo Sherard\* as seguintes características:

### SOLOS SM

- Variam de impermeável a semi-impermeável;
- Tem média resistência ao piping;
- Tem alta resistência ao cisalhamento;
- Apresentam de boa a muito boa trabalhabilidade;

### SOLOS SC

- São impermeáveis;
  - Tem alta resistência ao piping;
  - Tem de alta a média resistência ao cisalhamento;
  - Tem boa trabalhabilidade.
- Os ensaios de permeabilidade a carga variável mostraram que os solos da jazida J-01, quando compactados próximo da umidade ótima tem permeabilidade média de  $K = 8,4 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ ;
  - Examinando os resultados dos ensaios de cisalhamento direto lento, pode se adotar os seguintes parâmetros efetivos para os solos dessa jazida  $C' = 7 \text{ kPa}$  e  $\phi' = 30^\circ$ ;
  - No campo, a densidade natural da jazida J-01 foi verificada em doze pontos, obtendo-se os seguintes valores médios:
    - $h_{\text{in situ}} = 3,75\%$
    - $\gamma_{\text{in situ}} = 1,478 \text{ tf/m}^3$

Examinando os resultados dos ensaios da jazida J-02 pode se dizer o seguinte:

- Os solos da jazida J-02 tem valores médios de limite de liquidez, índice de plasticidade, umidade ótima e massa específica aparente seca máxima dados por:
  - $LL = 35\%$ ;
  - $IP = 11\%$ ;

- $h_{ótima}=13,4\%$
- $\gamma_{s \text{ máx}}=1,859 \text{ tf/m}^3$
- O enquadramento dos solos da jazida J-02 na Classificação Unificada USC mostra que eles são de dois tipos SC (argila arenosa) e SM (silte arenoso).

Segundo SHERARD os solos do tipo SC e SM, quando compactados próximo da umidade ótima, apresentam as seguintes propriedades:

### SOLOS SM

- Variam de impermeável a semi-impermeável;
- Tem média resistência ao piping;
- Tem alta resistência ao cisalhamento;
- Apresentam de boa a muito boa trabalhabilidade.

### SOLOS SC

- São impermeáveis;
- Tem alta resistência ao piping;
- Tem de alta a média resistência ao cisalhamento;
- Tem boa trabalhabilidade.
- Os ensaios de permeabilidade com carga variável mostraram que os solos da jazida J-02, quando compactados próximo da umidade ótima, tem permeabilidade média de  $K = 8,48 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ .
- No campo, a densidade natural foi verificada em quatro pontos, apresentando os seguintes valores médios:
  - $h_{in \text{ situ}} = 3,90\%$
  - $\gamma_{in \text{ situ}} = 1,481 \text{ tf/m}^3$
- Examinando os resultados dos ensaios de cisalhamento direto lento, pode-se adotar os seguintes parâmetros efetivos de resistência do solo  $C' = 12 \text{ kPa}$  e  $\phi' = 30^\circ$ .

No Areal A-01 foram realizados ensaios de permeabilidade e de granulometria. Examinando esses ensaios pode-se fazer as seguintes observações:

- A permeabilidade média da areia é de  $5,36 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ . Areias com essa permeabilidade são adequadas para utilização como filtro no sistema de drenagem interna da barragem;

- As amostras coletadas apresentaram diâmetro máximo dos grãos de 9,5mm;
- O módulo de finura médio é de MF = 3,18. As areias com módulo de finura nesse valor são classificadas como média;
- A percentagem passando na peneira nº 200 é menor que 1% o que caracteriza uma areia limpa isenta de material pulverulento.

Na pedreira P-01, foram coletadas três amostras de rocha que foram submetidas ao ensaio de Desgaste por Abrasão tipo “Los Angeles”. Os resultados encontrados foram os seguintes:

- Amostra-1 – 28%;
- Amostra-2 – 31%;
- Amostra-3 – 30%.

Pedreiras com “Los Angeles” dessa ordem são consideradas adequadas para fornecer produtos de britagens para a barragem.

### 3.5 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os Estudos Hidrológicos do Açude Maranguape II 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.

### 3.5.1 - Caracterização Física da Bacia Hidrográfica

A bacia do Açude Maranguape II abrange uma área de 18,5 km<sup>2</sup>, um perímetro de 18,31km, uma declividade de 28,15 m/km e um comprimento do curso principal de 4,65km. A forma desta bacia pode agora ser caracterizada utilizando estes dados. A forma de uma bacia hidrográfica é importante, pois afeta o tempo de concentração, ou seja, o tempo do início da precipitação para que toda a bacia contribua no seu exutório, podendo assim servir como um indicativo de tendência para enchentes de uma bacia. Bacias pequenas variam muito de formato, dependendo da estrutura geológica da região.

#### 3.5.1.1 - Índice de Forma da Bacia

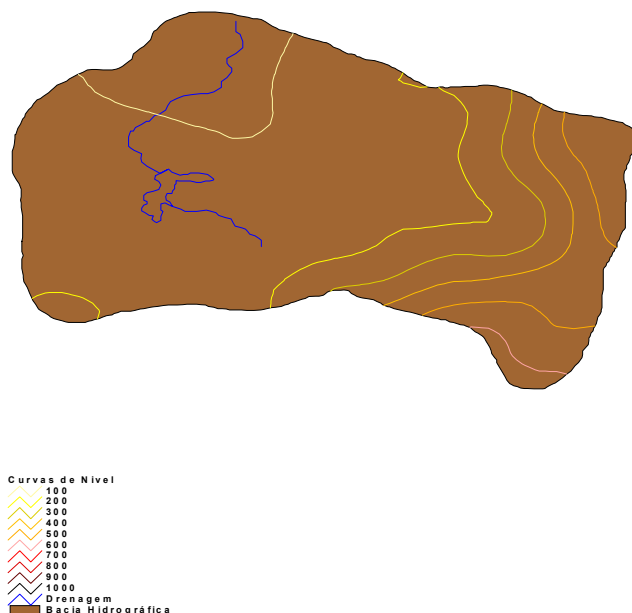
A forma superficial de uma bacia hidrográfica está diretamente ligada à sua aptidão para formar ondas de cheias.

Vários índices podem ser utilizados para determinar a forma de bacias, procurando-a relacioná-la com formas geométricas conhecidas. O fator de compacidade a relaciona com o círculo, enquanto que o fator de forma com o retângulo.

Para a bacia do açude Maranguape II, tem-se que  $A=18,5$  km<sup>2</sup>,  $P=18,31$  km e  $L=4,65$  km, o que resulta em um fator de forma ( $k_f$ ) de 0,85 e um fator de compacidade ( $k_c$ ) de 1,20.

Um fator de compacidade próximo a 1 corresponderia a uma bacia circular, e, se outros fatores forem iguais, uma bacia com este índice próximo a 1 teria uma tendência mais acentuada a maiores enchentes. O fator de compacidade da Bacia do Maranguape II é relativamente próximo a 1, o que indica uma bacia propensa a enchentes rápidas, se comparada com bacias semelhantes com forma mais alongada.

Um fator de forma baixo indica que uma bacia é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho porém com maior fator de forma. Isso se deve ao fator de que uma bacia estreita e longa, com baixo  $k_c$ , há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão, além de se afastar da condição de bacia circular onde os tributários do curso principal contribuem em um único ponto. A Figura N<sup>o</sup>3.3 mostra altimetria da bacia do Açude Maranguape II.

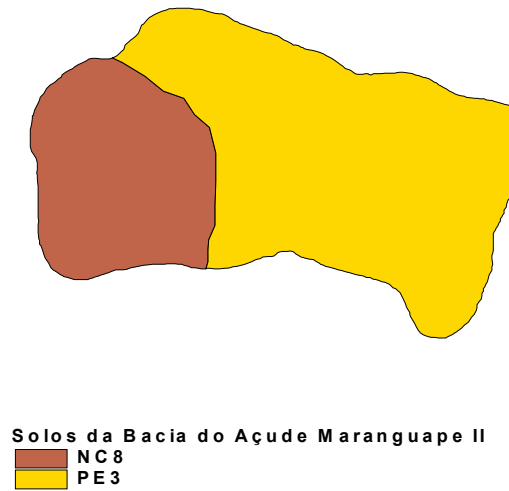


**Figura Nº3.3. Bacia do Açude Maranguape II**

### 3.5.1.2 - Solos e cobertura vegetal

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

A bacia do Açude Maranguape II tem predominantemente solos Bruno não Cálcico e Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico (NC8 e PE3, respectivamente. Ver Figura 3.4), o que, associado com o relevo da bacia, resulta em solos com baixa capacidade de drenagem (Figura 3.5). A vegetação predominante é a Caatinga Arbustiva Densa e a Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial – Mata Seca (Figura 3.6) e o principal uso é a Agricultura – [culturas anuais, temporárias e permanentes] e [Horticultura e remanescentes florestais] (Figura 3.7).



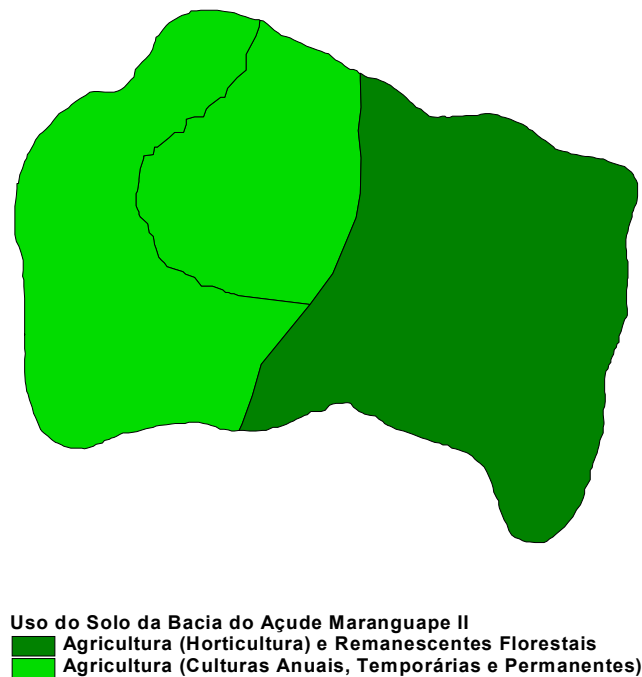
**Figura 3.4. Solos da Bacia do Açude Maranguape II (Fonte: FUNCEME).**



**Figura 3.5. Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia do Açude Maranguape II (Fonte: FUNCEME).**



**Figura 3.6. Vegetação da Bacia do Açude Maranguape II (Fonte: FUNCEME).**



**Figura 3.7. Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Açude Maranguape II (Fonte: FUNCEME).**

### 3.5.2 - ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

A abordagem da climatologia aqui desenvolvida visa dar subsídios as etapas subsequentes dos estudos realizados na bacia do Maranguape II, principalmente àquelas relacionadas ao aproveitamento dos seus recursos hídricos.

A bacia hidrográfica estudada drena uma área de 18,50 km<sup>2</sup> no local a ser barrado. A referida bacia não tem estação hidroclimatológica localizada em seus domínios, sendo por isso utilizada como estação representativa a de Fortaleza, com denominação homônima de sua localidade (INEMET, 1991)<sup>1</sup>. Os principais parâmetros são:

#### Temperatura

A distribuição temporal das temperaturas diárias mostra pequenas variações para os três pontos discretos de monitoramento (12:00; 18:00 e 24:00 TMG - Tempo Médio de Greenwich), sendo tais flutuações processadas, sob uma visão contínua no tempo, com pequenos gradientes.

A temperatura compensada apresenta uma pequena variação de 1,6 °C, isso para os meses de julho (25,7 °C), dezembro e janeiro (27,3 °C). As médias máximas e mínimas extremas ocorrem respectivamente nos meses de novembro e dezembro (30,7 °C) e Junho (22,1 °C), conforme se observa no Quadro 3.14 e Figura 3.8.

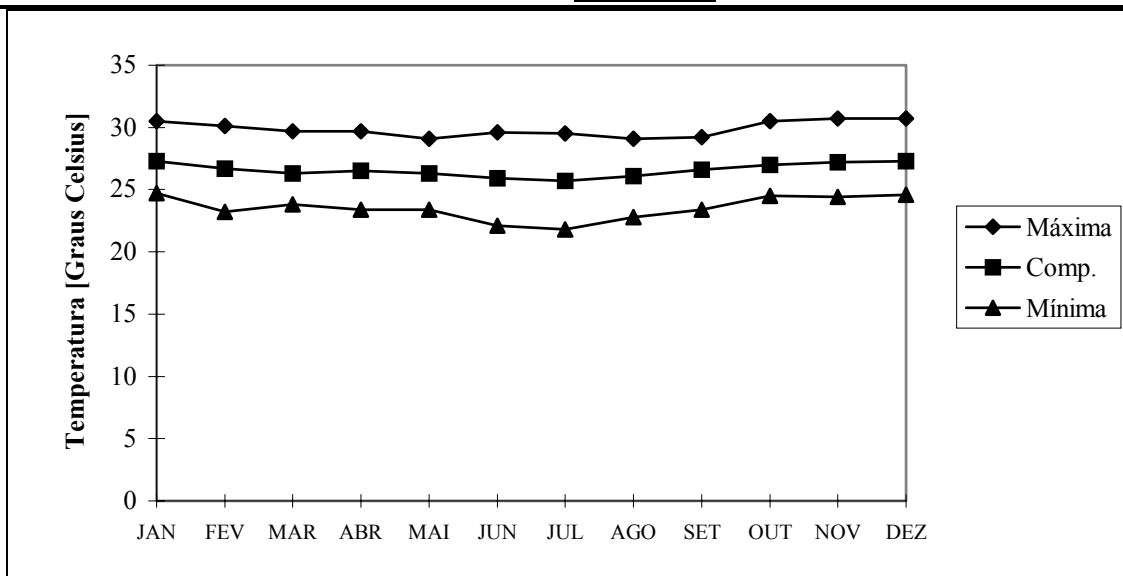
Quadro 3.14 - Temperaturas Máximas, Mínimas e Compensadas (°C) na estação de Fortaleza													
Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Máxima	30,5	30,1	29,7	29,7	29,1	29,6	29,5	29,1	29,2	30,5	30,7	30,7	29,9
Comp.	27,3	26,7	26,3	26,5	26,3	25,9	25,7	26,1	26,6	27,0	27,2	27,3	26,6
Mínima	24,7	23,2	23,8	23,4	23,4	22,1	21,8	22,8	23,4	24,5	24,4	24,6	23,5

FONTE: INEMET (1991)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INEMET, 1991. INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROCLIMATOLÓGICAS.

<sup>2</sup>INEMET, 1992, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990), Brasília, Brasil.





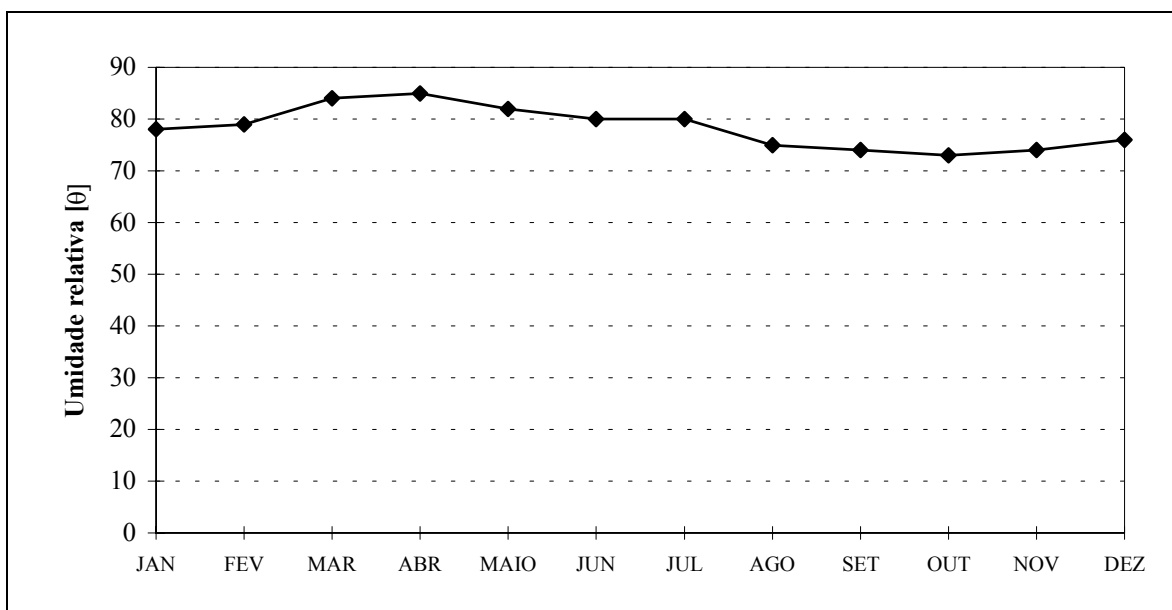
**Figura 3.8-Temperaturas Máximas, Mínimas e Médias Compensadas na estação de Fortaleza**

**Umidade Relativa**

A umidade relativa média apresenta uma variação máxima de 12% referente aos meses de Abril (85%) e Outubro (73%), como se pode verificar no Quadro nº3.15 e Figura 3.9.

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
%	78	79	84	85	82	80	80	75	74	73	74	76	78,3

FONTE: INEMET (1991)<sup>3</sup>



**Figura 3.9 - Umidade Relativa na estação de Fortaleza**

<sup>3</sup> INEMET, 1992, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990), Brasília, Brasil.

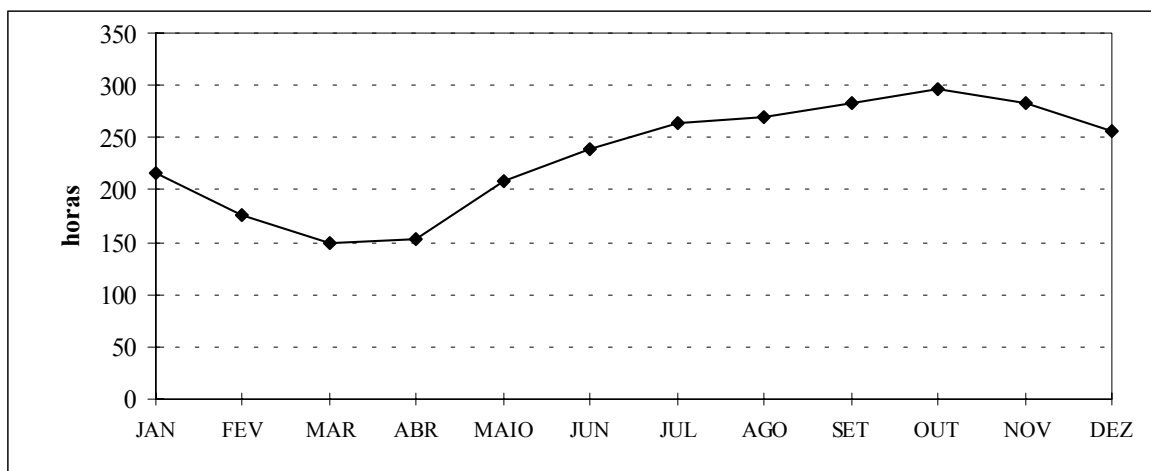
Os índices de umidade medidos resultam de uma composição de efeitos climatológicos, levando-se em conta, entre estes, a pluviometria que se constitui como o principal componente do fenômeno. Assim, considerando-se a inexistência de outras estações hidroclimatológicas nas proximidades da área de estudo, a unidade é resultante da homogeneidade pluviométrica, além das pequenas oscilações dos demais parâmetros influentes.

