



Julho de 2003

**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**



**SRH** Secretaria dos Recursos Hídricos

## **Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - PROGERIRH**

**Contrato**

**Nº 02/ PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH 2001**

Estudos de Alternativas, EIAS/RIMAS, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais, Planos de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra / Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi, e dos Projetos das Adutoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada

## **VOLUME III - DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM CEARÁ**

**Tomo 1 - Relatório Geral do Projeto**



**MONTGOMERY WATSON**



**GOVERNADOR DO ESTADO DO CEARÁ**

Lúcio Gonçalo de Alcântara

**SECRETÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Ednardo Ximenes Rodrigues

**SUB-SECRETÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Francisco José Coelho Teixeira

**COORDENADOR GERAL DOS PROJETOS ESPECIAIS**

Francisco Hoilton Rios Araripe

**CONTRATO N.º 002/PROGERIRH – PILOTO/SRH/CE/2001****EQUIPE DE ELABORAÇÃO**

<b>CONSÓRCIO MONTGOMERY WATSON/ENGESOFT</b>	<b>ACOMPANHAMENTO E FISCALIZAÇÃO DA SRH</b>
João F. Vieira Neto Engº. Civil Diretor Técnico Engesoft	Ivoneide Ferreira Damasceno Engª. Civil Presidente da Comissão
William Moler Geólogo Gerente do Contrato	Lucrecia Nogueira de Sousa Geóloga Membro da Comissão
Walmir Fernando Duarte Jardim Engº. Civil Coordenador do Projeto	Thereza Cristina Citó Rêgo Engª. Civil Membro da Comissão
José Ribamar Pinheiro Barbosa Engº. Civil Geotecnia e Barragem	Osvan Menezes de Queiroz Engº. Civil Membro da Comissão
Waldir Barbosa de Souza Rodrigues Engº. Civil Barragem	Maria Alice Guedes Geóloga Membro da Comissão
Alysson César Azevedo da Silva Engº. Civil Estudos Básicos e Topografia	Francisco José de Sousa Engº. Agrônomo Membro da Comissão
José Osmar Coelho Saraiva Engº. Civil Hidráulica e Adutora	Maria Elaine Bianchi Geógrafa Membro da Comissão
Sérgio Pontes Engº. Civil Hidráulica e Adutora	Francisco Dário Silva Feitosa Engº. Agrônomo Membro da Comissão
Naimar Gonçalves Barroso Severiano Economista Meio Ambiente e Reassentamento	Nelson L. de S. Pinto Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Marcos César Feitosa Geólogo Levantamento Cadastral	Paulo Teixeira da Cruz Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Paulo Silas de Sousa Engº. Agrônomo Levantamento Cadastral	Roneí Vieira de Carvalho Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Hermano Câmara Campos Geólogo Geologia e Geotecnia	
Raimundo Eduardo Silveira Fontenele Economista Avaliação Financeira e Econômica	



MONTGOMERY WATSON



## ÍNDICE

---



**ÍNDICE**

	<b>Páginas</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO .....</b>	<b>9</b>
<b>3. FICHA TÉCNICA.....</b>	<b>13</b>
<b>4. ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS .....</b>	<b>20</b>
4.1. <i>Generalidades .....</i>	<i>21</i>
4.2. <i>Estudos Cartográficos .....</i>	<i>21</i>
4.2.1. Transporte de Coordenadas.....	23
4.2.2. Transporte De Cota.....	23
4.2.3. Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro .....	23
4.2.5. Levantamento da Bacia Hidráulica .....	26
4.2.5. Levantamento de Jazidas .....	31
4.3. <i>Estudos Geológicos.....</i>	<i>33</i>
4.3.1. Estudos Geológicos Realizados .....	33
4.4. <i>Estudos Geotécnicos.....</i>	<i>43</i>
4.4.1 Sondagens realizadas nos maciços da barragem .....	43
4.4.2.Sondagens Realizadas no Sangradouro.....	53
4.5. <i>Estudos Hidrológicos.....</i>	<i>56</i>
4.5.1. Introdução .....	56
4.5.2. Ficha Hidrológica e Curvas Cota x Área x Volume .....	57
4.5.3. Caracterização da Bacia Hidrográfica.....	60
4.5.4. Caracterização Climática.....	68
4.5.5. Estudo de Chuvas Intensas .....	78
4.5.6. Estudo de Deflúvios .....	80
4.5.7. Estudo das Cheias de Projeto .....	80
4.5.8 Dimensionamento do reservatório.....	84
4.5.9. Estudos Adicionais.....	86
<b>5. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DA BARRAGEM .....</b>	<b>90</b>
5.1. <i>Generalidades .....</i>	<i>91</i>
5.2. <i>Relação de Desenhos .....</i>	<i>92</i>
5.3. <i>Escolha do Eixo Barrável .....</i>	<i>95</i>
5.4. <i>Escolha do Tipo de Barragem .....</i>	<i>96</i>
5.5. <i>Fundação da Barragem.....</i>	<i>97</i>
5.6. <i>Geometria da Trincheira de Fundação.....</i>	<i>100</i>



<i>5.7. Rebaixamento do Lençol Freático.....</i>	<i>100</i>
<i>5.8. Maciço da Barragem.....</i>	<i>101</i>
5.8.1. Descrição da Seção Tipo.....	101
<i>5.9. Análise de Estabilidade .....</i>	<i>107</i>
5.9.1. Considerações Gerais .....	107
5.9.2. Resultados Obtidos .....	110
<i>5.10. Estudos de Percolação pela Barragem E Fundação.....</i>	<i>112</i>
<i>5.11. Análise de Recalques .....</i>	<i>113</i>
<i>5.12. Instrumentação .....</i>	<i>115</i>
<i>5.13. Sangradouro.....</i>	<i>116</i>
<i>5.14. Tomada D'água .....</i>	<i>117</i>
<b>6. CANTEIRO DE OBRA.....</b>	<b>119</b>
<b>7. CRONOGRAMA FÍSICO.....</b>	<b>121</b>
<b>8. EQUIPAMENTO MÍNIMO.....</b>	<b>125</b>
8.1 <i>Relação dos Equipamentos Mínimo.....</i>	<i>126</i>



MONTGOMERY WATSON



## 1. INTRODUÇÃO

---



## 1. INTRODUÇÃO

O Consórcio Montgomery-Watson/Engesoft e a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE) celebraram o Contrato N° 02/PROGERIRH-PILOTO /CE/SRH 2001, que tem como objetivo o Estudo de Alternativas, EIAs/RIMAs, Levantamentos Cadastrais, Plano de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra, Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi e dos Projetos das Aduadoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada. A ordem de serviço foi emitida em 05 de março de 2001.

O presente trabalho compõe o Volume III – Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem Ceará, integrante das Bacias Metropolitanas, do município de Caucaia, Ceará, e é formado por sete Tomos, a saber:

***Tomo 1 – Relatório Geral do Projeto;***

Tomo 2 – Desenhos e Plantas;

Tomo 3 – Memória de Cálculo;

Tomo 4 – Especificações;

Tomo 5 – Quantitativos e Orçamento;

Tomo 6 – Planos de Operação e Manutenção;

Tomo 7 – Relatório Síntese.

O Tomo 1, aqui apresentado, consiste no Relatório Geral do Projeto Executivo e aborda os seguintes capítulos:

- Localização e Acessos;
- Ficha Técnica;
- Análise dos Estudos Básicos;
- Generalidades;
  - Estudos Cartográficos;
  - Estudos Topográficos;
  - Estudos Geológicos;
  - Estudos Geotécnicos;
  - Estudos Hidrológicos;





- Projeto da Barragem;
  - Generalidades;
  - Relação de Desenhos;
  - Escolha do Eixo Barrável;
  - Escolha do Tipo de Barragem;
  - Fundação da Barragem;
  - Geometria da Trincheira de Fundação;
  - Rebaixamento do Lençol Freático;
  - Maciço da Barragem;
  - Análise de Estabilidade;
  - Estudos de Percolação pela Barragem e Fundação;
  - Análise de Recalques;
  - Instrumentação;
  - Sangradouro;
  - Tomada d'Água;
- Canteiro de Obra;
- Cronograma Físico;
- Equipamento Mínimo.



MONTGOMERY WATSON



## **2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO**

---



## 2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A Barragem Ceará será formada pelo barramento do rio homônimo, cuja bacia hidrográfica ocupa uma posição centro-oriental no município de Caucaia, no Estado do Ceará. A barragem fechará o boqueirão existente na região do Km 382 da BR-020, distando cerca de 30 km da sede do município de Caucaia. O reservatório terá sua bacia hidráulica totalmente inclusa no território do referido município.

A Figura 2.1 apresenta a localização do empreendimento a nível estadual e a figura 2.2 no âmbito regional.

Desde Fortaleza o acesso ao sítio do barramento é feito diretamente através da BR-020. Tal rodovia tem seu término no Km 410, ponto de encontro com a Avenida Bezerra de Menezes, em Fortaleza, e cruza o eixo locado da barragem na região ondulada do Km 382. Portanto o percurso total de Fortaleza até a barragem é de 28 km.

Para se alcançar o eixo da barragem a partir da sede do município de Caucaia toma-se a rodovia de acesso a Fortaleza até a interseção com a Br-020, no km 406, num percurso de 6 km. A partir desse ponto segue-se pela Br-020, no sentido sudoeste, até a região ondulada do Km 382, percorrendo-se mais 24 km. Desta forma o transcurso Caucaia – barragem perfaz 30 km.



Fonte: Atlas do Ceará - IPLANCE.

**FIGURA - 2.1**  
**MAPA DE LOCALIZAÇÃO E ACESSO**



**Figura 2.2**  
**Mapa de Localização da Barragem no âmbito Regional**  
(Sem Escala)





MONTGOMERY WATSON



### **3. FICHA TÉCNICA**

---



### 3. FICHA TÉCNICA

A ficha técnica do Projeto Executivo da Barragem Ceará é apresentada a seguir, mostrando as principais características.

<b>FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM CEARÁ</b>	
<b>IDENTIFICAÇÃO</b>	
Denominação:	Barragem Ceará
Estado:	Ceará
Município:	Caucaia
Coordenadas UTM da Estaca 00:	E 521.372,618; N 9.574.031,525
Sistema:	Bacias Metropolitanas
Rio Barrado:	Rio Ceará
Proprietário:	Estado do Ceará/SRH
Autor do Projeto:	Consórcio Engesoft/Montgomery
Data do Projeto:	Março/2003
<b>BACIA HIDROGRÁFICA</b>	
Área:	232,0 km <sup>2</sup>
Precipitação Média Anual:	1.392,4 mm
Evaporação Média Anual:	1.469,2 mm
<b>CARACTERÍSTICA DO RESERVATÓRIO</b>	
Área da Bacia Hidráulica (Cota 43,0 m):	1.581,41 ha
Volume Acumulado (Cota 43,0 m):	51,58 hm <sup>3</sup>
Volume Afluyente Médio Anual:	72,53 hm <sup>3</sup>
Volume de Alerta do Reserv. (Cota 38,50 m):	12,21 hm <sup>3</sup>
Volume Morto do Reserv.(Cota 36,00 m):	3,53 hm <sup>3</sup>
Vazão Regularizada (90%):	1,08 m <sup>3</sup> /s
Vazão Máxima Afluyente de Projeto (TR=1.000 anos):	870 m <sup>3</sup> /s
Vazão Máx. de Projeto Amortecida (TR=1.000 anos):	239 m <sup>3</sup> /s

**FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM CEARÁ**

Vazão Máxima Afluente de Verificação (TR=10.000 anos):	1.177 m <sup>3</sup> /s
Vazão Máx. de Verificação Amortecida (TR=10.000 anos):	361 m <sup>3</sup> /s
Nível D'Água Max. Normal:	43,0 m
Nível D'Água Max. Maximorum (TR=1.000 anos):	44,0 m
Nível D'Água Max. Maximorum (TR=10.000 anos):	45,04 m

**BARRAGEM PRINCIPAL**

Tipo:	Maciço de Terra
Altura Máxima:	18,0 m
Largura do Coroamento:	6,0 m
Extensão pelo Coroamento:	1.450 m
Cota do Coroamento:	46,0 m
Volume de Escavação (Fundação):	98.337 m <sup>3</sup>
Volume do Maciço (Maciço e Cut-off):	439.227 m <sup>3</sup>
Volume do Enrocamento (Rip-Rap e Rock-Fill):	40.203 m <sup>3</sup>
Volume de Transições:	18.571m <sup>3</sup>
Volume de Areia (Filtro e Transições):	22.890 m <sup>3</sup>
Volume de Brita para Filtro:	4.673 m <sup>3</sup>
Largura Máxima da Base:	82,24 m
Talude de Montante:	1,0 (v) : 2,0 (h) entre cotas 46,0 e 37,0 e 1,0 (v) : 2,5 (h) abaixo da 37,0
Talude de Jusante:	1,0 (v) : 2,0 (h)
Cortina de Injeção ( altura variável):	6 a 12m

**BARRAGENS AUXILIARES****Barragem Auxiliar – BA-01**

Tipo:	Homogênea de Solo
Altura Máxima:	3,49 m
Largura do Coroamento:	6,00 m



**FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM CEARÁ**

Extensão pelo Coroamento:	234,00 m
Cota do Coroamento:	46,0 m
Volume de Escavação (Fundação):	312,0 m <sup>3</sup>
Volume do Maciço:	4.171,3 m <sup>3</sup>
Volume de Enrocamento:	835,6 m <sup>3</sup>
Volume de Transições:	184,6 m <sup>3</sup>
Volume de Areia (Filtro e Transições):	33,8 m <sup>3</sup>
Largura Máxima da Base	20,73 m
Talude de Montante:	1,0 (v) : 2,0 (h)
Talude de Jusante:	1,0 (v) : 2,0 (h)

**Barragem Auxiliar – BA-02**

Tipo:	Homogênea de Solo
Altura Máxima:	0,86 m
Largura do Coroamento:	6,00 m
Extensão pelo Coroamento:	86,20 m
Cota do Coroamento:	46,0 m
Volume do Maciço:	246,3 m <sup>3</sup>
Volume do Enrocamento:	50,3 m <sup>3</sup>
Largura Máxima da Base	10,41 m
Talude de Montante:	1,0 (v) : 2,0 (h)
Talude de Jusante:	1,0 (v) : 2,0 (h)

**Barragem Auxiliar – BA-03**

Tipo:	Homogênea de Solo
Altura Máxima:	0,66 m
Largura do Coroamento:	6,00 m
Extensão pelo Coroamento:	317,56 m
Cota do Coroamento:	46,0 m
Volume do Maciço:	1.413,0 m <sup>3</sup>
Volume de Enrocamento:	278,0 m <sup>3</sup>
Volume de Transições:	17,6 m <sup>3</sup>

**FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM CEARÁ**

Largura Máxima da Base	13,04 m
Talude de Montante:	1,0 (v) : 2,0 (h)
Talude de Jusante:	1,0 (v) : 2,0 (h)
<b>Barragem Auxiliar - BA-04</b>	
Tipo:	Homogênea de Solo
Altura Máxima:	0,63 m
Largura do Coroamento:	6,00 m
Extensão pelo Coroamento:	105,20 m
Cota do Coroamento:	46,0 m
Volume do Maciço:	193,7 m <sup>3</sup>
Volume de Enrocamento:	28,4 m <sup>3</sup>
Largura Máxima da Base	9,52 m
Talude de Montante:	1,0 (v) : 2,0 (h)
Talude de Jusante:	1,0 (v) : 2,0 (h)
<b>Barragem Auxiliar - BA-05</b>	
Tipo:	Homogênea de Solo
Altura Máxima:	1,15 m
Largura do Coroamento:	6,00 m
Extensão pelo Coroamento:	76,90 m
Cota do Coroamento:	46,00 m
Volume do Maciço:	273,6 m <sup>3</sup>
Volume de Enrocamento:	42,0 m <sup>3</sup>
Largura Máxima da Base	11,41 m
Talude de Montante:	1,0 (v) : 2,0 (h)
Talude de Jusante:	1,0 (v) : 2,0 (h)
<b>Barragem Auxiliar - BA-06</b>	
Tipo:	Homogênea de Solo
Altura Máxima:	2,35 m
Largura do Coroamento:	6,00 m
Extensão pelo Coroamento:	96,70 m

**FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM CEARÁ**

Cota do Coroamento:	46,00 m
Volume do Maciço:	1.194,7 m <sup>3</sup>
Volume de Enrocamento:	221,0 m <sup>3</sup>
Volume de Transições:	39,8 m <sup>3</sup>
Largura Máxima da Base	16,35 m
Talude de Montante:	1,0 (v) : 2,0 (h)
Talude de Jusante:	1,0 (v) : 2,0 (h)

**Barragem Auxiliar – BA-07**

Tipo:	Homogênea de Solo
Altura Máxima:	4,68 m
Largura do Coroamento:	6,00 m
Extensão pelo Coroamento:	767,80 m
Cota do Coroamento:	46,00 m
Volume do Maciço:	25.797,32 m <sup>3</sup>
Volume de Enrocamento:	4.625,9 m <sup>3</sup>
Volume de Transições:	852,0 m <sup>3</sup>
Largura Máxima da Base	25,72 m
Talude de Montante:	1,0 (v) : 2,0 (h)
Talude de Jusante:	1,0 (v) : 2,0 (h)

**TOMADA D'ÁGUA**

Tipo:	Tubo de Aço ASTM em chapa de 1/4" envolto em galeria de Concreto Armado
Localização:	Ombreira Direita/Estaca 36+10
Número de Condutos:	1 (um)
Diâmetro:	700 mm
Comprimento do Conduto:	52,10 m
Cota da Geratriz Inferior a Montante:	36,0 m
Cota da Geratriz Inferior a Jusante:	36,0 m
Volume de Escavação:	5.837,0 m <sup>3</sup>

**FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM CEARÁ**

Volume de Concreto Armado:	180,0 m <sup>3</sup>
Volume do Concreto de Regularização:	32,85 m <sup>3</sup>
Comprimento Total (incluindo entrada e saída):	60,85 m
<b>SANGRADOURO</b>	
Tipo:	Perfil Creager
Largura:	120,00 m
Cota de Sangria:	43,0 m
Vazão Máx. Prevista (TR=1.000 anos):	239 m <sup>3</sup> /s
Lâmina Máx. Prevista (TR=1.000 anos):	1,00 m
Lâmina Máx Prevista (TR=10.000 anos):	1,31 m
Borda Livre:	1,69 m
Volume Total de Escavação Solo	69.821,0 m <sup>3</sup>
Volume Total de Escavação Rocha	16.910 m <sup>3</sup>
Volume de Concreto do Perfil Creager:	890,4 m <sup>3</sup>
Volume de Concreto dos Muros Laterais:	547,0 m <sup>3</sup>



MONTGOMERY WATSON



## **4. ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS**

---



## **4. ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS**

### **4.1. GENERALIDADES**

Fazem parte dos estudos básicos, que visam subsidiar o projeto executivo da barragem, os trabalhos cartográficos, topográficos, de geologia e geotécnia além, dos estudos hidrológicos.

### **4.2. ESTUDOS CARTOGRÁFICOS**

Os estudos cartográficos foram desenvolvidos basicamente a partir de cartas da SUDENE digitalizadas em escala 1 : 100.000 e com curvas de nível a cada 40 metros; sobre as quais foi definida a localização preliminar do barramento e delimitada a área da bacia hidrográfica.

A carta topográfica utilizada foi:

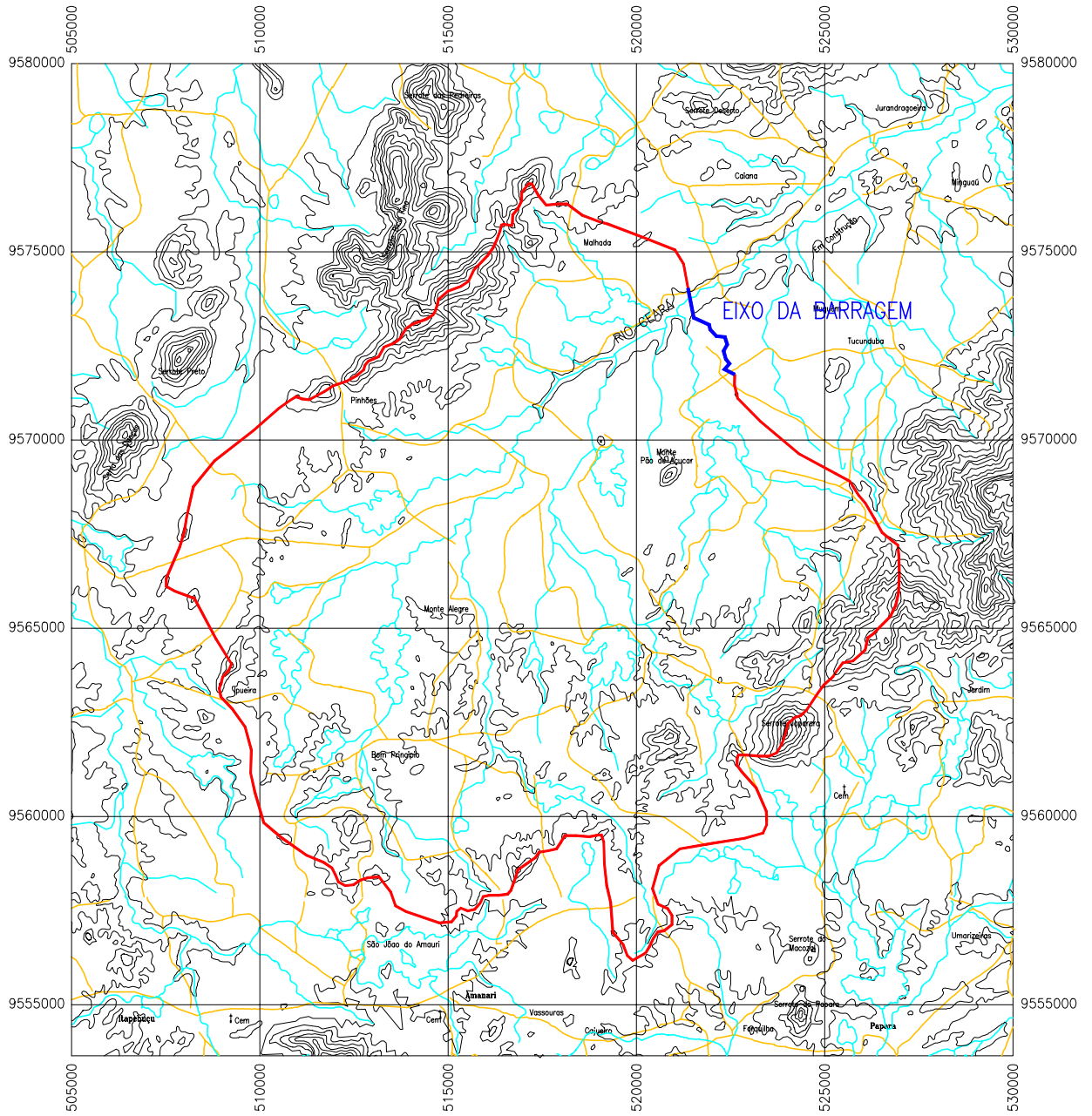
Fortaleza: nº SA-24-Z-C-IV

Para a identificação das alternativas de localização do eixo da barragem Ceará, utilizou-se a base cartográfica de Fortaleza, que também permitiu o inventário das áreas dos possíveis reservatórios, identificando-se a rede de rodovias existente, a infra-estrutura relevante como redes elétricas, açudes e escolas, as ocorrências de materiais construtivos, núcleos urbanos, o sistema de drenagem principal e pontos de possíveis fugas.

A bacia hidrográfica da barragem foi delimitada sobre as cartas da SUDENE e calculada em 232,0 km<sup>2</sup>.

O contorno da bacia hidrográfica da barragem Ceará está apresentado na figura 4.2.1 a seguir, em escala bastante reduzida.





MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ – BACIA HIDROGRÁFICA

ESCALA:

1:175.000

DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

4.2.1



#### 4.2.1. Transporte de Coordenadas

Adotando-se o sistema de levantamento com GPS (Sistema de Posicionamento Global), foram determinadas as coordenadas dos marcos M-1 na estaca 00 e M-2 na estaca 39+16,18, no eixo da barragem Ceará, a partir do *Datum* SAD-69. Estes pontos foram locados um em relação ao outro, usando o próprio GPS, para a verificação da precisão obtida.

O quadro a seguir apresenta as coordenadas UTM, dos pontos levantados.

Ponto	Estaca	Coordenadas UTM (m)	
		Este	Norte
Marco M-1	00	521.372,618	9.574.031,525
Marco M-2	39+ 16,18	521.530,924	9.573.251,245

#### 4.2.2. Transporte De Cota

O transporte de cota foi realizado por meio de topografia convencional, através de poligonais de nivelamento e contra-nivelamento, tendo sido utilizado para esse trabalho um nível WILD N-1.

Tomou-se como base a RN nº 1681 S do IBGE, situada no lado direito da ponte sobre o riacho Espiroá, na BR-020, 210 metros aquém do km-389 no sentido Caridade – Fortaleza, nas coordenadas N = 9.574,6 km e E = 524,53 km e cota 32,5946 m.

#### 4.2.3. Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro

O eixo da barragem Ceará foi locado em um boqueirão com características topográficas favoráveis, onde o sangradouro foi definido e estudado em um morrote situado na ombreira direita.

Para estancar fugas ao longo das ombreiras foi locado o eixo das barragens auxiliares BA-01 até BA-04, na ombreira direita, dando continuidade ao eixo da barragem principal. Na ombreira esquerda foi locado o eixo das barragens auxiliares BA-05 até BA-07, sem ligação com o eixo da barragem principal.



Os levantamentos topográficos dos eixos das barragens e sangradouro, foram executados através de processos convencionais constando dos seguintes serviços: locação; implantação de marcos para futura relocação; nivelamento e levantamento de seções transversais.

#### a) Locação dos eixos e Implantação de Marcos

Utilizando-se uma Estação Total Nikon-420, locou-se os eixos das barragens e sangradouro, o qual foi materializado a cada 20 metros por pontos estaqueados e numerados, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis tais como: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno entre outros.

O eixo das barragens auxiliares BA-05 a BA-07, teve sua estaca inicial (00A) localizada numa elevação do lado esquerdo, de onde se partiu buscando uma melhor locação seguindo o divisor de águas. Nas estacas 12A+7,33; 20A+9,68; 29A+18,47 e 50A+10,28 foram necessárias deflexões no eixo, que foram materializadas com a implantação de marcos de concreto nas estacas 29A+18,47 e 50A+10,28 .O último ponto do eixo foi materilizado na estaca 60A+10,45, embora posteriormente tenha sido levantado mais 20m para alcançar a cota projetada para o barramento.

No eixo que comporta a barragem principal, sangradouro e barragens auxiliares BA-01 a BA-04 foi observado o mesmo propósito de uma locação através do divisor de águas. A estaca inicial, estaca 00, foi implantada na ombreira esquerda e após esta foram necessárias 10 deflexões no eixo, sendo 05 delas materializadas em campo através de marcos de concreto, até alcançar o ponto final na estaca 155+16,14. Esse eixo totaliza uma extensão de 3.116,14m.

O quadro a seguir apresenta a relação dos marcos implantados.

Marco	Estaca	Coordenadas UTM (m)	
		Este	Norte
M-1	00	521.372,618	9.574.031,525
M-2	39+16,18	521.530,924	9.573.251,245
M-3	62+10,33	521.943,266	9.573.060,895
M-4	68+14,23	521.965,769	9.572.939,059
M-5	80+15,89	522.129,560	9.572.761,368
M-6	29A+18,47	521.472,605	9.572.098,374
M-7	50A+10,28	521.695,405	9.574.752,036



#### b) Nivelamento

O levantamento altimétrico da barragem Ceará, foi realizado utilizando-se um nível WILD N-1, onde foram niveladas todas as estacas do eixo materializado. A partir deste levantamento, gerou-se o perfil longitudinal do terreno natural no eixo, o qual encontra-se apresentado no desenho III-2-04/39-000, do Tomo 2.

