



## **APRESENTAÇÃO**

---

**RW** – ENGENHEIROS CONSULTORES S/C LTDA



*Av. Santos Dumont, 1343 - Sala 906 / Cep: 60.150-160 - Aldeota  
CNPJ 04072015/0001-16 / Fone: (85) 3226.5103 - Fortaleza - Ceará  
[rwconsultores@secrel.com.br](mailto:rwconsultores@secrel.com.br)*

## APRESENTAÇÃO

A RW - Engenheiros Consultores S/C Ltda vem através deste documento apresentar o Projeto Executivo da Barragem Itapajé, em Itapajé. Ceará, objeto da Carta Convite N° 007/2006-AGRIC e do Contrato N°303/2006 celebrado entre esta consultora e a Prefeitura Municipal de Itapajé.

O projeto da citada barragem é apresentada nos seguintes volumes:

### **VOLUME 1 – Relatório do Projeto;**

VOLUME 1A – Estudos Geotécnicos

VOLUME 2 – Desenhos;

VOLUME 3 – Memória de Cálculo;

VOLUME 4 – Orçamento;

VOLUME 5 – Especificações;

VOLUME 6 – Síntese;

VOLUME 7 – Desapropriação.

O presente volume é nomeado como Volume 1 – Relatório do Projeto.





**ÍNDICE**

---

---

**RW** – ENGENHEIROS CONSULTORES S/C LTDA



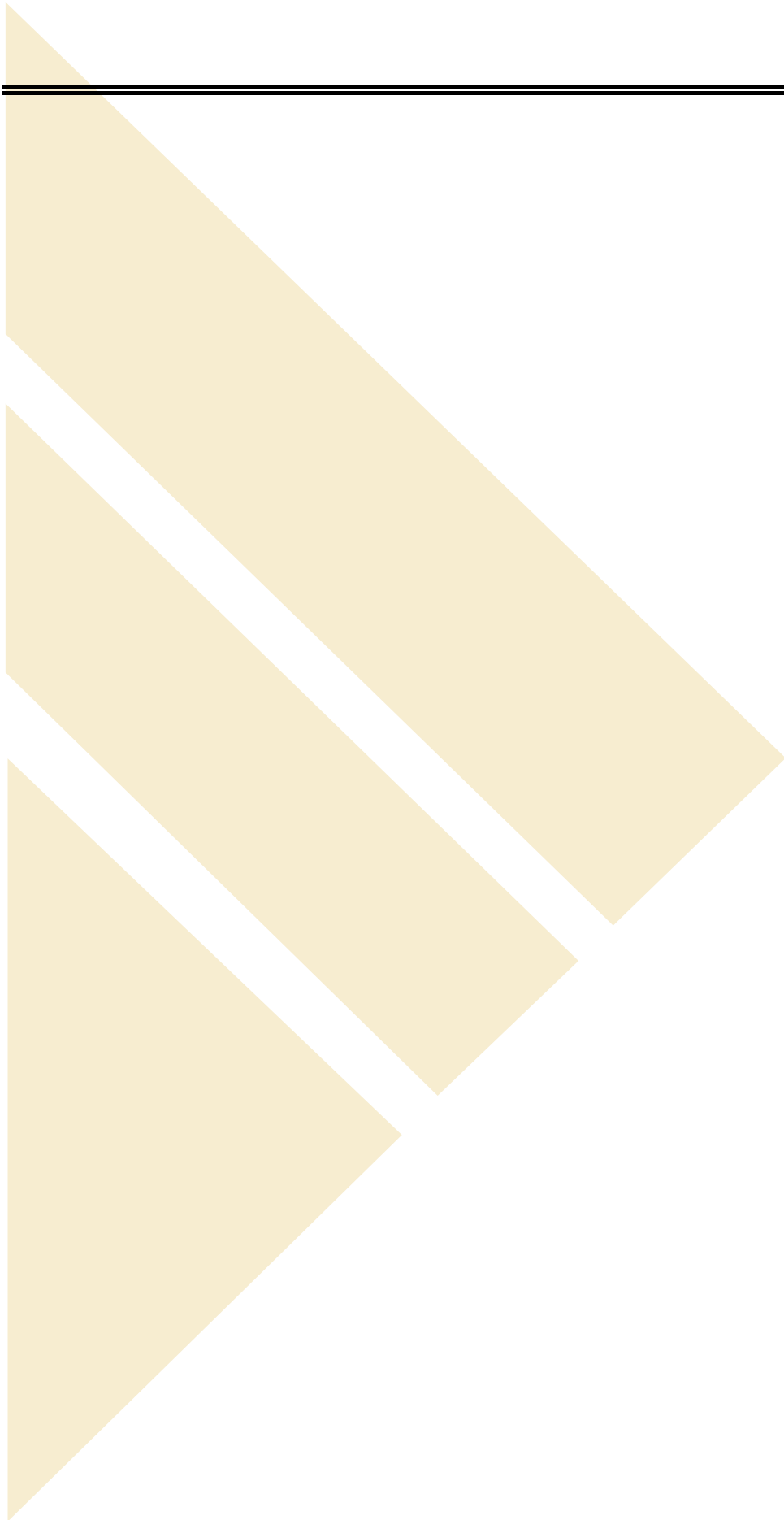
Av. Santos Dumont, 1343 - Sala 906 / Cep: 60.150-160 - Aldeota  
CNPJ 04072015/0001-16 / Fone: (85) 3226.5103 - Fortaleza - Ceará  
[rwconsultores@secrel.com.br](mailto:rwconsultores@secrel.com.br)