### Insolação Média

O Quadro nº3.16 e a Figura 3.10 mostram, respectivamente, o número de horas de exposição no local da estação de Fortaleza e sua distribuição mensal. Em termos anuais, no mesmo período, tem-se 2694 horas de exposição, podendo-se concluir de maneira aproximada que cerca de 62% dos dias do ano possuem incidência solar direta. O trimestre fevereiro/março/abril, apresenta os menores valores mostrando estreita relação com o trimestre mais chuvoso.

Quadro nº3.16 - Insolação Média na estação de Fortaleza													
Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Horas	216	175	148	153	209	240	263	169	283	296	283	257	2694,3

FONTE: INEMET (1991)<sup>4</sup>



**Figura 3.10-Insolação Média na estação de Fortaleza**

<sup>4</sup> INEMET, 1992, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990), Brasília, Brasil.

## Ventos

A intensidade do vento é medida nos horários sinóticos de observação, a uma altitude de 10 m em relação à estação. Da mesma forma, a direção do vento também é medida nos três horários sinóticos, indicando a direção de onde o vento se origina.

A estação de Fortaleza apresenta suas velocidades médias dos ventos descrita no Quadro nº3.17. Esta região a direção reinante dos ventos está dentro do quadrante Sudeste/Leste.

Quadro nº3.17 - Velocidade Média dos Ventos na estação de Fortaleza													
Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
m/s	3,6	3,1	2,4	2,3	2,8	3,1	3,5	4,4	4,9	4,6	4,5	4,5	3,6

FONTE: PERH(1992)<sup>5</sup>

## Evaporação Média

A evaporação anual observada em tanque-tipo classe “A” é de 1468 mm, distribuída ao longo dos meses segundo o Quadro nº3.18 e Figura 3.11.

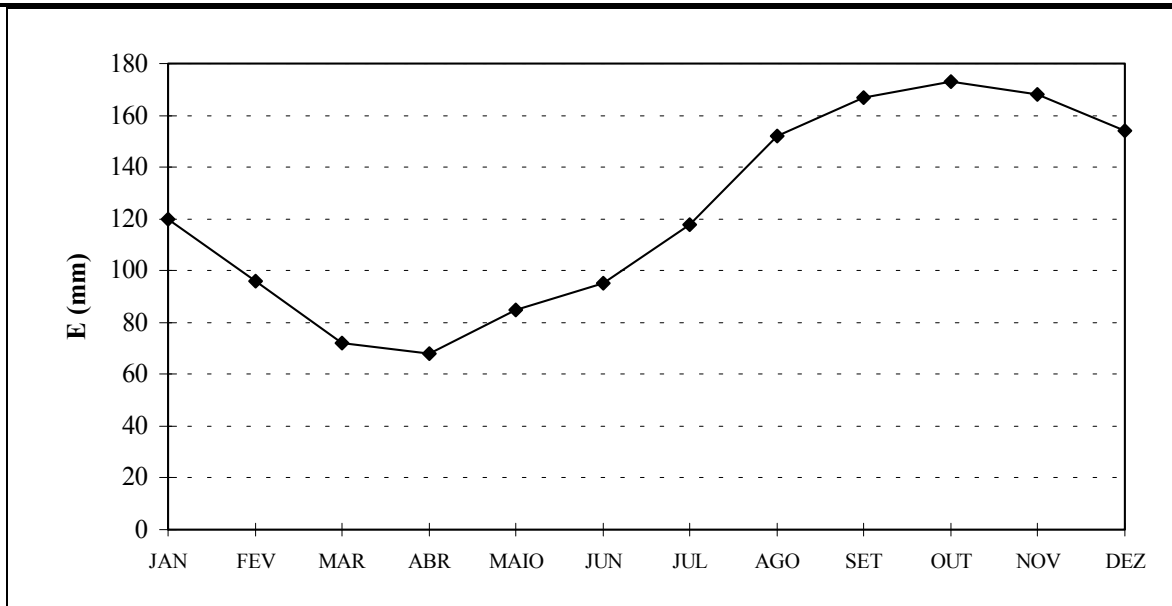
Quadro nº3.18 - Evaporação Média na estação de Fortaleza													
Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
mm	120	96	72	68	85	95	118	152	167	173	168	154	1468

FONTE: INEMET (1991)

O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro (173,5 mm). Deve-se ressaltar, entretanto, que para adotar estes valores como representativos da evaporação em açudes, principalmente pequenos e médios, deve-se multiplicar estes valores por um coeficiente entre a evaporação do açude e a evaporação no Tanque Classe A ( $K_a$ ). Molle (1989) aconselha os valores mostrados no Quadro nº3.19 para  $K_a$ , em função da superfície do espelho.

Quadro nº3.19 - $K_a$ em função da superfície do espelho d'água					
Superfície (ha)	0 a 5	5 a 10	10 a 20	20 a 30	média
$K_a$	0,95	0,87	0,82	0,75	0,84

<sup>5</sup>SRH, 1992. Plano Estadual de Recursos Hídricos, Fortaleza, Ceará.



**Figura 3.11 - Evaporação Média na estação de Fortaleza**

**Evapotranspiração**

Como estimativa da evapotranspiração média, foi utilizada a equação de Hargreaves<sup>6</sup> mostrada abaixo. Esta fornece a ETP em função da temperatura média compensada, umidade relativa do ar e de um coeficiente de correção que depende da latitude do local considerado.

$$ETP = F.(100,0-U)^{1/2}.0,158.(32+1,8T)$$

F - Fator dependente da latitude (adimensional)

T - Temperatura média compensada em °C

U - Umidade relativa do ar (%)

Quadro nº3.20 - Evapotranspiração Potencial calculada segundo Hargreaves													
Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
mm	143,9	126,4	119,1	105,7	110,0	105,9	111,2	135,2	145,1	159,5	151,7	149,4	1563,1

<sup>6</sup>HARGREAVES, G.H. 1974, POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION AND IRRIGATION REQUIREMENTS FOR NORTH-EAST OF BRAZIL, UTAH STATE UNIVERSITY.

O trimestre que apresenta os maiores valores de evapotranspiração corresponde a outubro/novembro/dezembro, ocorrendo o máximo em outubro (159 mm). O trimestre abril/maio/junho possui o menor índice de evaporação, ocorrendo o mínimo em junho com 106 mm.

### **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 para a bacia em questão, supondo-se uma capacidade de armazenamento de 100 mm (PERH, 1992)<sup>7</sup>, obtém-se o Quadro nº3.21.

<b>Quadro nº3.21 - Balanço Hídrico segundo Thornthwaite e Mather</b>									
<b>Mês</b>	<b>P mm</b>	<b>ETP mm</b>	<b>P-ETP mm</b>	<b>Neg mm</b>	<b>ARM mm</b>	<b>ALT mm</b>	<b>ETR mm</b>	<b>DEF mm</b>	<b>EXC mm</b>
Jan	111,6	146,0	-34,40	0,00	0,00	0,00	111,60	34,40	0,00
Fev	197,3	125,0	72,30	32,00	72,30	72,30	125,00	0,00	0,00
Mar	323,2	128,0	195,20	0,00	100,00	27,70	128,00	0,00	167,50
Abr	304,9	116,0	188,90	0,00	100,00	0,00	116,00	0,00	188,90
Mai	194,4	117,0	77,40	0,00	100,00	0,00	117,00	0,00	77,40
Jun	102,2	111,0	-8,80	8,80	92,00	-8,00	110,20	0,80	0,00
Jul	42,8	124,0	-81,20	90,00	40,00	-52,00	94,80	29,20	0,00
Ago	15,2	139,0	-123,80	213,80	11,00	-29,00	44,20	94,80	0,00
Set	17,3	145,0	-127,70	341,50	3,00	-8,00	25,30	119,70	0,00
Out	13,5	159,0	-145,50	487,00	0,00	-3,00	16,50	142,50	0,00
Nov	19,4	150,0	-130,60	617,60	0,00	0,00	19,40	130,60	0,00
Dez	44,2	151,0	-106,80	724,40	0,00	0,00	44,20	106,80	0,00
ANO	1386,00	1611,00	-225,00		518,30	0,00	952,20	658,80	433,80

(\*) ETP calculada pelo método de Hargreaves

<sup>7</sup>PERH, 1992. PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ.

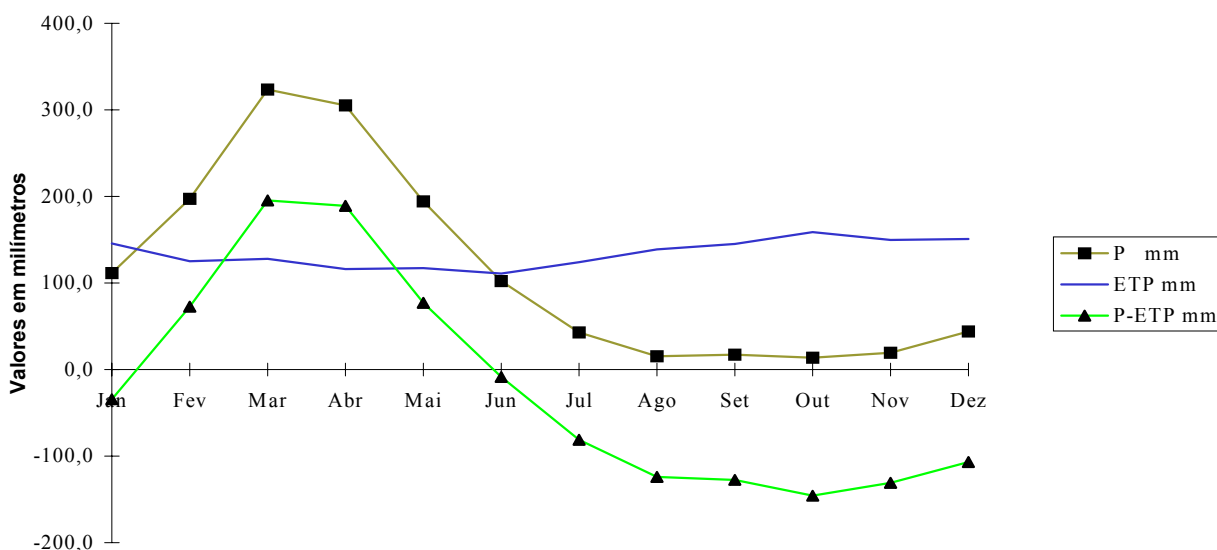


Figura 3.12 - Balço Hídrico

### Classificação do Clima

A classificação do clima da bacia de Maranguape II está apresentada a seguir:

- Classificação segundo Köeppen

Segundo Köeppen existem cinco zonas diferentes de clima na terra, associadas a valores de temperatura e precipitação de acordo com a vegetação.

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, além da característica pluviométrica e térmica, a evapotranspiração potencial é também considerada elemento determinante do clima. Como forma de auxiliar na classificação de tipos e subtipos climáticos, três parâmetros foram introduzidos por Thornthwaite, a saber:

- Índice de aridez:

O índice de aridez vem a ser a deficiência hídrica expressa em porcentagem da evapotranspiração potencial, este índice apresentou o valor 41 (Quadro nº3.21).

- Índice de umidade:

O índice de umidade é o excesso de água (EXC) expresso em porcentagem da necessidade que é representado pela evapotranspiração potencial (ETP), este índice apresentou um valor de 27 (Quadro nº3.21).

- Índice efetivo de umidade:

Este índice reflete o excesso ou déficit de água ao longo do ano, apresentando um valor igual a 2 (Quadro nº3.21).

Com base nestes índices, os dados para a área de estudo, mostram um clima seco e sub-úmido; tipo C2, com índice efetivo de umidade variando entre 0% e 20%; clima seco, sub-tipo S2, com índice de aridez superior a 33%; tipo A', megatérmico e sub-tipo a', baixa variação estacional (C2S2A'a').

### 3.5.3 - Estudos Pluviométricos

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

Um posto foi utilizado neste estudo, o mais próximo da área de interesse que possui uma bacia hidrográfica com 18,50km<sup>2</sup>, além de estar em uma altitude que representa melhor as características da área de estudo. Na estimativa dos dois vetores regionais, um a nível anual e o outro a nível mensal, foram utilizados postos reunidos nos denominados grupos regionais, (PERH, 1992), por apresentarem médias dos totais anuais mais próximas, além de estarem localizados em regiões de pouca variação de altitude.

Inicialmente foi considerado o intervalo anual, para o qual analisou-se a dupla massa entre a pluviometria anual e a série sintética obtida a partir do vetor regional associado. Esta análise permite a identificação de anomalias, ou seja, valores que divergem do padrão, este definido com base na informação de todos os postos pelo princípio da máxima verossimilhança.

A seguir prossegue-se com a análise, a nível mensal, utilizando o vetor regional mensal, buscando os meses que apresentam desvios consideráveis para aqueles anos de desvios consideráveis em relação ao valor sintético, sendo corrigidos os de maior contribuição para o desvio a nível anual. Os valores diários são compatibilizados pelo princípio da desagregação nos meses que sofreram a correção. Para maiores detalhes, consultar o PERH - SRH, 1992 - Relatório Geral - Diagnóstico.

O Quadro nº3.22 mostra os postos pluviométricos que foram utilizados neste estudo e que compõem o grupo regional PACOTI. Foram utilizados dados até 1988, pois estes foram consistidos por ocasião do Plano Estadual de Recursos Hídricos (1992).

Quadro nº3.22 - Postos utilizados consistidos pelo método do Vetor Regional: Grupo Pacoti					
Posto	Código	Período	Latitude	Longitude	Altitude (m)
MARANGUAPE	2872766	1912 - 1982	03°53'	38°41'	67

Fonte: PERH-CE (1992)

### 3.5.3.1 - Caracterização do Regime Pluviométrico

O regime pluviométrico foi caracterizado em nível anual, em nível mensal, em nível diário e em chuvas intensas, com descritos a seguir.

#### Nível Anual

As isoietas, linhas de mesma precipitação média, e iso-cv's (coeficientes de variação) estão apresentadas nas Figuras 3.13 e 3.14, que mostram a região norte do Estado e onde se encontra a área do estudo. A área de estudo apresenta, segundo análise destas figuras, média pluviométrica em torno de 1300 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,40.

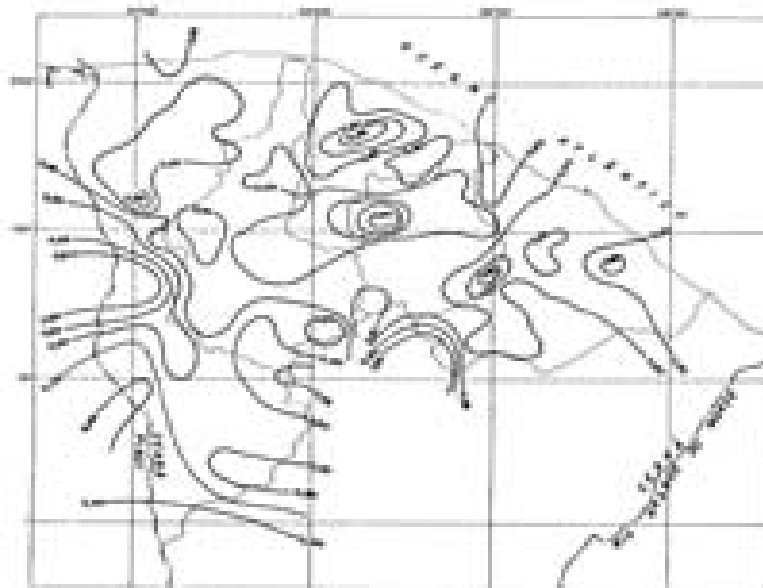
Uma análise freqüencial foi realizada para o postos de Maranguape, sendo testadas várias distribuições, e escolhida a Pearson III como a de melhor ajuste, sendo seus parâmetros estimados pelo método dos momentos. O Quadro nº3.23 resume esta análise de freqüência.

Quadro nº3.23 - Análise de Freqüência dos Totais Anuais - Distribuição Pearson III							
Código	N	Período de Retorno					
		10	50	100	200	500	1000
2872766	75	2092,4	2723,6	2981,0	3234,3	3566,0	3816,3





**Figura 3.13 – Isoietas**



**Figura 3.14 – Iso-cv's**

### **Nível Mensal**

A análise da distribuição temporal mostra a concentração do total precipitado no primeiro semestre do ano, correspondendo a cerca de 90% do total anual.

A nível trimestral nota-se mais ainda a gravidade da concentração temporal, onde se constata que cerca de 60% do total anual precipita-se em apenas três meses do ano. Neste trimestre o mês de abril corresponde ao mais chuvoso, com cerca de 23% do total anual.

No Quadro nº3.24 mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), enquanto que no Quadro 3.25 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 10000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Pearson III.

<b>Quadro nº3.24 - Índices de Concentração Pluviométrica. Série de Valores Médios Mensais.</b>									
<b>Código</b>	<b>MÊS</b>	<b>VALOR</b>	<b>%TOT</b>	<b>TRIMES</b>	<b>VALOR</b>	<b>%</b>	<b>SEM</b>	<b>VALOR</b>	<b>%</b>
2872766	MARÇO	323.2	23.3	FMA	825.4	59.6	1	1236.7	89.2

<b>Quadro nº3.25 - Análise de Frequência-Nível Mensal-Distribuição Pearson III (mês mais chuvoso = março).</b>							
<b>Código</b>	<b>N</b>	<b>Período de Retorno</b>					
		<b>10</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
2872766	75	528,6	716,1	793,2	869,4	969,7	1045,6

### Nível Diário

Os principais tipos de precipitações da região são em decorrência da elevação brusca das massas de ar por efeito térmico, ou lenta, quando a massa de ar encontra obstáculos topográficos.

A probabilidade de ocorrência de dias chuvosos no período úmido é considerável. Em regiões de influência orográfica a ocorrência de até vinte dias chuvosos no mês não é incomum.

Na análise hidrológica de prováveis obras hidráulicas, os eventos de alta frequência assumem uma importância maior com relação aos de baixa. Aqui foram utilizadas séries anuais de máximos diários.

Diversas distribuições podem ser utilizadas como teóricas para as frequências observadas. Depois de comparar diversas distribuições, foi escolhida a Pearson III, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no Quadro nº3.26.