#### c) Levantamento de Seções Transversais

Foram levantadas seções transversais ao eixo da barragem e sangradouro a cada 20 metros, com utilização de nível e mira. As seções abrangeram uma faixa de domínio de aproximadamente 150 metros de largura à montante e à jusante, na barragem principal e cerca de 50 m nas barragens auxiliares de baixa altura.

As seções se constituíram de pontos cotados a cada 20 metros, considerando também os pontos de destaque do relevo topográfico.

#### d) Levantamento do Canal de Restituição

O canal de restituição da barragem Ceará, foi levantado plani-altimetricamente através de processos topográficos convencionais, constando de: locação; nivelamento e levantamento de seções transversais.

##### Locação:

Locou-se o canal de restituição utilizando-se uma Estação Total Nikon-420, o qual foi estaqueado e numerado a cada 50 metros, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis do relevo.

A partir da estaca 75+ 10 do eixo da barragem/sangradouro, foi locada a poligonal do canal de restituição com 1.830,37 metros de extensão, acompanhando o talvegue à jusante que conduzirá o caudal de sangria até a margem direita do rio Ceará.

##### Nivelamento e Seções Transversais:

Utilizando-se um nível WILD N-1, realizou-se o levantamento altimétrico da poligonal do canal de restituição, através de seccionamento a cada 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros. A partir desse



levantamento foi elaborada uma planta baixa com curvas de nível do terreno natural a cada metro, apresentada nos Estudos Básicos.

#### 4.2.5. Levantamento da Bacia Hidráulica

Para a execução dos serviços plani-altimétricos na área da bacia hidráulica da barragem Ceará, no município de Caucaia, 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, totalizando 54 km<sup>2</sup> e mapas digitais na escala 1:5.000, da bacia hidráulica que totalizaram 40,38 km<sup>2</sup>.

Os serviços foram desenvolvidos de acordo com as normas de aerolevantamentos vigentes.

##### a) Trabalhos Executados

Apresentamos abaixo a relação das fases dos trabalhos executados neste projeto:

Cobertura Aerofotogramétrica;

Apoio de campo;

Aerotriangulação;

Restituição digital em escala 1:5.000;

Geração de arquivos magnéticos.

##### b) Cobertura Aerofotogramétrica

Após a concessão da autorização do ministério da defesa iniciaram-se os trabalhos da cobertura aerofotogramétrica os quais apresentamos a seguir.

##### Plano de Vôo

Foi executado um plano de vôo indicando o centro de cada tomada de foto, utilizando o software TPLAN, e a câmara aérea RMK-TOP obedecendo às seguintes especificações:

Recobrimento lateral: 30%  $\pm$  3%;





Recobrimento longitudinal:  $60\% \pm 3\%$ ;

Ângulo solar: mínimo de  $30^\circ$  para regiões planas e  $35^\circ$  para regiões montanhosas;

Ângulo de deriva: média por faixa, tolerância de  $2^\circ$ , casos isolados  $5^\circ$ ;

Verticalidade do eixo ótico: média por faixa, tolerância de  $2^\circ$ , casos isolados  $3^\circ$ ;

Altitude do vôo: a escala da fotografia em função da altura de vôo, não deverá variar mais que 5% do estabelecido.

### Recobrimento Aerofotogramétrico

A cobertura aerofotogramétrica foi realizada com aeronave especialmente adaptada à tomada de fotografias aéreas, equipada com piloto automático e equipamento rastreador de satélites do sistema NAVSTAR – GPS, para a orientação do vôo, equipada com câmara aerofotogramétrica automática, grande angular e distância focal calibrada, próxima de 152 milímetros e formato útil de 23x23 centímetros.

A câmara foi equipada com controlador automático de recobrimento e deriva, com mecanismo de integração com GPS de navegação e com chassis com suspensão giro-estabilizada. Esta possui Certificado de Calibração, fornecido pelo fabricante, realizado a um ano.

O filme aéreo utilizado foi base estável (poliéster), pancromático, colorido, alto poder resolutivo (no mínimo 125 linhas por milímetros) com, no mínimo, 0,004 polegadas de espessura e dentro do período de validade estipulado pelo fabricante.

Dados que constam nas fotos:

Escala da foto;

Número da faixa;

Número da foto;

Nome do local;

Coordenadas do centro das fotos no momento da tomada;



Distância focal calibrada da câmara; e

Marcas fiduciais.

Laboratório

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

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

Foto-índice

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

Dados contidos no Foto-índice:

Número de cada exposição que o compõem;

Números das faixas;

Escala da foto;

Escala do Foto-índice.

c) Apoio Básico

Na Barragem Ceará foram implantados 04 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. De cada marco foi elaborada uma monografia que se encontra nos Estudos Básicos.

Para a determinação das coordenadas de cada vértice da rede de apoio básico da Barragem Ceará tivemos na planimetria origem no V. GROSSO (BICO FINO) do IBGE de latitude 04°38'48,71811" S e longitude 39°25'46,65631" W e altitude de 482,00 m, e



chegada no Vértice BARRA do IBGE de latitude 04°31'43,19058" S e longitude 39°23'55,08873" e altitude de 566,53 m.

Foram implantados os vértices M-01 a M-04 e sua determinação foi executada pelo método diferencial estático com rastreamento em tempo suficiente para resolver a ambigüidade com constelação mínima de 05 (cinco) satélites e PDOP de 06 (seis) ou menor, a fim de garantir uma precisão mínima de 1:100.000.

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

Os vértices implantados foram nivelados geometricamente tendo como origem a RN 1681 R e a chegada RN 1681 N ambas do IBGE.

No apoio suplementar foram determinados 9 pontos plani-altimétricos denominados de HV-01 a HV-09.

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 1:50.000.

As medições foram feitas com GPS Trimble 4600LS de uma freqüência com duração de rastreio de 0,30 hora.

A altimetria do apoio suplementar teve suas altitudes ortométricas determinadas por diferença geoidal definidas através do rastreio de duas RRNN do IBGE, as quais deram altitude aos pontos do apoio suplementar.

#### d) Aerotriangulação

As imagens para a geração dos trabalhos foram obtidas a partir da scannerização dos negativos fotogramétricos na escala de 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 escanerização executada.



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

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

#### e) Restituição Fotogramétrica

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

Elementos Cartográficos representados:

Sistema hidrográfico;

Altimetria;

Referências de nível.

A altimetria foi definida até a cota 46 mais 100 metros, para maior segurança dos dados do projeto, perfazendo um total de 40,38 km<sup>2</sup> de área restituída.

Todos os trabalhos seguiram as INSTRUÇÕES REGULADORAS DAS NORMAS TÉCNICAS DA CARTOGRAFIA NACIONAL, atendendo ao padrão de PEC estabelecido a esse tipo de trabalho.

#### f) Produtos Entregue

Foram entregue a SRH/CE os seguintes produtos a respeito do levantamento aerofotogramétrico da bacia da barragem Ceará:

Uma coleção de aerofotos na escala do vôo;

Um foto índice na escala de 1:60.000;

Monografias dos vértices implantados;

01 coleção de CD-ROM, contendo fotos aéreas em formato digital;

01 coleção de arquivos digitais, em formato DWG-3D na escala 1:5.000, com hidrografia e altimetria



#### 4.2.5. Levantamento de Jazidas

As áreas das ocorrências de materiais construtivos para execução da barragem Ceará, foram amarradas a partir do eixo barrável, através de uma poligonal locada com a utilização de uma Estação Total Nikon-420. As ocorrências objeto do levantamento planimétrico foram: cinco jazidas de material terroso e Pedreiras.

##### a) Jazidas

Foram estudadas cinco jazidas para construção da barragem de terra. Inicialmente locou-se a poligonal de amarração das jazidas J-1 a J-5, em relação ao eixo barrável, em seguida, através de uma linha base auxiliar.

O quadro a seguir apresenta a quantidade de furos, a área levantada e a distância das jazidas aos eixos das barragens.

Local	Quantidade de Furos	Área (ha)	Dist. Jazidas aos Eixos (Km)	Eixo de Referência
Jazida J-1	91	20,50	1,3	Est. 7 – B. Principal
Jazida J-2	117	23,23 (*)	4,00	“
Jazida J-3	99	39,00	3,00	“
Jazida J-4	84	34,50	3,00	“
Jazida J-5	35	12,00	0,25	Est. 125 – B. Aux. 03

(\*) – Na Jazida J-2 apesar de ter sido levantada uma área de 23,23 ha, selecionou-se uma área de 16,68 ha para possível exploração.

No desenho III-2-06/39-000 do Tomo II –Desenhos são apresentadas as localizações das jazidas

##### b) Areas

A região próximo ao eixo da barragem tem seus rios e depósitos de areia intensamente explorados para o uso na construção civil. Portanto, o projeto sugere que os areas indicados para a construção da barragens, em época imediatamente anterior ao início das obras, sejam vistoriados quanto a seus volumes remanescentes.

Para execução do filtro de areia e fonte de fornecimento de agregado miúdo para concretos da barragem Ceará, indicou-se como reserva o areal ao longo do rio Cauhípe (A-1), onde foram realizadas investigações geotécnicas por meio de poços à pá e picareta.



Este areal situa-se nas proximidades da Lagoa Nova, a cerca de 12 km de distância para a barragem, onde registrou-se as coordenadas E - 516.895 e N - 9.579.361 aferidas com GPS manual, e encontra-se sob contínua exploração comercial.

Identificou-se um outro areal, chamado A-2, ao longo do rio São Gonçalo, distando aproximadamente 32 km da barragem, na localidade de Umari, onde também foram realizados estudos geotécnicos.

Este areal está atualmente preservado da exploração comercial, porém tem sido objeto de investidas de interessados junto ao proprietário. Os bancos de areia no leito do riacho Capitão Mor próximos da Fazenda Patos, distantes cerca de 41 km para a barragem, foram indicados como Areal A-3.

#### c) Pedreira

Para obtenção de material pétreo complementar as escavações obrigatórias do sangradouro, identificou-se afloramentos graníticos situados a 2,1 km a jusante da barragem principal, próximo da sede da fazenda Muquem, denominado pedreira P-03. Como uma fonte alternativa de obtenção de rocha identificou-se em afloramento situado cerca de 0,1 km a jusante da estaca 45, denominado P-01. A viabilidade da exploração desta fonte, tão próxima do eixo, depende do planejamento das etapas construtivas e da avaliação da segurança dos operários e instalações/canteiros a serem implantados. Um afloramento foi estudado com detalhe na etapa do projeto que considerava a localização do eixo mais a jusante do definitivo. Tal afloramento, dito pedreira P-02, situa-se a 2,8 km a jusante da barragem principal. Foram realizadas investigações por meio de sondagens rotativas, as quais estão locadas e apresentadas no quadro a seguir. Nas pedreiras P-01 e P-03 foram registradas coordenadas dos afloramentos com GPS manual que constam também do quadro.

Pedreira	Sondagem	Cota (m)	Coordenadas UTM (m)	
			Este	Norte
P-2	FP-1	40,147	523.144	9.575.414
	FP-2	40,000	523.038	9.575.288
P-1	-	-	521.660	9.573.278
P-3			523.014	9.575.372





### 4.3. ESTUDOS GEOLÓGICOS

#### 4.3.1. Estudos Geológicos Realizados

A bacia hidrográfica do Açude Ceará está situada, na micro região geográfica de Fortaleza, no Estado do Ceará, numa área em que predominam as rochas do embasamento cristalino.

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

- Levantamento bibliográfico dos principais trabalhos geológicos desenvolvidos na região;
- Interpretação de fotografias aerofotogramétricas em escala 1:15.000;
- Mapeamento geológico do eixo barrável e sangradouro através de caminhamentos ao longo do eixo topográfico locado e nas seções transversais a cada 20m, abrangendo uma faixa de 300m, sendo 150m para montante e 150m para jusante;
- Mapeamento geológico da bacia hidráulica através de reconhecimento dos locais possíveis de acesso por veículo de passeio;
- Elaboração de mapa geológico do eixo da barragem e sangradouro em escala 1:1.000;
- Elaboração de mapa geológico da bacia hidráulica em escala 1:10.000.

Para orientação dos perfis de caminhamentos e localização e indicação dos pontos básicos para o estudo em epígrafe, foram utilizados aparelhos de GPS de mão e bússola, tendo como base cartográfica as plantas topográficas previamente elaboradas.

##### a) Geologia Regional

A descrição da geologia regional para este trabalho teve como fonte de pesquisa o Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza/Projeto SINFOR, em escala 1:150.000, elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM, em 1995.



O rio Ceará domina a bacia hidrográfica da área em estudo, tendo seu leito uma extensão em torno de 55Km desde a nascente, em terrenos cristalinos até o litoral onde deságua entalhando as dunas de areia. A drenagem se desenvolve através do padrão dendrítico, recebendo seus tributários em ângulos agudos, podendo algumas vezes esta confluência ocorrer em ângulo reto, devida à conformação estrutural.

O relevo é caracterizado basicamente por quatro domínios geomorfológicos (Moreira & Gatto, 1981 e Souza, 1988/1989): Planície Litorânea, Glacis Pré-Litorâneos, Depressão Sertaneja e Maciços Residuais. A Planície Litorânea compreende os campos de dunas, as praias e as planícies flúvio-marinhas. As dunas formam cordões quase contínuos que acompanham paralelamente a linha de costa, interrompidas algumas vezes por planícies fluviais e flúvi-marinhas. As planícies flúvio-marinhas são ambientes criados pela deposição de sedimentos predominantemente argilosos e ricos em matéria orgânica, onde se desenvolve a vegetação de mangue; são formados em áreas onde se processa a mistura de água doce dos rios e lagoas com água salgada que penetra no continente através das marés, formando uma mistura que proporciona a deposição de material escuro e lamacento, que aumenta a cada período de maré cheia, até gerar o ambiente favorável à instalação dos manguesais. Os Glacis Pré-Litorâneos são formados por sedimentos pertencentes à Formação Barreiras e distribuem-se como uma faixa de largura variável que acompanha a linha de costa por trás dos depósitos eólicos antigos e atuais, formando relevos tabulares dissecados por vales alongados e de fundo chato, com cotas altimétricas baixas e suave inclinação em direção ao mar. A Depressão Sertaneja ocupa a área de maior expressão na região. Forma uma superfície de aplainamento, desenvolvida sobre as rochas cristalinas, onde o trabalho erosivo truncou indistintamente variados tipos litológicos, constituindo um extenso pediplano onde predomina uma topografia plana ou levemente ondulada que se inicia na base dos maciços residuais e se inclina suavemente em direção ao fundo de vales e ao litoral. Os Maciços Residuais quebram a monotonia da depressão sertaneja através da forte ruptura de declive das serras e morros residuais; esses relevos são constituídos, predominantemente, por rochas granítico-migmatíticas e foram formados a partir da erosão diferencial que rebaixou as áreas circundantes, de constituição litológica (gnáissica) menos resistente; destacam-se na área as serras de Maranguape e Aratanha.

Nossa fonte de pesquisa para este trabalho enquadrando estratigraficamente as unidades litológicas que constituem o complexo cristalino na Era Proterozóica, divididas da seguinte forma:



**Complexo Granitóide-Migmatítico:** essa designação foi utilizada para o conjunto ortoderivado que inclui os granitóides diversos, migmatitos (diatexitos dominantes) e ganisses migmatíticos que ocorrem a sudoeste de Fortaleza, formando setores morfologicamente mais elevados, que apresentam uma constituição predominantemente granitóide e podem ser entendidas como relevos residuais, formados a partir da erosão diferencial que rebaixou as áreas gnáissicas circundantes, destacando-se as serras de Maranguape e Aratanha.

**Complexo Gnáissico-Migmatítico:** ocupa a maior extensão na área. Constitui uma associação litológica formada de gnaisses migmatizados, freqüentemente intercalados por níveis quartzíticos e carbonáticos (calcário cristalino). São biotita-gnaisses com ou sem moscovita, anfibólio, granada e silimanita, com ocorrências subordinadas de corpos anfibolíticos e calcossilicáticos em jazimentos lenticulares de pequenas dimensões. Os migmatitos normalmente apresentam estrutura bandada/dobrada, podendo ocorrer também tipos mais evoluídos mostrando tendência à homogeneização. A foliação predominante das rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico se dá segundo NE-SW.

**Ultrabásitos:** próximo à borda oeste da serra de Maranguape ocorre o corpo ultrabásico do serrote Manoel Gonçalves, de forma elipsoidal e alinhado grosseiramente segundo a direção N-S. Trata-se de um piroxênio de coloração preto-esverdeada, maciço e de granulação média, que está encaixado na sequência gnáissico-migmatítica, contendo afloramentos em forma de blocos de diâmetros variados, soltos na superfície.

**Rochas Filoneanas Ácidas:** compreendem as rochas tabulares de caráter ácido a hiperácido sob a forma de diques e veios, não mapeáveis na escala regional. Está representada por granitos, pegmatitos e veios quartzosos que cortam indistintamente as rochas mais antigas, com espessuras variáveis, discordantes ou não com a foliação regional.

Encimando o arcabouço estratigráfico da área foram individualizadas as Rochas Vulcânicas Alcalinas, enquadradas no Cenozóico, e as coberturas sedimentares cenozóicas, representadas pela Formação Barreiras, Coberturas Colúvio Eluviais, Paleodunas, Dunas Móveis e Depósitos Flúvio-Aluvionares e de Mangues:

**Vulcânicas Alcalinas:** As vulcânicas de natureza alcalina, em jazimentos em formas de “necks” e diques, constituem uma província petrográfica geneticamente relacionada com os vulcanitos do arquipélago de Fernando de Noronha, cujas idades são atribuídas ao



Terciário (em torno de 30 m.a.). Próximo à área da barragem a ocorrência se destaca através de uma elevação circular em forma de cone formando o morro denominado Pão de Açúcar.

**Formação Barreiras:** representa uma seqüência constituída de sedimentos com estratificação indistinta, areno-argilosos de coloração avermelhada, creme ou amarelada, muitas vezes com aspecto mosqueado, mal selecionados, de granulação variando de fina a média, mostrando horizontes conglomeráticos e níveis lateríticos, com matriz argilosa caulínica, com cimento argilo-ferruginoso. Ocorre nas áreas próximas ao litoral, formando uma faixa de largura variável acompanhando a linha de costa. Sua espessura também é bastante variável, condicionada pelo relacionamento com a superfície irregular do embasamento, sobre o qual repousa em discordância erosiva angular, aprofundando-se em direção à costa, onde encontra-se sotoposta aos sedimentos eólicos que constituem as paleo-dunas.

**Coberturas Colúvio-Eluviais:** são depósitos sedimentares resultantes do intemperismo “in situ” das rochas do embasamento cristalino, distribuindo-se de forma irregular através de manchas de solo com espessuras reduzidas, em geral inferiores a três metros.

**Paleodunas:** repousam discordantemente sobre os sedimentos da Formação Barreiras e são, em grande parte, cobertas pelas dunas móveis ou recentes. São constituídas de areias bem selecionadas, de granulação fina a média, por vezes siltosas, com tons amarelados, alaranjados e acinzentados, de composição quartzosa e/ou quartzo-feldspática. São dunas edafizadas, conseqüentemente com fixação de um revestimento vegetal de maior porte que nas dunas mais recentes.

**Dunas Recentes ou Móveis:** são constituídas de areias esbranquiçadas, bem selecionadas, de granulação fina a média, quartzosa, com grãos de quartzo foscas e arredondados. Em geral esses sedimentos ocorrem capeando a geração de dunas mais antigas, embora em algumas áreas estejam assentados diretamente sobre os sedimentos terciários da Formação Barreiras.

**Depósitos Flúvio-Aluvionares e de Mangues:** São representados, essencialmente, pelos depósitos de areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica, compreendendo os sedimentos fluviais, lacustres ou estuarinos recentes. Os depósitos formados pelos rios constituem faixas estreitas, com sedimentos de granulometria grossa ao longo dos canais ativos, enquanto nas planícies de inundação apresentam uma



constituição mais fina. Nas lagoas (costeiras e interiores), são depositados, principalmente, sedimentos pelíticos e grande quantidade de matéria orgânica. Nos ambientes estuarinos ou de planícies flúvio-marinhas formam-se depósitos síctico-argilosos, ricos em matéria orgânica, que sustentam uma vegetação de mangue. Não se restringem apenas às desembocaduras, desenvolvendo-se também nos baixos cursos dos rios até onde se faz sentir a influência marinha.

O arcabouço estrutural da região é caracterizado por um desenvolvimento tectônico polifásico, em que descontinuidades representadas por zonas de fraturas e falhas sucederam-se às estruturas resultantes da tectônica dúctil, muitas vezes tendendo a se posicionarem segundo as orientações das anisotropias pretéritas. Os principais traços estruturais da região estão dispostos, preferencialmente, segundo o “trend” NE-SW. O comportamento dúctil é mais acentuado nas litologias do Complexo Gnáissico-Migmatítico. No domínio das unidades basais, em que as estruturas foram desenvolvidas sob condições de alto grau metamórfico, os dobramentos são complexos, segundo várias fases de redobramentos, observando-se, comumente, dobras em estruturas sinformes e antiformes, abertas ou apertadas, de geometrias simétricas ou assimétricas, harmônicas, desarmônicas e dobras recumbentes. Na unidade do Complexo Granitóide-Migmatítico, a tectônica ruptural parece ser mais expressiva. Frequentemente, a nível de afloramento, observam-se pequenas falhas preenchidas ou não, deslocando diques ou veios graníticos e pegmatóides segundo rejeitos direcionais da ordem de 2 a 30cm. No Cenozóico tem-se uma nova fase de reativação tectono-magmática, vinculada a zonas de fraturas oceânicas de direção E-W, que se estendem desde o arquipélago de Fernando de Noronha, prolongando-se até o interior do continente. Na área este evento é materializado sob a forma de “necks” e diques de rochas alcalinas.

Atividades tectônicas recentes são amplamente reconhecidas no Nordeste oriental, onde registros históricos e instrumentos de abalos sísmicos têm sido compilados e revistos nas últimas décadas. Neste sentido, Carneiro *et al* (1989) caracterizaram uma região de cerca de 150 Km de raio, ao redor de Fortaleza, referida como zona sísmica de Fortaleza, onde ocorreram sismos de magnitude maior que 4,0 mb. O maior deles teve o epicentro identificado no município de Pacajus, atingindo magnitude máxima de 5,2 mb e intensidade máxima de VII na escala *Richter*, com um total de 15 eventos ou abalos. Neste trabalho os autores relacionam, preliminarmente, as estruturas geológicas continentais e oceânicas, as atividades ígneas dos últimos 30 m.a. (vulcanismo alcalino do Terciário) e as anomalias geométricas, com o quadro sísmico atual”.



Na Figura Nº 4.3.1 é mostrada a geologia regional da área compreendida entre as seguintes coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM): 9.570.000/9.600.000N e 510.000/530.000E, compilada do Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza, em escala 1:150.000, elaborado pela CPRM, em 1996.

#### b) Geologia Local

A área estudada fica no município de Caucaia, a aproximadamente 30 Km de Fortaleza, no Estado do Ceará.

A geologia local foi definida a partir de interpretação de fotografias aerofotogramétricas em escala 1:15.000, reforçada pela visita de campo em que foram feitos os caminhamentos ao longo dos eixos da barragem e sangradouro e reconhecimento da bacia hidráulica, com utilização de bússola e GPS de mão.

Predominam no local as rochas do embasamento cristalino, classificadas, regionalmente, nos Complexos Granitóide-Migmatítico e Gnáissico-Migmatítico, sendo que os limites entre os litotipos pertencentes a essas unidades são muito difíceis de serem definidos, provavelmente devido ao forte relacionamento tectônico existente entre as duas unidades. Há uma grande alternância entre as litogias gnaissificadas e/ou migmatizadas e aquelas mais granitizadas. As rochas gnáissicas migmatíticas, ocorrem, muitas vezes homogeneizadas e muitas vezes nebulíticas e/ou anatexíticas, exibindo uma granulometria equigranular, com estrutura granítica. Petrograficamente, a rocha de aspecto gnáissico apresenta-se mesocrática, com estrutura bandada e foliação bem definida, de granulação fina a média, contendo essencialmente quartzo, feldspato e muita biotita, bem como moscovita. As rochas graníticas na maioria das vezes são leucocráticas, de cor cinza-clara a rosada, ocorrendo também os tipos mesocráticos, contendo essencialmente quartzo, feldspato e biotita ou moscovita, com granulação fina a grossa, mostrando muitas vezes uma acentuada anisotropia, com a lineação estrutural dos minerais orientada predominantemente segundo NE-SW. Todas essas litologias são muitas vezes recortadas por veios quartzosos e pegmatíticos, preenchendo fraturas multidirecionais, com espessuras variáveis. Nos domínios das rochas gnáissicas o terreno apresenta uma topografia mais aplainada, com escassez de afloramentos, com extensas áreas recobertas por solo de composição arenosa, cor cinza-clara, de granulometria fina a média pedregulhosa. Nos locais onde predominam as ocorrências graníticas, os afloramentos ocorrem com maior freqüência, o terreno apresenta-se mais





ondulado, muitas vezes exibindo elevações que formam cristas alinhadas conforme o “trend” regional, ou seja, NE-SW, sendo a superfície recoberta por afloramentos em forma de blocos soltos e dispersos, recortados por fraturas na maioria das vezes preenchidas pelas rochas ácidas já citadas.

Os depósitos aluvionares são encontrados ao longo dos principais rios e riachos formando faixas que margeiam os leitos, constituídas por sedimentos silto-areno-argilosos, algumas vezes contendo matéria orgânica, de granulometria fina e cor cinza com tons variando de claro a escuro. Nas calhas desses cursos se depositam areias de granulometria média a grossa com cascalho, de coloração cinza-clara.

A drenagem local ocorre conforme o modelo regional, ou seja, mantém o padrão dendrítico, que é condicionado à litologia das rochas cristalinas. Os cursos d’água mostram-se muitas vezes retilinizados, indicando o controle exercido por fraturas e falhas.

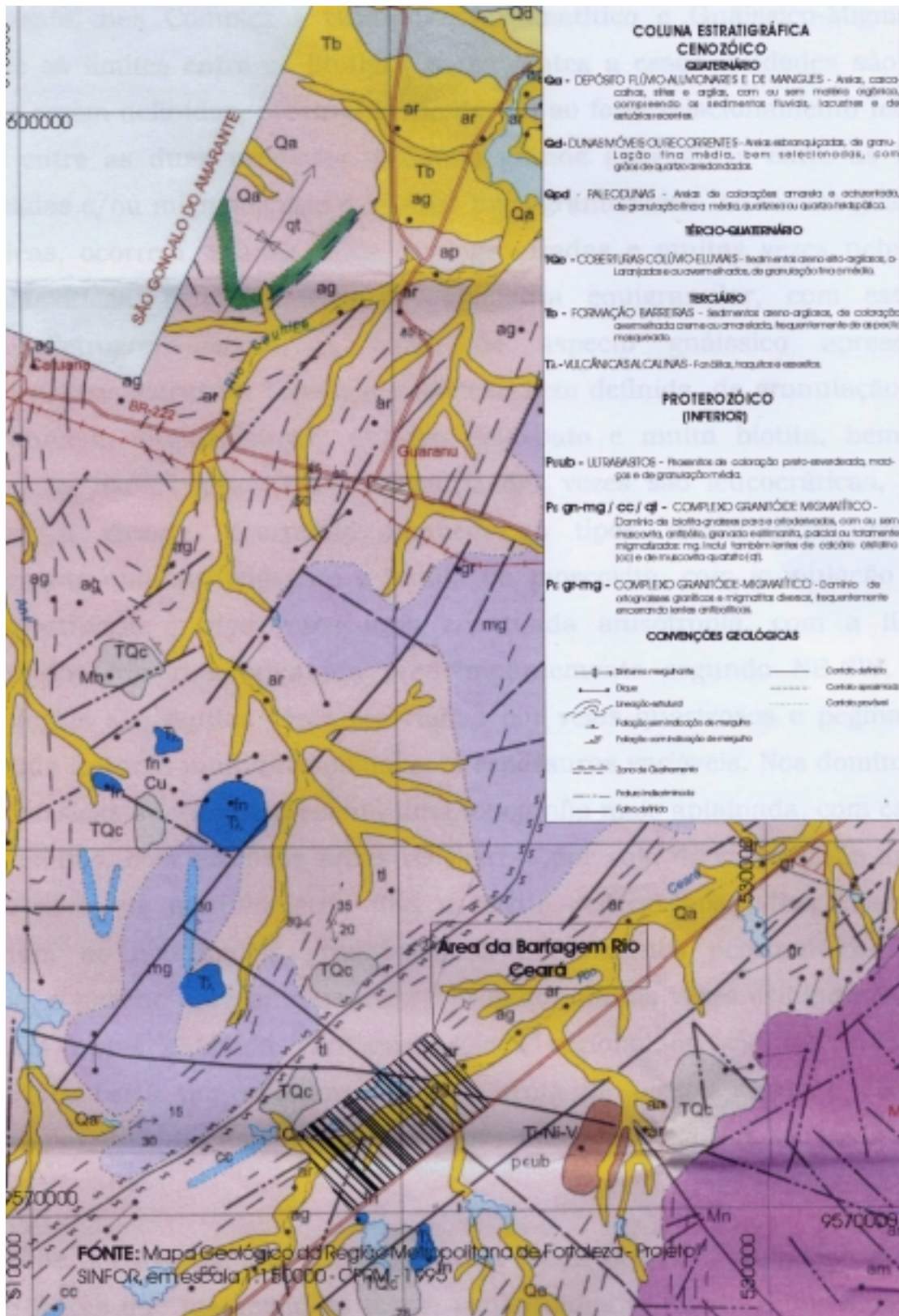


Figura 4.3.1



Em termos estruturais, os tipos litológicos visualizados em afloramentos demonstram a atuação de processos metamórficos e deformacionais ligados a movimentos de deformação dúctil ou plástica, evidenciados nas estruturas planares e dobradas dos gnaisses migmatíticos; nas ocorrências graníticas, a exemplo do que foi dito na geologia regional, há evidências de fases distintas de reativação, demonstradas pela presença de rejeitos provocados por pequenas falhas sobre veios pegmatóides, visualizados em afloramentos. Em maior escala, ocorrem dois grandes falhamentos atravessando a área de inundação da barragem, indicados no mapa geológico da bacia hidráulica. Esse falhamentos estão direcionados discordantes com a foliação e se interceptam no local onde fica situado o açude Muquém.