## ÍNDICE

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>3</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....</b>	<b>14</b>
<b>3 – ESTUDOS BÁSICOS.....</b>	<b>17</b>
3.1 ESTUDOS TOPOGRÁFICOS.....	18
<b>3.1.1 Cartografia.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1.2 Transportes de Coordenadas.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1.3 Transportes de Cotas.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1.4 Levantamento do Eixo Barrável e Vertedouro.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1.5 Levantamento da Bacia Hidráulica.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.6 Levantamento das Jazidas.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.7 Apresentação dos Estudos Topográficos.....</b>	<b>20</b>
3.2 ESTUDOS GEOLÓGICOS.....	20
<b>3.2.1 Geologia da Bacia Hidráulica.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.2 Caracterização Estrutural.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.3 Metamorfismo.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.4 Geologia Local – Eixo Barrável.....</b>	<b>26</b>

3.3	ESTUDOS GEOTÉCNICOS.....	27
<b>3.3.1</b>	<b>Investigação Geotécnica.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Metodologia Empregada.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Apresentação dos Resultados da Investigação Geotécnica.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Estudos das Ocorrências de Materiais.....</b>	<b>30</b>
3.4	ESTUDOS HIDROLÓGICOS.....	33
<b>3.4.1</b>	<b>Caracterização Física e Morfológica da Bacia Hidrográfica.....</b>	<b>33</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Climatologia.....</b>	<b>36</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Regime Pluviométrico.....</b>	<b>37</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Caracterização de Chuva Sobre a Bacia.....</b>	<b>37</b>
<b>3.4.5</b>	<b>Estudos dos Regimes Médios.....</b>	<b>38</b>
<b>3.4.6</b>	<b>Interferência do Açude já Existente a Montante.....</b>	<b>41</b>
<b>3.4.7</b>	<b>Dimensionamento Hidrológico do Reservatório.....</b>	<b>42</b>
<b>3.4.8</b>	<b>Estudo de Cheias.....</b>	<b>45</b>
<b>4</b>	<b>– PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM.....</b>	<b>51</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA FUNDAÇÃO.....	52
<b>4.1.1</b>	<b>Fundação da Barragem.....</b>	<b>53</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Fundação do Vertedouro.....</b>	<b>62</b>
4.2	REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO.....	63
4.3	GEOMETRIA DA TRINCHEIRA DE FUNDAÇÃO.....	63
4.4	LOCAL DE BOTA-FORA.....	64

4.5	MATERIAIS DE CONSTRUÇÕES.....	64
<b>4.5.1</b>	<b>Materiais Terrosos.....</b>	<b>64</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Materiais Arenosos.....</b>	<b>65</b>
<b>4.5.3</b>	<b>Pedreira.....</b>	<b>65</b>
4.6	MACIÇO DA BARRAGEM.....	65
4.7	VERTEDOURO.....	72
<b>4.7.1</b>	<b>Canal do Vertedouro.....</b>	<b>73</b>
4.8	TOMADA D'ÁGUA.....	74
<b>4.8.1</b>	<b>Canal da Tomada D'Água.....</b>	<b>74</b>
4.9	APRESENTAÇÃO DO PROJETO EXECUTIVO.....	75
<b>5</b>	<b>– EQUIPAMENTO MÍNIMO.....</b>	<b>77</b>
<b>6</b>	<b>– CRONOGRAMA FÍSICO.....</b>	<b>79</b>



---

**RW** – ENGENHEIROS CONSULTORES S/C LTDA



Av. Santos Dumont, 1343 - Sala 906 / Cep: 60.150-160 - Aldeota  
CNPJ 04072015/0001-16 / Fone: (85) 3226.5103 - Fortaleza - Ceará  
[rwconsultores@secrel.com.br](mailto:rwconsultores@secrel.com.br)