**Quadro nº3.26 - Análise de Frequência-Nível Diário-Distribuição Log-Pearson III.**

Código	N	Período de Retorno					
		10	50	100	500	1000	10000
2872766	73	117.00	151.6	166.4	201.4	216.9	270.3

### Chuvas Intensas

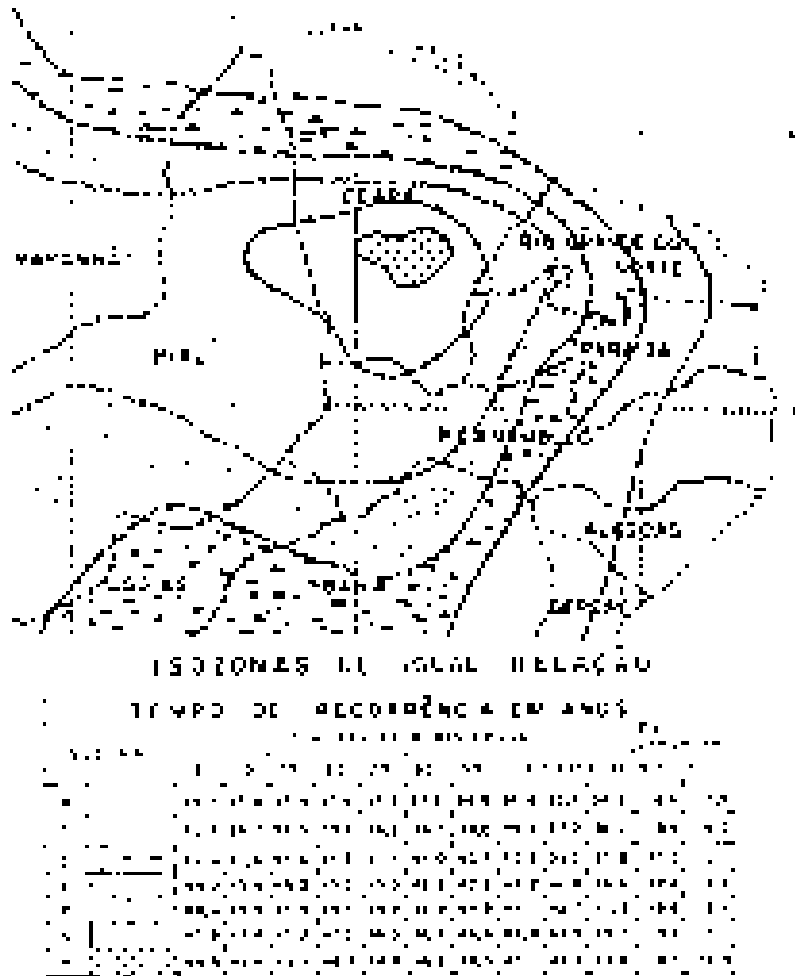
Para projetos de obras hidráulicas em geral é importante a caracterização do regime pluviométrico em intervalos de tempo inferiores a 24 horas. A definição da vazão de projeto, por exemplo de canais integrantes da rede de drenagem, obras d'arte, está vinculada a determinação da relação intensidade-duração-freqüência pluviométrica.

Na área em estudo inexistem registros pluviográficos, sendo o aparelho mais comum em estações pluviométricas o pluviômetro, capaz de registrar a "precipitação máxima de 1 dia". Isto impossibilita o uso da metodologia convencional, na qual, a partir de chuvas intensas de várias durações registradas em pluviogramas, estabelece-se uma equação que relaciona intensidade, duração e freqüência para a área de representatividade do aparelho.

Como alternativa ao método tradicional, 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.

A desagregação da chuva de 24 horas em chuvas de menores durações consiste nas seguintes etapas de cálculo descritas a seguir:

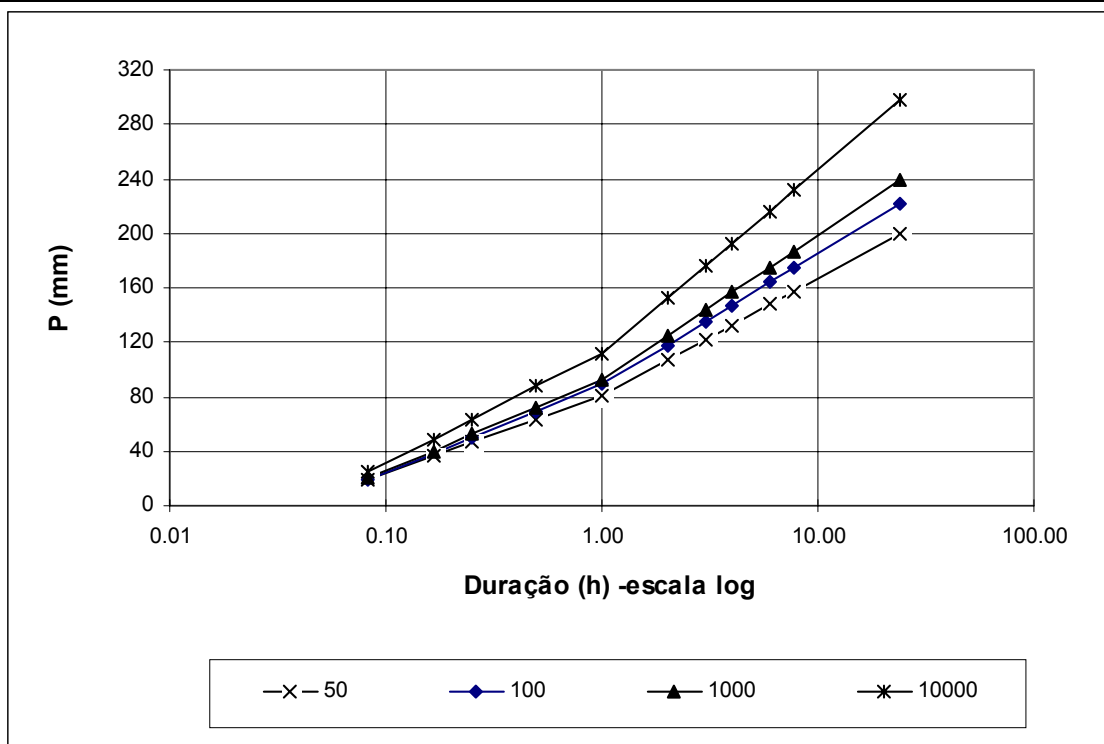
1. multiplicar a chuva de um dia por 1,10 para obter-se a chuva pontual de 24 horas;
2. determinar a isozona onde está localizado o centro de gravidade da bacia hidrográfica - isozona C para a área em estudo (Figura 3.15);
3. estimar, para os diversos períodos de retorno, a chuva de 1 hora de duração a partir da chuva de 24 horas, através da multiplicação pelo fator R1h;
4. plotar os valores P24h e P1h em papel probabilístico para obtenção de chuvas de durações intermediárias.



**Figura 3.15 – Método das Isozonas de Taborga**

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 Maranguape (2872766) foi escolhido uma vez que tem uma série extensa e uma boa representatividade do regime de chuvas da região. A Figura 3.16 mostra as curvas intensidade-duração-freqüência para diferentes tempos de retorno.



**Figura 3.16 - Curvas Intensidade-Duração-Freqüência**

### 3.5.3.2 - Estudo de Cheias

O estudo da cheia da Barragem Maranguape II para o dimensionamento do sangradouro foi determinado a partir do hidrograma baseado em precipitações associadas a um risco ou probabilidade de ocorrência.

Foram calculadas aqui as cheias de projeto de 1000 e 10000 anos. O intervalo de computação dos hidrogramas de cheia foi de 1 minuto.

Os métodos estatísticos de obtenção de vazões máximas que utilizam séries históricas de vazões observadas, procedimento comum para bacias naturais, não podem ser aplicados pela escassez de dados ou, ainda, sua inexistência. Esta falta de dados dos eventos na bacia a ser estudada indicaram a escolha de métodos de transformação chuva-deflúvio como metodologia a ser adotada.

A metodologia procura descrever as diversas hipóteses de cálculo da cheia de projeto: a escolha da chuva de projeto, o hietograma utilizado, a definição da precipitação efetiva, o hidrograma da cheia na bacia e, por fim, o seu amortecimento no sangradouro. A ferramenta utilizada para a implementação desta metodologia foi o programa HEC-1.

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Maranguape II 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 hietogramas de projeto correspondentes a 1000 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. No caso da bacia do Maranguape II foi adotado o seguinte:

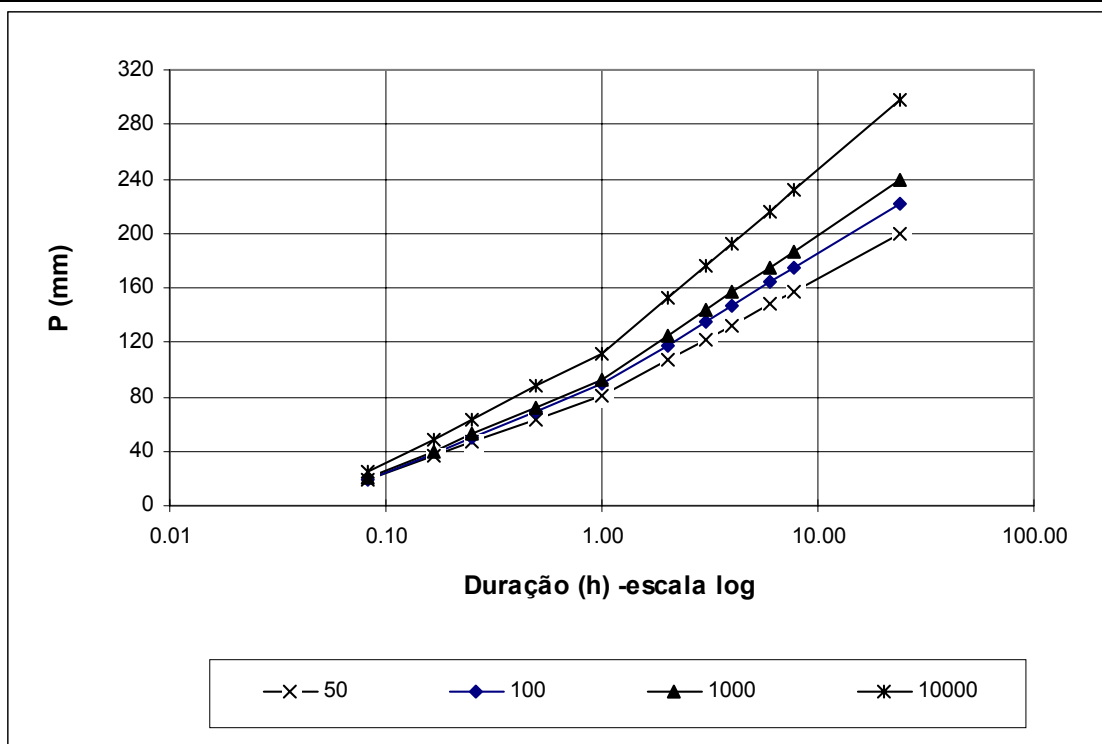
1. Método Curva-Número (*Soil Conservation Service*) na determinação da chuva efetiva;
2. Método do *Soil Conservation Service* na determinação do hidrograma unitário sintético - Escoamento Superficial na bacia (*Overland flow*);

### Precipitação

Para cálculo do escoamento superficial para a bacia do Maranguape II, foi considerada 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.

O hietograma adotado baseia-se nas curvas altura-duração-freqüência obtidas através do método de Taborga. Na Figura 3.17 apresenta a curva intensidade-duração-freqüência para a bacia de estudo. Como a área da bacia é da ordem de  $19 \text{ km}^2$  para ambas opções de eixo analisadas, foi utilizada a chuva pontual, não sendo realizado nenhum ajuste para correção de área.

Quadro nº3.27 - Chuvas Pontual e Reduzida								
Duração	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) – TR 50	18.6	46.3	81.2	107.0	122.1	147.9	157.5	199.5
P(mm) – TR 100	18.5	49.8	89.3	118.1	135.0	163.9	174.6	221.6
P(mm) – TR 1000	19.9	52.2	93.0	124.8	143.3	175.1	186.9	238.6
P (mm) – TR 10000	24.8	63.3	111.8	152.3	176.0	216.4	231.4	297.4



**Figura 3.17 – Curvas intensidade-duração-freqüência**

O HEC-1 utiliza os dados da curva intensidade-duração-freqüência 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). Alturas correspondentes a 10 e 30 minutos são interpoladas das alturas precipitadas de 5, 15 e 60 minutos.

### Precipitação Efetiva

O modelo 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.

O cálculo das perdas de precipitação pode ser usado nos outros componentes do modelo HEC-1, em especial, hidrograma unitário. No caso do hidrograma unitário, estas perdas são consideradas uniformemente distribuídas sobre a bacia (ou sub-bacia).

De maneira geral, existem três metodologias utilizadas para determinação da chuva efetiva: equações de infiltração, índices e relações funcionais. Especificamente, o HEC-1 possibilita o uso de 5 métodos: 1) taxa de perda inicial e uniforme; 2) taxa de perda exponencial; 3) Curva-Número; 4) Holtan; 5) Função de Infiltração Green e Ampt.

Foi considerado mais adequado, diante dos dados disponíveis, o método curva número do Soil Conservation Service.

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 Maranguape II foi adotado um CN = 70 com base nos mapas de solo (grupos hidrológicos), uso e ocupação e relevo contidos no PERH (1992).

As perdas antes do início do escoamento ( $I_a$ ) incluem água retida em depressões superficiais, água interceptada pela vegetação, evaporação, e infiltração.  $I_a$  é altamente variado.

O CN foi tabelado para diferentes tipos de solos e cobertura, sendo estes valores tabelados apresentados para condições de umidade antecedente normal (AMC II).

Alternativamente, os CNs para estas condições podem ser obtidos, a partir da condição normal (AMC II), utilizando-se tabelas.

Como já mencionado, o CN foi tabelado para diferentes tipos de solos, os quais foram classificados pelo SCS em quatro grupos de solos hidrológicos (A, B, C e D) de acordo com sua taxa de infiltração. Estes quatro grupos são descritos a seguir:

- A - solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. solos arenosos profundos com pouco silte e argilla.
- B - solos menos permeáveis que o anterior, solos arenosos menos profundo que o do tipo a e com permeabilidade superior à média.
- C - solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.
- D - solos contendo argilas expansivas, pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.



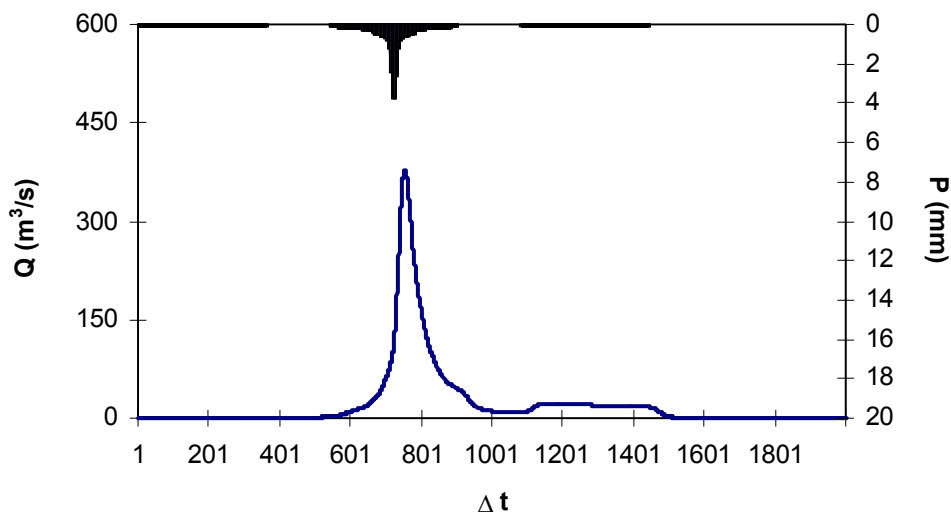
Desde que o método do SCS dá o excesso total para uma tormenta, o excesso incremental de precipitação para um período de tempo é calculado como a diferença entre o excesso acumulado no fim do presente período e o acumulado do período anterior.

### Hidrograma Unitário - SCS

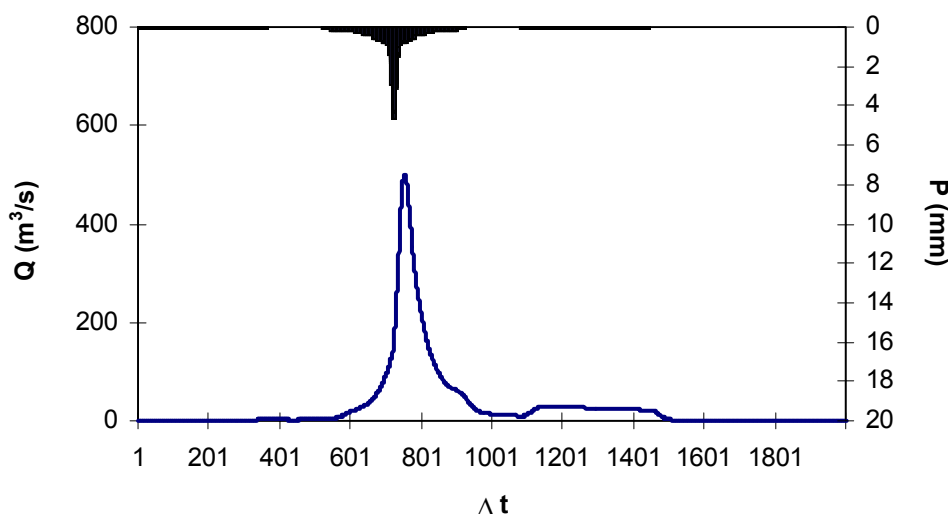
A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. Este método foi escolhido por ter sido idealizado para bacias de áreas entre 2,5 e 1000 km<sup>2</sup>, e por ser construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas. 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.

Uma vez determinados estes parâmetros e o intervalo de cálculo (duração do hidrograma unitário), o HEC-1 utiliza estes para interpolar um hidrograma unitário a partir de um hidrograma unitário adimensional do SCS. A seleção do intervalo de cálculo é baseado na relação  $\Delta t = 0.20 t_p$ , não devendo exceder  $0.25 t_p$ .

A Figura 3.18 abaixo apresenta o hidrograma de projeto e o hidrograma afluente a barragem Maranguape II obtido através do uso do modelo HEC, conforme metodologia acima. A vazão de pico do hidrograma de 1000 anos de tempo de retorno foi 378 m<sup>3</sup>/s. Para o tempo de retorno de 10000 anos foi obtida uma vazão de pico de 500 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 3.18 - Hidrograma total afluente ao Maranguape II (Tr = 1000 anos).**



**Figura 3.19 - Hidrograma total afluyente ao Maranguape II ( $T_r = 10000$  anos).**

### 3.5.3.3 - 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. Em termos hidrológicos, os objetivos centrais são:

1. análise incremental do ganho em volume regularizado em relação ao aumento da capacidade para a Barragem Maranguape II;
2. estimativa das perdas por evaporação e sangria da Barragem Maranguape II;

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

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.

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

- lâmina média escoada: 322 mm

- volume afluyente médio escoado ( $\mu$ ): 5.957 hm<sup>3</sup>/ano

O coeficiente de variação de CV = 0.85 foi adotado com base no valor indicado por CAMPOS et al. (1995).