A foliação dominante na área está orientada concordante com o “trend” regional, ou seja, segundo NE-SW. As condições e a escassez dos afloramento na área dificultaram sobremaneira as investigações quanto à intensidade e direção dos mergulhos da foliação, contudo as poucas medidas conseguidas demonstra mergulho preferencial para SE. O evento estrutural de maior importância, considerado em termos regionais, que é a falha de Jaguaribe, passa a aproximadamente 5Km à NW do eixo da barragem.

#### c) Levantamento Geológico de Superfície

O levantamento geológico de superfície realizado ao longo do eixo topográfico locado e na área de ocupação da bacia hidráulica, teve como principal objetivo a identificação e classificação dos tipos litológicos ocorrentes, visando a definição dos traçados dos contatos litológicos e não necessariamente geológicos, já que via de regra, no âmbito regional, todas essas litologias pertencem a uma associação metamórfica que compõe o complexo cristalino.

Ao longo do eixo locado, abrangendo uma faixa de 150m para montante e 150m para jusante foram estudadas as ocorrências e mapeados os principais afloramentos contendo rocha em superfície. Na bacia hidráulica os percursos foram feitos de carro de passeio pelos acessos disponíveis na área, com utilização de GPS de mão para anotação dos pontos visitados.

O eixo topográfico locado para a barragem tem orientação geral segundo NW-SE, está estaqueado em campo a cada 20m. No local do sangradouro o eixo sofre uma deflexão, ficando orientado segundo N-S. Ao longo desse traçado foram identificadas as seguintes litologias:



Da estaca **0 a 7**: o terreno apresenta topografia em aclive suave, representando a ombreira esquerda da barragem. Toda essa área foi considerada como de ocupação granítica. Ao longo da seção transversal da estaca 0, de montante a jusante, correm vários afloramentos de granito, em forma de blocos e matacões. Ainda entre as estacas 2 e 3, no eixo da barragem, há afloramentos formados por rocha granítica. A rocha é leucocrática, de cor cinza-clara a rosada, contendo essencialmente quartzo, feldspato e biotita, mostrando anisotropia nos minerais que evidencia uma lineação estrutural segundo N60°Az, e um aspecto são, a nível de superfície, com muitos fraturamentos e alguns planos de cisalhamento indicando movimento destrógiro.

Da estaca **7 a 32**: em toda essa faixa, com largura de aproximadamente 500 metros, ao longo do eixo, o terreno é constituído pelas aluviões do rio Ceará, com uma topografia suave e plana, e o solo é composto em sua superfície por uma argila siltosa com material orgânico, apresentando trincas de contração, de cor escura. A calha do rio se comporta de forma sinuosa, contendo superficialmente, no leito, areia de granulometria fina a média pouco siltosa, de cor cinza clara.

Da estaca **32 a 43**: nesta extensão ocorre um morrote de vertentes suaves, com ausência quase que total de afloramentos, a exceção de algumas ocorrências no seu ponto culminante, ou seja, na estaca 40. O solo de superfície apresenta composição arenosa e pedregulhosa, podendo ser resultado da alteração ou do transporte por gravidade das rochas cristalinas, formando depósitos elúvio-colúviais.

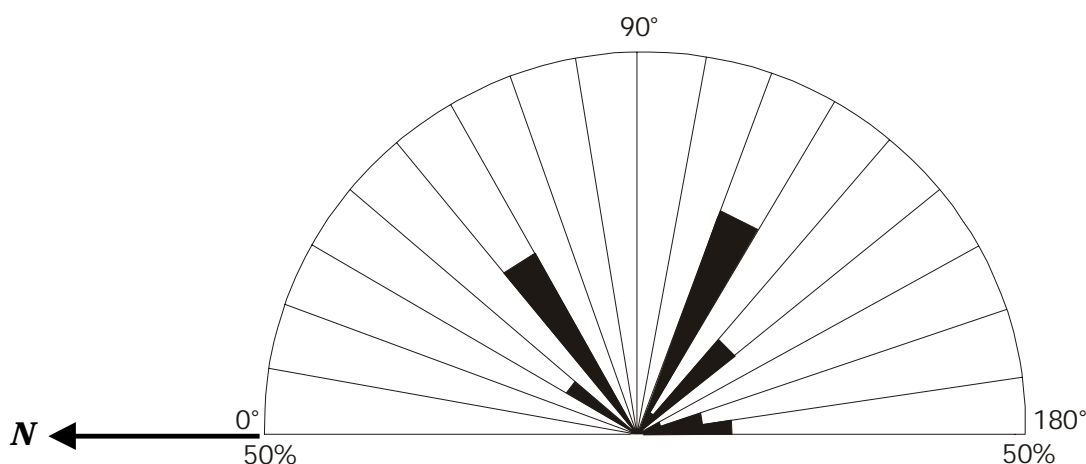
Da estaca **43 a 65**: nesta extensão ocorre um vale secundário com ausência de afloramentos no eixo e alguns na seção esquerda da estaca 45. O solo superficial apresenta composição silto arenosa, micácea, com fortes indícios de ter sido transportado por gravidade, formando um depósito colúvial. Nos limites das seções direitas, no intervalo das estacas 45-53, foram observados solos argilosos semelhantes aos descritos no trecho estaca 7 a 32.

Da estaca **65 a 80**: nesta extensão o eixo transcorre por terreno suavemente ondulado, que compõe a ombreira direita da barragem principal e a região do sangradouro, onde ocorrem alguns raros afloramentos de rocha granítica, meio granulada, macia, de cor cinza claro. Na superfície do terreno verifica-se a existência de um solo silto arenoso, pouco argiloso, micáceo, com fragmentos de rocha, resultante da alteração da rocha cristalina.



Devido à escassez de afloramentos ao longo da faixa de domínio da barragem e do sangradouro, não há indicação da foliação. Contudo, as medidas realizadas na área da bacia hidráulica indicam que a foliação é concordante com a estruturação regional, com direções entre N40°Az e N60°Az.

A partir de 103 direções de fraturas medidas nas rochas aflorantes na ombreira esquerda da barragem e na bacia hidráulica, foi elaborado o Diagrama de Roseta para definição da direção preferencial média percentual, que conforme mostra a Figura N° 4.3.2, se dá segundo N110°Az a N120°Az, representando um percentual de 29,12% do total medido e entre N50°Az a N60°Az, representando 20,38%. O mergulho se dá preferencialmente sub-vertical (60° a 80°), com variações para NE, SE e SW.



**Figura N° 4.3.2** - Diagrama de roseta para 103 medidas de direções de fraturas

#### 4.4. ESTUDOS GEOTÉCNICOS

##### 4.4.1 Sondagens realizadas nos maciços da barragem

As investigações geotécnicas realizadas nos locais dos maciços da barragem objetivaram a identificação e compreensão das características e peculiaridades do solo de fundação e do substrato rochoso deste sítio, visando a concepção de um maciço tecnicamente adequado e seguro além, de economicamente viável.

Para concretização deste objetivo foram realizadas 20 prospeções mecânicas, sendo 15 sondagens à percussão e 5 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa), nas posições indicadas nas figuras n° 4.4.1, 4.4.2 e 4.4.3.

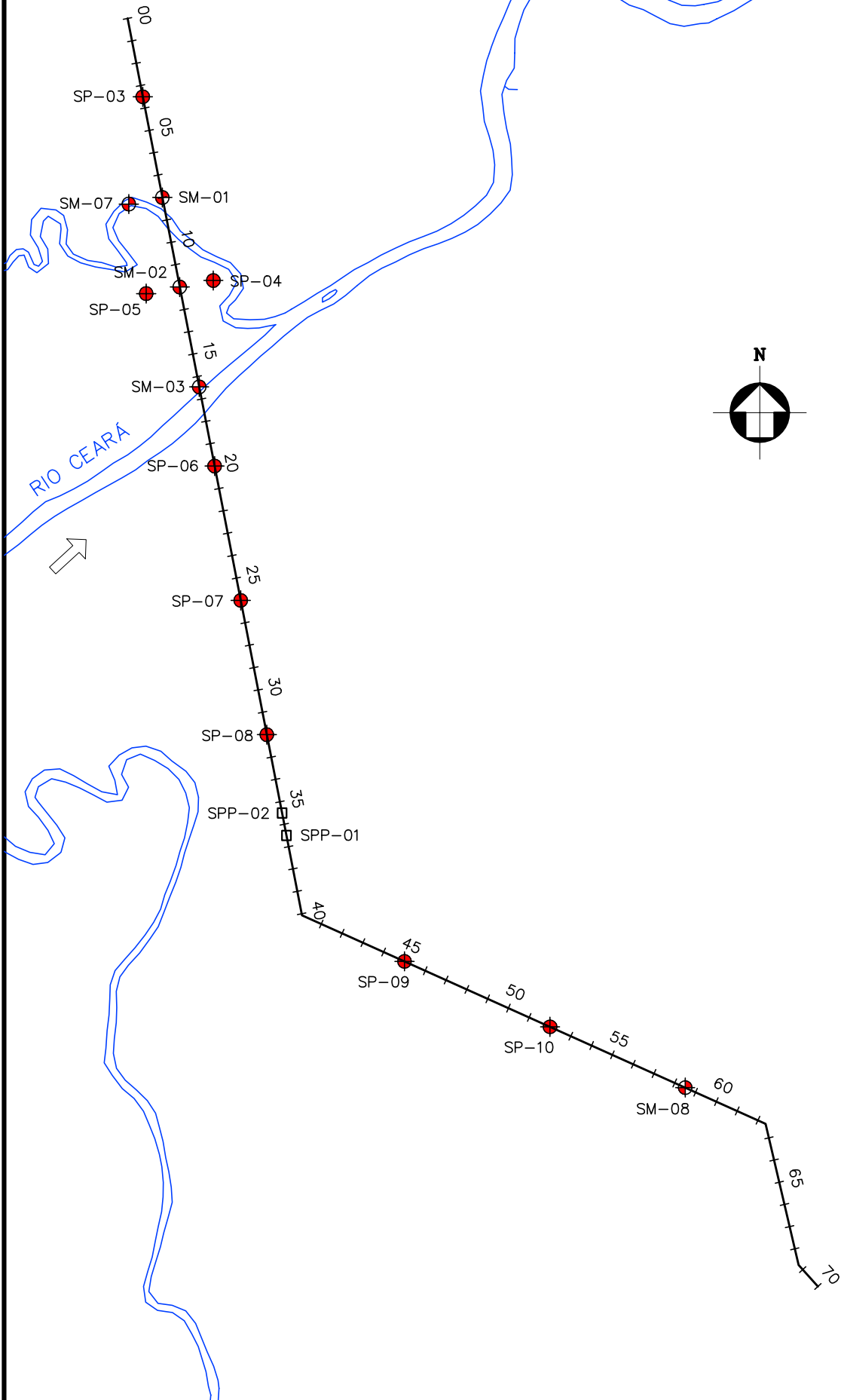


Com o intuito de avaliar a permeabilidade dos solos da fundação e obter informações qualitativas sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso, foram realizados ensaios de campo em todos os furos das sondagens mistas na região do maciço principal. No trecho perfurado com sonda rotativa, esses testes consistiram de ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon). Em algumas sondagens percussivas selecionadas foram, também, realizados ensaios de infiltração. Os resultados destas sondagens e ensaios de campo são apresentados nos Estudos Básicos sob forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo.

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.



# INVESTIGAÇÕES NO BARRAMENTO



MONTGOMERY WATSON



## BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:5.000

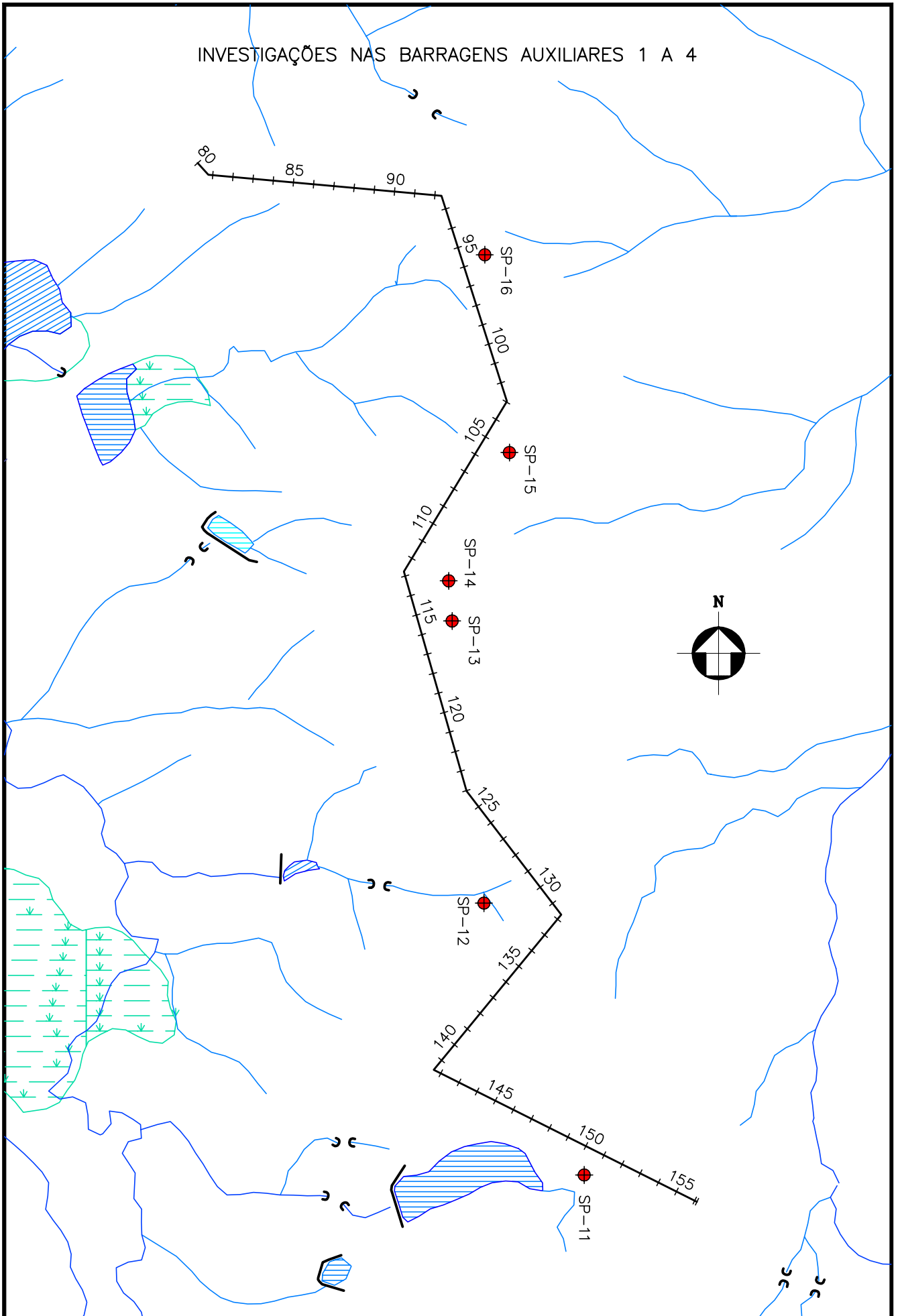
DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

4.4.1

INVESTIGAÇÕES NAS BARRAGENS AUXILIARES 1 A 4



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:5.000

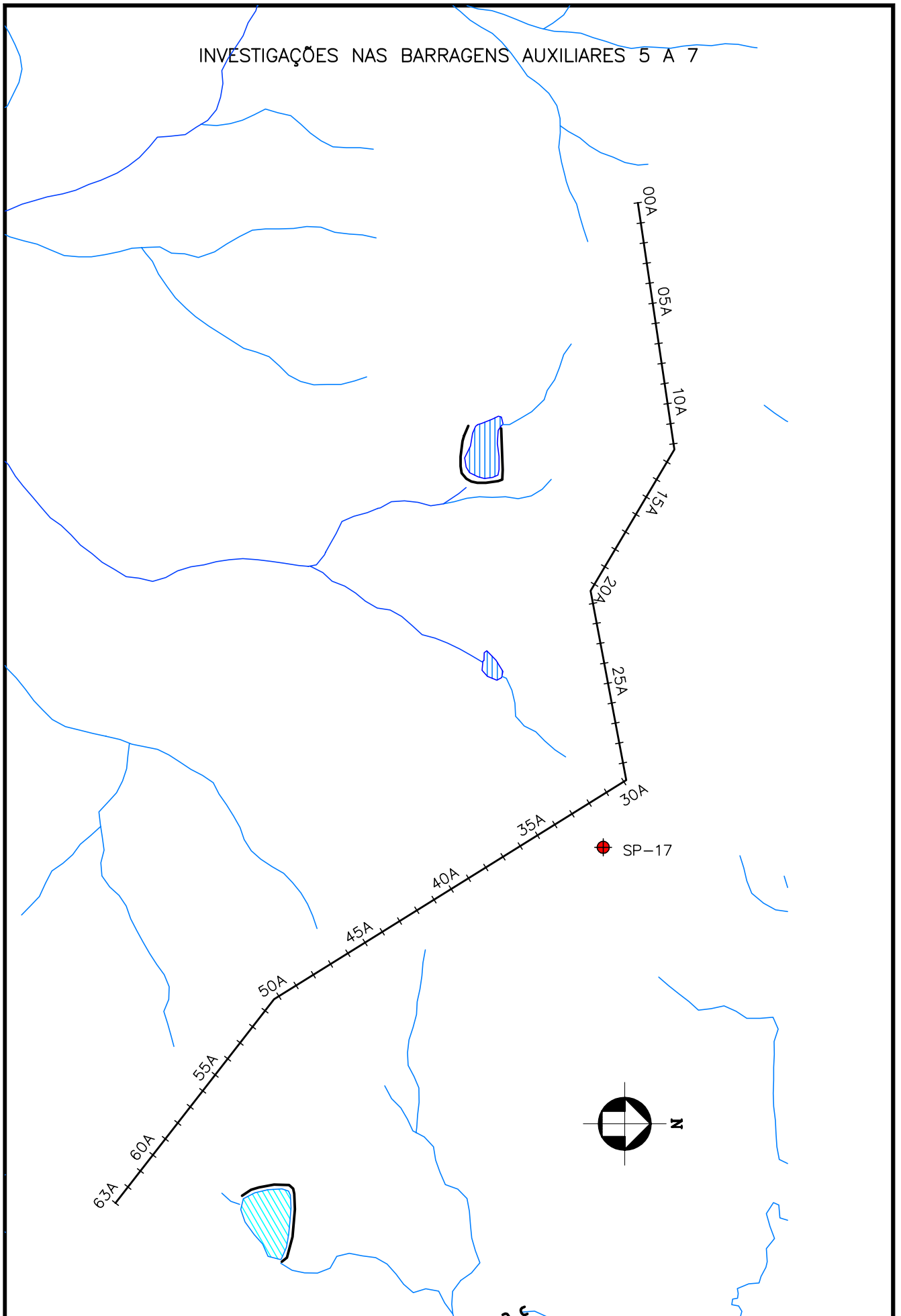
DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

4.4.2

INVESTIGAÇÕES NAS BARRAGENS AUXILIARES 5 A 7



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:5.000

DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

4.4.3



#### a) Sondagens a Percussão

Nas sondagens a percussão foram empregados dois processos para avanço do furo, iniciando-se com um trado concha de 4” e prosseguindo-se até alcançar o nível d’água ou tornar-se inoperante diante da consistência ou compacidade do material encontrado. A partir destas condições o furo foi revestido e passou-se então ao processo de perfuração com circulação de água, usando-se o trépano de lavagem como ferramenta de escavação e a remoção do material escavado através da água de lavagem. Ao ser encontrado material resistente ao avanço pelo processo de circulação de água o furo foi interrompido.

Para a extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2” e 1 3/8” de diâmetros externo e interno, respectivamente, o qual foi 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 fazer tal ferramenta penetrar 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, está apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens, nos Estudos Básicos. Esta soma de golpes é denominada de “Standard Penetration Test (SPT)”.

Na Tabela N° 4.4.1, a seguir, são relacionadas as sondagens percussivas, suas referências plani-altimétricas, as extensões investigadas, o menor valor de SPT registrado ao longo da sondagem e sua correspondente compacidade ou consistência.

**Tabela N ° 4.4.1: Sondagens Percussivas no Eixo da Barragem Ceará**

N°	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada	SPT Mínimo	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
SP-3	3+10	521.373	9.573.958	38,816	2,51	8	Média Consistência
SP-4	12 (30m para jusante)	521.445	9.573.804	32,734	4,60	7	Pouco Compacta
SP-5	12 (30m para montante)	521.382	9.573.806	32,109	1,93	6	Média Consistência
SP-6	20	521.454	9.573.624	32,020	7,10	4	Mole
SP-7	26	521.478	9.573.504	32,854	8,15	6	Média Consistência
SP-8	32	521.860	9.573.093	32,542	3,63	19	Muito Rija
SP-9	45	521.614	9.573.203	36,014	2,17	16	Muito Rija

**Tabela N° 4.4.1: Sondagens Percussivas no Eixo da Barragem Ceará**

N°	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada	SPT Mínimo	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
SP-10	52	521.741	9.573.146	34,702	3,76	5	Média Consistência
SP-11	150 +11(26 m para montante)	522.491	9.571.771	46,850	4,62	3	Fofa
SP-12	128 +18( 53m para montante)	522.392	9.572.039	43,012	3,90	3	Fofa
SP-13	115 + 15(32 m para jusante)	522.360	9.572.317	48,204	3,70	2	Fofa
SP-14	113+16 (40 m para jusante)	522.357	9.572.357	48,715	3,50	11	Medianamente Compacta
SP-15	105 + 1 (28 m para jusante)	522.417	9.572.484	48,804	1,21	3	Fofa
SP-16	95 + 15( 23 m para jusante)	522.393	9.572.679	46,048	2,95	32	Compacta
SP-17	32 +11 (44 m para jusante)	521.536	9.575.068	46,514	3,40	2	Fofa

As sondagens percussivas realizadas na região do maciço da barragem totalizaram 57,13m.

#### b) Sondagens Mistas

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas por meio de rotação. O processo de execução do trecho percussivo foi semelhante ao descrito no subitem a- Sondagem Percussiva. Os trechos de sondagem rotativa foram executados com coroa NX de diamante acoplada a um barrilete duplo. A sonda utilizada foi a MARCH-850. Para cada operação do barrilete foram registradas a percentagem de recuperação e o número de peças, dados que estão indicados nos perfis de sondagens.

Na Tabela N° 4.4.2, a seguir, são relacionadas as sondagens mistas, informadas suas referencias plani-altimétricas, as extensões investigadas por processo percussivo e rotativo, e a descrição da rocha predominante.



Tabela Nº 4.4.2 Sondagens Mistas no Eixo da Barragem Ceará

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		SPT Min.	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SM-1	08	521.397	9.573.874	32,498	1,45	11,65	16	Granito, dura a muito dura, amarelo, maciço
SM-2	12	521.416	9.573.796	32,734	9,04	10,06	5	Granito moderadamente dura a muito dura, cinza, maciço
SM-3	16 + 7	521.435	9.573.698	31,035	0,50	11,50		Granito, dura a muito dura, cinza, maciço
SM-7	08 (30m para Montante)	521.374	9.573.872	31,240	2,12	16,02		Granito, muito macia a moderadamente dura, cinza claro, granulação fina, maciço
SM-8	58 + 10	521.870	9.573.070	39,790	4,68	2,02	32	Granito, moderadamente dura a dura, meio granulada, cinza clara

Portanto, na região do maciço do barramento foram executadas 5 sondagens mistas, totalizando 69,04 m, dos quais 17,79 m com emprego de sonda percussiva e 51,25 m com sonda rotativa.

#### c) Ensaios de Campo

Nas sondagens percussivas SP-04, SP-05, e SP-07 foram executados ensaios de infiltração do tipo Lefranc, para a determinação do coeficiente de permeabilidade “*in situ*” do substrato terroso. Os ensaios de permeabilidade em solos foram executados conforme as orientações para a sua execução no campo preconizadas no Boletim Nº 04 (junho de 1996) pela ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. O número de ensaios e as permeabilidades máximas (cm/s) encontradas por furo são relacionadas na Tabela nº 4.4.3 porém, os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais e em fichas de cálculo nos Estudos Básicos.



Nas sondagens mistas, trecho em rocha, SM-1, SM-2, SM-3 e SM-7 foram executados ensaios de perda de água sob pressão (Ensaio Lugeon), para a 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 N° 02 da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. O número de ensaios e a perda específica máxima encontrada por furo são relacionadas na Tabela n° 4.4.3

**Tabela N° 4.4.3: Ensaios De Campo no Eixo da Barragem Ceará**

N°	Estaca	Extensão Sondada	N° de Ensaios Lefranc	N ° de Ensaios Lugeon	Máxima Permeab. Registrada (cm/s)	Máxima Perda d'água Específica Registrada	Profundidade de máxima Permeab. / Perda D'água
SP-04	12( 30 m para jusante)	4,60	3	-	8,0x10E-4	-	2,00-2,60
SP-05	12( 30 m para montante)	1,93	2	-	1,2x10E-5	-	2,00-2,50
SP-07	26 (eixo)	8,15	6	-	6,4x10E-4	-	2,00-3,00
SM-01	8 (Eixo)	11,65	-	1	-	0,42	5,10-8,10
SM-02	12 (eixo)	10,06	-	3	-	0,28	17,10-19,10
SM-03	16+10 (eixo)	11,50	-	3	-	1,95	7,40-10,40
SM-7	8 ( 30m para Jusante)	11,50	-	2	-	0,29	2,70-5,70

*Perda D'água em l/min/m/atm*

#### d) Comentários

Desta campanha de sondagem realizada no boqueirão da barragem, pode-se observar, entre outras coisas, que:

- Na ombreira esquerda, percebe-se alguns afloramentos de rocha granítica, que associados com o resultado da sondagem percussiva SP-03, revelam a pouca espessura do solo de recobrimento do substrato rochoso. O manto de solo residual neste local é constituído por um solo argiloso siltoso, micáceo, com fragmentos de rocha, de cor avermelhada, com espessura de cerca de 2,45 m. O





ensaio SPT mostrou valores elevados representando uma consistência de média a dura.