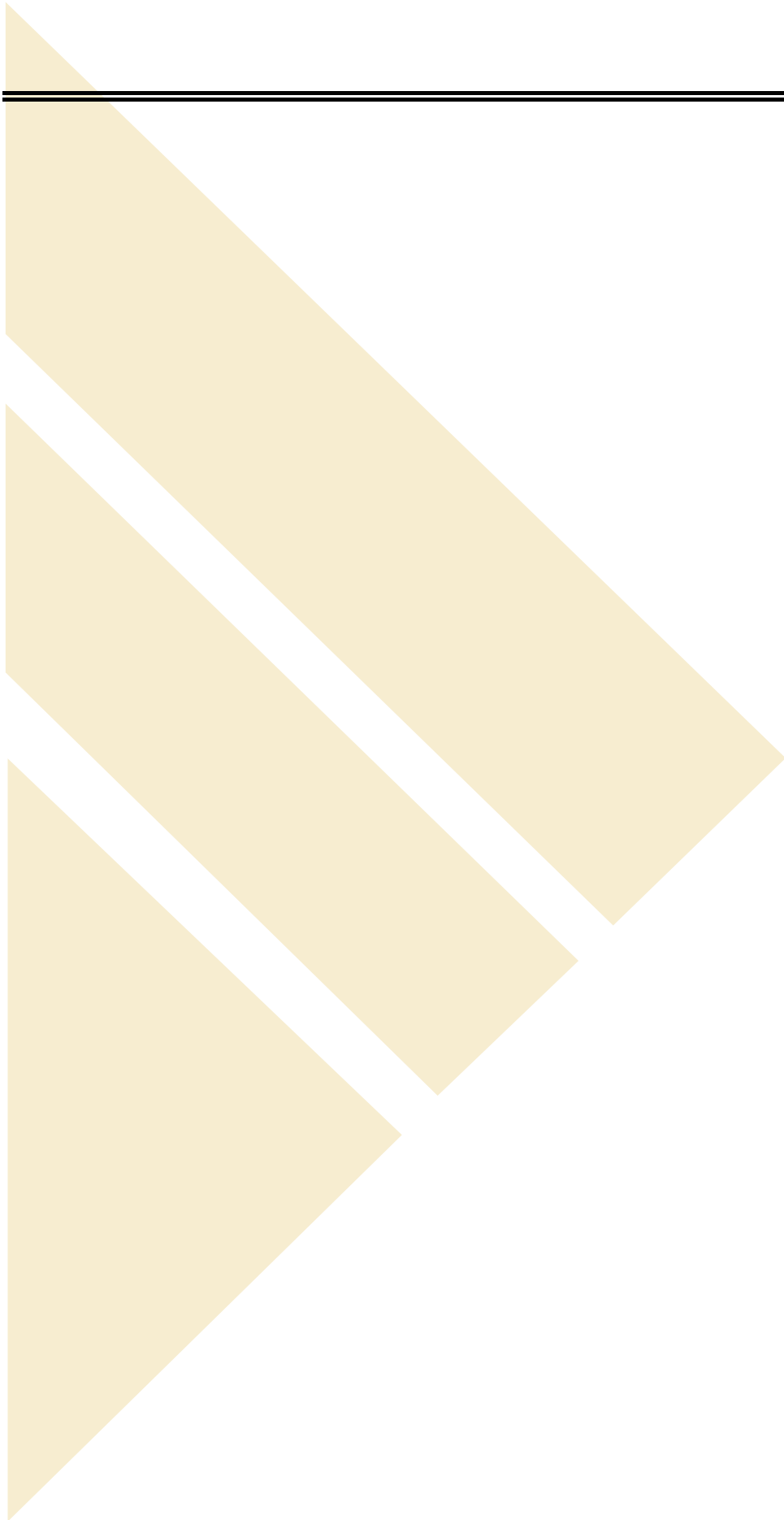
---

**RW** – ENGENHEIROS CONSULTORES S/C LTDA



Av. Santos Dumont, 1343 - Sala 906 / Cep: 60.150-160 - Aldeota  
CNPJ 04072015/0001-16 / Fone: (85) 3226.5103 - Fortaleza - Ceará  
[rwconsultores@secrel.com.br](mailto:rwconsultores@secrel.com.br)





## 1 – INTRODUÇÃO

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

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

O principal objetivo da Barragem Itapajé é o abastecimento d'água da sede do município. A formação do reservatório da Barragem Itapajé também servirá a outros usos múltiplos tais como, a irrigação, a piscicultura e ao lazer.