Para aplicação dos dois métodos faz-se necessário a determinação do fator de forma  $\alpha$ , lâmina evaporada e fator adimensional de evaporação e capacidade. No caso do fator adimensional de capacidade, este é variável uma vez que se pretende analisar o ganho na regularização em função do aumento da capacidade. Assim:

$$E_L = 0.85 \cdot (80.5 + 100.6 + 129.0 + 142.6 + 147.5 + 142.9 + 131.2)$$

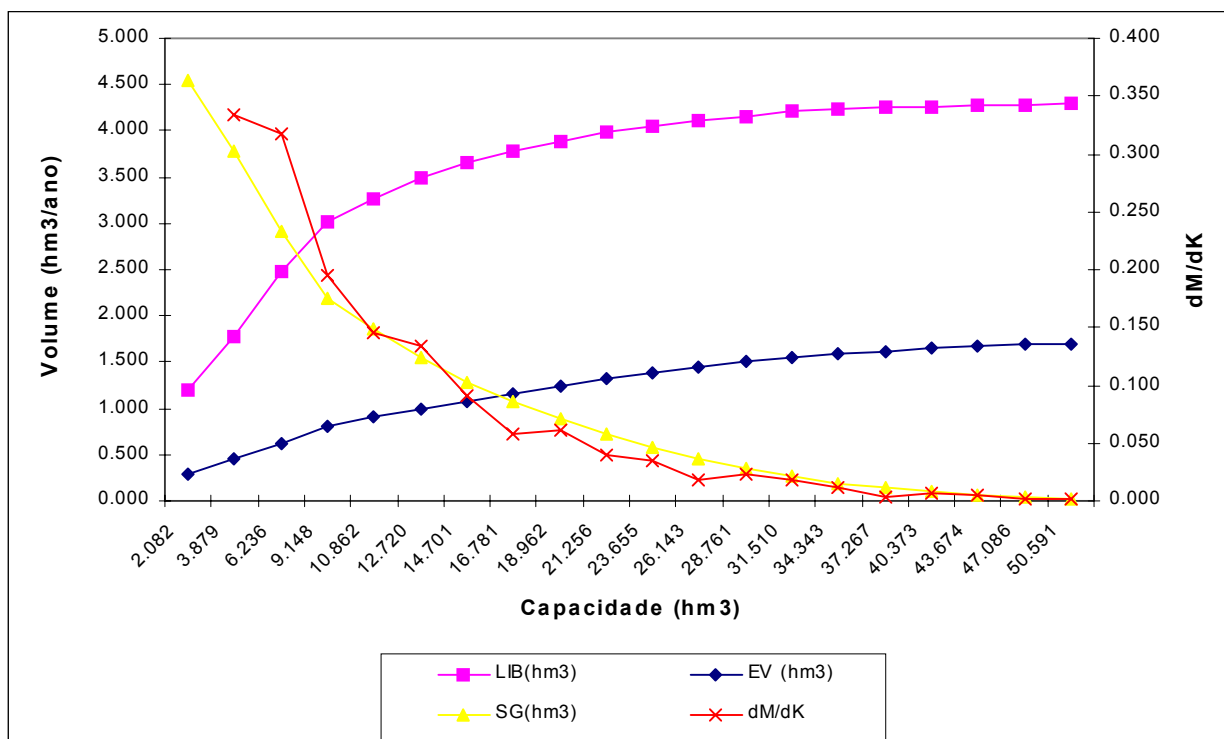
$$= 743.1 \text{ mm (Evaporação na estação seca)}$$

$$\alpha = 1884.1$$

$$f_E = 3\alpha^{1/3} E_L / \mu^{1/3} = 0.15$$

No Quadro 3.28 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de  $f_K$  (fator de capacidade =  $K/\mu$ ). A Figura 3.20 apresenta as curvas de regulação para o reservatório Maranguape II, que nada mais é que o gráfico dos valores apresentados no Quadro nº3.28.

Quadro 3.28 - Estudo incremental de capacidades do Reservatório Maranguape II											
Cota (m)	K (hm <sup>3</sup> )	Fk K/ $\mu$	%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)
88	2.082	0.35	19.79	1.194	4.79	0.289	75.42	4.549	-----	0.039	1.239
90	3.879	0.65	29.55	1.781	7.68	0.463	62.77	3.784	0.334	0.058	1.840
92	6.236	1.05	41.26	2.486	10.43	0.629	48.31	2.911	0.317	0.082	2.587
<b>94</b>	<b>9.148</b>	<b>1.54</b>	<b>50.20</b>	<b>3.024</b>	<b>13.47</b>	<b>0.811</b>	<b>36.33</b>	<b>2.188</b>	<b>0.195</b>	<b>0.100</b>	<b>3.156</b>
95	10.862	1.82	54.13	3.260	15.03	0.905	30.84	1.858	0.146	0.108	3.405
96	12.720	2.14	57.94	3.488	16.43	0.989	25.64	1.544	0.133	0.116	3.653
97	14.701	2.47	60.75	3.656	17.87	1.076	21.38	1.286	0.091	0.122	3.833
98	16.781	2.82	62.68	3.772	19.31	1.162	18.01	1.084	0.058	0.125	3.954
99	18.962	3.18	64.65	3.892	20.56	1.238	14.79	0.890	0.060	0.130	4.086
100	21.256	3.57	66.09	3.978	21.86	1.316	12.06	0.726	0.040	0.133	4.179
101	23.655	3.97	67.34	4.053	23.03	1.386	9.62	0.579	0.035	0.135	4.262
102	26.143	4.39	68.17	4.102	24.19	1.456	7.64	0.459	0.018	0.137	4.307
103	28.761	4.83	69.15	4.160	25.06	1.507	5.79	0.348	0.024	0.139	4.369
104	31.510	5.29	69.93	4.205	25.77	1.549	4.30	0.258	0.019	0.140	4.421
105	34.343	5.77	70.44	4.234	26.36	1.584	3.20	0.192	0.012	0.141	4.454
106	37.267	6.26	70.69	4.248	26.98	1.621	2.34	0.140	0.004	0.142	4.465
107	40.373	6.78	71.00	4.266	27.44	1.649	1.56	0.094	0.007	0.142	4.486
108	43.674	7.33	71.24	4.282	27.77	1.669	0.98	0.059	0.005	0.143	4.501
109	47.086	7.90	71.32	4.286	28.06	1.686	0.62	0.038	0.001	0.143	4.505
110	50.591	8.49	71.38	4.290	28.22	1.696	0.40	0.024	0.001	0.143	4.510



**Figura 3.20 - Curvas de Regulação do Reservatório Maranguape II**

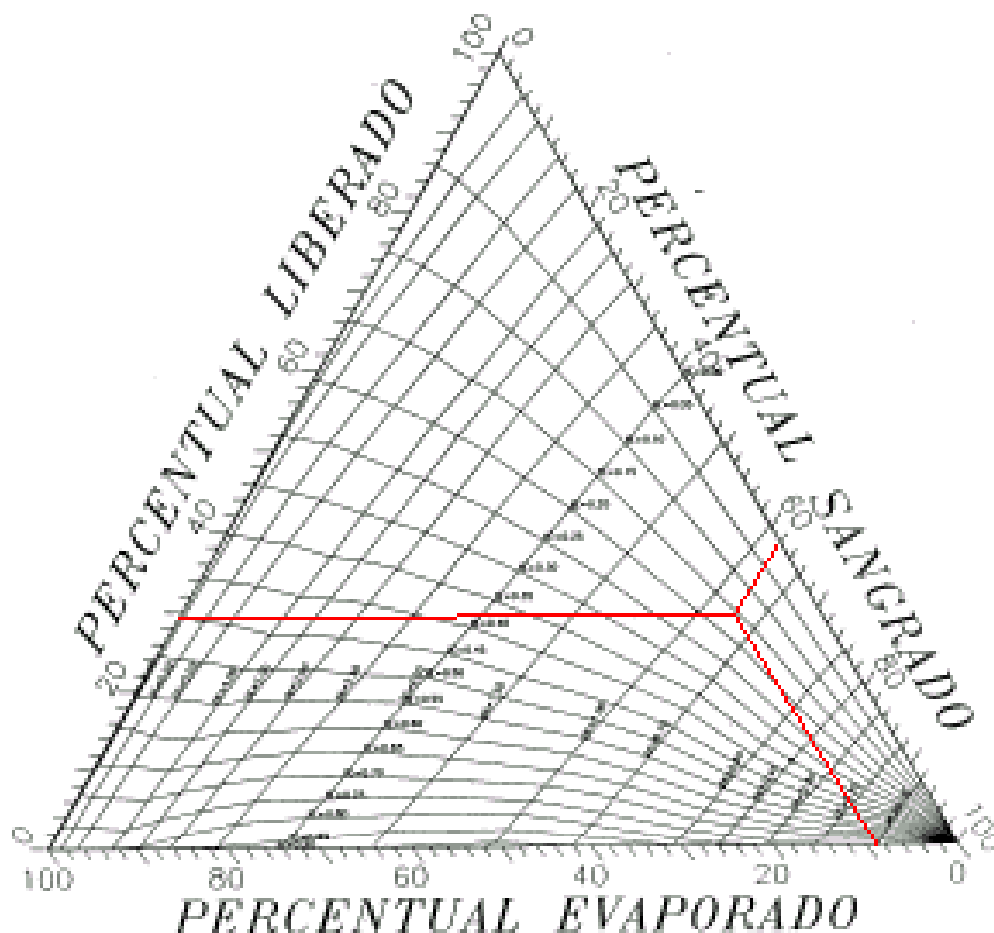
A Figura 3.20 e os dados apresentados no Quadro 3.28 sugerem que a partir da cota 94 m (volume em torno de 9,148 hm<sup>3</sup>) os ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento não são significativos. Para esta capacidade o reservatório regulariza 50,2% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, 3,024hm<sup>3</sup>/ano, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de 0.100m<sup>3</sup>/s. O Quadro 3.29 e a Figura 3.21, mostra como o volume afluente ao reservatório distribui-se em volume regularizado (RG), volume evaporado (EV) e volume sangrado (SG).

Quadro 3.29 - Distribuição do volume afluente e Qr (90%) para o Res. Maranguape II			
Equação do Balanço Hídrico			
RG - %	SG - %	EV- %	Qr 90% (m3/s)
3.024 – 50.2%	2.188 – 36.33%	0.811 – 13.47%	0.100

EV - Volume Evaporado (hm<sup>3</sup>/ano); SG - Volume Sangrado (hm<sup>3</sup>/ano)

RG- Volume Regularizado (hm<sup>3</sup>/ano);

Qr 90% - Vazão regularizada com 90% de garantia (m<sup>3</sup>/s)



**Figura 3.21 – Diagrama Triangular de Regularização aplicado a Barragem de Maranguape II.**

#### 3.5.3.4 - Determinação da Capacidade do Reservatório

As curvas de regulação do reservatório demonstraram que faixa de volumes estudada abrange o que teoricamente seria o hidrológicamente possível, fato este refletido pelo ampla gama do fator de capacidade ( $f_k$ ). Considera-se que o dimensionamento sugerido na cota 94m está próximo do ótimo em termos de aproveitamento da potencialidade hídrica da bacia hidrográfica, sendo limitada a seleção da cota do coroamento por questões econômicas e construtivas. Dito isso, a escolha do volume em torno de  $9,148 \text{ hm}^3$  ( $f_k = 1.54$ ) pelas condições físicas do local, correspondente a cota coroamento = 96,5 m. Para esta capacidade o reservatório regulariza cerca de 50,2% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume,  $3,024 \text{ hm}^3/\text{ano}$ , conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de  $0,100 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### Análise econômica

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

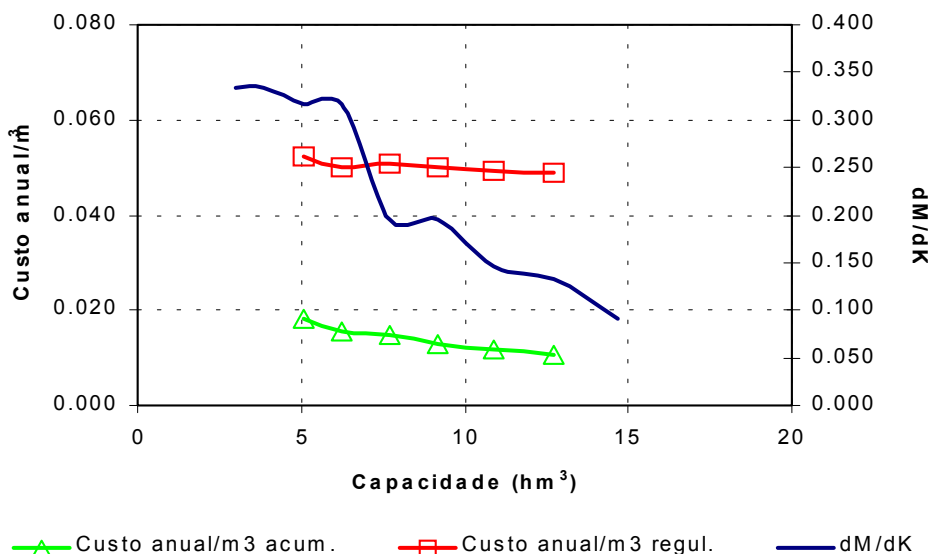
- variação do custo anual do m<sup>3</sup> de água acumulada em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos e uma taxa de 8%;
- variação do custo anual do m<sup>3</sup> de água regularizada com 90% de garantia em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos e uma taxa de 8%;
- variação do ganho em unidades de volume regularizado por unidade de volume acrescido na capacidade do reservatório (dM/dK);

A análise dos resultados da Figura 3.22 mostra que:

- o custo anual do m<sup>3</sup> regularizado variou entre R\$0.0467 (cota 97 m) e R\$0.0486 (cota 92 m).
- o custo anual do m<sup>3</sup> de acumulação variou entre R\$ 0,0094 (cota 97) a R\$ 0,0152 (cota 92).

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

Apesar de tanto o custo anual do m<sup>3</sup> regularizado como também de custo anual do m<sup>3</sup> acumulado ter uma tendência negativa, quando variamos a cota de soleira entre 92 e 97 m, o aumento do custo relativo é pequeno. Assim, considerando os aspectos construtivos, hidrológico e econômicos sugere-se a adoção da cota de soleira = 94 m (volume de armazenamento = 9,148 hm<sup>3</sup>).



**Figura 3.22. Análise hidrológico-econômica para seleção da capacidade da Barragem Maranguape II.**

### 3.5.3.5 - Dimensionamento do Sangradouro

Uma vez realizado o dimensionamento do reservatório com base nos estudos hidrológicos do capítulo anterior, faz-se necessário agora o dimensionamento do sangradouro visando 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.

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

Foram analisadas duas alternativas para o vertedouro, o primeiro escavado em rocha com coeficiente de descarga 1,4, e o outro um perfil Creager com coeficiente de descarga 2,1.

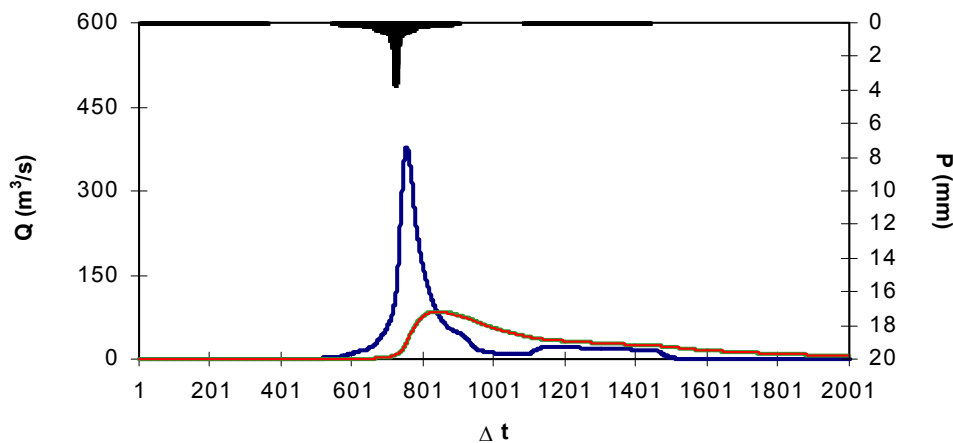
Uma vez escolhida a dimensão do açude (cota=94 m) e a seção 4, elaborou-se o estudo de laminação para a cheia de 1.000 anos, para dimensionamento do sangradouro, e para a cheia de 10.000 anos, visando garantir que a barragem não seja galgada nesta cheia, servindo assim para a definição da cota de coroamento da barragem.

Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro 3.30, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A Figura 3.23 abaixo mostra o hietograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Maranguape II correspondente ao tempo de retorno  $T_r=1000$  anos para as duas alternativas de vertedouros: escavado em rocha (verde) e em perfil Creager (vermelho). Os resultados correspondentes para o tempo de retorno de 10.000 anos podem ser visualizados na Figura 3.24.

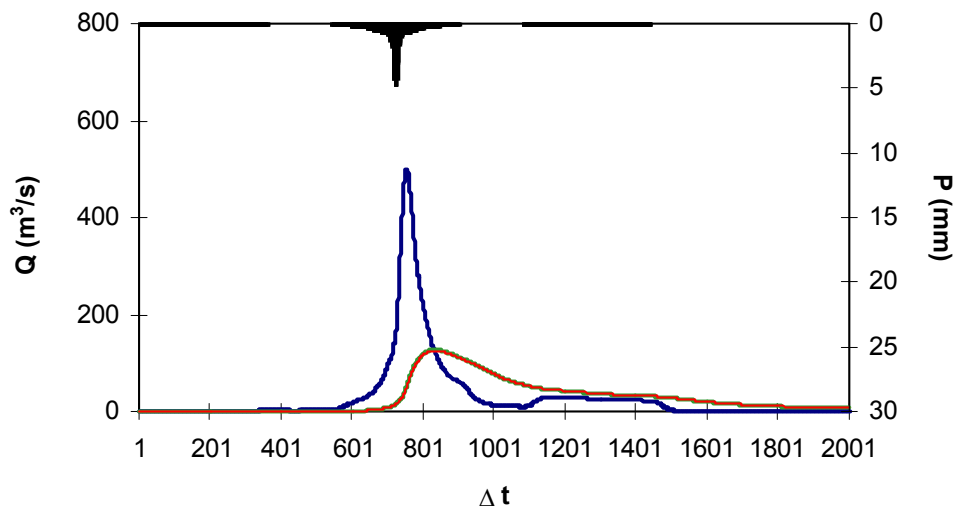
<b>Quadro 3.30 - Resultado da simulação acima descrita</b>			
<b>Cota (m)</b>	<b>Cota de pico (m)</b>	<b>Lâmina (m)</b>	<b><math>Q_{out}</math> (<math>m^3/s</math>)</b>
<b><math>T_r = 1.000</math> anos - <math>Q_{in} = 378 m^3/s</math></b>			
<b>Escavado em rocha: L = 90 m</b>			
94	94.79	0.79	92.0

Quadro 3.30 - Resultado da simulação acima descrita			
Perfil Creager: L = 60 m			
94	94.79	0.79	90.0
<b>Tr = 10.000 anos - <math>Q_{in} = 500,0 \text{ m}^3/\text{s}</math></b>			
Escavado em rocha: L = 90 m			
94	95.04	1.04	137.0
Perfil Creager: L = 60 m			
94	95.04	1.04	135.0

L = Largura do sangradouro  $Z_w$  = cota da soleira do sangradouro  
 $Q_{in}$  = Vazão afluente ao reservatório  $Q_{out}$  = Vazão de saída (sangradouro)



**Figura 3.23 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Maranguape II (Tr=1.000 anos). Escavado em Rocha (verde) e em Perfil Creager (vermelho).**



**Figura 3.24 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Maranguape II (Tr=10.000 anos). Escavado em Rocha (verde) e em Perfil Creager (vermelho).**



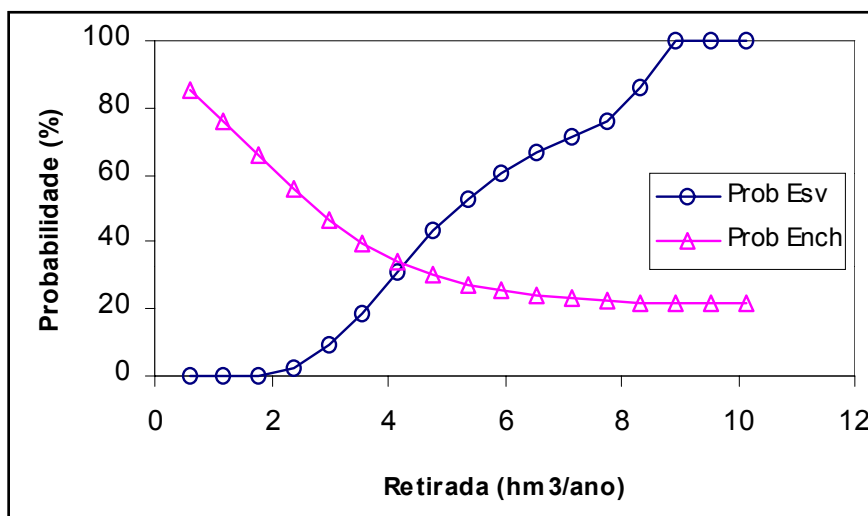
### 3.5.3.6 - Estudos Adicionais

O presente capítulo apresenta alguns estudos adicionais visando identificar as características do açude Maranguape II quanto a: probabilidade de enchimento, probabilidade de esvaziamento e assoreamento.