- Na faixa de aluvião, compreendida aproximadamente entre as estacas 8 e 32, a espessura do solo varia de 10,20 m ( na estaca 12 ) até 0,50 m na calha do rio( estaca16+10 ).
- Entre as estacas 8 e 31 ocorre na superfície um depósito de solo argilo siltoso, com matéria orgânica, de cor cinza escuro, com inúmeras trincas de contração por ressecamento, até uma espessura de cerca de 2,00m.
- Entre a ombreira esquerda e a calha do rio (estaca 16+10) o pacote aluvionar imediatamente subjacente a camada de argila orgânica, é constituído por solos argilo siltosos ou silto argilosos, pouco arenosos, que alcançam a profundidade de cerca de 3,0m. A seguir o estrato passa a se tornar mais arenoso, micáceo, com presença de fragmentos de rocha, tomando feições de um solo residual, até uma profundidade de 6,50 m. Entre a profundidade de 6,50m 10,00m o solo da fundação passa a ser constituído por uma areia fina e média siltosa, onde os fragmentos de rocha são mais freqüentes, de consistência muito compacta.
- Na região entre a calha do rio (estaca 16 + 10) e o início da ombreira direita (aprox. estaca 32) o pacote aluvionar subsequente ao superficial (argila com material orgânico) constitui-se, predominantemente, de solos areno-siltosos, que atingem a profundidade de cerca de 8,0 m. O referido pacote apresenta-se muito compacto na região mais próxima da ombreira direita e com menor compacidade junto a calha do rio. Na sondagem SP-06 (estaca 20) obteve-se na profundidade de 3,45 m um SPT de 3, limitado por valores de 10 e 5 nas profundidades de 2,45 e 4,45, respectivamente.
- Na elevação à direita do trecho aluvionar do rio Ceará, foi verificada as condições de fundação através de poços escavados manualmente. Essas prospeções indicaram nas estacas 35+10 e 36+10, um recobrimento do substrato rochoso constituído de um solo silto arenoso, de cor cinza, com profundidade de 4,0 e 2,10m, respectivamente. Observou-se que esse solo diminui de espessura a medida que sobe-se a encosta, inclusive, com desapareção na região da cume da elevação.



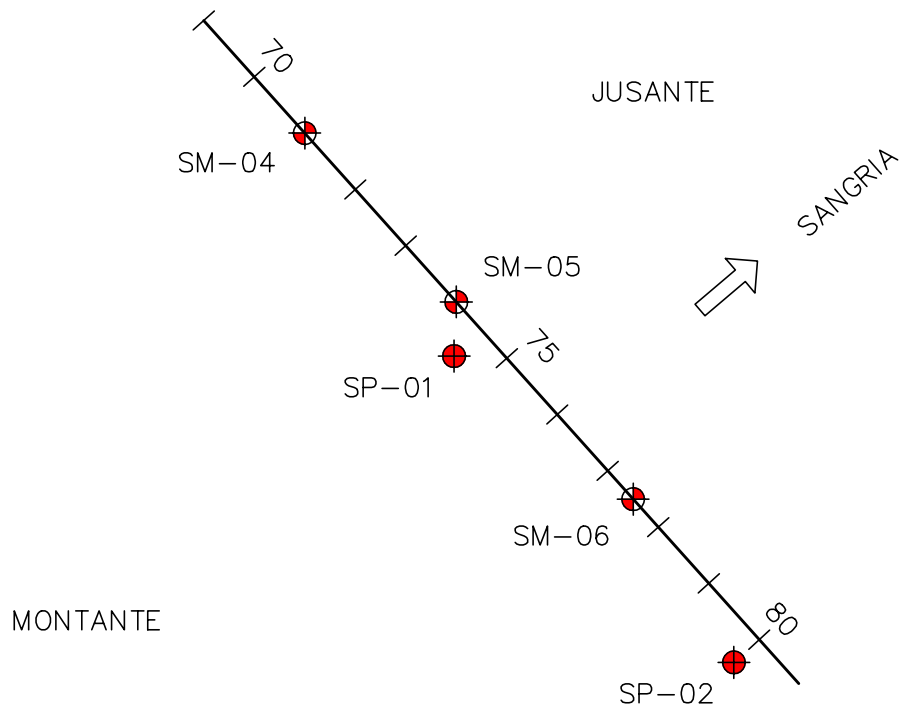
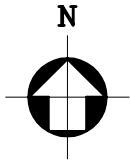
- O substrato rochoso é constituído por rochas graníticas, macia na sua parte mais superficial e dura a muito dura em profundidade. Essa porção macia apresenta-se de medianamente a altamente intemperizada, com um número de fraturas superior a 20/m e recuperação inferior a 60%, alcançando uma espessura máxima de 5,70m na sondagem SM-03.
- A região de maior dureza do substrato rochoso apresenta-se ligeiramente a medianamente intemperizada, com recuperação elevada (praticamente 100%) e pequeno fraturamento sub-vertical.
- Via de regra os ensaios de perda d'água foram realizados de forma descendente, com espaçamento de 3,0m na rocha, com inserção de um único obturador. Os resultados dos ensaios mostraram na grande maioria valores de perda d'água entre 0,15 e 0,40 l/min/m/atm. O comportamento do fluxo de percolação da água nas fraturas foi predominantemente “de deformação sem alteração” tendo ocorrido alguns casos de “deformação com fechamento”. No entanto, na sondagem SM-07 (estaca 8), realizada a 30m a montante do eixo, a perda d'água foi total em vários trechos onde se tentou realizar o ensaio.
- O ensaios de permeabilidade “in situ” com carga constante (Le Franc), realizados a cada 1,0m de profundidade nas sondagens percussivas, registraram valores de permeabilidade para o solo, em média entre  $8 \times 10^{-4}$  e  $10^{-5}$  cm /seg.

#### 4.4.2. Sondagens Realizadas no Sangradouro

Os estudos geotécnicos no local do sangradouro foram realizados com a finalidade de fazer a identificação e caracterização do subsolo, inclusive, avaliando a capacidade do material rochoso de resistir aos processos erosivos provocados pelas descargas previstas.

Para este fim foram realizados 3 furos de sondagens mistas (iniciado por percussiva e prosseguido com sonda rotativa) e 2 furos de sondagens percussivas, nas posições indicadas na figura nº 4.4.4, apresentada a seguir. Os resultados destas sondagens e ensaios de campo são apresentados, também, nos Estudos Básicos, sob forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo.

# INVESTIGAÇÃO NO SANGRADOURO



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:2.000

DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

4.4.4



Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

Na Tabela N° 4.4.4, a seguir, é mostrada a relação das sondagens mistas realizadas no local do sangradouro.

**Tabela N° 4.4.4: Sondagens Mistas no Sangradouro da Barragem Ceará**

N°	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	Grau de intemperismo
		Este (X)	Norte (Y)		Percus	Rotat.		
SM-4	71	521.990	9.572.903	44,847	2,00	6,22	Granito mod. duro a muito duro, cinza claro	Ligeiramente Intemper.
SM-5	74	522.030	9.572.858	45,536	2,81	6,04	Granito mod. duro a muito duro, cinza claro	Ligeiramente Intemper.
SM-6	77+10	522.077	9.572.806	44,775	3,47	6,11	Granito mod. duro a muito duro, cinza claro	Ligeiram. Intemper.

As sondagens mistas realizadas na área do sangradouro totalizaram 8,28m de perfurações percussivas e 18,37m de rotativas.

Na tabela 4.4.5 é apresentada a campanha de sondagens percussivas realizada na região do sangradouro compreendida entre estacas 74 e 80.

**Tabela N° 4.4.5: Sondagens Percussivas no Sangradouro da Barragem Ceará**

N°	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota da boca (m)	Extensão do furo (m)	Cota do impenetrável (m)
		Este (X)	Norte (Y)			
SP-01	74+10(10m para Montante)	522.033	9.572.826	45,612	0,88	44,732
SP-02	80 (9 m para montante)	522.113	9.572.754	44,270	1,85	42,420



A extensão total de sondagens percussivas foi de 2,73m.

#### a) Comentários

Desta campanha de sondagem realizada no sangradouro da barragem, pode-se observar, entre outras coisas, que:

- Da análise geral das três sondagens rotativas executadas na área do sangradouro percebe-se que a rocha perfurada constitui-se de granito, apresentando no topo uma zona mais intemperizada, com 0,30 a 2,00m de espessura, onde a rocha é mais fraturada, com RQD ( Rock Quality Designation) muito baixo ( predominantemente zero ). Subjacente a esta zona a rocha apresenta melhores características, com uma dureza de moderadamente dura a muito dura, ligeiramente intemperizada a sã , com valores de RQD mais elevados, entre 70% e 100%.
- O topo do substrato rochoso no eixo locado do sangradouro situa-se entre 1,65 e 3,47 m abaixo da superfície do terreno natural, ou seja, entre as cotas 44,00 e 41,30.
- Nas sondagens rotativas verificou-se que na estaca 71 ocorre a profundidade máxima da rocha granítica macia (intemperizada), correspondendo a proximidade da cota 40,0m.
- O solo predominante na área do sangradouro constitui-se de um silte arenoso, pouco argiloso, micáceo, com fragmentos de rocha, com espessura observada nas sondagens de 1,70m.

### 4.5. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

#### 4.5.1. Introdução

A realização dos estudos hidrológicos da Barragem Ceará, teve como finalidade, a obtenção dos elementos hidrológicos para o dimensionamento do reservatório e das estruturas hidráulicas de descarga da obra.

No desenvolvimento do trabalho foram realizados os seguintes estudos:

- Ficha Hidrológica e Curvas Cota x Área x Volume;



- Caracterização da Bacia Hidrográfica;
- Caracterização Climática;
- Estudo de Chuvas Intensas;
- Estudos de Deflúvios;
- Estudo de Cheias de Projeto;
- Dimensionamento do Reservatório;
- Estudos Adicionais.

#### 4.5.2. Ficha Hidrológica e Curvas Cota x Área x Volume

A seguir é apresentado a Ficha Hidrológica da Barragem Ceara trazendo as principais informações coletadas e as calculadas.

Já na Tabela 4.5.1. é apresentada a curva Cota x Área x Volume e na Figura 4.5.1, são apresentadas as curvas Cota x Área x Volume.

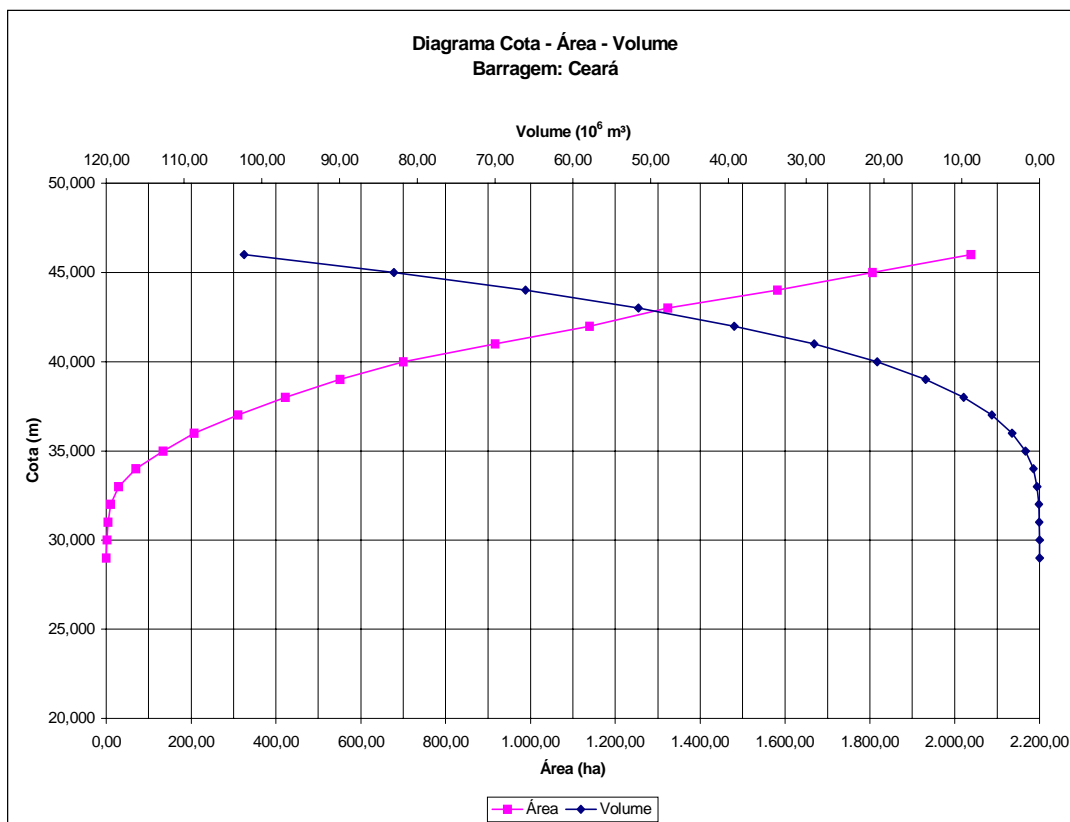
**FICHA HIDROLÓGICA****Açude Ceará**

Município .....	Caucaia
Rio ou Riacho Barrado .....	Ceará
Área da Bacia Hidrográfica .....	232 km <sup>2</sup>
Comprimento do Talvegue Principal .....	26,5 km
Desnível do Talvegue Principal .....	143 m
Precipitação Média Anual .....	1.392,4 mm
Escoamento Médio Anual .....	320,2 mm
Evaporação Média Anual(Tanque Classe A) .....	1.469,2 mm
Vertedouro Tipo.....	Perfil Creager
Cota do Vertedouro .....	43,00 m
Largura do vertedouro.....	120 m
Comprimento/Declividade Longitudinais do Vertedouro.....	300 m/0,0 %
Volume Máximo de Acumulação (Cota 43,00) .....	51,58 hm <sup>3</sup>
Vazão Máxima de Cheia - TR = 1.000 anos.....	870 m <sup>3</sup> /s
Cota Máxima de Cheia - TR = 1.000 anos.....	44,00 m
Vazão Máxima de Cheia - TR = 10.000 anos.....	1.177 m <sup>3</sup> /s
Cota Máxima de Cheia - TR = 10.000 anos.....	45,04 m
Vazão Regularizada com 90% de Garantia.....	1,08 m <sup>3</sup> /s
Vazão Regularizada com 95% de Garantia.....	0,93 m <sup>3</sup> /s
Vazão Regularizada com 99% de Garantia.....	0,77 m <sup>3</sup> /s





COTA - ÁREA - VOLUME			
Cota(m)	Área (ha)	Volume (hm <sup>3</sup> )	Volume Acum.(hm <sup>3</sup> )
29,0	0,00	0,00	0,00
30,0	1,368	0,007	0,007
31,0	4,497	0,029	0,036
32,0	10,324	0,074	0,110
33,0	29,329	0,198	0,308
34,0	69,814	0,496	0,804
35,0	134,176	1,019	1,824
36,0	207,584	1,708	3,533
37,0	310,002	2,587	6,120
38,0	424,03	3,662	9,782
39,0	550,993	4,866	14,649
40,0	699,787	6,253	20,903
41,0	916,973	8,083	28,987
42,0	1139,288	10,281	39,268
43,0	1581,414	12,313	51,582





#### 4.5.3. Caracterização da Bacia Hidrográfica

Neste item são abordados os principais aspectos fisiográficos e hidroclimatológicos da bacia hidrográfica do açude Ceará, que barra o rio de mesmo nome nas coordenadas UTM N 9.573.719 e E 521.435. A barragem situa-se próxima à localidade Muquém, no município de Caucaia, pertencendo à microrregião geográfica de Fortaleza.

##### a) Sistema de Drenagem e Açudes Existentes

A bacia hidrográfica do açude Ceará tem como principal contribuinte riacho homônimo, abrangendo uma área de contribuição de 232 Km<sup>2</sup>. O rio Ceará se estende na direção sul-nordeste, perfazendo, aproximadamente, 26,67 Km do ponto mais a montante do sistema de drenagem até o eixo da barragem.

Para a identificação dos açudes existentes a montante da barragem Ceará foram utilizadas 2 (duas) fontes de dados, quais sejam: a Carta da SUDENE de Fortaleza, escala 1:100.000, e as imagens de satélite TM/Landsat, para o ano de 1996, adquiridas quando da elaboração do Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia Metropolitana, COGERH (2000)<sup>1</sup>. Em ambas as fontes de dados foram identificados 12 (doze) açudes a montante da barragem proposta, são eles: Água Boa, Bom Princípio, da Pedra, do Sítio, do Toque, dos Macacos, Geramataia, Ipueira, Leocádio, Massapê, Muquém e Pão de Açúcar. Existem pelo menos mais outros 6 (seis) pequenos açudes a montante da barragem Ceará, mas de porte insignificante perante os 12 açudes mencionados anteriormente. De acordo com as imagens de satélite, as quais representam o cenário do uso do solo em setembro de 1996, portanto na estação seca, a área total dos 12 espelhos d'água localizados a montante do açude Ceará perfaziam uma área de 443,5 ha, sendo que a menor área pertence ao açude Leocádio, com 12 ha de espelho, enquanto que o açude de maior área de espelho d'água é o açude do Toque, com 72 ha.

A Figura 4.5.2 apresenta o sistema de drenagem da bacia contribuinte ao açude Ceará e região adjacente.

---

<sup>1</sup> COGERH, 2000. *Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia Metropolitana*.



## b) Solos e Cobertura Vegetal

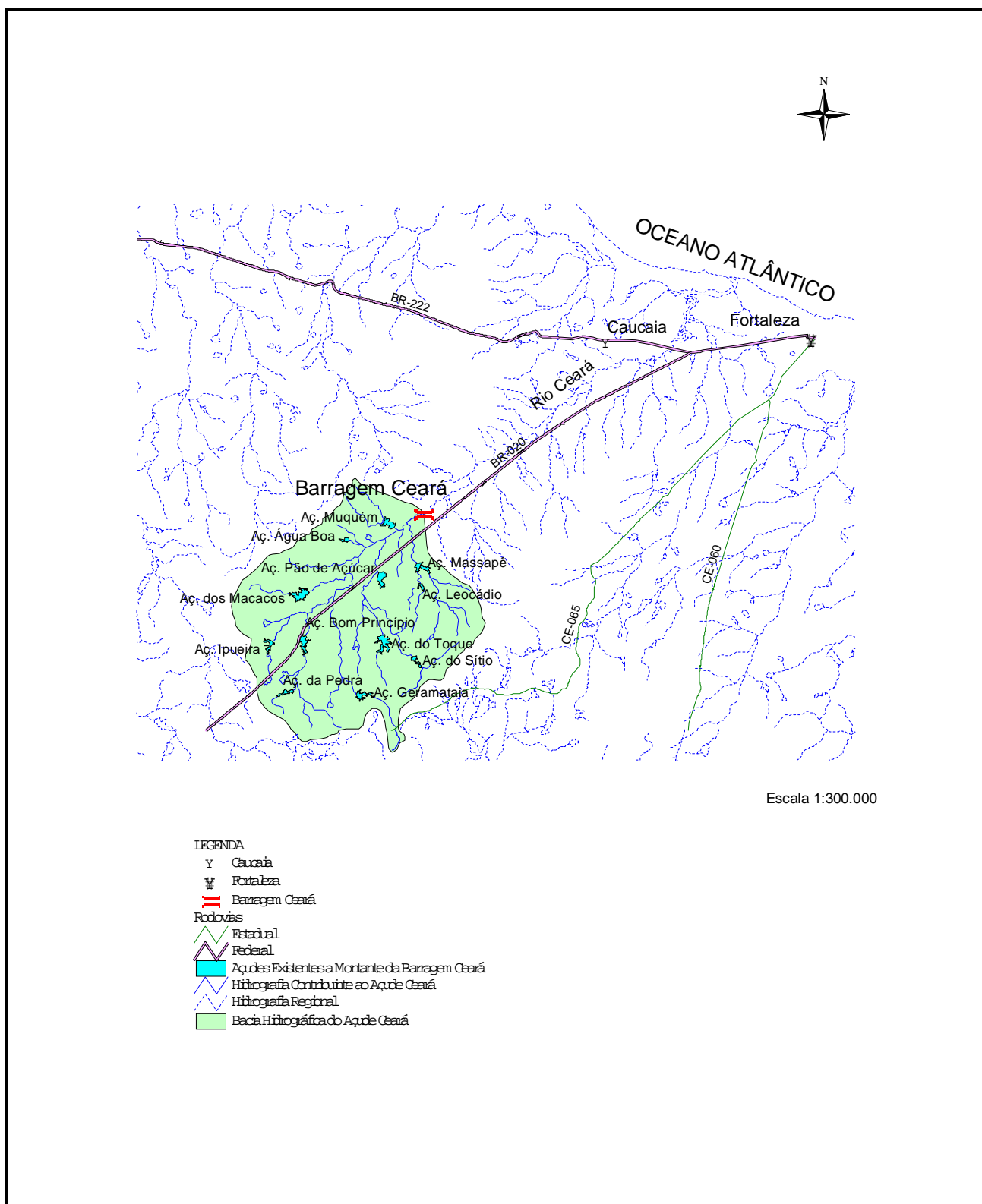
As informações sobre os tipos de solos predominantes na região da barragem Ceará foram extraídas do Mapa de Solos do Estado do Ceará, da Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária, na escala 1:800.000.

Os solos presentes na bacia de drenagem do açude Ceará são predominantemente associações de Planossolo Solódico + Solonetz Solodizado (PLS9) e de Bruno Não Cálcico + Planossolo Solódico (NC33), e solos do tipo Vertissolos (V7), abrangendo em conjunto cerca de 65% da área da bacia hidrográfica. São solos que se caracterizam pelo alto potencial de escoamento superficial, com baixa taxa de infiltração e transmissão da água. Com menor representatividade tem-se os Planossolos Solódico (PLS5) e associações de solos Aluviais Eutróficos + Solonetz Solodizado (Ae16), abrangendo em conjunto cerca de 2% da bacia hidrográfica do açude Ceará. A Tabela 4.5.2, a seguir, apresenta a distribuição dos solos presentes na bacia hidrográfica do açude Ceará.

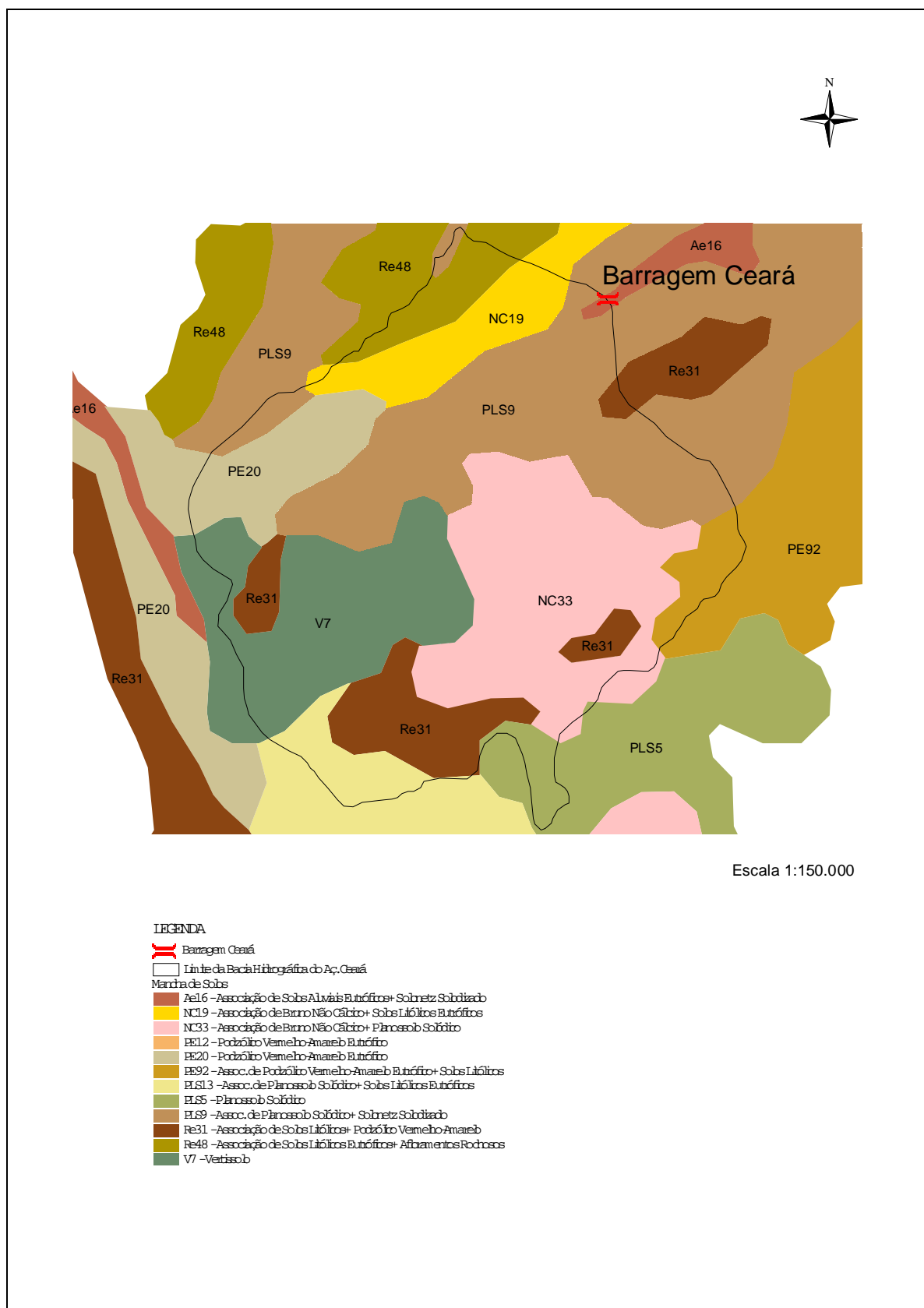
Ressalta-se que a bacia hidráulica do açude Ceará inundará região cujos solos dominantes são associações de Solos Aluviais Eutróficos + Solonetz Solodizado (Ae16) e de Planossolo Solódico + Solonetz Solodizado (PLS9), como pode ser visto na Figura 4.5.3, a qual apresenta mapa com a distribuição das manchas de solos presentes na bacia hidrográfica do açude Ceará.

**Tabela 4.5.2:** Manchas de solos existentes na bacia hidrográfica do açude Ceará.

<b>Mancha de Solos</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Distribuição (%)</b>
PLS9 - Assoc. de Planossolo Solódico + Solonetz Solodizado	5.698	24,6
NC33 - Assoc. de Bruno Não Cálcico + Planossolo Solódico	5.328	23,0
V7 - Vertissolo	3.905	16,9
Re31 - Assoc. de Solos Litólicos + Podzólico Vermelho-Amarelo	2.295	9,9
PE20 - Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico	1.703	7,4
NC19 - Assoc. de Bruno Não Cálcico + Solos Litólicos Eutróficos	1.535	6,6
PLS13 - Assoc. de Planossolo Solódico + Solos Litólicos Eutróficos	828	3,6
Re48 - Associação de Solos Litólicos Eutróficos + Afloramentos Rochosos	771	3,3
PE92 - Assoc. de Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico + Solos Litólicos	623	2,7
PLS5 - Planossolo Solódico	403	1,7
Ae16 - Assoc. de Solos Aluviais Eutróficos + Solonetz Solodizado	50	0,2



**Figura 4.5.2** – Sistema de drenagem e açudes existentes na bacia hidrográfica do Açude Ceará.



**Figura 4.5.3** - Manchas de Solos na bacia hidrográfica do açude Ceará.



A caracterização da cobertura vegetal e uso do solo para a bacia hidrográfica do açude Ceará foi obtida a partir das imagens de satélite TM/Landsat, para o ano de 1996, adquiridas quando da elaboração do Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia Metropolitana, COGERH (2000). A Tabela 4.5.3, a seguir, apresenta a configuração do uso do solo na bacia hidrográfica do açude Ceará, podendo a mesma ser visualizada pela Figura 4.5.4.

**Tabela 4.5.3:** Configuração do uso do solo na bacia hidrográfica do açude Ceará, de acordo com as imagens de satélite TM/Landsat, para o ano de 1996 (COGERH, 2000).

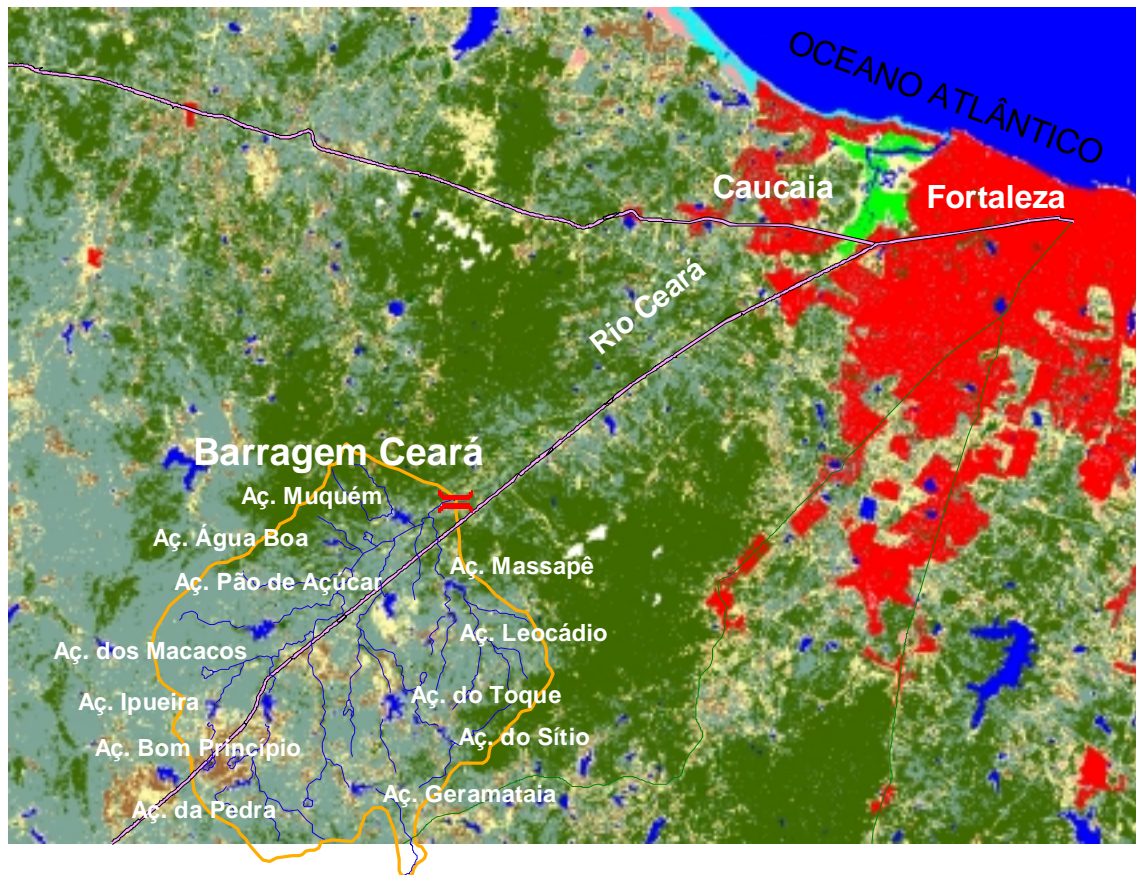
Uso do Solo	Área (m <sup>2</sup> )	% do Uso do Solo em Relação à Área da Bacia Hidrográfica
Sem Dado	131.400	0,06
Caatinga Arbórea Densa	44.062.200	19,32
Caatinga Herbáceo Arbustiva	133.363.800	58,47
Açudes e espelhos d'água > 5ha	5.735.700	2,51
Área Agrícola	13.437.900	5,89
Solo Exposto	6.300	0,00
Área Alterada/Antropizada	30.998.700	13,59
Mata Ciliar	345.600	0,15
Total	228.081.600	100,00

Nota-se pelas informações apresentadas na Tabela 4.5.3 que a região da bacia de drenagem do açude Ceará possui bom estado de preservação das matas virgens, pois aproximadamente 80% da área são cobertos por caatinga arbórea densa e caatinga herbáceo arbustiva. No entanto, como as áreas identificadas como antropizadas e as áreas agrícolas representam cerca de 19,5% da área da bacia hidrográfica, deve haver uma preocupação crescente com relação ao adequado manejo do solo na região.





Figura 4.5.4 – Cobertura Vegetal e Uso do Solo na Bacia Hidrográfica do Açude Ceará



Escala 1:300.000

LEGENDA

- Barragem Ceará
- Hidrografia
- Rodovias
  - Estadual
  - Federal
- Limite Bacia Hidrográfica do Aç. Ceará
- Uso do Solo
  - Caatinga Arbórea Densa
  - Caatinga Herbácea Arbustiva
  - Águas e Lagos
  - Área Agrícola
  - Solo Exposto
  - Área Alagada
  - Mata Ciliar
  - Área Urbana
  - Nuvem
  - Vegetação Litomárea
  - Mangue
  - No Data



### c) Geologia e Geomorfologia

A barragem Ceará encontra-se inserida dentro da unidade estratigráfica Complexo Nordeste, ocorrendo a leste e a oeste afloramentos de rochas do grupo Barreiras e de forma isolada rochas vulcânicas. Estruturalmente o embasamento apresenta um intenso fraturamento em todas as direções, formando mosaico de blocos, e com freqüentes falhamentos profundos.

### d) Determinação do Número CN

CN ou *Curve-Number* é o parâmetro de abstração do Método *Curve-Number* do *Soil Conservation Service* – SCS utilizado neste trabalho para estimativa da precipitação efetiva, aquela parcela da chuva que, de fato, contribui para a geração do escoamento superficial, sendo deduzidas as perdas por interceptação superficial, armazenamento em depressões e infiltração.

Este método baseia-se no cálculo da chuva efetiva em função da altura total de chuva e do parâmetro de abstração CN. A determinação deste coeficiente depende das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia: grupo hidrológico de solos (função da permeabilidade), uso do solo e do tratamento agrícola, condição da superfície subterrânea e condição de umidade antecedente. As 2 últimas propriedades foram consideradas como do tipo condições de umidade antecedente normal, para as quais tem-se os valores de CN tabelados de acordo com o grupo hidrológico e o uso do solo. A tabela 4.5.4, a seguir, apresenta a descrição de cada grupo hidrológico de solo considerado pelo Método CN.

As informações sobre o grupo hidrológico para a região da bacia hidrográfica do açude Ceará foram obtidas a partir da classificação de solos quanto à permeabilidade para a bacia da região metropolitana, apresentada no Plano Estadual de Recursos Hídricos (1992)<sup>2</sup>. De acordo com estas informações, a bacia constitui-se de solos tipo C, predominando em cerca de 69% da área da bacia hidrográfica, e de solos tipo D, o qual abrange os restantes 31%.

---

<sup>2</sup> CEARÁ, SRH, 1992. *Plano Estadual dos Recursos Hídricos*.



**Tabela 4.5.4:** Grupos hidrológicos de solos de acordo com a classificação adotada pelo Método CN.

<b>Grupo Hidrológico do Solo</b>	<b>Descrição</b>
A	Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
B	Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos do que o 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 e pouco profundos, com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Fonte: TUCCI, C.E.M. (org.), 1993. Hidrologia: Ciência e Aplicação. ABRH/EDUSP.

Com relação às informações de uso do solo, foram extraídas das imagens de satélite TM/Landsat do Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia Metropolitana (2000), conforme já citado anteriormente, cuja classificação de uso do solo foi adaptada à classificação utilizada pelo Método *Curve-Number*. A tabela 4.5.5 apresenta a correlação utilizada neste trabalho entre a classificação do uso do solo das imagens de satélite TM/Landsat e a utilizada pelo Método CN.

**Tabela 4.5.5:** Correlação entre a classificação do uso do solo das imagens de satélite TM/Landsat e a utilizada pelo Método CN.

<b>Uso do Solo na Imagem de Satélite TM/Landsat</b>	<b>Uso do Solo de Acordo com o Método CN</b>
Caatinga Arbórea Densa e Mata Ciliar	Florestas Normais
Caatinga Herbáceo Arbustiva	Florestas Esparsas
Solo Exposto	Estradas de terra de superfície dura
Áreas Agrícola	Plantações regulares em fileiras retas
Área Alterada/Antropizada	Pastagens ou terrenos em más condições

Com as informações do grupo de solo hidrológico da bacia e o uso do solo (classificado de acordo com o Método CN) pode-se determinar o CN, a ser adotado no cálculo da precipitação efetiva, ponderando-se estas informações, conforme apresentado na Tabela 4.5.6 a seguir.



Determinou-se, portanto, que para o cálculo da precipitação efetiva na bacia do açude Ceará deve ser usado CN igual a 80.

**Tabela 4.5.6:** Determinação do Número CN para a Área da Bacia Hidrográfica do Açude Ceará.

Uso do Solo de Acordo com o Método CN	PERMEABILIDADE (m <sup>2</sup> )		PONDERAÇÃO CN			
	C	D	CN <sub>C</sub>	PESO <sub>C</sub>	CN <sub>D</sub>	PESO <sub>D</sub>
Florestas Normais	36.576.900	7.915.500	70	0,16	76	0,04
Florestas Esparsas	93.781.800	41.445.000	78	0,42	84	0,18
Plantações regulares em fileiras retas	6.362.100	7.171.200	84	0,03	88	0,03
Estradas de terra de superfície dura	1.800	4.500	90	0,00	92	0,00
Pastagens ou terrenos em más condições	18.562.500	12.626.100	86	0,08	89	0,06
CN GERAL						80

#### 4.5.4. Caracterização Climática

Para a caracterização climática da região foram utilizadas as informações da estação meteorológica de Fortaleza, a qual é a estação geograficamente mais próxima do local da barragem, localizada nas coordenadas UTM N 9.583.649 e E 544.417. As informações com relação a temperatura, insolação, umidade relativa, ventos e evaporação foram extraídas das *Normais Climatológicas - 1961 a 1990* - do INEMET (1992), para a estação meteorológica de Fortaleza.

Para os dados de precipitação e de evapotranspiração utilizaram-se as informações do posto pluviométrico mais próximo ao lago a ser formado, sendo que a evapotranspiração foi calculada segundo *Hargreaves* (1974)<sup>3</sup>. Identificou-se como posto a ser utilizado nos estudos a estação Maranguape (código 2872766), localizada nas coordenadas 3°53' Sul de Latitude e 38°41' Oeste de Longitude.

---

<sup>3</sup> HARGREAVES, G. H. (1974) *Potencial Evapotranspiration and Irrigation Requirements for Northeast Brazil*, Utah State University.

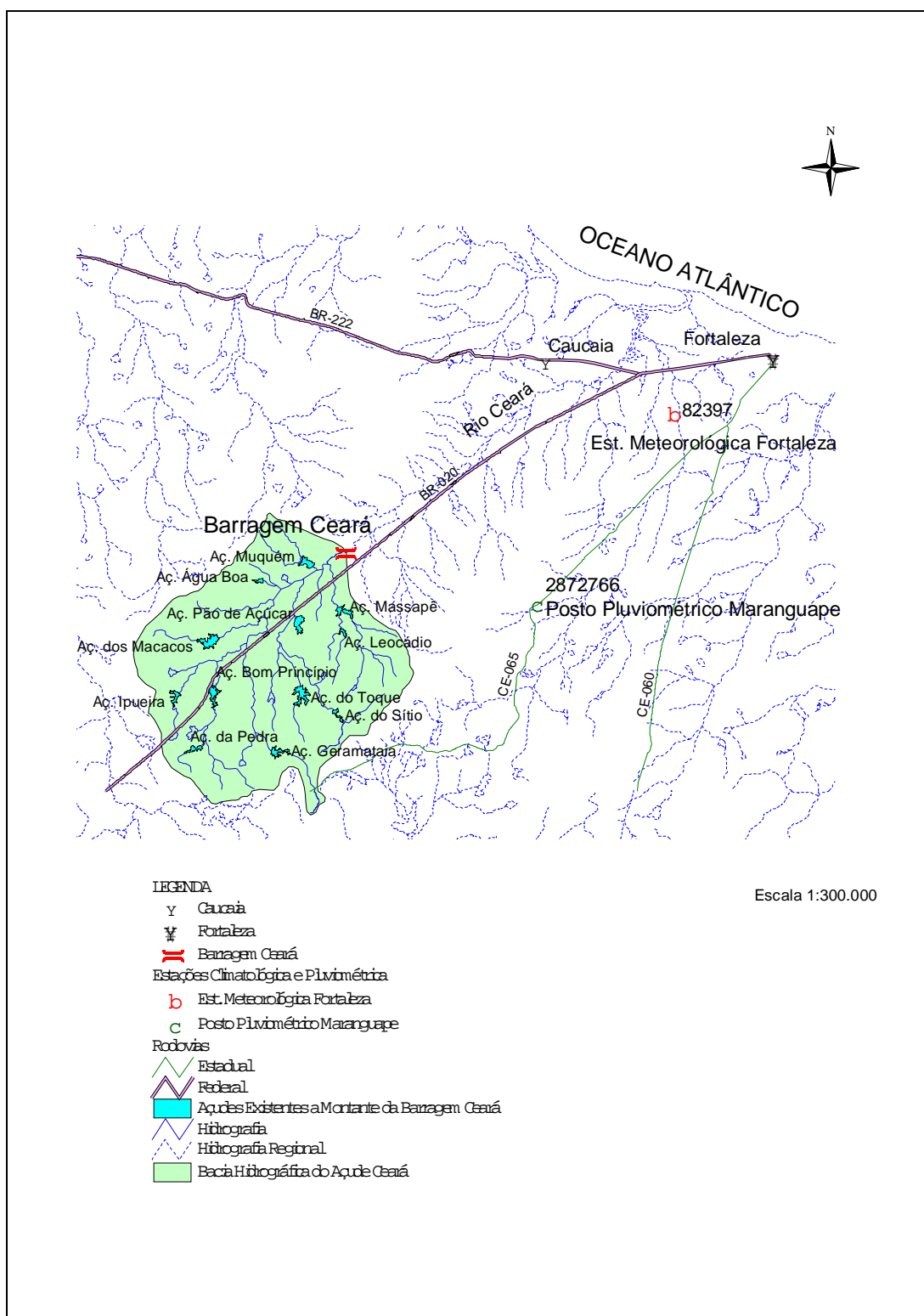


A Figura 4.5.5, a seguir, apresenta a localização da estação de Fortaleza e do posto pluviométrico Maranguape com relação à bacia hidrográfica e à posição da barragem do açude Ceará.

Para a avaliação dos valores de temperatura média são utilizadas medições realizadas às 12:00, 18:00 e 24:00 do Tempo Médio de Greenwich – TMG. A temperatura média compensada é obtida por ponderação de tais medições, segundo formulação estabelecida pela Organização Meteorológica Mundial – OMM.

#### a) Temperatura

As informações com relação à temperatura na região são apresentadas na Tabela 4.5.7 para os valores de temperatura mínima e máximo absolutos, temperatura média compensada e média das mínimas e máximas temperaturas, os quais estão representados na Figura 4.5.6. Pode-se observar que a temperatura média anual varia em torno de 26,6°C, com baixa amplitude térmica ao longo do ano, em torno de 16°C. O período mais quente situa-se no trimestre novembro/dezembro/janeiro, enquanto que o de temperatura mais amena ocorre nos meses de junho e julho. As médias máximas e mínimas extremas ocorrem, respectivamente, nos meses de novembro e dezembro (30,7°C) e julho (21,8°C).



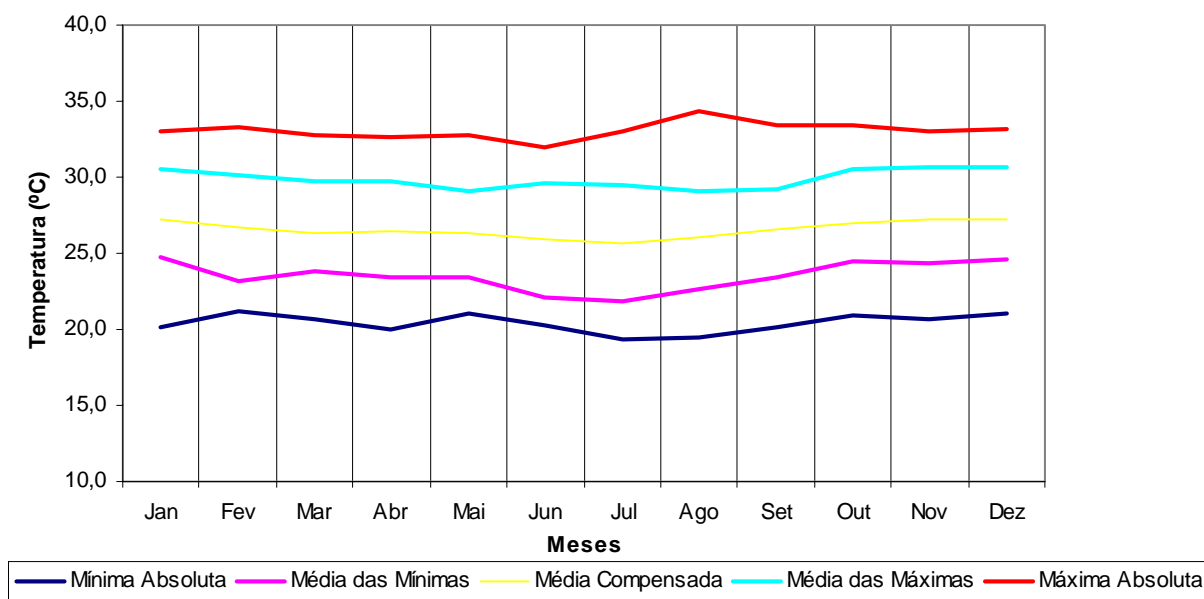
**Figura 4.5.5:** Localização da Estação Meteorológica Fortaleza e do Posto Pluviométrico Maranguape, utilizados nos Estudos Climatológicos e Pluviométricos do açude Ceará.



**Tabela 4.5.7:** Valores de Temperatura em °C para a Estação de Fortaleza, CE

Valores de Temperatura (° C) para a Estação de Fortaleza					
Mês	Mínima Absoluta	Média das Mínimas	Média Compensada	Média das Máximas	Máxima Absoluta
Jan	20,1	24,7	27,3	30,5	33,0
Fev	21,2	23,2	26,7	30,1	33,3
Mar	20,6	23,8	26,3	29,7	32,8
Abr	20,0	23,4	26,5	29,7	32,6
Mai	21,0	23,4	26,3	29,1	32,8
Jun	20,3	22,1	25,9	29,6	32,0
Jul	19,3	21,8	25,7	29,5	33,0
Ago	19,5	22,6	26,1	29,1	34,4
Set	20,1	23,4	26,6	29,2	33,4
Out	20,9	24,5	27,0	30,5	33,4
Nov	20,6	24,4	27,2	30,7	33,0
Dez	21,0	24,6	27,3	30,7	33,2
Média Anual	19,3	23,5	26,6	29,9	34,4

Fonte: INEMET, 1992. Normas Climatológicas 1961-1990.

**Figura 4.5.6:** Distribuição da Temperatura (° C) para a Estação de Fortaleza - CE ao longo do ano.





## b) Insolação Total

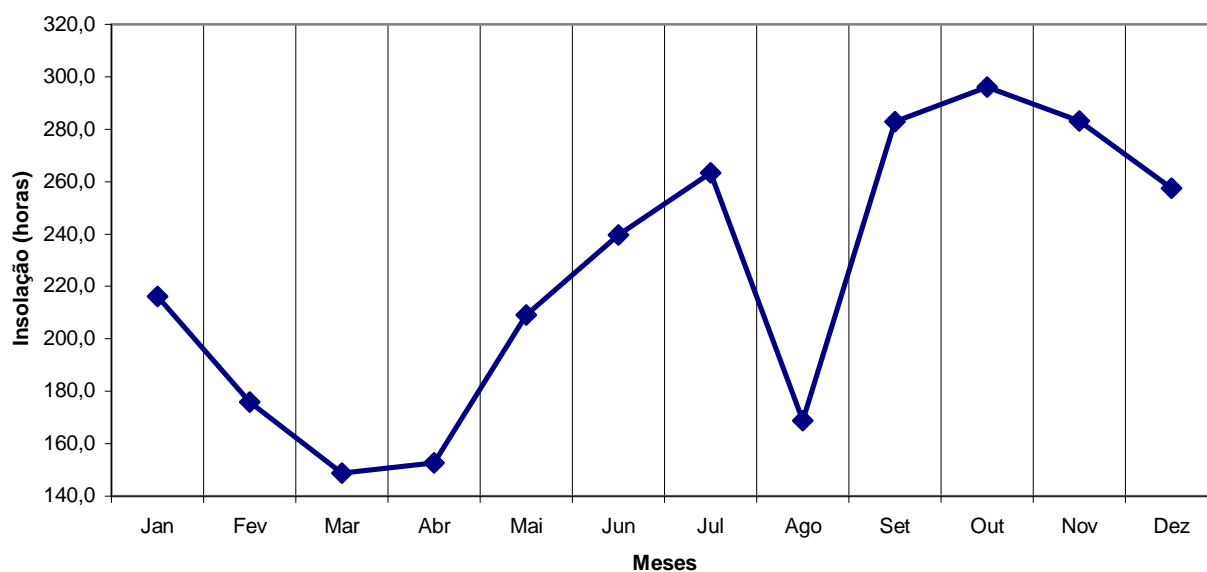
A tabela 4.5.8 e a Figura 4.5.7 apresentam os valores de insolação total para a estação de Fortaleza, segundo o INEMET (1992), distribuídos ao longo do ano. Pela Figura 4.5.7 nota-se que há inconsistência no valor de insolação atribuído ao mês de agosto. Provavelmente, o valor deva ser 268,9 horas ao invés de 168,9 horas como apontado pelo INEMET. O trimestre de maior insolação compreende os meses de setembro a novembro, enquanto que a menor insolação ocorre de fevereiro a abril. O mês de outubro apresenta o maior índice de insolação, cerca de 296 horas, enquanto que março é o menor, cerca de 149 horas.

A insolação média anual da região é cerca de 2.694,3 horas, representando, teoricamente, a 62% dos dias do ano com luz solar direta.

**Tabela 4.5.8:** Valores de Insolação Total para a Estação de Fortaleza, CE

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
Insolação (horas)	216,2	175,8	148,9	152,8	209,1	239,6	263,4	168,9	282,9	296,1	283,2	257,4	2694,3

Fonte: INEMET, 1992. *Normas Climatológicas 1961-1990.*



**Figura 4.5.7:** Distribuição da Insolação Total para a Estação de Fortaleza - CE ao longo do ano.



### c) Umidade Relativa

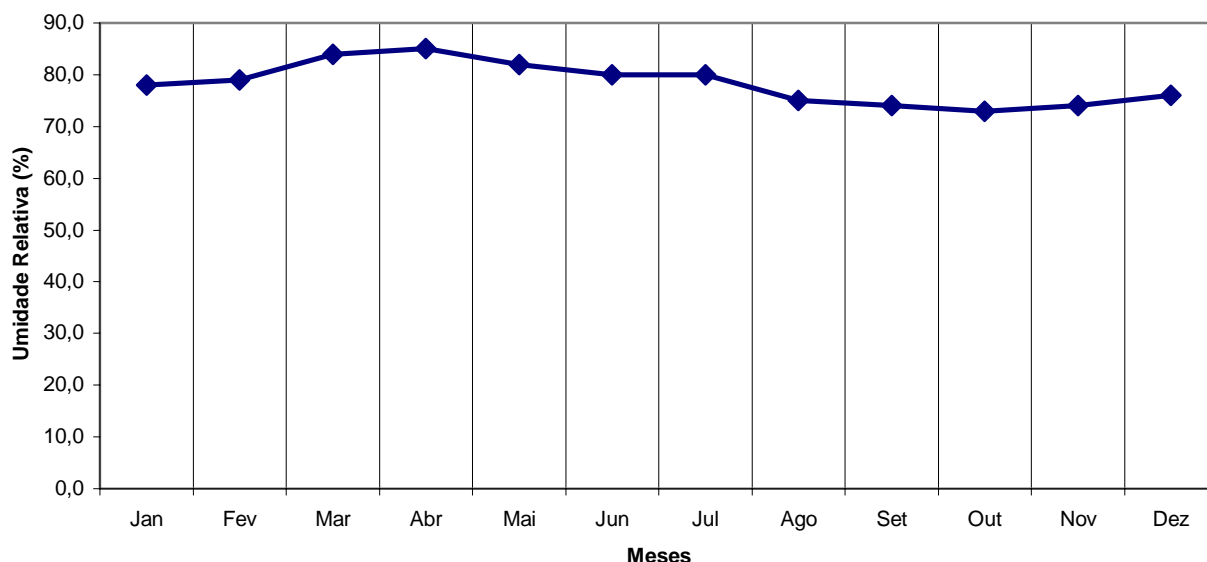
Para a avaliação dos valores de umidade relativa média são utilizadas medições realizadas às 12:00, 18:00 e 24:00 do Tempo Médio de Greenwich – TMG. A umidade relativa média é obtida por ponderação de tais medições, segundo fórmula estabelecida pela Organização Meteorológica Mundial – OMM:

A tabela 4.5.9 e a Figura 4.5.8 apresentam os valores de umidade relativa média para a estação de Fortaleza, segundo o INEMET (1992), distribuídos ao longo do ano. Pode-se observar que nos meses de março e abril a umidade relativa fica em torno de 85%, enquanto que no período seco, meses de setembro a novembro, os valores atingem cerca de 73%. Comparando-se os valores de mínima e máxima umidade, verifica-se que esta varia pouco ao longo do ano.

**Tabela 4.5.9:** Valores de Umidade Relativa para a Estação de Fortaleza, CE

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
Umidade Relativa (%)	78,0	79,0	84,0	85,0	82,0	80,0	80,0	75,0	74,0	73,0	74,0	76,0	78,3

Fonte: INEMET, 1992. Normas Climatológicas 1961-1990.



**Figura 4.5.8:** Distribuição da Umidade Relativa Média para a Estação de Fortaleza - CE ao longo do ano.



## d) Ventos

Os ventos na estação de Fortaleza atingem as maiores velocidades médias no período de agosto a dezembro, cerca de 4,5 m/s. A direção dos ventos predominante é a leste – sudeste para o ano todo, como pode ser visto na tabela 4.5.10.

**Tabela 4.5.10:** Valores médios anuais de velocidade do vento para a Estação de Fortaleza, CE.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Velocidade do Vento (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
Direção do Vento	ESe	ESe	ESe	ESe	ESe	ESe	ESe	ESe	ESe	ESe	ESe	ESe

Legenda: E – Leste; Se – Sudeste.

Fonte: CEARÁ, SRH, 1992. *Plano Estadual dos Recursos Hídricos*.

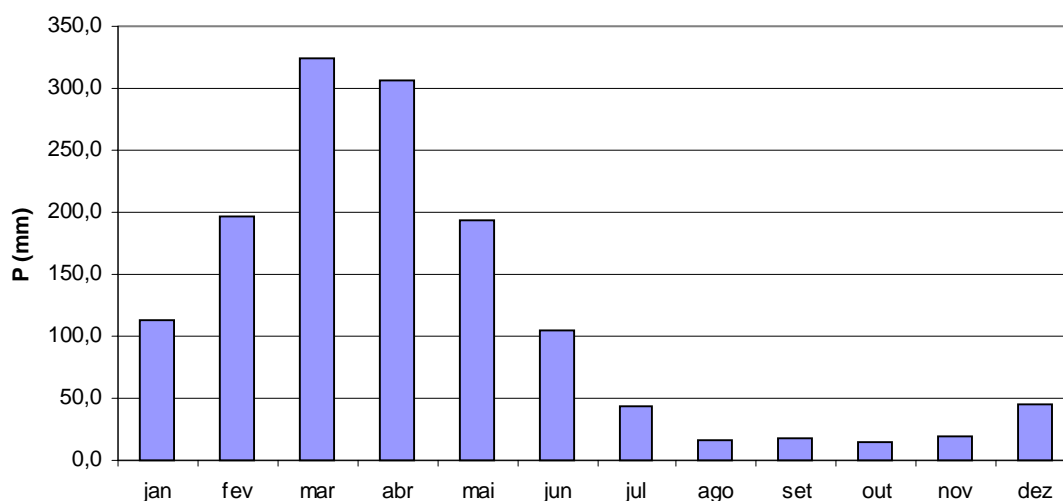
## e) Regime Pluvial a Nível Anual e Mensal

Para a caracterização da precipitação na bacia hidrográfica do açude Ceará, identificou-se como posto a ser utilizado nos estudos a estação Maranguape (código 2872766), como já justificado anteriormente. A tabela 4.5.11 apresenta as principais características deste posto.