#### **Probabilidades de enchimento e esvaziamento - Equilíbrio**

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

Também foi realizada a análise probabilística de esvaziamento e de enchimento na fase de equilíbrio. A última análise mostra que, no equilíbrio, em cerca de 45% dos anos ocorre sangria para uma retirada anual de 3 hm<sup>3</sup>. A Figura 3.25 apresenta as duas curvas probabilísticas de esvaziamento e enchimento. Nesta Figura pode-se observar que para uma retirada igual a 3 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 3.25. Probabilidades de esvaziamento e enchimento do açude Maranguape II.**

## Assoreamento do açude Maranguape II

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 a hidrologia da bacia hidrográfica, capacidade de armazenamento do açude frente ao volume afluente, conformação geométrica da bacia hidráulica e a composição dos sedimentos.

A composição média dos sedimentos adotada, baseada nos tipos predominantes de solos, foi 10% de Argila, 11% de Silte e 79% de Areia. A partir destas características e outros dados da bacia (área da bacia, volume afluente médio anual, precipitação média anual da bacia e precipitação do mês mais chuvoso) foram utilizados formulas empíricas para cálculo dos seguintes parâmetros para utilização da metodologia de Veiga (1993) para previsão do assoreamento do reservatório.

- Deflúvio anual médio (hm<sup>3</sup>): ..... 5,957
- Área ..... 18.5 km<sup>2</sup>
- Composição média dos sedimentos:
 

Argila	Silte	Areia	% total
17	13	70	100
- Peso específico aparente inicial - gamai (t/m<sup>3</sup>): ..... 1.331
- Coeficiente de consolidação médio - K : ..... 0.0266
- Descarga sólida média (t/ano): ..... 12696
- Descarga sólida média específica (t/km<sup>2</sup>/ano): ..... 686.3
- Razão de transporte ("delivery ratio") – T ..... 0.199
- Precipitação do mês mais chuvoso (mm): ..... 323.2
- Precipitação média anual (mm): ..... 1386

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 Maranguape II foi simulado durante 100 anos com  $\Delta t$  igual a 10 anos. O Quadro 3.31 apresenta os valores obtidos de acordo com a metodologia de Veiga (1993). A tabela mostra 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 8,243 hm<sup>3</sup>, havendo uma redução de 9,89% no volume útil do açude Maranguape II, o qual era

inicialmente de 9,148 hm<sup>3</sup>. Deve-se ressaltar, entretanto, que a aplicabilidade desta metodologia ao semi-árido não foi verificada face à inexistência de registros de dados sedimentológicos.

**Quadro 3.31 - 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	9.148	1.536	0.973	1.349	123.5	0.092	9.056
10	20	9.056	1.520	0.973	1.356	123.5	0.183	8.965
20	30	8.965	1.505	0.973	1.360	123.5	0.273	8.875
30	40	8.875	1.490	0.973	1.363	123.5	0.364	8.784
40	50	8.784	1.475	0.973	1.366	123.5	0.455	8.693
50	60	8.693	1.459	0.973	1.368	123.5	0.545	8.603
60	70	8.603	1.444	0.972	1.369	123.5	0.635	8.513
70	80	8.513	1.429	0.972	1.371	123.5	0.725	8.423
80	90	8.423	1.414	0.972	1.372	123.4	0.815	8.333
90	100	8.333	1.399	0.972	1.373	123.4	0.905	8.243

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

## 4 - PROJETO DA BARRAGEM

## 4 – PROJETO DA BARRAGEM

O Projeto da Barragem Maranguape II 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 Projeto é abordado e descrito nos seguintes tópicos, a saber:

- Escolha da Alternativa do Eixo Barrável.
- Alternativas Examinadas de Seção de Maciço.
- Critério e Justificativa de Escolha da Alternativa de Seção de Maciço.
- Concepção da Barragem.

### 4.1 - ESCOLHA DA ALTERNATIVA DO EIXO BARRÁVEL

Por ocasião da fase de estudos preliminares foi feito em obediência aos Termos de Referencia, o estudo de seleção do eixo a ser barrado nas imediações da cidade de Maranguape, ao longo do Riacho Sapupara. Esses estudos consistiram na escolha de três locais barráveis, cujo resumo sucinto é apresentado a seguir.

#### 4.1.1 - Seleção dos Eixos na 1ª Fase

Através dos estudos de fotointerpretação e da análise aprofundada das cartas planimétricas da região, na escala de 1:20.000, foi possível identificar algumas alternativas de eixos barráveis, mas não muito favoráveis, pelas limitações hidrológicas da bacia hidrográfica existente. Procurou-se associar uma melhor localização topográfica com maior acumulação d'água.

Assim sendo, foram identificados três eixos alternativos para a barragem Maranguape II, ao longo do Riacho Sapupara, afluente da margem esquerda do Riacho Tangueira, como descrito a seguir.

#### **1. Eixo – 1**

O Eixo – 1 está situado na localidade de Sapupara, bem próximo ao sopé da Serra de Aratanha, distante cerca de 1,0km a montante da CE-065, que liga Maranguape ao povoado de Ladeira Grande. O sítio barrável está situado exatamente no início do vale que se estende em direção a Maracanaú, onde as condições de represamento vão se reduzindo, pelas limitações topográficas, tornando o relevo bem mais suave e menos ondulado.

A extensão pelo coroamento é de aproximadamente 580,0m, para 18,0m de altura. Sua bacia de acumulação tem cerca de 38ha de área e volume estimado em 16hm<sup>3</sup> para um NA máximo de 14,0m. A fundação é da ordem de 8,0m de profundidade no fundo do vale e o sangradouro poderá ser posicionado numa das selas topográficas existentes nas duas ombreiras, implantado sobre corte em rocha de 200m de largura.

As características gerais da alternativa do Eixo – 1 são apresentadas no Quadro nº4.1 a seguir.

<b>Quadro nº4.1: Características da Alternativa do Eixo – 1</b>	
<b>ALTERNATIVA EIXO - 1</b>	
<b>Barragem</b> (Localidade de Sapupara, 1,0 Km a Montante da CE- 065 e 8,0 Km de Maranguape)	
Tipo:	Terra
Altura do dique:	-
Cota do coroamento:	94 m
Comprimento do dique:	-
Cota do rio:	76 m
Área da bacia hidrográfica:	19 km <sup>2</sup>
Altura da barragem:	18 m
Área da bacia hidráulica:	38 ha
Comprimento da barragem:	580 m
Volume acumulado:	16 hm <sup>3</sup>

<b>Fundação</b>	
Largura da base 1:	10 m
Altura 1:	8 m
Comprimento 1:	300 m
Largura da base 2:	5 m
Altura 2:	2 m
Comprimento 2:	280 m
<b>Sangradouro</b>	
Tipo:	Canal escavado
Largura transversal:	200 m
Cota da soleira:	90 m
Comprimento longitudinal:	198 m

## **2. Eixo – 2**

O Eixo – 2 fica posicionado aproximadamente a 1200m a montante do Eixo – 1. Sua extensão pelo coroamento é de 370m por 16,0m de altura e uma bacia de acumulação da ordem de 5hm<sup>3</sup> para um NA máximo de 12,0m.

As características gerais da alternativa do Eixo – 2 são apresentadas no Quadro nº4.2 a seguir.

**Quadro nº4.2: Características da Alternativa do Eixo - 2**

**Quadro nº4.2: Características da Alternativa do Eixo - 2**

**ALTERNATIVA EIXO - 2**

**Barragem**

(Localizada a 1,2 km a Montante do Eixo - I)

Tipo:	Terra
Altura do dique:	-
Cota do coroamento:	94 m
Comprimento do dique:	-
Cota do rio:	78 m
Área da bacia hidrográfica:	9,8 km <sup>2</sup>
Altura da barragem:	16 m
Área da bacia hidráulica:	17 ha
Comprimento da barragem:	370 m
Volume acumulado:	5,4 hm <sup>3</sup>

**Fundação**

Largura da base 1:	10 m
Altura 1:	8 m
Comprimento 1:	200 m
Largura da base 2:	5m



**Quadro nº4.2: Características da Alternativa do Eixo - 2**

Altura 2:	2 m
Comprimento 2:	170 m
<b>Sangradouro</b>	
Tipo:	Canal escavado
Largura transversal:	200 m
Cota da soleira:	90 m
Comprimento longitudinal:	162 m

**3. Eixo - 3**

O Eixo – 3 está posicionado aproximadamente 2500m a montante do Eixo – 1. O seu comprimento pelo coroamento é de 130m por 10,0m de altura. A estimativa de acumulação é da ordem de 2,1hm<sup>3</sup> para um NA máximo de 6,0m.

As características gerais da alternativa do Eixo – 3 são apresentadas no Quadro nº4.3 a seguir.

**Quadro nº4.3: Característica da Alternativa do Eixo – 3**

**ALTERNATIVA EIXO - 3**

**Barragem** Localizada a 2,5 km a Montante do Eixo - I)

Tipo:	Terra
Altura do dique:	-
Cota do coroamento:	94 m
Comprimento do dique:	-
Cota do rio:	84 m
Área da bacia hidrográfica:	5,80 km <sup>2</sup>
Altura da barragem:	10 m
Área da bacia hidráulica:	8,60 ha
Comprimento da barragem:	130 m
Volume acumulado:	2,10 hm <sup>3</sup>

**Fundação**

Largura da base 1:	10 m
Altura 1:	8 m
Comprimento 1:	60 m
Largura da base 2:	5m
Altura 2:	

Comprimento 2:	2 m
	70 m
<b>Sangradouro</b>	
Tipo:	Canal escavado
Largura transversal:	200 m
Cota da soleira:	90 m
Comprimento longitudinal:	140 m

#### 4.1.1.1 - Considerações Finais

As alternativas do Eixo – 2 e do Eixo – 3 são bastante delicadas, pela sensível redução da acumulação prevista, pois vão gradualmente diminuindo o seu volume, pelas características acentuadas do relevo existente, onde as áreas das bacias de acumulação se reduzem consideravelmente, por ficarem muito encaixadas.

Os custos para as alternativas dos barramentos de Maranguape II foram elaborados com base nas características locais de cada eixo, contidos no Quadro nº4.4, mostrada a seguir.

<b>Quadro nº4.4: Cubação e Estimativa de Custo da Barragem Maranguape II</b>	
<b>ALTERNATIVA EIXO 1</b>	
DESCRIÇÃO	
UNID.	
QUANT (m <sup>3</sup> )	
CUSTO UNITÁRIO (R\$)	
CUSTO TOTAL (R\$)	

**Quadro nº4.4: Cubação e Estimativa de Custo da Barragem Maranguape II**

BARRAGEM / VOLUMES

Maciço

m<sup>3</sup>  
318.000  
11,50  
3.657.000,00

Fundação

m<sup>3</sup>  
64.000  
3,50  
224.000,00

SANDRADOURO / VOLUMES

Escavação em Solo

m<sup>3</sup>  
200.000  
2,50  
500.000,00

Escavação em Rocha

m<sup>3</sup>  
17.800  
17,00  
302.600,00

**CUSTO TOTAL**  
**4.683.600,00**

**Quadro nº4.4: Cubação e Estimativa de Custo da Barragem Maranguape II**

**ALTERNATIVA EIXO 2**

**DESCRIÇÃO  
UNID.  
QUANT (m<sup>3</sup>)  
CUSTO UNITÁRIO (R\$)  
CUSTO TOTAL (R\$)**

**BARRAGEM / VOLUMES**

Maciço

m<sup>3</sup>  
228.000  
11,50  
2.622.000,00

Fundação

m<sup>3</sup>  
62.000  
3,50  
217.000,00

**SANDRADOURO / VOLUMES**

Escavação em Solo

m<sup>3</sup>  
179.000  
2,50  
447.500,00

Escavação em Rocha

m<sup>3</sup>  
14.500  
17,00

**Quadro nº4.4: Cubação e Estimativa de Custo da Barragem Maranguape II**

246.500,00

**CUSTO TOTAL**  
**3.533.000,00**

**ALTERNATIVA EIXO 3**

**DESCRIÇÃO**  
**UNID.**  
**QUANT (m<sup>3</sup>)**  
**CUSTO UNITÁRIO (R\$)**  
**CUSTO TOTAL (R\$)**

**BARRAGEM / VOLUMES**

Maciço

m<sup>3</sup>  
88.000  
11,50  
1.012.000,00

Fundação

m<sup>3</sup>  
38.000  
3,50  
133.000,00

**SANDRADOURO / VOLUMES**

**Quadro nº4.4: Cubação e Estimativa de Custo da Barragem Maranguape II**

Escavação em Solo	m <sup>3</sup>	
	138.000	
	2,50	
		345.000,00
Escavação em Rocha	m <sup>3</sup>	
	11.000	
	17,00	
		187.000,00
		<b>CUSTO TOTAL</b>
		<b>1.677.000,00</b>

Para os comparativos de custos, considerou-se os seguintes itens principais: a escavação da fundação e maciço da barragem e as escavações do sangradouro, que são quantitativos condicionantes para a estimativa de custo de implantação para cada eixo.

Os volumes de acumulação dos reservatórios para as alternativas de Eixo – 2 e Eixo – 3 são bastantes inferiores a alternativa do Eixo – 1. Apesar dos volumes dos maciços serem proporcionalmente inferiores, suas fundações pouco diferem em relação aos volumes de escavação. Os sangradouros também possuem grandes escavações e conseqüentemente custos de implantação elevados.

Assim, a alternativa do Eixo – 1 é a escolhida para os reservatórios de Maranguape II, por ser a mais favorável no atendimento as necessidades do projeto, apesar dos custos maiores, possui maior bacia de acumulação e conseqüentemente maior volume de reserva hídrica, oferecendo maior garantia para o atendimento no abastecimento da crescente população da região.

#### 4.1.2 - Justificativa da Escolha do Eixo - 1

Mesmo tendo sido o Eixo – 1 aprovado na fase dos estudos preliminares, a Fiscalização solicitou um novo estudo comparativo entre os Eixos 1 e 2, haja visto que as condições geotécnicas do Eixo – 1 não são as mais favoráveis.

No Eixo –1 foi definido que o sangradouro ficará entre as estacas 5+10 e 8+10, a rocha está na cota 90,00m e o sangradouro terá 4,0m de altura, ou seja, será fundado na cota 90,00m e será um perfil Creager com 4,0m de altura, com soleira na cota 94,00m.

O volume do maciço é cerca de 480.000m<sup>3</sup>.

O problema da ombreira foi resolvido, fazendo o maciço abraçar a ombreira, de forma que na chegada o maciço é alargado de 6,0m para 50,0m

A barragem com soleira na cota 94,00m acumulará 9,2hm<sup>3</sup>.

Quanto ao Eixo -2 foi feito sobre a carta de restituição na escala 1:5000 a locação do eixo proposto e feito um Cota X Área X Volume, o qual é mostrado no Quadro nº4.5 e na Figura 4.1.

Examinando a curva Cota X Área X Volume, verifica-se que a barragem deve ter soleira na cota 101,00 e coroar na elevação 105,00m, para acumular o mesmo volume de água do Eixo – 1.

Em termos de maciço, as barragens são equivalentes, já que o volume de maciço encontrado para o Eixo – 2 foi de 470.000m<sup>3</sup>.

A diferença está no custo do sangradouro, pois o ponto baixo no Eixo – 2 para implantação do sangradouro está na elevação 97,00m e a rocha deve estar na cota 93,00m. Portanto, o muro Creager deve ter 8,0m de altura e os muros laterais devem ter 12,0m de altura.

O custo do muro Creager e muros laterais do Eixo – 1 é de R\$225.000,00, enquanto o custo do muro Creager e muros laterais do Eixo – 2 é de R\$864.000,00.