**Tabela 4.5.11** – Características do Posto Pluviométrico utilizado para os estudos de precipitação na bacia do açude Ceará.

Código	Posto	Município	Coordenadas		Altitude (m)	Período de Observação	
			Lat	Long		Mês/Ano Inicial	Mês/Ano Final
2872766	Maranguape	Maranguape	3°53' S	38°41' 0	67	01/1912	12/1988

A série de dados diários de chuva observados para o posto 2872766 contém 73 anos completos para o período de 1912 a 1988. A Figura 4.5.9 apresenta o hietograma mensal.



**Figura 4.5.9:** Hietograma de chuva média mensal para o posto Maranguape (código 2872766).

**Tabela 4.5.12** –Precipitação média mensal na bacia do açude Ceará.

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
113,0	197,3	324,2	306,1	193,4	104,0	42,9	15,5	17,4	13,7	19,7	45,0	1392,4

De acordo com a Tabela 4.5.12, os dados mostram que a precipitação média anual na bacia é de 1.392,4 mm, sendo que cerca de 89% do total precipitado concentra-se no semestre Janeiro a Junho de cada ano. A quadra invernososa é representada pelos meses de fevereiro/março/abril/maio, na qual precipita cerca de 73% do total anual, sendo março o mês mais chuvoso. Fica caracterizado, portanto, o elevado índice de concentração temporal das precipitações na região. Considerou-se aqui o quadrimestre ao invés do trimestre para caracterizar o período invernososa, uma vez que os meses de fevereiro e maio apresentam, praticamente, o mesmo nível de precipitação, 197,3mm e 193,4mm, respectivamente.

Já o período menos chuvoso é concentrado no quadrimestre agosto/setembro/outubro/novembro, precipitando nestes meses em torno de 5% do total anual, sendo o mês com menor índice de precipitação outubro.



Na Tabela 4.5.13 são apresentados os índices de concentração da precipitação para os níveis mensal, quadrimestral e semestral.

**Tabela 4.5.13:** Índices de Concentração Pluviométrica para a Série de Valores Médios Mensais do Posto Maranguape (código 2872766)

CÓDIGO	Mês Mais Chuvoso			Quadrimestre Mais Chuvoso			Semestre Mais Chuvoso		
	Mês	P (mm)	P (%)	Quadrimestre	P (mm)	P (%)	Semestre	P (mm)	P (%)
2872766	Março	324,2	23,3	Fev a Mai	1.021,1	73,3	Jan a Jun	1.238,1	88,9

#### f) Evapotranspiração Potencial

Evapotranspiração potencial (ETP) é a quantidade de água transferida por superfície completamente coberta por plantas em pleno estágio de crescimento, vegetação de baixo porte e verde, usualmente pastos, e satisfatoriamente suprida de água. Quando considerada dependente do clima, pode ser estimada a partir de parâmetros climáticos, sendo os mais importantes a temperatura, a umidade relativa e um fator que pode ser calculado a partir da latitude (HARGREAVES, 1974).

Para o estudo da ETP na região da bacia hidrográfica do açude Ceará, utilizaram-se os valores calculados por HARGREAVES (1974) para o posto Maranguape, código 2872766, os quais estão apresentados na Tabela 4.5.14 a seguir.

**Tabela 4.5.14:** Valores de Evapotranspiração Potencial – ETP para o Posto Maranguape.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
ETP (mm)	158	131	133	117	119	117	133	151	159	173	164	165	1.720

Fonte: HARGREAVES, G.H. (1974).

#### g) Evaporação em Tanque Classe A

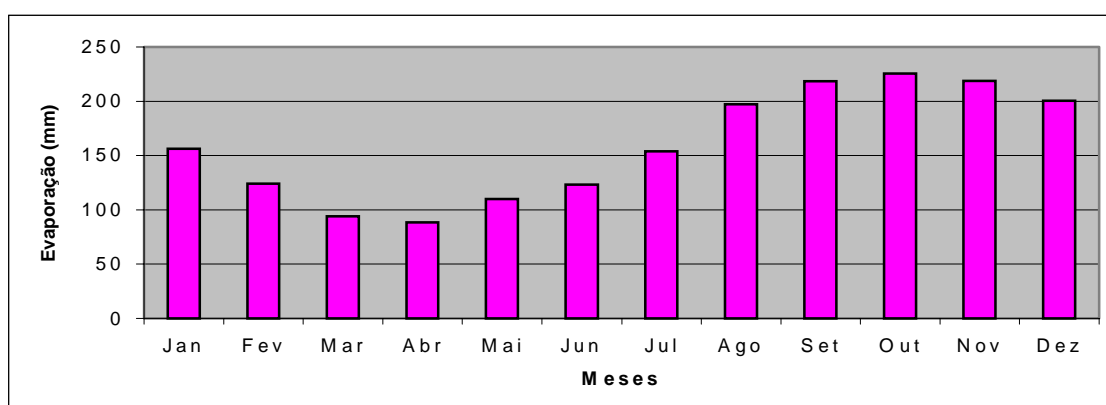
A evaporação média na área da barragem foi estimada em função dos dados de Evaporímetro de Piché da estação climatológica de Fortaleza, obtidos da publicação do INEMET. Tais valores de evaporação foram acrescidos de 30%, conforme comparação entre os dados de Tanque Classe A e Piché realizados para Quixeramobim e Morada Nova, e estão apresentados na Tabela 4.5.15 e representados graficamente na Figura



4.5.10, na qual percebe-se que as maiores evaporações na região ocorrem no período de agosto a dezembro, com valores acima de 150 mm mensais. A lâmina d'água média anual evaporada é cerca de 1,5 metro.

**Tabela 4.5.15:** Dados de Evaporação Média Mensal – Tanque Classe A para a Estação de Fortaleza - CE.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
Evaporação (mm)	156,1	124,1	94,1	88,5	110,0	123,1	153,8	197,3	218,1	225,6	218,5	200,6	1910,0



**Figura 4.5.10** - Evaporação Média Mensal – Tanque Classe A para a Estação de Fortaleza - CE.

#### h) Sinopse Climática

Em síntese, o clima da bacia em estudo é caracterizado pelos indicadores do quadro a seguir.

INDICADOR	ÍNDICE
Pluviometria média anual	1392,4 mm
Semestre chuvoso e índice de concentração	Jan/Jun
Trimestre úmido	Fev/Abr
Trimestre seco	Ago/Out
Mês de maior pluviosidade	Março
Temperatura média anual	26,6 °C
Média das temperaturas mínimas	23,5 °C
Média das temperaturas máximas	29,9 °C
Amplitude das médias extremas	15,1 °C
Umidade relativa média anual	78,3 %
Período de maior umidade relativa	Abril
Período de menor umidade relativa	Outubro



INDICADOR	ÍNDICE
Insolação anual	2694 h
Período de maior insolação	Outubro
Período de menor insolação	Março
Ventos de 1ª predominância	Este/Sudeste
Velocidade média dos ventos	3,6 m/s
Evaporação média anual em tanque classe A	1469 mm
Período de maior evaporação	Out/Nov
Período de menor evaporação	Mar/Abr
ETP média anual	1720 mm

#### 4.5.5. Estudo de Chuvas Intensas

Os principais tipos de precipitações da região são em decorrência da elevação brusca das massas de ar por efeito térmico ou lenta, neste caso 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 são incomuns.

Na análise hidrológica de prováveis obras hidráulicas, os eventos de alta frequência assumem uma importância maior com relação aos de baixa. Aqui foi utilizada a série anual de máximos diários da estação Maranguape (código 2872766), por dispor de maior registro de dados e estar localizada na bacia do açude em questão. Na realidade é a única estação com dados disponíveis em quantidade desejável.

##### a) Chuvas Máximas Diárias

A distribuição teórica escolhida foi a Pearson III pois apresentou melhor ajuste as frequências máximas diárias observadas, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se na Tabela 4.5.16.





**Tabela 4.5.16** - Análise de Frequência de Máximos Diários de Chuva. Posto Pluviométrico: 3813532

TR (anos)	P(1dia)
100	167
1.000	217
10.000	269

#### b) Chuvas Intensas

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 escolhidos entre os “n” maiores valores disponíveis na série histórica de cada posto.

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 precipitação-duração-frequência.

Na área em estudo não existem registros de pluviógrafos, o aparelho mais comum nas estações pluviométricas é o pluviômetro, que é capaz de registrar a “precipitação 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-frequência para a área de representatividade do aparelho.

Como alternativa ao método tradicional (através de pluviógrafos), têm-se o Método das Isozonas (TORRICO,1975)<sup>4</sup>. O referido método foi empregado para a chuva média máxima da estação em estudo. Esses resultados são apresentados nos quadros a seguir.

---

<sup>4</sup>TORRICO, J.T., 1975. PRÁTICAS HIDROLÓGICAS, 2a. Ed., TRANSCOM, RIO DE JANEIRO.



#### Precipitações na Bacia do Açude Ceará

TR (anos)	P(1 dia)	P(24h)	P(1h)	P(6min)
100	135	149	57	13
1.000	176	193	72	17
10.000	218	239	87	21

#### 4.5.6. Estudo de Deflúvios

A estimativa das vazões afluentes mensais ao açude foi realizada objetivando fornecer elementos para a simulação da operação e, conseqüentemente, o dimensionamento do reservatório. A bacia hidrográfica do açude Ceará não possui estação fluviométrica. O Plano de Gestão das Águas das Bacias Metropolitanas, da COGERH, estudou as séries em toda a região Metropolitana de Fortaleza, inclusive a bacia do Ceará. A série do açude, portanto, foi retirada do referido estudo.

Obteve-se um volume afluente médio anual de 72,53 Hm<sup>3</sup>

#### 4.5.7. Estudo das Cheias de Projeto

A determinação da cheia de projeto para dimensionamento do sangradouro pode ser realizada com base em dados históricos de vazão (métodos diretos) e com base na precipitação (métodos indiretos), estando em ambos os casos associados a um risco previamente escolhido. Diante da escassez de registros históricos de vazões, é mais usual a determinação do hidrograma de projeto com base na precipitação.

O estudo da cheia de projeto é de fundamental importância para a segurança e economia da barragem, podendo o hidrograma de projeto estar baseado em:

1. PMP (precipitação máxima provável) para projetos de importantes obras hidráulicas;
2. cheia padrão para obras hidráulicas de risco intermediário;
3. precipitações associadas a um risco ou probabilidade de ocorrência.

Em barragem pequenas e médias, onde grandes riscos não estão envolvidos, pode-se utilizar o hidrograma de projeto baseado no último caso, podendo o período de retorno de 1000 anos ser suficiente para dimensionamento do sangradouro.



## a) Metodologia

Os métodos estatísticos de obtenção de vazões máximas que se utilizam séries históricas de vazões observadas, procedimento comum para bacias naturais, não podem ser aplicados 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<sup>5</sup>.

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Açude Ceará 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 1.000 anos e 10.000 anos de 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 Ceará, diante dos dados disponíveis, 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*);
3. Método de Puls para propagação do escoamento em reservatórios.

## b) Precipitação

---

<sup>5</sup>US ARMY CORPS OF ENGINEERS - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, 1990. HEC-1 FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE - USERS MANUAL, 415 p.



Para cálculo do escoamento superficial para a bacia foi assumida 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 obtida nos estudos hidroclimatológicos. A tabela 4.5.17 apresenta a chuva de projeto.

**Tabela 4.5.17 - Chuva de Projeto na Bacia do Açude Ceará**

<b>Intervalo de Tempo</b>	<b>P(mm) 1.000 Anos</b>	<b>P(mm) 10.000 Anos</b>
5 min	18	21
15 min	38	48
1 h	73	87
2 h	93	121
3 h	108	137
6 h	132	158
12 h	161	201

O hietograma de projeto tem uma duração superior ao tempo de concentração da bacia, estimado aqui pela fórmula do Califórnia Highways, também conhecida como fórmula de Kirpich, em  $T_c = 3,71$  h.

#### c) 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 podem ser usadas 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)

A metodologia utilizada para determinação da chuva efetiva foi 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.

O CN para a bacia do Ceará foi estimado em 80.

#### d) Hidrograma Unitário - SCS

Da análise dos dados obtidos no HEC-1 pode-se calcular as vazões que afluem ao reservatório para diferentes tempos de recorrência (TR). Na Tabela 4.5.18 são apresentadas as vazões afluentes nos respectivos TR

**Tabela 4.5.18** – Vazões afluentes ao reservatório

TR = 1.000 ANOS	TR = 10.000 ANOS
870 m <sup>3</sup> /s	1.177 m <sup>3</sup> /s

#### e) Propagação da Cheia no Reservatório

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

#### f) Resultados

A adoção de cheias de projeto da magnitude da cheia máxima provável não se justifica para o reservatório em estudo, por suas localizações, capacidades e finalidades. Assim, dentro desta perspectiva, optou-se por utilizar a cheia associada ao hietograma de 1.000 anos e verificar a barragem para o hietograma de 10.000 anos.

A cota de sangria foi definida pelo estudo de menor custo do volume regularizado que está apresentado no item 4.5.8 a seguir. A cota escolhida foi a 43,00m o que representa



um volume de acumulação de 51,58 hm<sup>3</sup>. A largura do vertedouro do açude Ceará foi limitada pela situação topográfica do local, em 120 m de largura.

Para o tempo de concentração da bacia adotou-se uma chuva de duração igual a 12 horas.

Os picos de vazão efluyente e lâminas de sangria são mostrados na Tabela 4.5.19. a seguir, para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

**Tabela 4.5.19 – Vazões e lâminas de sangria**

TR = 1.000 ANOS		TR = 10.000 ANOS	
Q(m <sup>3</sup> /s)	h(m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	h(m)
239	1,00	361	1,31

#### 4.5.8 Dimensionamento do reservatório

##### a) Disponibilidade hídrica

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 justifique os investimentos a serem realizados.

Hidrologicamente o objetivo central deste item é a análise incremental do ganho em volume regularizado em relação ao aumento da capacidade para a Barragem Ceará.

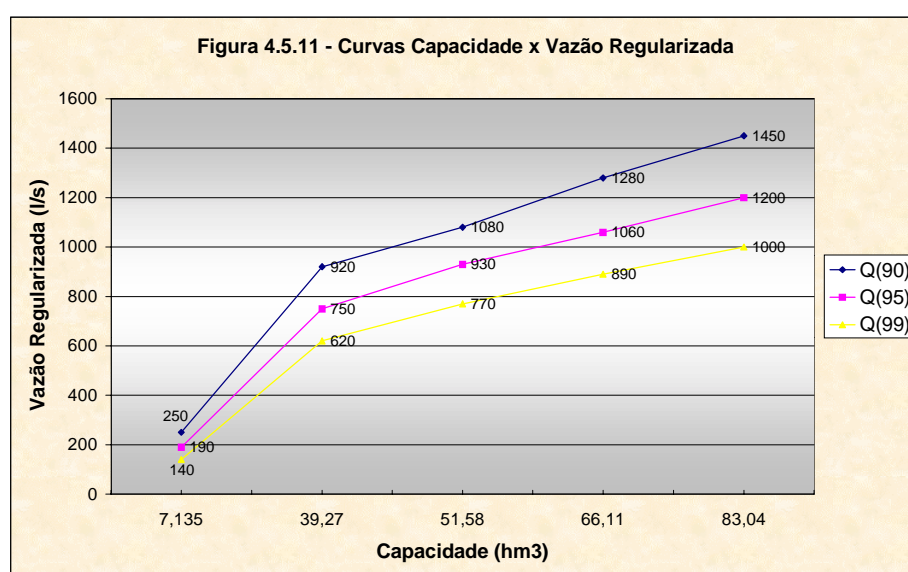
##### Metodologia

Na determinação das curvas de regulação do reservatório foi utilizado o modelo de simulação de reservatórios HEC-3. Esse modelo simula a operação mensal do açude, fazendo uso para isso da equação da continuidade dos volumes (Equação do Balanço Hídrico).

Foi utilizada a série descrita no item 4.5.6 para obtenção das vazões regularizadas com 90%,95% e 99% de garantia a partir do uso do modelo HEC-3. Os resultados destas simulações estão sumariados na Tabela 4.5.20 e na Figura 4.5.11 a seguir.

**Tabela 4.5.20** - Estudo incremental de capacidades do Açude (HEC-3)

Capacidade (hm <sup>3</sup> )	Garantia (%)		
	90	95	99
7,14	250	190	140
39,27	920	750	620
51,58	1080	930	770
66,11	1280	1060	890
83,04	1450	1200	1000

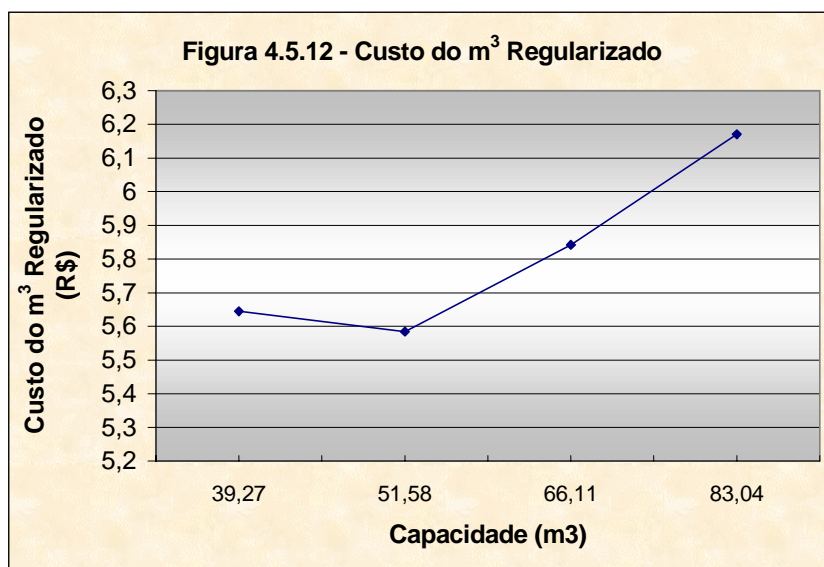


#### b) Estudo da Capacidade Econômica do Reservatório

A determinação do tamanho do reservatório foi realizada tendo como base o custo mínimo do volume regularizado. Assim, foi realizado o dimensionamento hidrológico - econômico da capacidade do açude.

Para as diversas cotas, determinou-se o seu respectivo custo, tendo-se assim associado a cada cota um custo correspondente da obra. A partir deste pares (cota, custo), foram determinadas as curva de custo do m<sup>3</sup> regularizado associado às garantias de atendimento. Essa curva pode ser observada na Figura 4.5.12 a seguir.





Foi verificado que o menor custo do m<sup>3</sup> regularizado, de acordo com o gráfico, é para a cota 43,00 m, que acumula 51,58 hm<sup>3</sup>.

#### 4.5.9. Estudos Adicionais

##### a) Introdução

Este capítulo apresenta estudos adicionais visando fornecer características do reservatório durante a fase de operação, sendo estudado:

- a probabilidade de enchimento do reservatório na fase transiente;
- a probabilidade de esvaziamento do reservatório na fase de equilíbrio;
- a probabilidade de extravasamento do reservatório na fase de equilíbrio;
- a curva de esvaziamento do reservatório.

##### b) Estudo da Disponibilidade Hídrica

O estudo da disponibilidade hídrica do reservatório Ceará compreende o estudo das probabilidades de enchimento, esvaziamento e extravasamento do reservatório. Este estudo pode ser realizado diante duas óticas: na fase transiente, quando essa probabilidade depende do volume inicial do reservatório; na fase de equilíbrio, quando o processo estocástico de armazenamento torna-se ergódico. A metodologia aqui empregada tem suporte na teoria estocástica de reservatórios ou Teoria de Moran<sup>6</sup>,

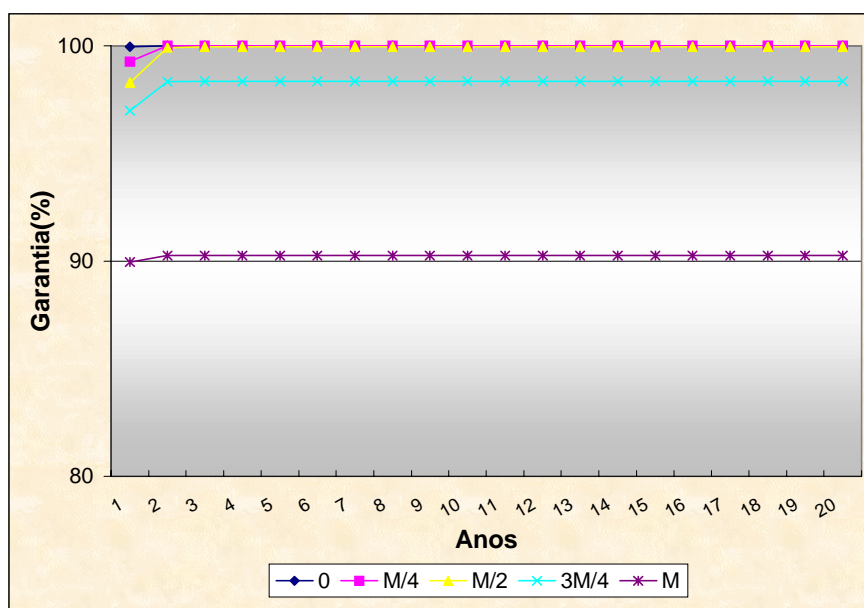
---

<sup>6</sup> MORAN, P.A.P. 1959. THE THEORY OF STORAGE. LONDON: METHUEN & CO LTD, 111 p.



apresentando como novidade a inclusão da matriz de evaporação para considerar as perdas por este processo - método de CAMPOS (1990).

Através desta metodologia foram determinadas as curvas de probabilidade de enchimento do reservatório (inicialmente seco) na fase transiente considerando as retiradas de 0, Qr95 /4, Qr95 /2, 3.Qr95 /4 e Qr95 (Tabela 4.5.21). Na figura 4.5.13 apresenta-se as curvas de garantia para as retiradas de 0, Qr95 /4, Qr95 /2, 3.Qr95 /4 e Qr95.



**Figura 4.5.13** - Análise Probabilística da Garantia do Reservatório - fase transiente (M= Qr95)

**Tabela 4.5.21** - Análise Probabilística do Enchimento do Reservatório na Fase Transiente. Reservatório inicialmente seco.

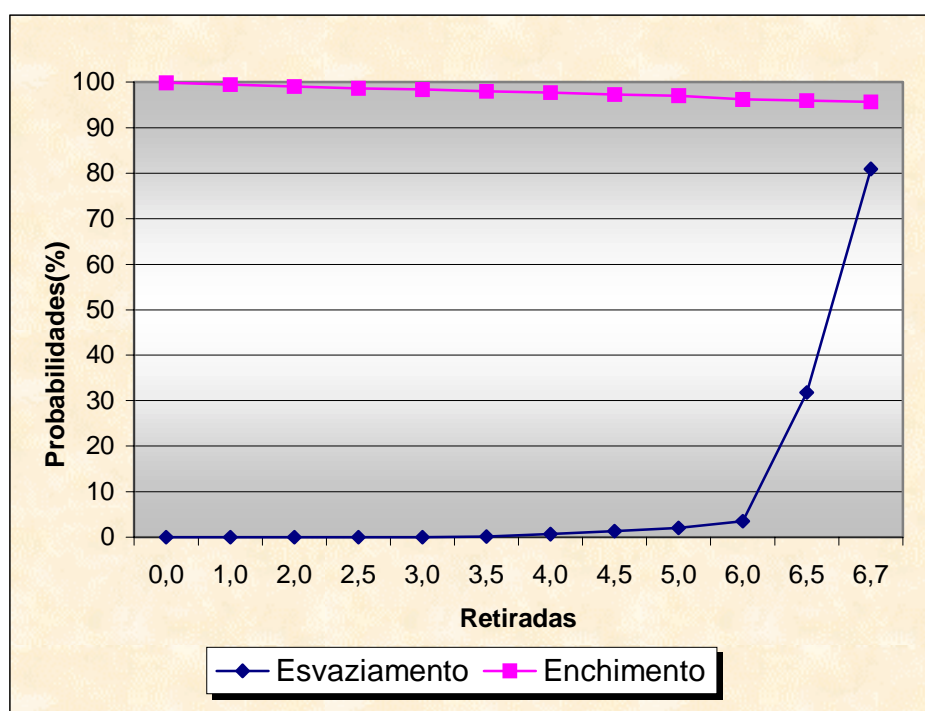
ANO	RETIRADA (M = Q95)				
	0	M/4	M/2	3M/4	M
1	99.96	99.27	98.29	96.99	89.94
2	100.00	99.99	99.92	98.34	90.25
3	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
4	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
5	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
6	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
7	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
8	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
9	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
10	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26



ANO	RETIRADA (M = Q95)				
	0	M/4	M/2	3M/4	M
11	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
12	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
13	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
14	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
15	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
16	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
17	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
18	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
19	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
20	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26

M = Retirada anual (hm<sup>3</sup>)

Também foi realizada a análise probabilística de esvaziamento e de enchimento na fase de equilíbrio. A figura 4.5.14 apresenta as duas curvas probabilísticas (esvaziamento e enchimento), enquanto que a Tabela 4.5.22 os seus valores correspondentes.



**Figura 4.5.14** - Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio

**Tabela 4.5.22** - Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio

<b>RETIRADA (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>ESVAZIAMENTO (%)</b>	<b>ENCHIMENTO (%)</b>
0.0	0	99.9
1.0	0	99.5
2.0	0	99
2.5	0	98.7
3.0	0	98.4
3.5	0.2	98
4.0	0.7	97.7
4.5	1.3	97.3
5.0	2	97
6.0	3.5	96.2
6.5	31.8	95.9
6.7	80.9	95.7
6.8	100	95.6



MONTGOMERY WATSON



## **5. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DA BARRAGEM**

---



## 5. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DA BARRAGEM

### 5.1. GENERALIDADES

Nesse capítulo é apresentado o memorial descritivo da Barragem Ceará, que será construída barrando o riacho de mesmo nome, que integra as bacias Metropolitanas. O ponto do barramento que intercepta o rio tem coordenadas UTM igual a Norte 9.573.697 e Este = 521.440, dentro do município de Caucaia, Ceará.

Para desenvolver o projeto da barragem foi levantado um eixo topográfico principal que partindo da ombreira esquerda transpõe o rio e segue ao longo do divisor da ombreira direita, com 3.100 m de extensão. Este eixo cruza a pista da BR-020 nas proximidades da estaca 87. Para a materialização do eixo foram implantados 5 marcos de concreto nos pontos de inflexão.

Em locais baixos no lado esquerdo da bacia foi lançado um eixo, estaqueado com a denominação A, com uma extensão de 1.260 m. Este eixo foi locado e amarrado a 2 marcos de concreto.

No primeiro eixo foi previsto um conjunto de obras, constituídas por um maciço principal de seção de terra homogênea, quatro barragens auxiliares (BA-01 a 04), um sangradouro formado por um perfil Creager e uma tomada d'água tipo galeria.

No eixo do lado esquerdo da bacia foram previstos 3 barragens auxiliares (BA-05 a BA-07). A seguir são resumidas as principais características destas obras.

<b>Eixo</b>	<b>Obra</b>	<b>Extensão (m)</b>	<b>Altura máxima (m)</b>
Principal	Barragem Principal	1.431,0	18,0
Principal	B. Auxiliar BA- 01	234,0	3,49
Principal	B. Auxiliar BA- 02	88,2	0,86
Principal	B. Auxiliar BA- 03	317,56	0,66
Principal	B. Auxiliar BA- 04	105,2	0,63
A	B. Auxiliar BA- 05	76,9	1,15
A	B. Auxiliar BA- 06	96,7	2,35
A	B. Auxiliar BA- 07	767,8	4,68
Principal	Muro Creager	120,0	3,5
Principal	Tomada d'água	60,85	-



No desenho III-2-03/39-000 é apresentada a planta do arranjo geral das obras e no desenho III-2-02/39-000 os elementos necessários para a locação dos eixos das obras.

A adoção de um reservatório, com base no custo mínimo do volume regularizado, acarretou em um lago que interfere com a BR-020, num trecho de 5 Km. Para o remanejamento da rodovia será necessário um novo traçado, ao sul do atual, que deverá apresentar um desenvolvimento de cerca de 13,0 Km. Na figura 5.1 é apresentada uma possibilidade para a diretriz da rodovia no trecho remanejado.

Para uma primeira ordem de grandeza do custo da mudança de traçado da rodovia, consultou-se outras empresas envolvidas em obras rodoviárias semelhantes e chegou-se ao valor de R\$ 800.000,00 / Km, ou seja, um custo total de cerca de R\$ 10.400.000,00.

Este mesmo lago irá manter contato com o talude jusante dos açudes Água Boa e Pão de Açúcar, sendo portanto necessário proteger esses paramentos por meio de um enrocamento ascende sobre uma transição. Este enrocamento seguirá a inclinação do talude até a cota 44,50 com uma espessura de 0,50m e a transição será executada por uma camada de brita com 0,20m de espessura.

O desenvolvimento deste item é feito abordando os seguintes tópicos:

Relação de Desenhos;  
Escolha do Eixo Barrado;  
Escolha do Tipo de Barragem;  
Fundação da Barragem;  
Rebaixamento do Lençol Freático;  
Geometria da Trincheira de Vedação;  
Cortina de Injeção;  
Maciço da Barragem;  
Instrumentação;  
Sangradouro;  
Tomada d'água.

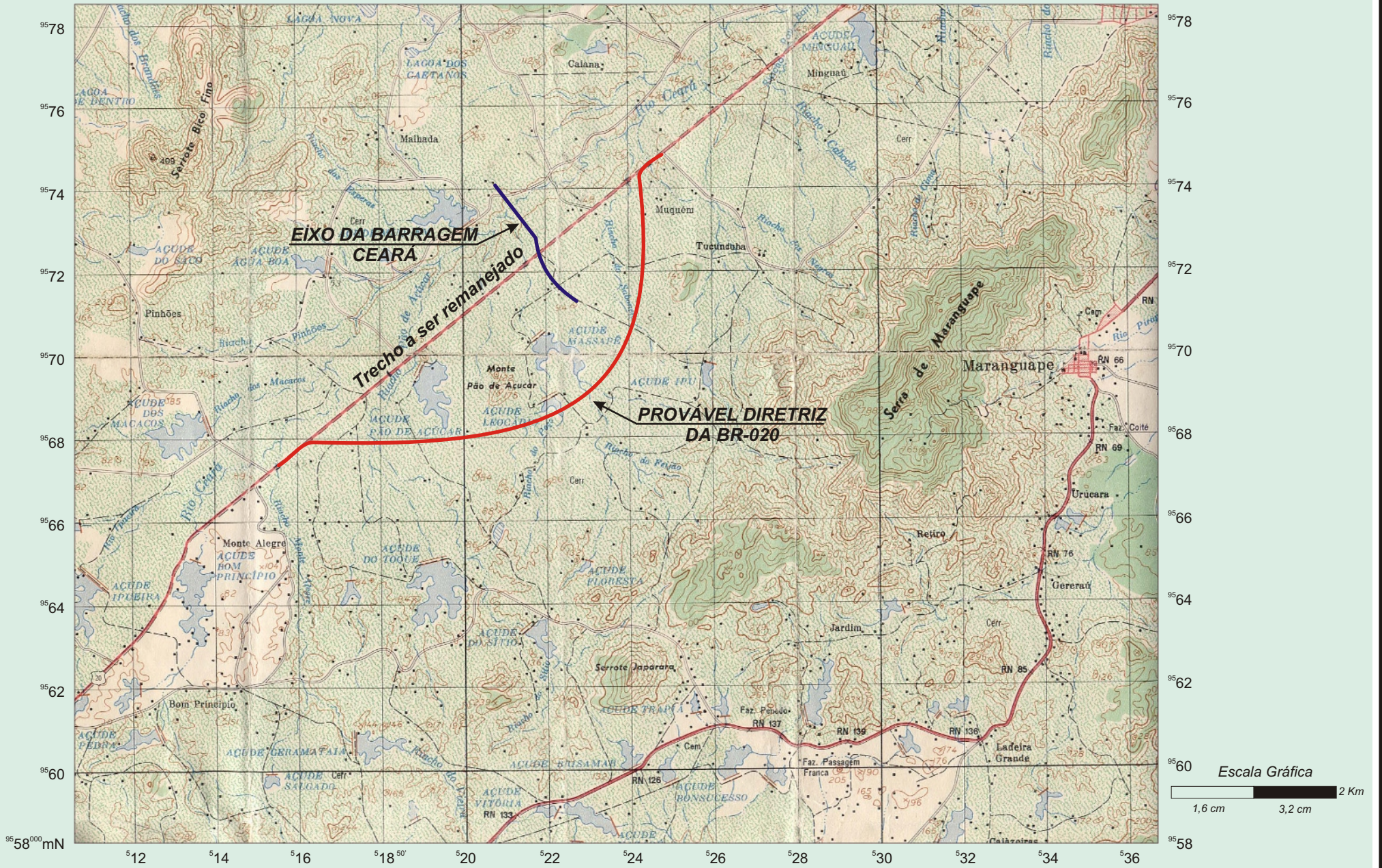
## **5.2. RELAÇÃO DE DESENHOS**

Os desenhos são apresentados no Tomo - 2, porém para facilitar a descrição deste capítulo eles estão aqui relacionados:



Figura 5.1

Mapa de Localização de uma Possível Diretriz para o Remanejamento da BR-020







<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>NÚMERO</b>
BACIA HIDRÁULICA - CURVA COTA X ÁREA X VOLUME	III-2-01/39-000
PLANTA DE LOCAÇÃO DOS EIXOS DAS OBRAS	III-2-02/39-000
ARRANJO GERAL DAS OBRAS	III-2-03/39-000
PERFIL LONGITUDINAL - BARRAGEM PRINCIPAL E AUXILIARES	III-2-04/39-000
LOCALIZAÇÃO DAS SONDAgens	III-2-05/39-000
LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS	III-2-06/39-000
PERFIL LONGITUDINAL DO SUBSOLO	III-2-07/39-000
SEÇÃO TIPO - BARRAGEM PRINCIPAL E AUXILIARES	III-2-08/39-000
BARRAGEM PRINCIPAL - SEÇÕES TRANSVERSAIS (01 A 07)	III-2-09/39-000
BARRAGEM PRINCIPAL - SEÇÕES TRANSVERSAIS (08 A 10)	III-2-10/39-000
BARRAGEM PRINCIPAL - SEÇÕES TRANSVERSAIS (11 A 13)	III-2-11/39-000
BARRAGEM PRINCIPAL - SEÇÕES TRANSVERSAIS (14 A 16)	III-2-12/39-000
BARRAGEM PRINCIPAL - SEÇÕES TRANSVERSAIS (17 A 19)	III-2-13/39-000
BARRAGEM PRINCIPAL - SEÇÕES TRANSVERSAIS (20 A 22)	III-2-14/39-000
BARRAGEM PRINCIPAL - SEÇÕES TRANSVERSAIS (23 A 25)	III-2-15/39-000
BARRAGEM PRINCIPAL - SEÇÕES TRANSVERSAIS (26 A 28)	III-2-16/39-000
BARRAGEM PRINCIPAL - SEÇÕES TRANSVERSAIS (29 A 31)	III-2-17/39-000
BARRAGEM PRINCIPAL - SEÇÕES TRANSVERSAIS (32 A 38)	III-2-18/39-000
BARRAGEM PRINCIPAL - SEÇÕES TRANSVERSAIS (39 A 46)	III-2-19/39-000
BARRAGEM PRINCIPAL - SEÇÕES TRANSVERSAIS (47 A 51)	III-2-20/39-000
BARRAGEM PRINCIPAL - SEÇÕES TRANSVERSAIS (52 A 59)	III-2-21/39-000
BARRAGEM PRINCIPAL - SEÇÕES TRANSVERSAIS (60 A 72)	III-2-22/39-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS BA- 01 E BA-02	III-2-23/39-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS BA- 03	III-2-24/39-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS BA- 04, BA-05 e BA-06	III-2-25/39-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS BA- 07 (24 A a 42 A)	III-2-26/39-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS BA- 07 (43 A a 61 A)	III-2-27/39-000
CORTINA DE INJEÇÃO DE CIMENTO	III-2-28/39-000
SANGRADOURO - PLANTA, PERFIL E SEÇÕES	III-2-29/39-000



DESCRIÇÃO	NÚMERO
SANGRADOURO- PLANTAS E SEÇÕES	III-2-30/39-000
SANGRADOURO - ESCAVAÇÃO	III-2-31/39-000
TOMADA D'ÁGUA- ESCAVAÇÃO DO CANAL	III-2-32/39-000
TOMADA D'ÁGUA - PLANTA, CORTES E DETALHES	III-2-33/39-000
TOMADA D'ÁGUA - PROTEÇÃO DA CAIXA JUSANTE	III-2-34/39-000
TOMADA D'ÁGUA - CAIXA DE JUSANTE E MONTANTE	III-2-35/39-000
TOMADA D'ÁGUA - ARMADURA, CAIXA DE MONTANTE E GALERIA	III-2-36/39-000
TOMADA D'ÁGUA - ARMADURA, CAIXA DE JUSANTE	III-2-37/39-000
DRENAGEM SUPERFICIAL	III-2-38/39-000
INSTRUMENTAÇÃO	III-2-39/39-000

### 5.3. ESCOLHA DO EIXO BARRÁVEL

No relatório “Estudos de Alternativas de Localizações das Barragens” apresentado à SHR em maio/2001 foram descritas as alternativas selecionadas para o eixo do barramento, considerando a premissa estabelecida de preservação da BR-020, que corre paralelamente ao rio. Foi utilizado neste estudo uma restituição aerofotogramétrica na escala 1:20.000, fornecida pelo INCRA.

Foram selecionados inicialmente três locais numerados em ordem crescente de jusante para montante e em cada eixo definiu-se, para efeito comparativo, uma altura de barragem que acumulasse o mesmo volume de cerca de 11hm<sup>3</sup>. Em cada alternativa foi levantado o maciço de terra necessário para execução da obra, o tipo de sangradouro adequado, as laminas vertedoras, a localização de ocorrências de materiais para a construção, além da realização de uma investigação geotecnia preliminar de cada sítio, de um cadastro de imóveis e população situadas nas bacias e de uma avaliação dos impactos ambientais de cada alternativa.

Após essas atividades elaborou-se uma matriz de decisão considerando os seguintes aspectos e fatores de ponderação:



<b>Aspecto</b>	<b>Fator de Ponderação</b>
Custo de implantação	3
Vazão regularizada	1
Custo do m <sup>3</sup> regularizado	3
Volume do reservatório	1
Área inundada	1
Impacto ambiental (biofísico)	2
Impacto Ambiental (sócio-econômico)	2
Reassentamento Populacional	3
Remanejamento de Infraestrutura	2

Com esses critérios estabelecidos classificou-se os aspectos para cada alternativa de eixo chegando-se a conclusão que a alternativa II apresenta uma conjunto de aspectos mais vantajoso que as demais alternativas.

A partir da seleção do local do eixo da barragem iniciou-se os estudos básicos (topografia, geologia, geotecnia e estudos hidrológicos) visando a elaboração do Projeto. Na análise destes estudos a SRH concluiu que hidrológicamente a bacia do rio Ceará comportaria um reservatório muito maior e que, face ser uma das ultimas opções de reservação na área metropolitana, deveria-se escolher um local adequado mesmo que atingisse a rodovia BR-020. Ficou estabelecido que o reservatório deveria acumular entre 50 e 70 milhões de m<sup>3</sup>.

A projetista procedeu a uma ampliação da área de restituição aerofotogramétrica e com base nela selecionou duas novas localizações, a montante do local escolhido anteriormente, que foram analisados conjuntamente com o Painel de Segurança de Barragens. A partir desta análise escolheu-se localizar o eixo da barragem imediatamente a jusante do encontro do riacho Feijão com o rio Ceará, com o elemento de sangria posicionado na ombreira direita.

#### **5.4. ESCOLHA DO TIPO DE BARRAGEM**

Para seleção do tipo de barragem a ser detalhado, levou-se em conta os condicionantes de contorno tais como: altura do barramento, a proximidade dos materiais de construção, dificuldades de execução da fundação e outros.



Primeiramente constatou-se a inviabilidade de uma seção em enrocamento tendo em vista que:

- as escavações obrigatórias de rocha são praticamente insignificantes (16.900 m<sup>3</sup>) diante das necessidades volumétricas do maciço da barragem;
- existem jazidas de solo em grande volume e próximas da obra (distância máxima de 3 km)
- a fundação da barragem nos trechos aluvionares é formada por um pacote de solos, com espessura de até 10 m, com características impróprias para resistir a esforços impostos por um maciço deste tipo. Seria necessário colocar, em vários locais, a fundação do maciço de enrocamento no topo do substrato rochoso, o que acarretaria em consideráveis escavações e em elevado volume de enrocamento.

Uma seção do tipo gravidade, executada em CCR, foi analisada e considerada inadequada pelas mesmas razões listadas para a seção em enrocamento, acrescida da dificuldade de obtenção de areia natural nas proximidades da obra.

Portanto, evoluiu-se para a adoção de um maciço de terra homogêneo, tendo em vista que os solos das jazidas apresentam características geotécnicas muito semelhantes. Os solos da jazida J-05, que apresentam-se mais siltoso, foram indicados para a execução dos maciços das pequenas barragens auxiliares BA- 01,BA-02, BA-03 e BA-04.

Estabeleceu-se que após a análise por parte da Fiscalização os solos oriundos das escavações obrigatórias do sangradouro devem ser utilizados em zonas menos nobres dos maciços, tal como a jusante do filtro vertical e acima do tapete drenante.

Portanto, a seção escolhida para o maciço da barragem consiste de um aterro em solo, com material proveniente das jazidas e escavação obrigatória do sangradouro, dreno vertical de areia, tapete drenante, enrocamento de pé à jusante e proteções dos taludes de montante e jusante.

## **5.5. FUNDAÇÃO DA BARRAGEM**

Para identificação das características geotécnicas da fundação da barragem Ceará o Consórcio Projetista programou e realizou uma campanha de sondagens, a percussão e



mista, consistindo na realização de dezesseis furos de sondagens percussiva SP-01 ao SP-17, oito furos de sondagens mistas SM-01 a SM-08 e dois poços escavados a pá e picareta SPP-01 e 02.

Os furos de sondagem a percussão foram executados no eixo da barragem principal e ao longo do eixo das barragens auxiliares BA-01 a 04 e BA-05 a 07.

Na ombreira esquerda, percebe-se alguns afloramentos de rocha granítica, que associados com o resultado da sondagem percussiva SP-03, revelam a pouca espessura do solo de recobrimento do substrato rochoso. O manto de solo residual neste local é constituído por um solo argiloso siltoso, micáceo, com fragmentos de rocha, de cor avermelhada, com espessura de cerca de 2,45 m. O ensaio SPT mostrou valores elevados representando uma consistência de média a dura.

Na faixa de aluvião, compreendida aproximadamente entre as estacas 8 e 32, a espessura do solo varia de 10,20 m ( na estaca 12 ) até 0,50 m na calha do rio( estaca 16+10 ).

Entre as estacas 8 e 31 ocorre na superfície um depósito de solo argilo siltoso, com matéria orgânica, de cor cinza escuro, com inúmeras trincas de contração por ressecamento, até uma espessura de cerca de 2,00m.

Entre a ombreira esquerda e a calha do rio (estaca 16+10) o pacote aluvionar imediatamente subjacente a camada com matéria orgânica, é constituído por solos argilo siltosos ou silto argilosos, pouco arenosos, que alcançam a profundidade de cerca de 3,0m. A seguir o estrato passa a se tornar mais arenoso, micáceo, com presença de fragmentos de rocha, tomando feições de um solo residual, até uma profundidade de 6,50 m. Entre as profundidades de 6,50m e 10,00m o solo da fundação passa a ser constituído por uma areia fina e média siltosa, onde os fragmentos de rocha são mais freqüentes, de consistência muito compacta.

Na região entre a calha do rio(estaca 16 + 10) e o início da ombreira direita( aprox. estaca 32 ) o pacote aluvionar, subjacente à argila com material orgânico, constitui-se, predominantemente, de solos areno-siltosos que atingem a profundidade de cerca de 8,0 m. O referido pacote apresenta-se muito compacto entre o ponto médio e lado direito do trecho calha-ombreira direita e com menor compacidade junto a calha do rio. Na



sondagem SP-06 ( estaca 20 ) obteve-se na profundidade de 3,45 m um SPT de 3, limitado por valores de 10 e 5 nas profundidades de 2,45 e 4,45, respectivamente.

Na elevação à direita do trecho aluvionar do rio Ceará, foi verificada as condições de fundação através de poços escavados manualmente. Essas prospeções indicaram nas estacas 35+10 e 36+10 ,um recobrimento do substrato rochoso constituído de um solo silto arenoso, de cor cinza, com profundidade de 4,0 e 2,10m, respectivamente. Observou-se que esse solo diminui de espessura a medida que sobe-se a encosta, inclusive, com desaparecimento na região da cume da elevação.

O substrato rochoso é constituído por rocha granítica, macia ou branda na sua parte mais superficial e dura a muito dura em profundidade. Essa porção branda apresenta-se de medianamente a altamente intemperizada, com um número de fraturas superior a 20/m e recuperação inferior a 60%, alcançando uma espessura máxima de 5,70m na sondagem SM-03. A região de maior dureza do substrato rochoso apresenta-se ligeiramente a medianamente intemperizada, com recuperação elevada (praticamente 100%) e pequeno fraturamento sub-vertical.

Via de regra os ensaios de perda d'água foram realizados de forma descendente, com espaçamento de 3,0m na rocha, com inserção de um único obturador. Os resultados dos ensaios mostraram na grande maioria valores de perda d'água entre 0,15 e 0,40 l/min/m/atm. O comportamento do fluxo de percolação da água nas fraturas foi predominantemente "de deformação sem alteração" tendo ocorrido alguns casos de "deformação com fechamento". No entanto, na sondagem SM-07 (estaca 8), realizada a 30m a montante do eixo, a perda d'água foi total em vários trechos onde se tentou realizar o ensaio.

O ensaios de permeabilidade "in situ" com carga constante ( Le Franc ), realizados a cada 1,0m de profundidade nas sondagens percussivas, registraram valores de permeabilidade para o solo, em média entre  $8 \times 10^{-4}$  e  $10^{-5}$  cm /seg.

Finalizando este tópico a respeito da fundação da barragem, pode-se estabelecer as seguintes ações relacionadas a seguir:

- a) Em toda a extensão da barragem, localizada nas ombreiras, será providenciado o expurgo de 0,20m de solo entre os off-sets de montante e jusante, portanto, os espaldares serão assente normalmente sobre o terreno limpo;



- b) No trecho da barragem principal compreendido entre estacas 8 e 32 o solo argiloso superficial de cor cinza escuro e com presença de material orgânico, deverá ser retirado em toda a sua profundidade, cerca de 2,0 m, na área compreendida entre os off-sets de montante e jusante, acrescida de uma faixa adicional de 3,0 m além dos mesmos.
- c) Entre as estacas 49 e 54 previu-se a retirada do solo superficial, de compacidade fofa, numa profundidade típica de 2,0 m, em faixa semelhante a descrita no item anterior.
- d) A trincheira de fundação para a regiões da ombreira esquerda , terá pouca espessura e repousará sobre o solo residual ou rocha;
- e) Para a calha do rio, a partir aproximadamente da estaca 8, e na ombreira direita, aproximadamente entre estacas 32 e 39, está prevista a retirada de todo material aluvionar chegando a trincheira de vedação ao topo rochoso.
- f) No segmento da barragem principal entre estacas 39 e 72+ 10 está prevista a escavação da trincheira de vedação até o substrato rochoso.

## **5.6. GEOMETRIA DA TRINCHEIRA DE FUNDAÇÃO**

A trincheira de fundação será escavada alinhada com o bordo de jusante do coroamento de jusante para montante. Será executada entre as estacas 0+19,0 e 72+ 10. Sua profundidade será nula nas extremidades e região da estaca 39 e variará até 10,20 m, na região compreendida entre o rio e seu afluente pela margem esquerda (representada pela estaca 12) sempre repousando sobre solo residual ou topo rochoso. No desenho n.º III-6-4/39-000 do Tomo-2 pode ser observado a linha limite de escavação do cut-off.

A base do cut-off terá dimensão de 6,0 m e os taludes serão de 1:1 até 4 m abaixo do nível do terreno, após a remoção do material indesejável, neste nível deverá ser realizada uma berma de 2,0 m e a partir daí os taludes deverão ter inclinação 1,5: 1 (H:V) como pode ser visto no desenhos nº III-6-08/39-000 do Tomo-3.

## **5.7. REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO**

Examinando os perfis das sondagens executados, no leito do rio, em plena estação seca, verifica-se que não foi encontrado o nível d'água em nenhuma das sondagens. No





entanto em épocas de chuvas ou imediatamente após estas o lençol freático ascende muito.

Indicou-se no Projeto a execução da escavação da trincheira da barragem principal nos meses secos porém, prevendo-se a possibilidade de ser conveniente ao Contratante da Obra a execução da trincheira em épocas que o lençol estiver elevado, considerou-se nas Especificações Técnicas a possibilidade de necessidade deste serviço.

Caso se concretize a necessidade de escavação abaixo do lençol freático para atingir a cota do fundo da vala, o lençol freático deverá atingir o nível do rio e seu afluente e, portanto, necessitar de rebaixamento de lenço freático de até 7,0 m. Para este caso indicou-se uma campanha de investigação e amostragem a ser realizada na zona da calha do rio para o dimensionamento do sistema de rebaixamento a ser utilizado.

## **5.8. MACIÇO DA BARRAGEM**

### **5.8.1. Descrição da Seção Tipo**

Este item tem a finalidade de descrever com detalhes a seção tipo adotada para a Barragem Ceará que apresenta as seguintes características.

#### **\* Cota e Largura da Crista**

A cota da crista foi definida em função dos estudos hidrológicos após simulação da soleira em várias cotas, foi determinado que o menor custo regularizado se dá para o volume máximo armazenado de 51,58 hm<sup>3</sup>, ou cota de sangria igual a 43,00m. Como pode ser visto no desenho III-6-04/39-000 do Tomo-2 "Perfil longitudinal da Barragem e do Sangradouro". A partir da definição da cota da soleira e das informações hidrológicas sobre as lâminas milenar e decamilenar foi determinada a altura da onda, em função do fetch de 7,28 km, como sendo 1,24 m a partir daí calculou-se a folga  $f = 1,77m$ . Considerando a lâmina da cheia milenar obteve-se a revanche  $R = 2,77 m$  e daí resultou na cota do coroamento que foi fixada em 46,00m.

A largura do coroamento foi determinada pela fórmula de Preece e verificou-se que o valor encontrado é ligeiramente inferior a 6,00m. Portanto, foi adotado um coroamento com 6,00 metros de largura. A seção transversal apresenta um caimento de 2% para montante. O coroamento deverá ser pavimentado, em toda a largura, através de



calçamento com pedra tosca. Nos limites dos bordos serão colocados meios-fios moldados "in situ" com abertura para montante espaçadas de 20,00m em 20,00m.

No desenho III-6-08/31-000 podem ser vistos os detalhes, em forma de seção, da geometria geral descrita acima.

#### **\* Materiais Construtivos do Maciço**

Para a execução da barragem foram pesquisadas cinco jazidas de solos J-01, J-02, J-03, J-04 e J-05 que serão otimizadas com os materiais das escavações do sangradouro para construção da obra projetada.

O maciço terroso da barragem principal será construído de forma homogênea, visto que os materiais destas jazidas terem características geotécnicas muito semelhantes. O material da escavação obrigatória do sangradouro, após análise e aprovação, poderá ser empregado na zona imediatamente a jusante do filtro vertical e acima do tapete drenante.

Na barragem principal e nas auxiliares BA-05 a BA-07 serão empregados os materiais terrosos provenientes das jazidas J-01, J-03 e J-04, ficando a J-02 como reserva e com uso liberado apenas no remoto caso das jazidas anteriores se exaurirem. As Barragens auxiliares BA-01 a BA-04 serão construídas com o material da Jazida J-05.

O aterro da trincheira de vedação deverá ser executado com os materiais das jazidas J-01, J-03 e J-04.

Além dos materiais terrosos, foram estudados materiais arenosos e pétreo para uso no sistema de drenagem interna e nas zonas de proteção dos paramentos de montante e jusante respectivamente.

#### **\* Talude de Montante**

O talude de montante foi dimensionado através das análises de estabilidade com inclinação de 1:2,0 (V:H) entre as cotas 48,00 e 37,00 m e abaixo da 37,00 com inclinação de 1:2,5 (V:H). Foi previsto fazer a proteção do talude de montante com material pétreo da seguinte forma: Abaixo da cota 37,00 m será colocado uma camada de brita "A" com 30 cm de espessura. Acima da cota 37,00 m até o coroamento (48,00 m) será executado um rip-rap com 1,20 m de espessura, sendo que os 90 cm superficiais



serão executados com pedras com a granulometria do material a ser empregado no enrocamento de pé. Os 30 cm restantes é que ficarão em contato com o paramento da barragem, serão executados com brita "A".

A seguir são apresentados as granulometrias da brita "A" e do material do enrocamento de pé.

**TABELA 5.2: BRITA "A"**

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>% Passando</b>
300	100
100	88 - 98
50,80 (2")	71 - 93
25,40 (1")	44 - 86
9,52 (3/8")	10 - 76
4,76 (nº 4)	0 - 34
2,00 (nº 10)	0 - 10
1,19 (nº 16)	0

**TABELA 5.3: ENROCAMENTO DO RIP-RAP**

<b>Peneira (mm)</b>	<b>% Passando</b>
1000	100
500	58-94
100	4-60
50,80 (2")	1-33
38,10 (1 1/2")	0-20
30mm	0

#### **\* Talude de Jusante**

O talude de jusante foi previamente escolhido com inclinação de 1:2 (V:H) até a cota 35,00m quando foi previsto o topo do "rock fill", que tem 4,00m de coroamento, sendo 2,00m em solo e 2,00m em enrocamento, talude de jusante de 1:1,5 (V:H) e talude de montante 1:1 (V:H). No trecho da barragem principal compreendido entre as estacas 42+14 e 55+13 o topo do "rock fill" ficará na cota 37,00, com o objetivo de proteção do talude de jusante contra possíveis refluxos de sangria, permanecendo as demais características como descritas anteriormente.



A estabilidade do talude de jusante foi confirmada nas análises de estabilidade.

Para fazer a proteção do talude de jusante foi prevista a colocação de uma camada de 0,30m de espessura de material oriundo de britagem de blocos de rocha, com a granulometria apresentada na tabela 5.4 a seguir:

**Tabela 5.4: Material de Proteção do Talude de Jusante**

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>% Passando</b>
101,6 mm (4")	100
50,8mm (2")	64-90
25,4mm (1")	48-78
9,5mm (3/8")	28-74
4,8mm(Nº 4)	12-50
2,0mm (Nº 10)	0-36
0,42mm (Nº 40)	-

Não será utilizado o sistema de calhas de drenagem no talude de jusante. Será prevista a execução de calhas nas ombreiras, no encontro do talude com o terreno natural na barragem. A uma distancia segura do pé de jusante será executada uma vala de condução de águas de precipitação pluvial, entre estacas 42 e 52 e prosseguindo transversalmente na estaca 52 (por cerca de 50 m) até transpor o divisor de águas. Esses elementos de drenagem podem ser visualizados no desenho III-6-38/39-000

#### \* Filtro Vertical

Está prevista a execução de um filtro vertical, com topo na cota 44,00 m como parte do sistema de drenagem interna, com 0,80 m de espessura, executado em areia dos areais A-02 e A-03, e verificada a possibilidade de uso do A-01, cuja granulometria média é mostrada na tabela 5.5 a seguir:

**Tabela 5.5: Ensaios de Laboratório do Areal**

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Areal 01</b>	<b>Areal 02</b>
	<b>% Passando</b>	<b>% Passando</b>
1"	100	100
3/8"	95	98
N.º 4	89	93
N.º 8	75	78



Peneiras (mm)	Areal 01	Areal 02
	% Passando	% Passando
N.º 16	42	54
N.º 30	20	26
N.º 50	3	5
N.º 100	1	1

Os areais dos rios Cahuipe e São Gonçalo , que apresentaram uma permeabilidade média de  $9 \times 10^{-3}$  cm/s, um diâmetro máximo de 4,8mm e um Módulo de Finura de 3,50.