#### Quadro nº 4.5: Cota X Área X Volume do Eixo – 2



**Quadro nº 4.5: Cota X Área X Volume do Eixo – 2**

**COTA (m)**  
**ÁREA (m<sup>2</sup>)**  
**VOLUME (m<sup>3</sup>)**  
**VOLUME ACUMULADO (m<sup>3</sup>)**

84,00

-  
-  
-

85,00

7.639,00  
 3.819,50  
 3.819,50

86,00

49.679,00  
 28.659,00  
 32.478,50

87,00

117.541,00  
 83.610,00  
 116.088,50

88,00

204.152,00  
 160.846,50  
 276.935,00

89,00

290.167,00  
 247.159,50  
 524.094,50

**Quadro nº 4.5: Cota X Área X Volume do Eixo – 2**

90,00  
396.598,00  
343.382,50  
867.477,00

91,00  
474.037,00  
435.317,50  
1.302.794,50

92,00  
543.326,00  
508.681,50  
1.811.476,00

93,00  
618.026,00  
580.676,00  
2.392.152,00

94,00  
708.616,00  
663.321,00  
3.055.473,00

95,00  
800.661,00  
754.638,50  
3.810.111,50

96,00  
881.086,00  
840.873,50  
4.650.985,00

97,00  
939.105,00  
910.095,50  
5.561.080,50

98,00



**Quadro nº 4.5: Cota X Área X Volume do Eixo – 2**

1.004.657,00
971.881,00
6.532.961,50
99,00
1.062.753,00
1.033.705,00
7.566.666,50
100,00
1.125.126,00
1.093.939,50
8.660.606,00
101,00
1.187.963,00
1.156.544,50
9.817.150,50
102,00
1.248.904,00
1.218.433,50
11.035.584,00
103,00
1.310.813,00
1.279.858,50
12.315.442,50
104,00
1.372.813,00
1.341.813,00
13.657.255,50
105,00
1.417.481,00
1.395.147,00
15.052.402,50
106,00
1.478.481,00
1.447.981,00
16.500.383,50

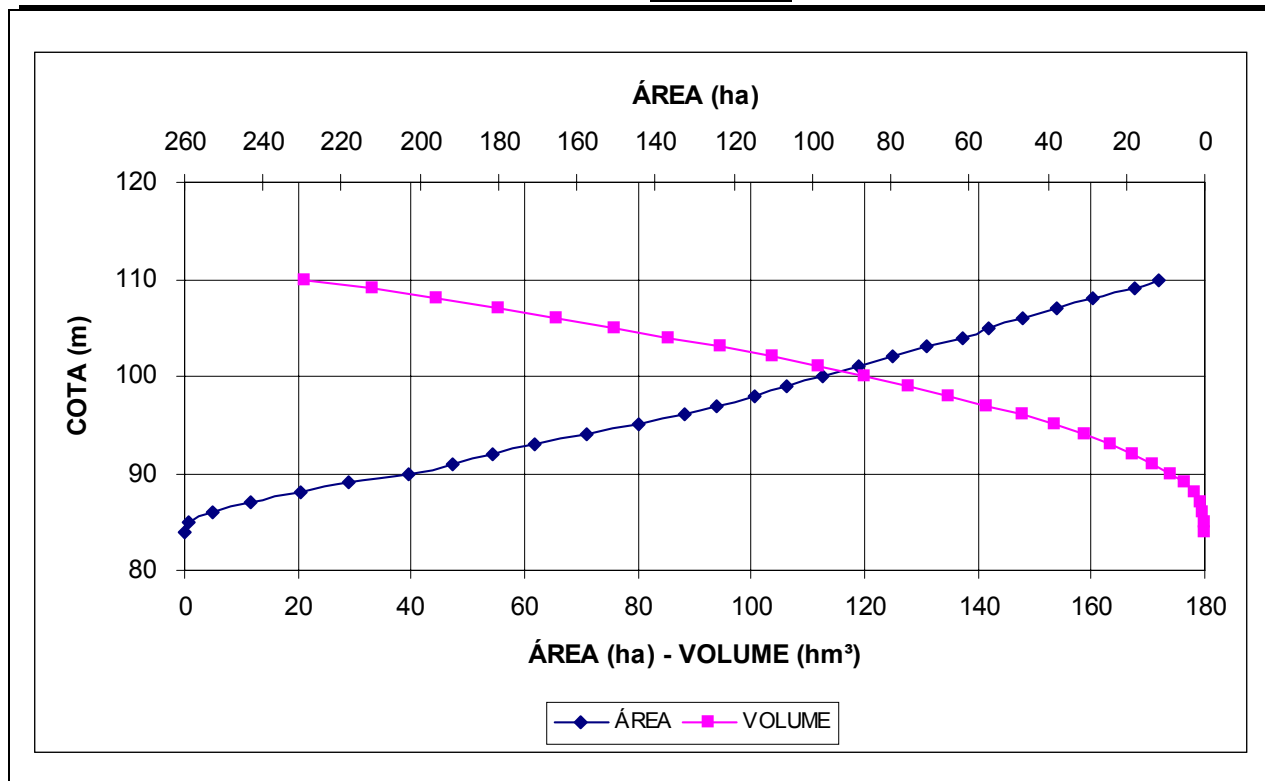
**Quadro nº 4.5: Cota X Área X Volume do Eixo – 2**

107,00	1.539.481,00
	1.508.981,00
	18.009.364,50
108,00	1.601.481,00
	1.570.481,00
	19.579.845,50
109,00	1.677.481,00
	1.639.481,00
	21.219.326,50
110,00	1.718.481,00
	1.697.981,00
	22.917.307,50

Comparando, verifica-se que o Eixo – 2 onera o custo em R\$639.000,00. Além deste aspecto de custo a opção do Eixo – 2 tem mais impactos sociais do que o Eixo – 1.

Pelos motivos expostos, a projetista continuou a detalhar o Eixo – 1, o qual já havia sido eleito, por ocasião dos estudos preliminares.

**Figura 4.1: Curva Cota X Área X Volume**



#### 4.2 - ALTERNATIVAS EXAMINADAS DE SEÇÃO DE MACIÇO

Devido às características topográficas e geotécnicas do boqueirão, o qual é bem aberto, com 620,0m de barragem e mais um aluvião largo, com cerca de 400,00m e profundo, é evidente que ficam descartadas opções em enrocamento e barragem de concreto compactado a rolo (CCR).

Além de não existir escavação obrigatória em rocha, os volumes seriam elevados devido às fundações e, o preço bem mais caro, tornam estas opções não competitivas.

Sobrou finalmente a opção de maciço de solo argiloso compactado, o qual será feito com material das jazidas J-01 e J-02.

#### 4.3 - CONCEPÇÃO DA BARRAGEM

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

- Caracterização da Fundação;
- Rebaixamento do Lençol Freático;

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

#### 4.3.1 - Caracterização da Fundação

Para a descrição da fundação da Barragem Maranguape II segmentou-se a obra em três partes, a saber: Ombreira Esquerda, Vale do Boqueirão e Ombreira Direita.

##### 4.3.1.1 - Ombreira Esquerda

A ombreira esquerda tem elevação topográfica que atingiu a cota 122,72m na estaca 31. A ombreira esquerda se estende da estaca 32 a estaca 0 do eixo do sangradouro e entre a estaca 0 e a estaca 5 do eixo barrável.

Na área do sangradouro foram executadas doze sondagens mistas e verificou-se que o topo rochoso está variando entre as cotas 91,00m e 97,00m. Portanto, o assentamento das estruturas do sangradouro dever ser na cota 90,00m. Verificou-se, também, da análise das sondagens que a camada de solo pode ser aproveitada na execução da barragem e a rocha de escavação pode ser usada na confecção do rip-rap ou britada para constituição das transições.

A ombreira esquerda, no segmento da barragem principal, foi investigada por três sondagens, sendo duas sondagens percussivas e uma sondagem mista. As sondagens foram executadas na seção da estaca 5, denominadas de SP-13 (executada 40m a jusante do eixo barrável), de SM-14 (executada no eixo) e de SP-15 (executada 40m a montante do eixo barrável). O topo rochoso foi encontrado na

cota 70,39. A rocha encontrada foi o granito cinza. Neste trecho de rocha foram executados três ensaios de perda d'água sobre pressão, o que apresentou no primeiro segmento perda específica de 2,44 l/min/m/atm. Nos dois últimos segmentos, as perdas específicas foram nulas e 0,05 l/min/m/atm.

O substrato terroso da ombreira esquerda é formado por três camadas, a saber: a primeira camada possui uma espessura de 0,80m, constituída de uma areia siltosa micácea; a segunda camada é constituída de uma areia grossa, com pedregulhos, com espessura média de 2,00m; e finalmente, a terceira camada, constituída de solo residual sob forma de silte arenoso micáceo. Foram executados ensaios de infiltração, os quais mostraram permeabilidade média de  $1,4 \times 10^{-5}$  cm/s. Examinando os SPT'S das sondagens, verifica-se que até 3,0m de profundidade, a resistência a penetração são baixas, atingindo 2 golpes (valor mínimo).

A partir destas evidências, recomenda-se a retirada de no mínimo 2,0m da camada aluvionar, para buscar melhores condições de fundação.

Há uma particularidade na ombreira esquerda, no segmento da barragem, a qual é constituída de uma elevação topográfica, com encosta íngreme, de pequena extensão montante-jusante e com precárias condições de estabilidade. Daí, recomenda-se a execução do "abraço" da barragem no encontro com a ombreira, de maneira a deixar o conjunto estável.

#### 4.3.1.2 - Vale do Boqueirão

O Vale do Boqueirão encontra-se entre as estacas 6 e 27, foram executadas doze sondagens percussivas, denominadas de SP-13, SP-15, SP-16, SP-18, SP-19, SP-21, SP-22, SP-24, SP-25, SP-27, SP-28 E SP-30 e 6 sondagens mistas, denominadas de SM-09, SM-14, SM-17, SM-20, SM-23, SM-26 e SM-29.

Examinando o perfil de sondagem, verifica-se que são encontrados materiais com baixa capacidade de suporte, obtidos nos ensaios de SPT, constituído por argila areno siltosa, nas primeiras camadas, de espessura média a 1,00m. Sobrejacente a esta camada, entre as profundidades de 1,00m a 6,00m, há um aluvião constituído por areia grossa com pedregulhos, até atingir o solo residual, formado por um silte arenoso, com pedregulhos. Foram realizados ensaios de infiltração, os quais indicaram permeabilidade média entre 0,00m e 4,00m de  $7,0 \times 10^{-6}$  cm/s. Entre o horizonte de 4,00m e 11,00m, os ensaios de infiltração indicaram permeabilidade média de  $5,0 \times 10^{-5}$  cm/s.

Assim sendo, no vale do rio verificou-se que o solo residual situa-se em média a 6,0m de profundidade e que a permeabilidade do maciço de solo da fundação é de

$5,0 \times 10^{-5}$  cm/s. Daí, recomenda-se que o cut-off fique dentro do solo residual em todas as seções. Observando os SPT'S dos furos executados no vale, é recomendado retirar no mínimo 2,0m da camada aluvionar, para buscar melhores condições de fundação.

O topo rochoso do trecho do vale do boqueirão encontra-se entre as profundidades de 7,70m e 13,00m, caracterizado por granito. Os valores de RQD foram superior a 60%.

Os ensaios de perda d'água Lugeon, executados no trecho do vale do boqueirão, indicaram valores de perda específica variando de zero a 5,5 l/min/m/atm. Desta condição, conclui-se da necessidade de adoção de uma cortina de injeção de impermeabilização, para homogeneizar e eliminar os maiores valores de perda d'água. Esta cortina de injeção poderá iniciar com furos exploratórios espaçados a cada 48,00m e prosseguir fechando o espaçamento nos pontos onde os ensaios de perda d'água apresentarem absorções maiores do que  $0,1 \text{ l/min} \times \text{m} \times \text{kgf/cm}^2$ . Tendo em vista a inexistência de condicionantes geológicos específicos, a profundidade dos furos de injeção deverá ser de  $(2/3)h$ , sendo h a carga hidráulica sob a fundação. Logo, os furos de injeção terão profundidade máxima de 12,00m.

#### 4.3.1.3 - Ombreira Direita

A ombreira direita tem elevação topográfica máxima na cota 129,00m, começando na estaca 28 a 59. No trecho compreendido entre a estaca 28 e 31, encontra-se a barragem engastando no ombreira. No trecho entre as estacas 32 e 50, o terreno natural encontra-se em cotas superiores a elevação da crista e, conseqüentemente, não haverá barragem. Entre as estacas 51 e 53 deverá ser implantada uma barragem de fechamento.

Não foram executados especificamente furos neste local. Contudo, pela quantidade de sondagens realizadas, pode-se imaginar a formação geotécnica dessa ombreira, no trecho entre as estacas 28 e 31, como tendo uma camada de areia micácea com pedregulhos, com profundidade de até 2,00m, encontrando-se a partir daí o solo residual. Assim sendo, deverá ser implantado uma trincheira de vedação, cut-off, engastado no solo residual, após a remoção da camada de aluvião.

No trecho entre as estacas 51 e 53, verifica-se que a fundação da barragem auxiliar é favorecida, pois há uma pequena espessura de cobertura de solo sobrejacente ao solo residual ou rocha. Logo, a remoção da cobertura de solo e a adoção de um cut-off com profundidade de 1,0m abaixo de escavação obrigatória para a remoção da matéria orgânica, poderá expor uma superfície adequada de fundação.



#### 4.3.2 - Rebaixamento do Lençol Freático

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

Já as escavações no vale do boqueirão da barragem interceptarão o lençol freático para atingir a cota do fundo da vala. Na estaca 9, foi realizada a sondagem SM-17, a qual indicou o nível d'água a uma profundidade de 3,60m. Nesta mesma, estaca, a linha de assentamento do cut-off será na profundidade de 11,00m, engastado no solo residual. Na estaca 13, o nível do lençol freático encontra-se a uma profundidade de 2,65m, segundo dados da sondagem SM-20, enquanto o cut-off estará assente na profundidade de 7,00m. Na estaca 17, segundo a sondagem SM-23, o nível d'água está na profundidade de 3,00m e a base do cut-off assente na profundidade de 5,00m. Na estaca 25, foi realizada a sondagem SM-29, apresentou nível d'água na profundidade de 5,00m e o cut-off deverá estar assente na profundidade de 10,00m. Assim sendo, observa-se que para a execução das escavações obrigatórias da barragem no trecho do vale do boqueirão, haverá necessidade de rebaixar o lençol freático de alturas variando de 2,00m a 7,40m.

#### 4.3.3 - Geometria da Trincheira de Fundação

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

- 1) O cut-off será escavado alinhado com o bordo de jusante do coroamento, para montante;
- 2) Nas zonas das ombreiras o cut-off possui uma profundidade máxima de 1,00m abaixo do terreno natural, após a execução da escavação obrigatória para remoção de matéria orgânica;
- 3) Na zona do vale do boqueirão, o cut-off tem sua profundidade variável, indo de 1,00m a 7,00m. Os taludes iniciais até 4,00m de altura serão 1,0(V):1,0(H) e a partir desta profundidade será criada uma berma de 2,00m de largura e o talude de continuação de escavação será suavizado para 1,0(V):1,5(H) até o fundo da vala;
- 4) A largura do cutoff será de 6,00m, quando a sua profundidade for inferior ou igual a 4,00m. Quando a profundidade do cutoff for superior a 4,00m, a largura do cutoff será de 8,0m.

No perfil longitudinal da Barragem Maranguape II é mostrada a linha que limita a profundidade da trincheira de escavação, ou seja, a linha de fundação do cutoff.

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

#### 4.3.4 - Cortina de Injeção

A cortina de injeção tem finalidade de reduzir a permeabilidade dos maciços rochosos fraturados da fundação a níveis compatíveis com a permeabilidade do maciço terroso. Nos estudos de investigação geotécnico foram realizados ensaios de perda d'água tipo LUGÉON, cujo resultados são resumidos no Quadro nº 3.3.

Tendo em vista os resultados mostrados no Quadro nº 3.3, verifica-se que:

- 1) Nas ombreiras as perdas d'água específicas foram baixas ou mesmo nulas;
- 2) Na zona do vale do boqueirão, as perdas d'água específicas revelaram valores entre zero e 5,47 l/min x m x kgf/cm<sup>2</sup>

Na Barragem Maranguape II será adotado o critério de injeção de calda de cimento quando as perdas específicas máximas forem superior a 0,1 l/min x m x kgf/cm<sup>2</sup>.

A cortina terá fisicamente uma única linha, a qual será locada em planta, no eixo da trincheira de fundação entre as estacas 3 e 29, numa extensão de 520m na zona do vale do boqueirão.

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

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

espaçados entre si de 12,0m, defasados 6,0m do furo primário e com 12,0m de comprimento dentro do maciço rochoso.

3) Para cada furo secundário que apresentar consumo de cimento igual ou superior a 20kg/m serão executados dois furos terciários em cada lado do furo secundário. Os furos terciários serão espaçados entre si de 6,0m, defasado em 3,0m dos furos secundários, com comprimento de 12,0m dentro do maciço rochoso.

#### 4.3.5 - Local de Bota-Fora

No lado de montante do eixo da Barragem Maranguape II, ao longo da calha do rio, abaixo da cota 87,00m está destinada ao depósito de material de bota-fora, proveniente das escavações obrigatórias para a execução da obra.

#### 4.3.6 - Maciço da Barragem

A barragem foi concebida como sendo um maciço homogêneo a ser construída com material proveniente das jazidas J-01 e J-02 e material vindo das escavações obrigatórias do sangradouro. Os materiais do sangradouro deverão ser utilizados no espaldar de jusante. A barragem ficará com coroamento na cota 96,50m, com altura máxima de 17,93m na estaca 14.

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

Na ombreira esquerda existe uma particularidade para o encontro com a barragem. A ombreira esquerda é constituída de uma elevação topográfica com encosta íngreme, de pequena extensão montante-jusante e com precárias condições de estabilidade. Assim sendo, entre as estacas 0 e 4, a barragem engastará na ombreira da maneira a abraçá-la, ou seja, o coroamento terá largura variando de 6,0 a 60,0m, sendo 30,0m para montante e 30,0m para 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:

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

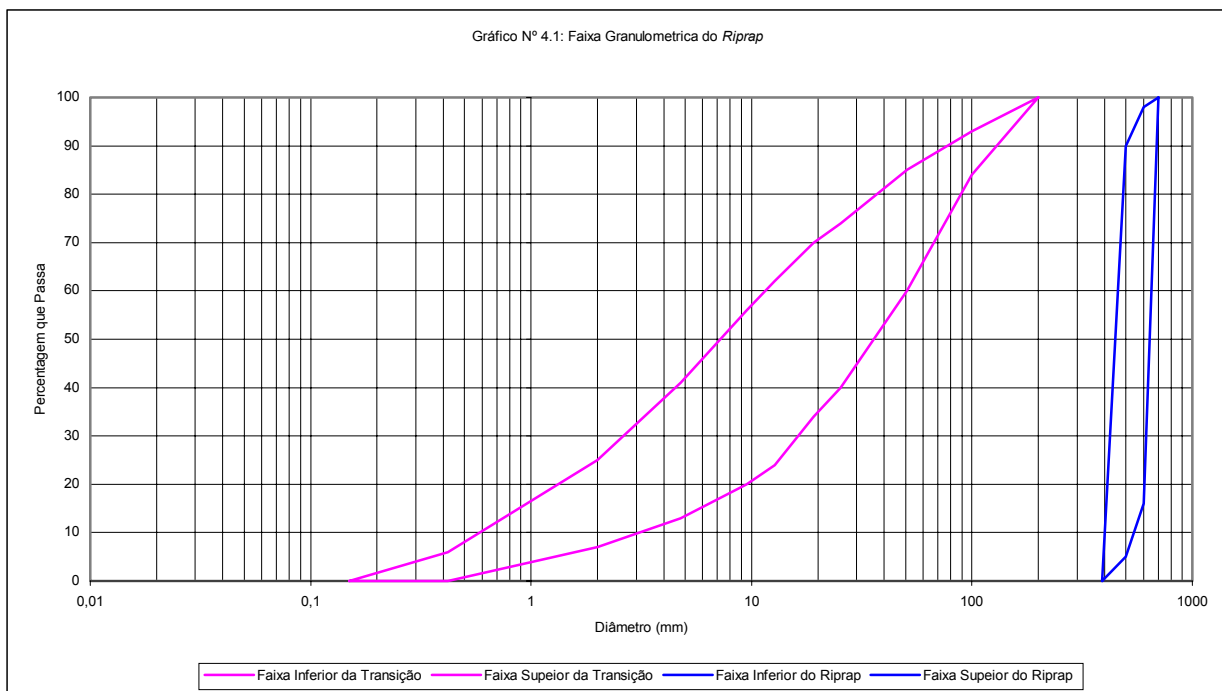
A camada de rip-rap tem a granulometria mostrada no Quadro 4.6.