O enquadramento dessa areia na Classificação Unificada USC mostra que ela é do tipo SP, ou seja, areia mal graduada.

O topo do filtro vertical ficará na cota 44,00 m que corresponde a cheia milenar porém, só deverá ser executado quando o terreno de fundação da barragem estiver em cota inferior à 40,00 m.

#### \* Tapete Drenante

Para receber as águas do filtro vertical e da fundação está previsto a execução, na barragem principal, de um tapete drenante tipo sanduíche, com 0,90 m de espessura, sendo 0,30 m de brita "A" entre duas camadas de 0,30 m cada de areia grossa dos areais indicados. Nas barragens auxiliares BA-01 e BA-07 o tapete drenante será constituído de uma única camada de areia, com espessura de 0,40 m.

O tapete drenante será executado na barragem principal entre as estacas 3 - 38 e 40+10 - 66, na barragem auxiliar BA-01 entre as estacas 82 - 84 e na auxiliar BA-07 entre estacas 40 A - 56A. Tanto na barragem principal como nas barragens auxiliares o tapete drenante só atinge o pé da barragem na parte central do boqueirão e nas regiões mais elevadas das ombreiras o tapete não vai até o pé da barragem e drenará as águas no sentido do gradiente da ombreira, ou seja, no sentido paralelo ao eixo. Entre as estacas 3 - 38 e 40+10 - 66 da barragem principal, 82 - 84 da barragem auxiliar BA-01 e entre 44 A - 46 A da auxiliar BA-07, o tapete drenante será pleno e se estenderá até o pé da barragem. As águas que chegarem nessa região vindas das ombreiras e da porção central do maciço principal serão encaminhadas para fora da seção pelo pé da jusante para os pontos mais baixos onde será construído um pequeno medidor de vazão para avaliar as perdas pela fundação e maciço.



### \* Dreno de Pé

Finalmente, concluindo os dispositivos de drenagem interna, está prevista a execução de um dreno de pé do talude de jusante que consiste de um enrocamento com blocos de pedras obtidos da demolição de material de rocha sã, vindo da escavação do sangradouro ou da pedreira P-03, com a granulometria mostrada na tabela 5.6 abaixo:

**Tabela 5.6: Material do Enrocamento**

<b>Peneira (mm)</b>	<b>% Passando</b>
1000	100
500	58-94
100	4-60
50,80 (2")	1-33
38,10 (1 1/2")	0-20
30mm	0

O enrocamento terá seção trapezoidal com taludes de montante de 1:1 (V:H) e jusante de 1:1,5 (V:H), a cota do coroamento no trecho aluvionar do rio Ceará é de 35,00 m e entre as estacas 42+14 e 55+13 é de 37,00 m. A largura da crista deste, em ambos os casos, é de 4,00 m, sendo 2,00 m em solo e 2,00 m em enrocamento. O enrocamento será executado na barragem principal entre as estacas 5 - 34+10 e 42+10 - 55+10.

No contato do enrocamento com a barragem e do enrocamento com a fundação foi previsto a execução de uma camada de transição formada de areia e brita. A areia virá dos rios São Gonçalo e Capitão Mor e terá 0,50 m de espessura. A brita será obtida da britagem de rocha sã vinda da exploração da pedreira P-03 e deverá ter a seguinte granulometria.

**TABELA 5.7: BRITA “A”**

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>% Passando</b>
300	100
100	88 – 98
50,80 (2")	71 – 93
25,40 (1")	44 – 86
9,52 (3/8")	10 – 76
4,76 (nº 4)	0 – 34
2,00 (nº 10)	0 – 10
1,19 (nº 16)	0

Os detalhes desse projeto podem ser visto no desenho III-2-08/39-000.

## **5.9. ANÁLISE DE ESTABILIDADE**

### **5.9.1. Considerações Gerais**

A geometria da barragem Ceará foi analisada quanto a estabilidade de duas maneiras, recorrendo-se a análise estática e verificando o comportamento diante de abalos sísmicos que ocasionalmente tem ocorridos em diversas regiões do Ceará. Os sísmicos no Ceará são mais freqüentes na região Centro Sul, como nos municípios de Pacajus e Morada Nova.

Pesquisas recentes (Assumpção, 1992 e 1998; Ferreira et.al., 1995 e 1997; Lima et al., 1997) indicam que os esforços crustais no Nordeste são bastante uniformes, com compressão paralela e tração perpendicular à costa norte, favorecendo uma única província sismotectônica principal no Nordeste. A tendência geral das estruturas do embasamento tem direção SW - NE.

A região da Bacia Potiguar e faixa margeante, prolongando-se pelas bacias Costeira do Ceará e Rio Grande do Norte, encontram-se entre as principais zonas sismogênicas do Nordeste (Ferreira,1986). Nestes dois estados tem ocorrido, nos últimos trinta anos, exames sísmicos tais como: Pereiro (CE/1968), Parazinho (RN/1973), Pacajus (CE/1980), João Câmara (RN/1986), Palhano (CE/1988) e Cascavel (CE/1994).

As poucas informações disponíveis conduzem a uma abordagem determinística para a análise do risco sísmico baseada na consideração dos sismos ocorridos, nas proximidades do local da obra, como fontes sísmicas pontuais.



Na década de 70, a U.S. Atomic Energy Commission (USAEC), propôs critérios para análises sísmicas e para a determinação do terremoto de projeto, que são utilizados até hoje (Clough e Penzien, 1993 e Almeida e Eusébio, 1992) para a caracterização do movimento do solo devido à terremotos. Para a região leste dos Estados Unidos é recomendada a adoção do maior terremoto já ocorrido na Província Sismotectônica, com a menor distância epicentral já verificada. Um limite de 0,10g é proposto para a aceleração no local da obra. Entretanto, segundo procedimentos mais modernos, níveis de aceleração máximos menos conservadores tem sido adotados.

Nas simulações de análise sísmica da Barragem Castanhão com mais de 50,00m de altura foi adotada a aceleração horizontal  $a_h = 0,07g$ .

A projetista entende que pode adotar esse mesmo valor na verificação da análise sísmica da Barragem Ceará devido ao caráter regional dos estudos de informações sísmica.

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

Os cálculos da estabilidade foram realizados sobre a seção de maior altura que fica na estaca 17 e tem 18 m de altura.

As análises efetuadas obedeceram às recomendações da literatura e correspondem as seguintes situações:

- Final de Construção - taludes de montante e jusante;
- Reservatório Cheio com Fluxo Permanente - talude de jusante;
- Rebaixamento Próprio - talude de montante.

A análise da estabilidade sísmica foi efetuada recorrendo-se ao Método de Bishop Simplificado, também implementado automaticamente pelo soft SLOPE/W. Foram analisadas as situações de final de construção e rebaixamento rápido. O coeficiente de sísmico adotado foi de 0,07g, para as duas direções e situações.

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  $R_u$  para obtenção das tensões neutras. 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  $R_u = U/\sigma$ . (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 esteja na presença de materiais saturados de baixa permeabilidade.

Nos materiais utilizados normalmente para construção de barragem o coeficiente  $R_u$  é inferior a 0,20. No caso específico deste projeto adotou-se  $R_u = 0,10$ .

#### b) Definição da Linha Piezométrica

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

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

#### c) Parâmetros de Resistência dos Materiais

Para fazer as análises de estabilidade foi necessário estimar os parâmetros de resistência dos materiais componentes da seção tipo. Sobre os materiais das Jazidas J-01 e J-02 foram realizados ensaios de compressão triaxial do tipo CD consolidado drenado nos poços 16 e 55 da Jazida J-01, 12 e 83 da Jazida J-02. Os parâmetros efetivos obtidos são apresentados na tabela 5.8:

**Tabela 5.8:** Parâmetros Efetivos do Ensaio Triaxial

JAZIDA	FURO	C'(KPa)	$\phi'$ (°)
01	16	7,0	27,3
01	55	0,0	28,2
02	12	0,0	31,4
02	83	14,0	26,8



Examinando os resultados desses ensaios e levando em consideração a pequena representatividade de ensaios realizados, ou seja, dois ensaios por jazida, fez-se uma avaliação geral envolvendo os valores encontrados, as características dos materiais e as indicações de valores de resistência obtidos em materiais semelhantes conforme recomendações do "Bureau of Reclamation". Das conclusões dessa análise, foram estimados os parâmetros de resistência dos solos das Jazidas J-01, J-02, J-03 e J-04.

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.

A Tabela 5.9. mostrada a seguir indica os valores dos parâmetros adotados para a análise da estabilidade da barragem:

**Tabela 5.9:** Parâmetros Geotécnicos

Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kPa)	$\phi$ (graus)	Ru
Riprap	18,0	0,00	38°	0,00
Espaldar	18,5	8,00	27°	0,10
Filtro	18,0	0,00	35°	0,10
Rock-fill	20,0	0,00	38°	0,00
Núcleo	18,5	10,00	27°	0,10
Cutoff	20,2	10,00	27°	0,10
Aluvião	17,0	0,00	28°	0,10
Solo Residual	21,0	0,00	37°	0,10

### 5.9.2. Resultados Obtidos

#### a) Análise da Estabilidade Estática

Os valores dos fatores de segurança obtidos na análise de estabilidade estáticos são mostrados na Tabela 5.10:

**Tabela 5.10** – Análise de Estabilidade – Estática

Simulação	C.S. mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,3	1,444	1,367	1,319
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	1,435	1,326	1,446
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	1,592	1,523	1,517
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante.	1,1	1,143	1,126	1,114

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 na Tabela 5.11:

**Tabela 5.11** – Análise de Estabilidade – Abalo Sísmico

Simulação	C.S. mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,0	1,138	1,074	1,045
Final de Construção – Talude de Jusante	1,0	1,132	1,099	1,144
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,0	1,256	1,216	1,204
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante.	1,0	1,095	1,015	1,022

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



### 5.10. ESTUDOS DE PERCOLAÇÃO PELA BARRAGEM E FUNDAÇÃO

Os estudos de percolação foram realizados com o objetivo principal de avaliar os valores das vazões percoladas pelo corpo da barragem e pela fundação.

Para obtenção dessas vazões foi realizado o seguinte procedimento:

- a) Vazões pelo Maciço: Determinou-se a linha freática associando esta à parábola teórica de KOZENY fazendo as correções de contorno. Foi adotado uma Anisotropia entre a permeabilidade horizontal e vertical igual a 9. Esse valor é recomendado pelo Profº Paulo Cruz, no seu livro 100 Barragens Brasileiras, para maciços terrosos compactados com altura até 20,00m.

Determinou-se a ordenada  $Y_0$  da interseção da linha freática com o filtro vertical e aplicou-se a expressão para determinação da vazão por metro de barragem.

$$Q = \sqrt{k_n + K_v * Y_0}$$

- b) Vazões pela Fundação: Considerou-se que a camada até 10,00m dentro do maciço rochoso da fundação contribui com vazão para o tapete drenante.

Aplicou-se a expressão dada por:

$$Q = \gamma * kf * h$$

onde:

q = vazão em m<sup>3</sup>/s x m

K = permeabilidade da fundação

h = carga hidráulica

$\gamma$  = coeficiente que depende da relação B/Z

B = largura impermeável

Z = camada permeável adotada = 10,00m.



A permeabilidade vertical do maciço foi extraída dos ensaios de permeabilidade realizados nos furos das jazidas J-01 e J-02. Os resultados desses ensaios são mostrados na quadro 5.12 abaixo:

**Quadro 5.12**

JAZIDA - 01		JAZIDA - 02	
FURO	K (cm/s)	FURO	K (cm/s)
09	9,6 E-07	12	1,5 E-06
37	6,6 E-07	16	4,1 E-07
45	5,2 E-07	32	1,7 E-06
55	1,2 E-06	60	9,3 E-07
60	5,8 E-07	74	5,2 E-07
71	6,3 E-07	83	5,3 E-07
83	4,8 E-07	101	4,0 E-07

Adotou-se a permeabilidade vertical do maciço compactado igual a  $8,5 \times 10^{-7}$  cm/s.

Para o maciço rochoso abaixo da barragem adotou-se uma permeabilidade de  $10^{-5}$  cm/s.

Para a areia adotou-se uma permeabilidade de  $9,0 \times 10^{-3}$  cm/s.

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

$$Q_{\text{maciço}} = 9,3 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$Q_{\text{fundação}} = 2,4 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

### 5.11. ANÁLISE DE RECALQUES

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

Dividiu-se o maciço, em sua seção máxima, em lamelas de 2,0m de espessura.

Para cada lamela determinou-se a tensão vertical no meio da camada.

Aplicou-se a expressão dada por:

$$S = \sum_{im1}^N \frac{\sigma_{mi}}{Ei} \Delta H$$



onde:

S	=	Recalque total em m.
$\sigma_{mi}$	=	Tensão vertical no meio de cada lamela, em kgf/cm <sup>2</sup>
$\Delta H_i$	=	Espessura da lamela.
$E_i$	=	Módulo de elasticidade do material da lamela i.

O módulo de elasticidade foi obtido da análise das curvas de Tensão x Deformação, obtidos dos ensaios de compressão triaxial. Para facilidade de determinação, sem que isso implicasse em perda de precisão, optou-se pelo módulo secante.

Outro aspecto considerado foi a variação da pressão de confinamento com a altura da barragem.

Considerando as jazidas J-01, J-03 e J-04, que formarão o maciço e fundação da barragem principal, o peso específico aparente seco máxima obtido do ensaio de compactação encontra-se entre 1,83 e 1,85tf/m<sup>3</sup> e a umidade ótima correspondente entre 10,4 e 13,1%. Observando-se estes valores adotou-se para o peso úmido o valor de 2,11tf/m<sup>3</sup>. Com base no peso úmido foi considerado 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 5.13 - 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 da acima citadas, foram determinados os módulos de elasticidade para uso no cálculo dos recalques. Esses resultados são mostrados a seguir:

**Modulo de Elasticidade**

TENSÃO CONFINANTE (kgf/cm <sup>2</sup> )	MÓDULO DE ELASTICIDADE (Kn/m <sup>2</sup> )
	Jazida-02
1,0	12.000
2,0	16.000
4,0	18.000

Assim sendo:

FATIA PLANO MÉDIO (m)	ESPESSURA (m)	TENSÃO MÉDIA (kN/m <sup>2</sup> )	E (kN/m <sup>2</sup> )	Si (mm)
0,5	1,0	10,55	12.000	0,88
2,0	2,00	42,20	12.000	7.03
4,00	2,00	84,40	12.000	14.07
6,0	2,00	126,60	16.000	15.83
8,0	2,00	168,80	16.000	21.10
10,0	2,00	211,00	16.000	26.37
12,0	2,00	253,20	18.000	28.13
14,0	2,00	295,40	18.000	32.82
16,0	2,00	337,60	18.000	37.51
18,00	2,0	379,80	18.000	42.20

O recalque elástico esperado é de  $S = 225,95$  mm.

Esse rebaixamento do coroamento (22,6 cm) deve ser corrigido antes da colocação do revestimento primário.

**5.12. INSTRUMENTAÇÃO**

O projeto de instrumentação foi desenvolvido com as seguintes finalidades:

Verificar as pressões neutras nas fundações e corpo da barragem;

Verificação dos deslocamentos da barragem;



Verificação do nível d'água no reservatório.

Para verificação das pressões neutra na fundação da barragem e no corpo da barragem foi previsto a instalação de piezômetros tipo Casagrande em duas seções, sendo duas situadas nas estacas 12 e 20. Serão colocados sete piezômetros na primeira seção e seis na segunda.

A verificação do deslocamento da barragem será feito colocando cinco marcos superficiais amarrados a marcos de referência para medidas de deslocamento horizontal e vertical. Os marcos superficiais serão colocados no coroamento da barragem nas estacas 09, 12, 36+10, 41 e 51. Os marcos fixos em número mínimo de três serão escolhidos no campo em locais seguros e indeslocáveis e deverão ser amarrados ao sistema de coordenadas da obra.

A verificação do nível do reservatório será feita colocando-se réguas limnimétricas com 1,0m de comprimento, no padrão adotado pela COGERH.

A primeira régua terá o zero na cota 36,0 m. Está previsto a colocação de dez réguas no talude de montante. As réguas serão colocadas na estaca 20.

No sangradouro foi prevista a colocação de um régua, no muro lateral direito, a partir da crista do muro Creager.

### **5.13. SANGRADOURO**

No eixo implantado em campo reservou-se o local da ombreira direita entre as estacas 72+10 e 78+10 para a edificação do sangradouro.

Foram executadas três sondagens mista SM-4, SM-5 e SM-6, respectivamente nas estacas 71, 74 e 77+10. A sondagem SM-4 apresentou 2,0 m de solo residual e encontrou uma rocha que classificada como Granito muito macio a muito duro, apresentando nos dois primeiros metros uma rocha com RQD=0,0% e altamente intemperizada, sem competência portanto para servir como canal escavado do sangradouro. A rocha mais competente estaria abaixo da cota 41,95. A sondagem SM-5 apresentou 2,81 m de solo residual quando então é encontrada uma rocha granítica muito macia, com RQD variando entre zero e 70% e medianamente intemperizada. A partir da cota 40,70 m a rocha passa a apresentar-se muito dura, com RQD entre 60 e 100% e apenas ligeiramente alterada. A sondagem SM-6 apresentou 3,47 m de solo





residual e em seguida uma rocha granítica, moderadamente dura a muito dura, entre ligeiramente e medianamente alterada, com RQD elevado, principalmente a partir dos 6 m. Pelo grau de intemperismo apresentado pela rocha nesta última sondagem verificou-se que a rocha mais resistente ocorre abaixo da cota 39,80 m.

Foram executados, complementarmente, 2 furos de sondagem a percussão, SP-01 e SP-02.

Examinando os perfis dessas sondagens observa-se que as sondagens mista mostraram, na pior situação, que a rocha de boa qualidade ocorre abaixo da cota 40,0 m. Portanto, projetou-se um muro em perfil Creager com 120 m de extensão, assente na cota 39,50 e com soleira na cota 43,0 m, antecedido por um canal de aproximação escavado na cota 42,00m e prosseguido por um canal de jusante escavado na cota 40,0 m

Com 120,00 m de largura e vazão milenar efluente de 239 m<sup>3</sup>/s a lâmina sobre o muro Creager será 1,0 m.

Lateralmente indicou-se muros de contenção com altura variável de 2 a 6,70 m e extensão de 25,65 m, cada.

No desenho III-2-29/39-000 são apresentados os detalhes, em planta e seções, dos elementos constituintes do sangradouro.

Com essa geometria a escavação total do canal será de 86.731 m<sup>3</sup> sendo 69.821 m<sup>3</sup> em solo e 16.910 m<sup>3</sup> em rocha. Os materiais rochosos da escavação obrigatória deverão ser analisados e destinados a execução do maciço da barragem e barragem auxiliares BA-01 a BA-05. A escavação em solo, após analisado e selecionada, deverá ser empregada na zona jusante do filtro vertical da barragem principal.

#### **5.14. TOMADA D'ÁGUA**

A tomada d'água será implantada na estaca 36+10,00 m. Ela consistirá de um tubo de aço ASTM-36 produzido com chapas de 1/4" no diâmetro de 700mm. A tubulação será envolvida por uma estrutura de concreto armado. A extensão da tubulação é de 52,1 m. O eixo da galeria ficará na cota 36,35 m. O dimensionamento foi feito de forma que na cota 38,50 m, nível do volume de alerta, a galeria retire uma vazão de 0,93 m<sup>3</sup>/s.



A barragem na cota do volume de alerta estará acumulando um volume de 12,21 m<sup>3</sup>, correspondente a 22,7%.

Está previsto a execução de duas caixas, uma de montante que terá uma grade de ferro e local para colocação de chapa stop- log e a outra em jusante que terá três células. A primeira acomodará uma válvula borboleta e um registro de gaveta. A segunda terá um anteparo para dissipar o excesso de energia cinética. A terceira será um tanque tranquilizador que terá na saída um sangradouro triangular para medição de vazão.

As caixas serão construídas em concreto armado.

As peças especiais, válvula borboleta e registro de gaveta, serão todos de fabricação BARBARÁ ou similar com as seguintes referências:

**VÁLVULA BORBOLETA:** válvula com flange série AWWA com diâmetro de 700mm com corpo e disco em FoFo com acionamento manual através de mecanismo de redução através de volante.

**REGISTRO DE GAVETA:** o registro de gaveta será com flanges com cunha de borracha, de corpo longo, com face a face igual ao das válvulas série métrica oval classe PN 10 com diâmetro de 700mm e acionamento do tipo direto.

Os tubos serão de aço ASMT-36 produzidos de chapas de 1/4". Os tubos receberão flanges nos encontros com as peças de ferro fundido.

A galeria será operada normalmente na válvula borboleta ajustando a vazão no medidor de vazão.



MONTGOMERY WATSON



## **6. CANTEIRO DE OBRA**

---



## 6. CANTEIRO DE OBRA

A área destinada ao canteiro de obra está localizada na ombreira direita, entre as barragens auxiliares BA-01 e BA-02, em região definida pela curva de nível 46,0, no lado direito da Br-020 (sentido da quilometragem crescente). A localização da central de britagem foi prevista para a região elevada à montante da ombreira esquerda, para maior proximidade da pedra P-03, conforme indicado no desenho III-2-06/39-000.

O acesso ao canteiro de obras se fará através da estrada asfaltada Br-020

A instalação mínima para o canteiro de obra deverá ser composta dos seguintes elementos:

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



MONTGOMERY WATSON



## **7. CRONOGRAMA FÍSICO**

---



## 7. CRONOGRAMA FÍSICO

Previu-se de acordo com as dimensões das obras da Barragem Ceará 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 7.1.

Considerou-se na concepção do cronograma de construção que as obras de terraplenagem tem seu andamento prejudicado no período chuvoso do ano, devendo, portanto serem 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 d'água;
- c) Execução da barragem;
- d) Execução da drenagem superficial e instrumentação.

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

Período de Janeiro a Maio

- a) Escavação do Sangradouro;
- b) Escavação do Canal da Tomada D'Água;

Período de Junho a Julho

- a) Conclusão do Sangradouro;
- b) Execução da Tomada D'Água;



c) Início do Cut-Off da Barragem;

Período de Agosto a Dezembro

a) Conclusão do Enchimento do Cut-Off;

b) Início e Conclusão da Barragem;

c) Execução do Revestimento do Coroamento;

d) Execução da Drenagem Superficial;

e) Execução da Instrumentação.

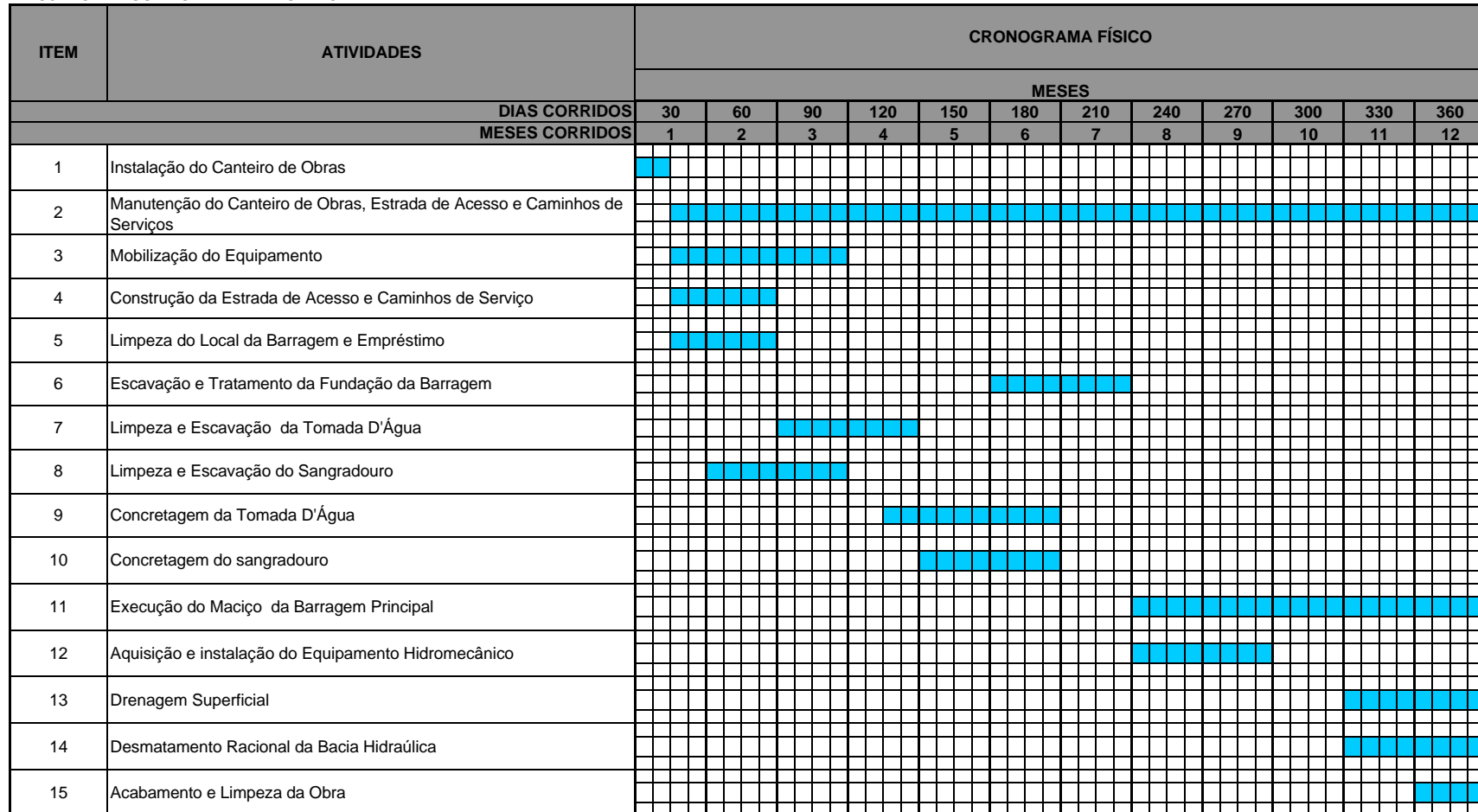
Percebe-se da programação prevista que para a execução dos aterros da barragem (principal e auxiliares) será necessário a movimentação de cerca de 500.000 m<sup>3</sup> de terra em 5 meses ou seja, uma média de 100.000m<sup>3</sup> por mês.



FIGURA 7.1 - CRONOGRAMA FÍSICO

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ - SRH/CE

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM CEARÁ







MONTGOMERY WATSON



## **8. EQUIPAMENTO MÍNIMO**

---



## 8. EQUIPAMENTO MÍNIMO

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

### 8.1 RELAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS MÍNIMO

1.	Trator de esteiras com potência igual ou superior a 270HP	02
2.	Trator de esteiras com Potência igual ou superior a 140HP	02
3.	Trator de pneus com potência igual ou superior a 100HP	03
4.	Carregadeira frontal com potência igual ou superior a 170HP	05
5.	Motoniveladora com Potência igual ou superior a 125HP	03
6.	Caminhão basculante com capacidade igual ou superior a 6m <sup>3</sup>	20
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
19.	Sonda percussiva e amostrador Denison	01
20.	Sistema completo para rebaixamento do lençol freático	01

**Consórcio**

---



**MONTGOMERY WATSON**