<b>Quadro nº4.6: Material do Enrocamento do Riprap</b>	
<b>Peneira</b>	<b>Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)</b>
700mm	100
600mm	16 – 98
500mm	5 – 90
390mm	0

A camada de transição tem a granulometria mostrada no Quadro 4.7:

<b>Quadro nº4.7: Material de Transição</b>	
<b>Peneira</b>	<b>Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)</b>
200mm	100
100mm	84 – 93
2" (50,8mm)	60 – 85
1" (25,4mm)	40 – 74
¾" (19,10mm)	34 – 70
½" (12,27mm)	24 – 62
3/8" (9,52mm)	20 – 56
Nº 4 (4,76mm)	13 – 41
Nº 10 (2,00mm)	7 – 25
Nº 40 (0,42mm)	0 – 6
Nº 100 (0,15mm)	0

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

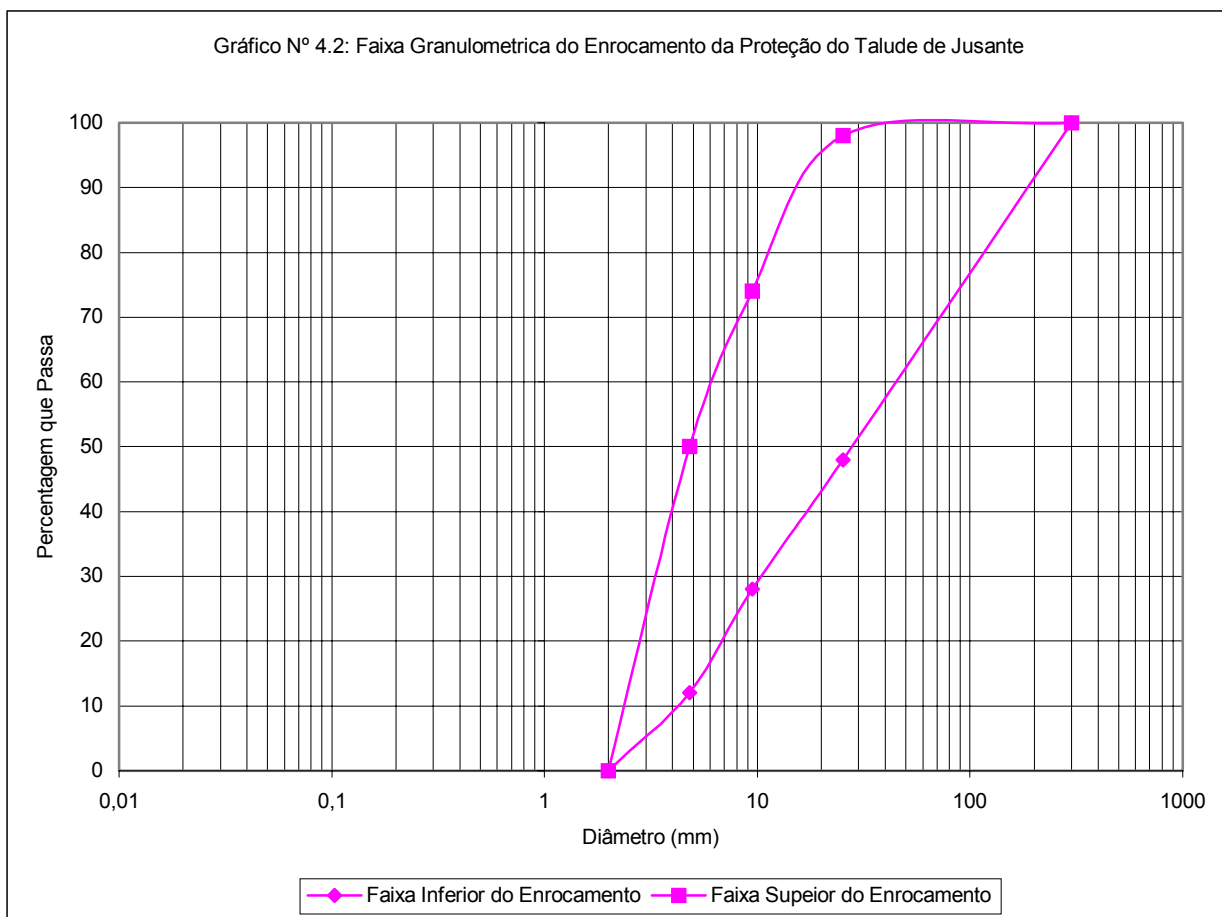


O talude de jusante terá inclinação de 1,0(V):2,0(H) em toda a sua extensão. Na cota 86,50m será colocada uma berm de 2,0m de largura. A proteção do talude será feita com uma camada de 0,30m de espessura de material britado, com granulometria mostrada no Quadro 4.8.

**Quadro 4.8: Material de Proteção do Talude de Jusante**

Peneira	Faixa Granulométrica (Percentagem que Passa)
300mm	100
1" (25,4mm)	48 – 100
3/8" (9,5mm)	28 – 74
N° 4 (4,8mm)	12 – 50
N° 10 (2,0mm)	0

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



Para a drenagem interna do maciço da Barragem Maranguape II, está prevista a construção de um filtro vertical e um tapete drenante. O filtro vertical terá 1,0m de espessura e será executado com areia grossa proveniente do areal A-01. O filtro ficará com topo na cota 95,04m, coincidindo com a cota da cheia decamilenar. O tapete horizontal consiste em um colchão de areia grossa proveniente do areal A-01, com espessura de 1,00m.

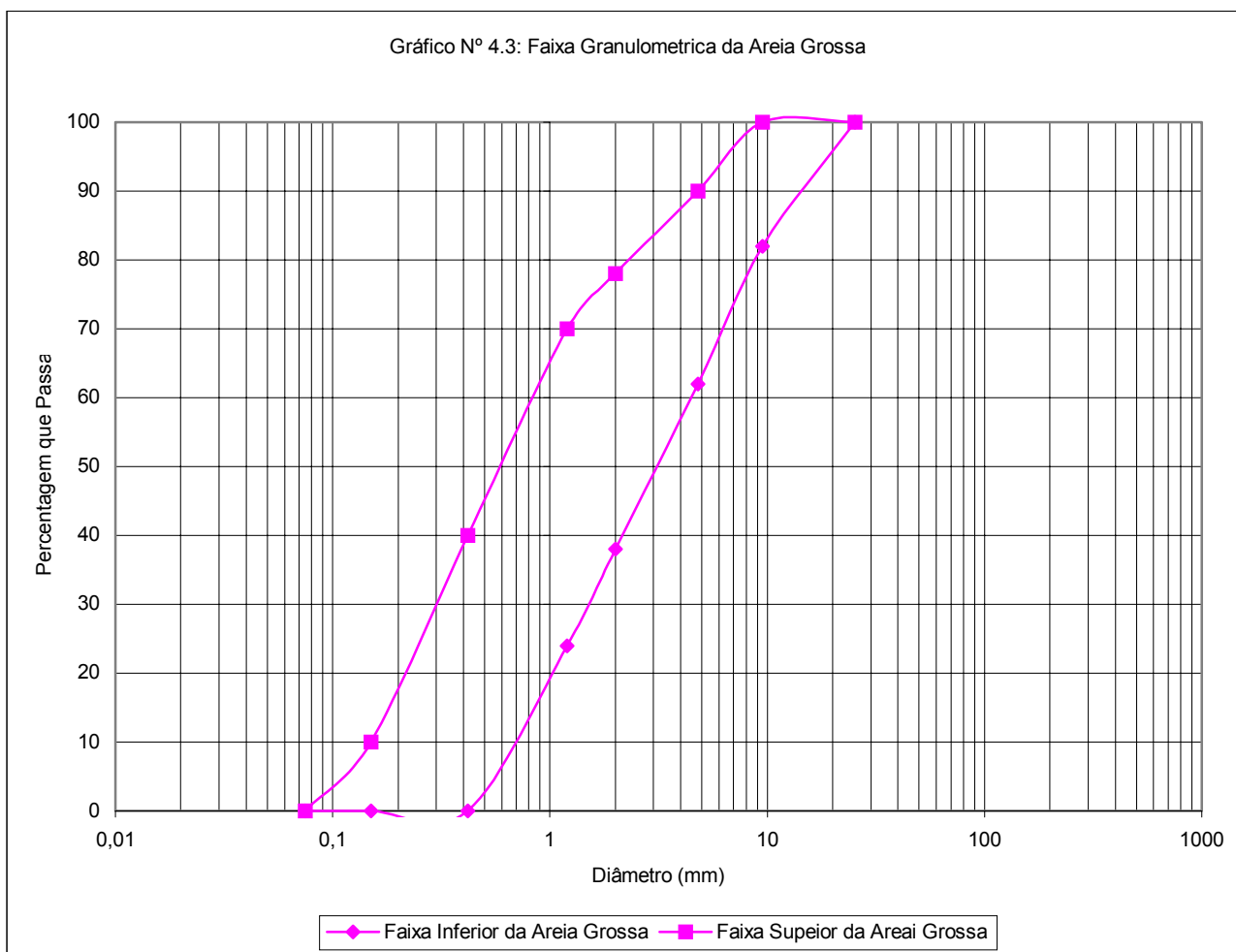
No Quadro 4.9 é mostrada a faixa granulométrica a qual a areia grossa deverá estar enquadrada para formar o filtro e o tapete do sistema de drenagem interna da barragem.

Quadro 4.9: Areia Grossa	
Peneira	Faixa Granulométrica (Percentagem que Passa)
2" (50,8mm)	100
1" (25,4mm)	100
¾" (19,10mm)	100
½" (12,27mm)	100
3/8" (9,5mm)	97 – 100
Nº 4 (4,76mm)	82 – 99
Nº 10 (2,00mm)	30 – 95
Nº 40 (0,42mm)	6 – 70
Nº 100 (0,15mm)	1 – 15
Nº 200 (0,075mm)	0

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

Entre as estacas 4 a 27 será executado um dreno de pé no talude de jusante consistindo num enrocamento de pedra com seção trapezoidal com crista na cota 82,00m e largura da crista de 2,0m, em toda a sua extensão, com talude de 1,0 (V): 1,5 (H). Entre as interfaces da base do terreno natural e enrocamento e maciço da barragem serão colocadas camadas de transição com 0,60m de espessura, sendo 0,30m de areia grossa e 0,30m de Brita "A".

Entre as estacas 28 a 30 será executado um dreno no talude de jusante, consistindo num enrocamento de pedra com seção trapezoidal, com altura fixa de 2,0m contados a partir do terreno de escavação e largura de crista de 3,30m, em toda sua extensão. O enrocamento terá talude de 1,0 (V) : 2,0 (H). Entre a interfase do encontro do talude da barragem com o enrocamento, será colocada uma camada de transição, constituída por Brita-A, com 1,0m de altura contados a partir do terreno de escavação, com largura de crista de 1,0m e com talude de 1,0 (V) : 1,5 (H).



A areia grossa que formará a transição do rock-fill deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada no Quadro nº4.9. A brita da transição do rock-fill, denominada de brita “A”, deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada no Quadro nº4.10.

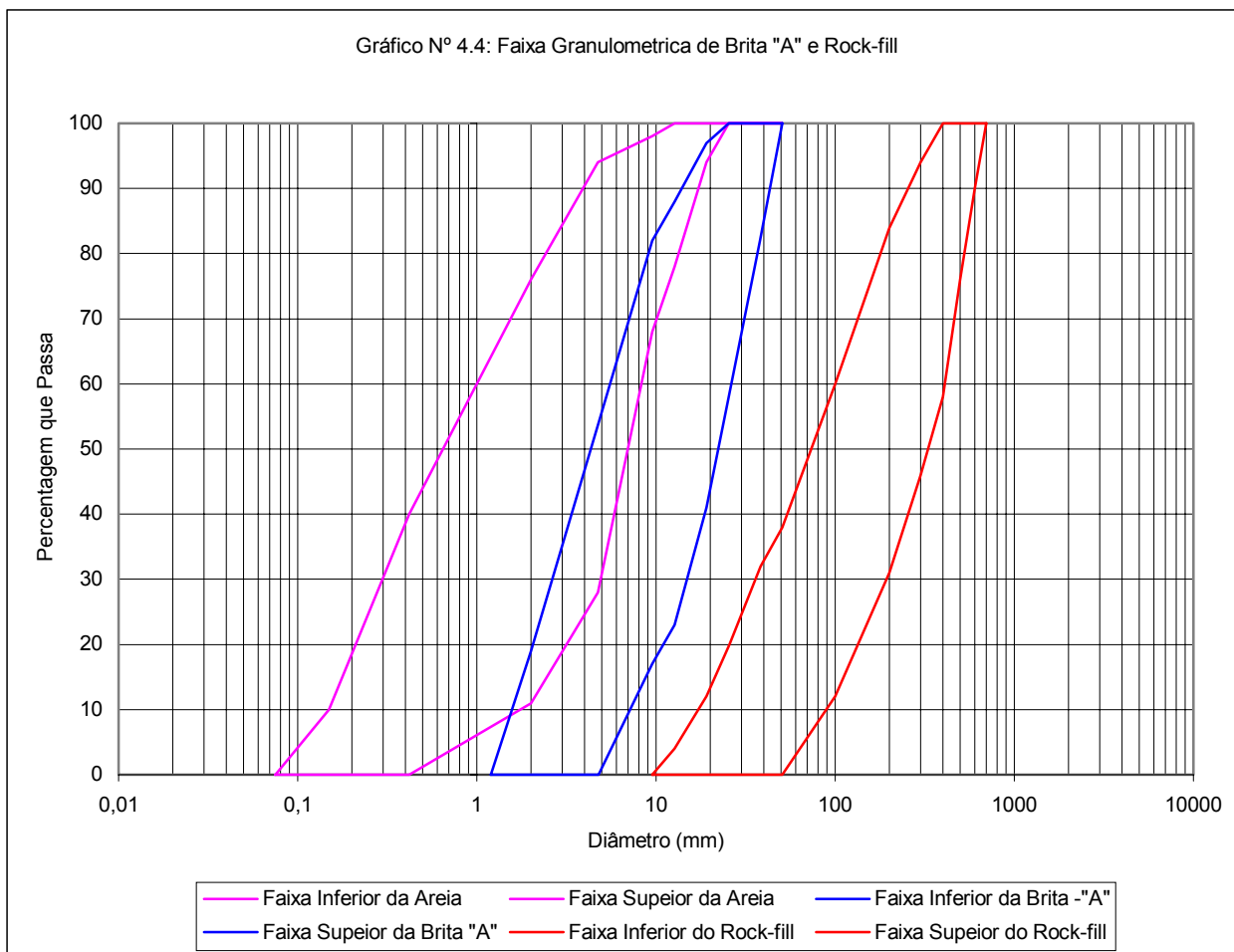
<b>Quadro nº4.10: Brita “A”</b>	
<b>Peneira</b>	<b>Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)</b>
2” (50,8mm)	100
1” (25,4mm)	58 – 100
¾” (12,5mm)	41 – 97
½” (12,5mm)	23 – 88
3/8” (9,2mm)	17 – 82
Nº 4 (4,8mm)	0 – 54
Nº 10 (2,0mm)	0 – 19
Nº40 (0,42mm)	0

O enrocamento do rock-fill deverá estar enquadrado na faixa granulométrica apresentada no Quadro nº4.11.

<b>Quadro nº4.11: Enrocamento do Rock-fill</b>	
<b>Peneira</b>	<b>Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)</b>
700mm	100
600mm	90 – 100
500mm	76 – 100
400mm	58 – 100
300mm	46 – 94
200mm	31 – 84
100mm	12 – 60
2” (50,80mm)	0 – 38
1” (25,4mm)	0 – 20
¾” (19,1mm)	0 – 12
½” (12,7mm)	0 – 4
3/8” (9,5mm)	0

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





#### 4.3.7 - Análise de Estabilidade

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

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

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

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

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

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

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

#### **a) Adoção do Coeficiente $R_u$**

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

#### **b) Definição da Linha Piezométrica**

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

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

#### **c) Parâmetros de Resistência dos Materiais**

Para fazer as análises de estabilidade foi necessário estimar os parâmetros de resistência dos materiais componentes da seção tipo. Sobre os materiais das Jazidas J-01e J-02 foram realizados ensaios de cisalhamento direto nos poços. Os parâmetros efetivos obtidos são apresentados no Quadro N° 4.12:

Quadro nº 4.12: Parâmetros Efetivos do Ensaio de Cisalhamento Direto			
Jazida	Furo	Coesão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Ângulo de Atrito
J - 01	F - 03	C = 0,10	$\phi = 32,7^\circ$
	F - 19	C = 0,07	$\phi = 34,7^\circ$
	F - 38	C = 0,10	$\phi = 33,1^\circ$
	F - 46	C = 0,15	$\phi = 32,3^\circ$
J - 02	F - 06	C = 0,12	$\phi = 36,5^\circ$
	F - 12	C = 0,13	$\phi = 35,8^\circ$

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

- 1) O solo da jazida J-01 enquadra-se na Classificação Unificada USC em dois tipos, a saber: SM (Silte Arenoso) e SC (Argila Arenosa), com densidade aparente seca máxima de laboratório igual a 1,874 tf/m<sup>3</sup> e umidade ótima de 12,11%. Os ensaios de cisalhamento direto indicaram parâmetros efetivos de  $C'=7$  kPa e  $\phi'=30^\circ$ ;
- 2) O solo da jazida J-02 enquadra-se na Classificação Unificada USC nos tipos, SC (Argila Arenosa) e SM (Silte Arenoso), com densidade aparente seca máxima de laboratório igual a 1,859 tf/m<sup>3</sup> e umidade ótima de 13,40%. Os ensaios de cisalhamento direto indicaram parâmetros efetivos de  $C'=12$  kPa e  $\phi'=30^\circ$ .

Das conclusões das análises dos estudos geológicos e geotécnicos e do quadro nº 09, foram estimados os parâmetros de resistência dos solos das jazidas J-01 e J-02. Os demais materiais, tais como areia, brita, enrocamentos, camada de aluvião e maciço rochoso tiveram seus parâmetros avaliados com base em recomendações da literatura e experiência do projetista.

O Quadro nº4.13 mostrado a seguir, indica os valores dos parâmetros geotécnicos adotados para a análise da estabilidade da barragem.

Quadro nº4.13: Parâmetros Geotécnicos				
Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kPa)	$\phi$ (graus)	$R_u$
Riprap	18,0	0,00	45°	0,00
Maciço	20,1	12,00	30°	0,10
Filtro / Tapete	18,0	0,00	35°	0,00
Rock-fill	20,0	0,00	38°	0,00
Cutoff	20,2	10,00	30°	0,10
Aluvião	17,0	0,00	28°	0,05
Solo Residual	21,0	7,00	35°	0,10

### 4.3.7.1 - Resultados Obtidos

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

#### a) Análise da Estabilidade Estática

Os valores dos fatores de segurança obtidos na análise de estabilidade estática são mostrados no Quadro nº4.14:

<b>Quadro nº 4.14: Análise de Estabilidade – Estática</b>				
Simulação	C.S. Mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,3	2,340	1,958	2,264
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	1,782	1,693	1,735
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	1,782	1,536	1,520
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,1	1,562	1,162	1,220

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

#### b) Análise Sísmica

Os cálculos efetuados para simular um abalo sísmico foram feitos considerando o corpo da barragem como rígido, sendo que a caracterização da Sísmica se dá através do valor da aceleração máxima esperada na fundação. Esta é considerada constante ao longo do perfil da barragem. Este procedimento é adequado tendo em vista a pequena sísmicidade da região. Os valores dos fatores de segurança obtidos são mostrados no Quadro nº4.15:

<b>Quadro nº4.15: Análise de Estabilidade – Abalo Sísmico</b>				
Simulação	C.S. Mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,0	1,786	1,519	1,776
Final de Construção – Talude de Jusante	1,0	1,401	1,341	1,374
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,0	1,397	1,197	1,203
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,0	1,231	1,032	1,017

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

#### 4.3.8 - Estudo de Percolação da Barragem

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

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

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

A permeabilidade do maciço da barragem foi adotada à partir das análises dos ensaios de permeabilidade realizados sobre as amostras deformadas das Jazidas J-01e J-02. Os resultados dos ensaios são mostrados no Quadro nº 3.6:

Para os materiais do areal A-01 que formarão os dispositivos de drenagem interna, adotou-se uma permeabilidade de  $5,36 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ , obtido com base na análise dos ensaios de permeabilidade realizados sobre as amostras do areal A-01, que são mostrados no Quadro 3.9:

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

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

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

#### 4.3.9 - Análise dos Recalques

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

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

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

onde:

$S$  = Recalque total em m

$\sigma_{mi}$  = Tensão vertical no meio de cada lamela, em kgf/cm<sup>2</sup>

$\Delta Hi$  = Espessura da lamela

$E_i$  = Módulo de elasticidade do material da lamela i.

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

Outro aspecto considerado foi a variação da pressão de confinamento com a altura da barragem, a qual é apresentada no Quadro nº4.16:

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

Quadro nº4.16: Tensão Confinante	
Z (m)	Tensão Confinante (kgf/cm <sup>2</sup> )
Menor que 5,0m	1,0
Entre 5,0m e 10,0m	2,0
Maior que 10,0m	4,0

Com base nas condições do Quadro nº4.16, foram determinados os módulos de elasticidade para uso no cálculo dos recalques. Esses resultados são mostrados no Quadro nº4.17:

<b>Quadro nº4.17: Módulo de Elasticidade</b>	
<b>Tensão Confinante (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Módulo de Elasticidade (kPa)</b>
1,0	12.000
2,0	17.000
4,0	19.000

O recalque elástico esperado é de 209,28mm. Esse rebaixamento do coroamento deve ser corrigido antes da colocação do revestimento primário, ao longo de toda a barragem.

#### 4.3.10 - Sangradouro

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

O sangradouro será implantado na ombreira esquerda, a qual apresenta uma pequena cobertura de solo e uma topografia suave, viabilizando assim a implantação da obra neste local.

O sangradouro é composto de um canal escavado em rocha com 60,00m de largura na cota 90,00m. Será executado um muro creager com crista na cota 94,00m. Protegendo o muro creager está previsto a execução de dois muros laterais de concreto ciclópico. Entre os muros laterais e os taludes de corte será feito o fechamento com solo em duas barragens de fechamento.

Destaca-se aqui, que se durante a execução for observado que o nível do topo rochoso está acima da cota da cheia decamilenar, a Fiscalização poderá eliminar os muros laterais fazendo o muro creager se estender de talude a talude para fechamento do canal.

##### 4.3.10.1 - Canal do Sangradouro

O eixo longitudinal do canal sangradouro está localizado perpendicularmente ao eixo topográfico do sangradouro na estaca 7. O eixo longitudinal projetado possui uma extensão de 346,04m, estando estaqueado de 20 em 20 metros. As estacas estão nomeadas em quilômetros. A estaca 0+000 está localizada na coordenada UTM

534.475,5302 E e 9.561.799,1275 N e a estaca 0+346,04 está localizada na coordenada UTM 534.545,9874 E e 9.562.128,6373 N. O eixo longitudinal do canal sangradouro cruza a estaca 7 do eixo topográfico do sangradouro na estaca 0+92,77.

O canal de aproximação do sangradouro será escavado na cota 90,00m até o eixo topográfico. Deste eixo para jusante, canal de restituição, o greide do canal terá uma declividade de 3%.

Os taludes de corte em rocha tem inclinação 1 (V) : 0,1 (H) e em solo tem inclinação 1 (V) : 2 (H).

A partir da estaca 0+090 do eixo longitudinal do sangradouro, o canal terá uma inclinação de 30% descendente.

O canal sangradouro possui duas curvas circulares, com as características descritas no Quadro nº4.18.

Quadro nº4.18: Elementos das Curvas do Canal Sangradouro							
Curva nº	Tipo	Estaca		AC	R (m)	T (m)	D (m)
		PC	PT				
1	Circular	0+180,04	0+190,61	30°16'24"	20,00	5,41	10,57
2	Circular	0+263,17	0+266,04	8°13'40"	20,00	1,44	2,87

#### 4.3.10.2 - Estudo Geotécnico dos Materiais da Escavação

Tendo como finalidade o aproveitamento dos materiais das escavações obrigatórias do sangradouro no corpo da barragem foram usados os resultados das sondagens mista, num total de doze, realizadas no alinhamento do eixo da barragem, para jusante e para montante e mais três furos de sondagens a pá e picareta. A localização dos furos a pé e picareta é apresentada a seguir na Figura Nº4.2. A descrição dos furos de sondagens mista foi mostrada no Item 3.4.2 deste Memorial Descritivo. A descrição dos materiais dos poços a pá e picareta é mostrada a seguir:

A sondagem do furo SPP-201 atingiu 3,0m de profundidade. Neste furo foi encontrado de 0,10m a 0,40m silte argiloso, cor amarela. De 0,40m a 1,50m foi encontrado silte areno argiloso c/ pedregulho, cor cinza. De 1,50m a 3,00m foi encontrado alteração de rocha.

A sondagem SPP-202 atingiu a profundidade de 2,20m. De 0,10m a 0,50m foi encontrado silte areno argiloso cor roxa. De 0,50m a 2,20m foi encontrado alteração de rocha.



Finalmente a sondagem SPP-203 atingiu a profundidade de 2,20m. De 0,10m a 0,45m foi encontrado silte areno argiloso, cor amarelada. De 0,45m a 2,20m alteração de rocha.

No furo SPP-201 foram coletadas três amostras de solos e nos furos SPP-202 e SPP-203 foram coletadas duas amostras em cada um deles. Essas amostras foram enviadas ao laboratório para execução de ensaios geotécnicos. Os resultados são apresentados no Quadro nº4.19 – Ensaios Geotécnicos mostrado a seguir.

Examinando esses ensaios verifica-se que os solos desses horizontes são do tipo SM da classificação unificada USC.

Segundo SHERARD os solos SM quando executados com controle da umidade e compactação apresentam o seguinte comportamento.

### **SOLOS SM**

- Variam de impermeável a semi-impermeável;
- Tem média resistência ao piping;
- Tem alta resistência ao cisalhamento;
- Apresentam de boa a muito boa trabalhabilidade.

Devido às características geotécnicas desses solos, a utilização deles deve ser restrita ao espaldar de jusante.

Com base na análise das sondagens disponíveis foi feita uma inferência do provável topo rochoso e fez-se então a cubação dos dois materiais o superior constituído de solos maduro e saprolito e o inferior constituído de rocha. O volume total da escavação será de 172.174,00 m<sup>3</sup>. Deste total 140.862,55 m<sup>3</sup> é formado de solo maduro e saprolito e 31.312,13 m<sup>3</sup> é de rocha. Espera-se fazer a utilização de 102.700 m<sup>3</sup> do material da escavação no espaldar de jusante da barragem.

Os quadros de cubação destes volumes são apresentados a seguir:

## 4.3.10.3 - Perfil Creager

A ogiva do Creager foi dimensionada pelos procedimentos recomendados pelo *Bureau of Reclamations*. Esses dimensionamentos são mostrados a seguir.

$$h_0 = 0,79m$$

$$p = 4,0m$$

$$L = 60,0m$$

$$Q = 90m^3 / s$$

$$q = 1,5m^3 / s.m$$

Sabendo que:

$$q = CH_0^{3/2}$$

$$v_a = \frac{q}{p + h_0}$$

$$h_a = \frac{q^2}{2g(p + h_0)^2} = 0,002m$$

$$H_0 = h_0 + h_a = 0,794m$$

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  $\frac{h_a}{H_0} = 0,005$ , tem-se  $K = 0,50$  e  $n = 1,871$ . Portanto:

$$\frac{y}{0,79} = -0,50 \cdot \left( \frac{x}{0,79} \right)^{1,871}$$

$$y = -0,613 \cdot x^{1,871}$$

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

$$\frac{dy}{dx} = -1,146 \cdot x^{0,871}$$

Fazendo  $\frac{dy}{dx} = -1,0$ , que corresponde um talude de 1,00(V):1,00(H), tem-se:

$$x = 0,85$$

$$y = -0,45$$

A curva do Creager é dada no Quadro nº4.22 a seguir:

X	Y
0,00	0,00
0,10	-0,01
0,20	-0,03
0,30	-0,06
0,40	-0,11
0,50	-0,16
0,60	-0,23
0,70	-0,31
0,80	-0,40
0,85	-0,45

As curvas circulares de montante da ogiva são determinadas em ábacos a partir da relação  $\frac{h_a}{H_0} = 0,005$ .

Dessas curvas tira-se:

$$\frac{x_c}{H_0} = 0,283 \Rightarrow x_c = 0,22$$

$$\frac{y_c}{H_0} = 0,124 \Rightarrow y_c = 0,10$$

$$\frac{R_1}{H_0} = 0,53 \Rightarrow R_1 = 0,42$$

$$\frac{R_2}{H_0} = 0,235 \Rightarrow R_2 = 0,19$$

#### 4.3.11 - Tomada D'água

A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de 0,100 m<sup>3</sup>/s, será implantada na estaca 29 do eixo barrável, cujo terreno natural está na cota 87,33m, consistirá de uma galeria tubular de diâmetro  $\phi = 300\text{mm}$  de aço ASTM A-36 e extensão de 90,00m. O eixo da galeria ficará na cota 82,00m. O corpo da galeria será envolto em concreto estrutural.

O volume morto da Barragem Maranguape II será na cota 87,00m, com um armazenamento de 1,41hm<sup>3</sup>, correspondente a aproximadamente 15,0% da capacidade do reservatório.

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

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

#### 4.3.11.1 - Canal da Tomada D'Água

Para a implantação da tomada d'água, foi projetado um canal escavado em solo, com base assente em solo residual. O canal projetado terá uma extensão de 641,38m, com largura de base de 3,0m, com talude de 1,0 (V) : 2,0 (H) e tendo como limite de escavação a cota 81,35.

Entre as estacas 0+300 e 0+440, no lado direito do canal da tomada d'água, serão criadas duas bermas, para estabilizar o talude de escavação. A primeira berma será implantada na cota 111,35m e terá uma largura de 2,0m. A segunda berma será implantada na cota 96,35m e terá largura de 2,0m. Os taludes de escavação serão de 1,0 (V) : 2,0 (H).

Depois de construída a barragem, será implantado neste trecho, um sistema de drenagem superficial, composto de calhas coletoras e descidas d'águas, com a finalidade de condicionar as águas pluviais.

O eixo longitudinal do canal da tomada d'água está localizado perpendicularmente ao eixo barrável na estaca 29. Quando projetado, o eixo longitudinal do canal foi estaqueado de 20 em 20 metros, nomeados em quilômetros. A estaca 0+000 do eixo do canal está localizado na coordenada UTM 534.887,691 E e 9.562.151,366 N e a estaca 0+641,375 está localizado na coordenada UTM 534.899,035 E e 9.562.151,366 N. O eixo longitudinal do canal da tomada d'água cruza a estaca 29 do eixo barrável na estaca 0+366,89.

O canal da tomada d'água possui três curvas circulares com as características descritas no Quadro nº4.23:

Quadro nº4.23: Elementos das Curvas do Canal da Tomada D'Água							
Curva	Tipo	Estaca		AC	R (m)	T (m)	D (m)
		PC	PT				
1	Circular	0 + 275,420	0 + 305,045	33°56'50"	50,00	15,26	29,624
2	Circular	0 + 306,163	0 + 320,364	54°14'34"	15,00	7,68	14,201
3	Circular	0 + 419,796	0 + 437,527	67°43'39"	15,00	10,07	17,731

#### 4.3.12 - Apresentação do Projeto

No Tomo 6 são apresentados os desenhos do projeto da Barragem Maranguape II, como discriminado no Quadro nº4.24 a seguir.

<b>Quadro Nº 4.24: Relação dos Desenhos</b>	
<b>DESENHO Nº</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
III – 6 – 01 / 34 – 010	Bacia Hidráulica
III – 6 – 02 / 34 – 010	Boqueirão e Sangradouro – Levantamento Topográfico
III – 6 – 03 / 34 – 010	Perfil Longitudinal pelo Eixo da Barragem
III – 6 – 04 / 34 – 010	Boqueirão e Sangradouro – Planta e Locação de Sondagens
III – 6 – 05 / 34 – 010	Boqueirão e Sangradouro – Perfil Longitudinal do Subsolo
III – 6 – 06 / 34 – 010	Planta Geral da Locação das Ocorrências
III – 6 – 07 / 34 – 010	Locação das Ocorrências
III – 6 – 08 / 34 – 010	Arranjo Geral da Barragem Sangradouro e Tomada D'água
III – 6 – 09 / 34 – 010	Perfil Longitudinal da Barragem e Sangradouro
III – 6 – 10 / 34 – 010	Seção Máxima e Detalhes
III – 6 – 11 / 34 – 010	Seção Tipo da Barragem
III – 6 – 12 / 34 – 010	Seções Transversais da Barragem (01/09)
III – 6 – 13 / 34 – 010	Seções Transversais da Barragem (02/09)
III – 6 – 14 / 34 – 010	Seções Transversais da Barragem (03/09)
III – 6 – 15 / 34 – 010	Seções Transversais da Barragem (04/09)
III – 6 – 16 / 34 – 010	Seções Transversais da Barragem (05/09)
III – 6 – 17 / 34 – 010	Seções Transversais da Barragem (06/09)
III – 6 – 18 / 34 – 010	Seções Transversais da Barragem (07/09)
III – 6 – 19 / 34 – 010	Seções Transversais da Barragem (08/09)
III – 6 – 20 / 34 – 010	Seções Transversais da Barragem (09/09)
III – 6 – 21 / 34 – 010	Seção da Tomada D'água e Detalhes

**Quadro Nº 4.24: Relação dos Desenhos**

<b>DESENHO Nº</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
III – 6 – 22 / 34 – 010	Caixa de Montante e Caixa Dissipadora da Tomada D'água
III – 6 – 23 / 34 – 010	Ferragem da Caixa Dissipadora da Tomada D'água
III – 6 – 24 / 34 – 010	Ferragem da Caixa de Montante da Tomada D'água
III – 6 – 25 / 34 – 010	Tomada D'água - Planta, Perfil e Seção Tipo
III – 6 – 26 / 34 – 010	Escavação do Sangradouro – Planta, Perfil e Seção Tipo
III – 6 – 27 / 34 – 010	Seções Transversais de Escavação do Sangradouro (01/02)
III – 6 – 28 / 34 – 010	Seções Transversais de Escavação do Sangradouro (02/02)
III – 6 – 29 / 34 – 010	Arranjo Geral do Sangradouro – Detalhes
III – 6 – 30 / 34 – 010	Detalhes do Sangradouro
III – 6 – 31 / 34 – 010	Drenagem Superficial - Planta (01/02)
III – 6 – 32 / 34 – 010	Drenagem Superficial - Detalhes (02/02)
III – 6 – 33 / 34 – 010	Cortina de Injeção de Cimento
III – 6 – 34 / 34 – 010	Seção de Engastamento da Ombreira Esquerda

## 5 - CANTEIRO DE OBRA

## 5. CANTEIRO DE OBRA

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

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

Optou-se por instalar o canteiro na ombreira esquerda pela sua proximidade da obra, ou seja, a 300m da barragem e a 100m do sangradouro. Desta forma é possível concentrar as instalações em um só ponto, facilitando o gerenciamento e a fiscalização dos serviços. Nesta região indicada ao canteiro, há também ponto para captação de energia elétrica e há uma rede de linha telefônica.

A instalação mínima para o canteiro de obra deverá ser composta dos elementos descritos no Quadro nº 5.1:

<b>Quadro nº 5.1: Canteiro de Obra</b>	
<b>Item</b>	<b>Descrição</b>
01	Escritório da Administração
02	Laboratório de Solo e Concreto
03	Depósito de Cimento
04	Central de Britagem
05	Posto de Abastecimento de Combustível
06	Oficina Mecânica
07	Almoxarifado
08	Carpintaria
09	Ferraria
10	Armação e Moldagem
11	Alojamento para Pessoal de Apoio
12	Eletrificação
13	Escritório de Supervisão



## 6 - CRONOGRAMA FÍSICO

## 6. CRONOGRAMA FÍSICO

Previu-se de acordo com as dimensões das obras da Barragem Maranguape II e com as características climáticas da Região, um prazo de 12 meses para a conclusão das obras, em que deverá ser observada a seqüência de execução dos serviços a fim de se obter um máximo aproveitamento do tempo e uma eficiência completa no andamento das obras.

O cronograma de construção, em que são citados os serviços das obras com seus prazos mínimos de execução bem como o período do ano apropriado para desenvolvimento das atividades, é mostrado na figura 6.1.

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

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

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

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

### Período de Janeiro / Ano 1 a Maio / Ano 1

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

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

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

### **Período de Junho / Ano 1 a Outubro / Ano 1**

Nesta etapa corresponde ao período seco e deverá ser executado:

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

### **Período de Novembro / Ano 1 a Dezembro / Ano 1**

Neste período deverão ser executados os seguintes trabalhos:

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

## Figura nº 6.1: Cronograma

## 7 - EQUIPAMENTO MÍNIMO

## 7. EQUIPAMENTO MÍNIMO

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

<b>Quadro nº 7.1: Equipamento Mínimo</b>		
1.	Trator de esteiras com potência igual ou superior a 270HP	02
2.	Trator de esteiras com Potência igual ou superior a 140HP	02
3.	Trator de pneus com potência igual ou superior a 100HP	03
4.	Carregadeira frontal com potência igual ou superior a 170HP	04
5.	Motoniveladora com Potência igual ou superior a 125HP	03
6.	Caminhão basculante com capacidade igual ou superior a 6m <sup>3</sup>	10
7.	Betoneiras com capacidade mínima de 320l	03
8.	Caminhão pipa com capacidade igual ou superior a 6000l com irrigadeira	04
9.	Rolo compactador autopropelido vibratório pé-de-carneiro de 10 ton ou similar	03
10.	Rolo liso autopropelido vibratório de 10ton ou similar	01
11.	Retro-escavadeira com capacidade igual ou superior a 0,6m <sup>3</sup>	02
12.	Conjunto de britagem com capacidade igual ou superior a 20m <sup>3</sup> /h	02
13.	Compressor de ar com capacidade igual ou superior a 700pcm (pés cúbicos por minuto)	02
14.	Compressor de ar portátil c/ capacidade superior a 250pcm	01
15.	Carreta de perfuração com capacidade igual ou superior a 500pcm (pés cúbicos por minuto)	02
16.	Grade de disco com capacidade de 20 discos de 24"	02
17.	Sapo mecânico	02
18.	Marteletes de 24Kg	04