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

### FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM ITAPAJÉ

#### Identificação

Denominação: .....Barragem Itapajé

Estado: .....Ceará

Município: .....Itapajé



Coordenadas UTM (SAD-69): .....E(X)=436.191,4315; N(Y)=9.593.849,4704

Sub-bacia: .....Rio Caxitoré

Bacia: .....Rio Curu

Rio Barrado: .....Riacho Escorado

Proprietário: .....Prefeitura Municipal de Itapajé

Autor do Projeto: .....RW Consultores

Data do Projeto: .....Setembro/2006

### **Bacia Hidrográfica**

Área: .....26,60km<sup>2</sup>

Precipitação média anual: .....801,4mm

Maior Concentração: .....Fevereiro a Maio

Menor Precipitação: .....Agosto a Novembro

Maior Precipitação: .....Fevereiro a Abril ou Março a Maio

Lâmina evaporada.....1,07m

Temperatura Média Anual: .....26,6°C

Umidade Relativa do Ar Anual: .....68%

### **Características do Reservatório**

Área da bacia hidráulica (cota 278,00m): .....62,31ha

Volume acumulado (cota 278,00m): .....4,85hm<sup>3</sup>

Volume afluyente médio anual: .....2,79hm<sup>3</sup>



Deflúvio médio anual: .....	104,96mm
Volume morto do reservatório (cota 266,00m): .....	0,28hm <sup>3</sup>
Vazão regularizada: .....	0,100m <sup>3</sup> /s
Vazão afluyente máxima de projeto:.....	177,70m <sup>3</sup> /s
Vazão máxima de projeto amortecida:.....	161,71m <sup>3</sup> /s
Nível d'água máximo normal: .....	278,00m
Nível d' água máximo maximorum:.....	279,94m

### **Barragem**

Tipo: .....	Homôgenea de Solo
Altura máxima: .....	19,70m
Largura do coroamento: .....	6,00m
Extensão pelo coroamento:	
Trecho 1: .....	238,10m
Trecho 2: .....	350,65m
Cota do coroamento: .....	281,50m
Talude de montante: .....	1,0 v: 2,5 h
Talude de jusante: .....	1,0 v: 2,0h

### **Tomada de água**

Tipo: .....	Tubo flangeado envelopado em galeria de concreto
Localização: .....	Estaca 9+00



Número de condutos: ..... 1 (um)

Diâmetro: ..... 350mm

Comprimento do conduto: ..... 89,95m

Cota do eixo da tubulação: ..... 265,00m

Cota da geratriz inferior a montante: ..... 264,825m

Cota de geratriz inferior à jusante: ..... 264,825m

Controle de Montante:

Comporta stop-log: ..... 0,50m x 1,00m

By-Pass: ..... Registro de gaveta com flange e com volante  $\phi$ 80mm

Controle de Jusante:

Registro gaveta oval com flange e com volante: .....  $\phi$ 350mm

Válvula borboleta flange AWWA-CE Posição 1: .....  $\phi$ 350mm

### **Vertedouro**

Tipo: ..... Perfil Creager

Largura: ..... 30,00m

Extensão do canal em estrutura de concreto: ..... 240,00m

Vazão máxima: ..... 177,70m<sup>3</sup>/s

Lâmina máxima: ..... 1,94m

Cota da ogiva: ..... 278,00m

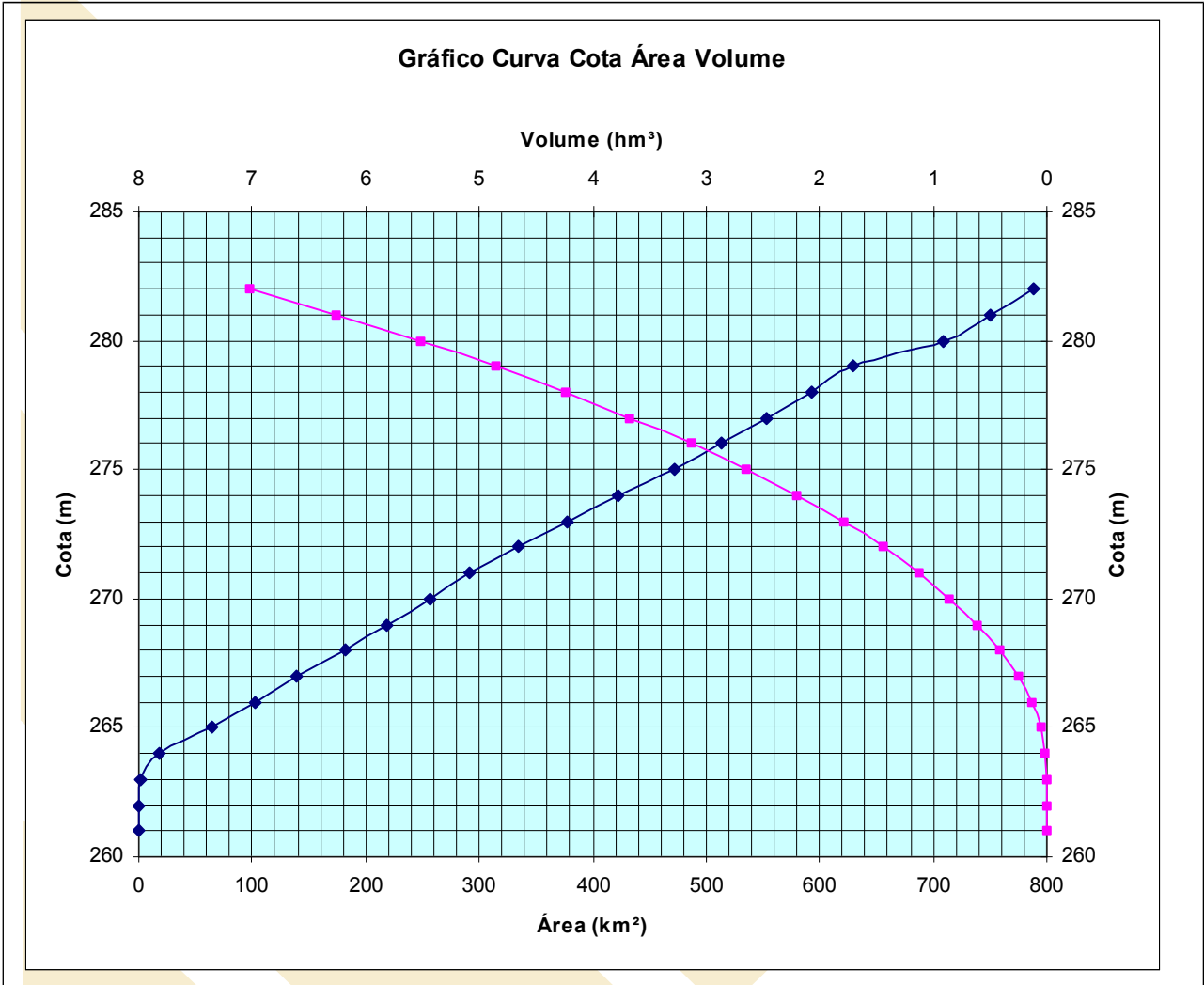
Cota do canal de aproximação: ..... 275,00m

Cota do canal no redente de jusante: .....271,49m

A curva Cota x Área x Volume é mostrada no Gráfico 1.1, enquanto no Quadro N° 1.1 é apresentado a tabulação dos dados da curva.

<b>Quadro N°2.1: Curva Cota x Área x Volume</b>		
<b>Cota</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume Acumulado (m<sup>3</sup>)</b>
261,0	0,00	0,00
262,0	212,12	106,06
263,0	1.875,09	1.149,67
264,0	17.725,47	10.949,95
265,0	64.187,50	51.906,43
266,0	102.179,75	135.090,06
267,0	138.888,76	255.624,31
268,0	181.483,66	415.810,52
269,0	218.472,90	615.788,80
270,0	256.325,02	853.187,76
271,0	292.327,98	1.127.514,26
272,0	333.867,22	1.440.611,86
273,0	378.047,40	1.796.569,17
274,0	423.091,09	2.197.138,42
275,0	471.309,93	2.644.338,93
276,0	513.105,92	3.136.546,85
277,0	553.826,42	3.670.013,02
278,0	592.681,67	4.243.267,07
279,0	628.728,50	4.853.972,15
280,0	709.281,43	5.522.977,12
281,0	750.614,63	6.252.925,15
282,0	788.905,25	7.022.685,09





## 2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO

---

**RW** – ENGENHEIROS CONSULTORES S/C LTDA

Av. Santos Dumont, 1343 - Sala 906 / Cep: 60.150-160 - Aldeota  
CNPJ 04072015/0001-16 / Fone: (85) 3226.5103 - Fortaleza - Ceará  
[rwconsultores@secrel.com.br](mailto:rwconsultores@secrel.com.br)





## 2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O município de Itapajé está localizado na região nordeste do Ceará, microrregião de Uruburetama. O acesso à cidade é feito pela rodovia federal BR-222. O município de Itapajé dista aproximadamente 124km da capital Fortaleza.

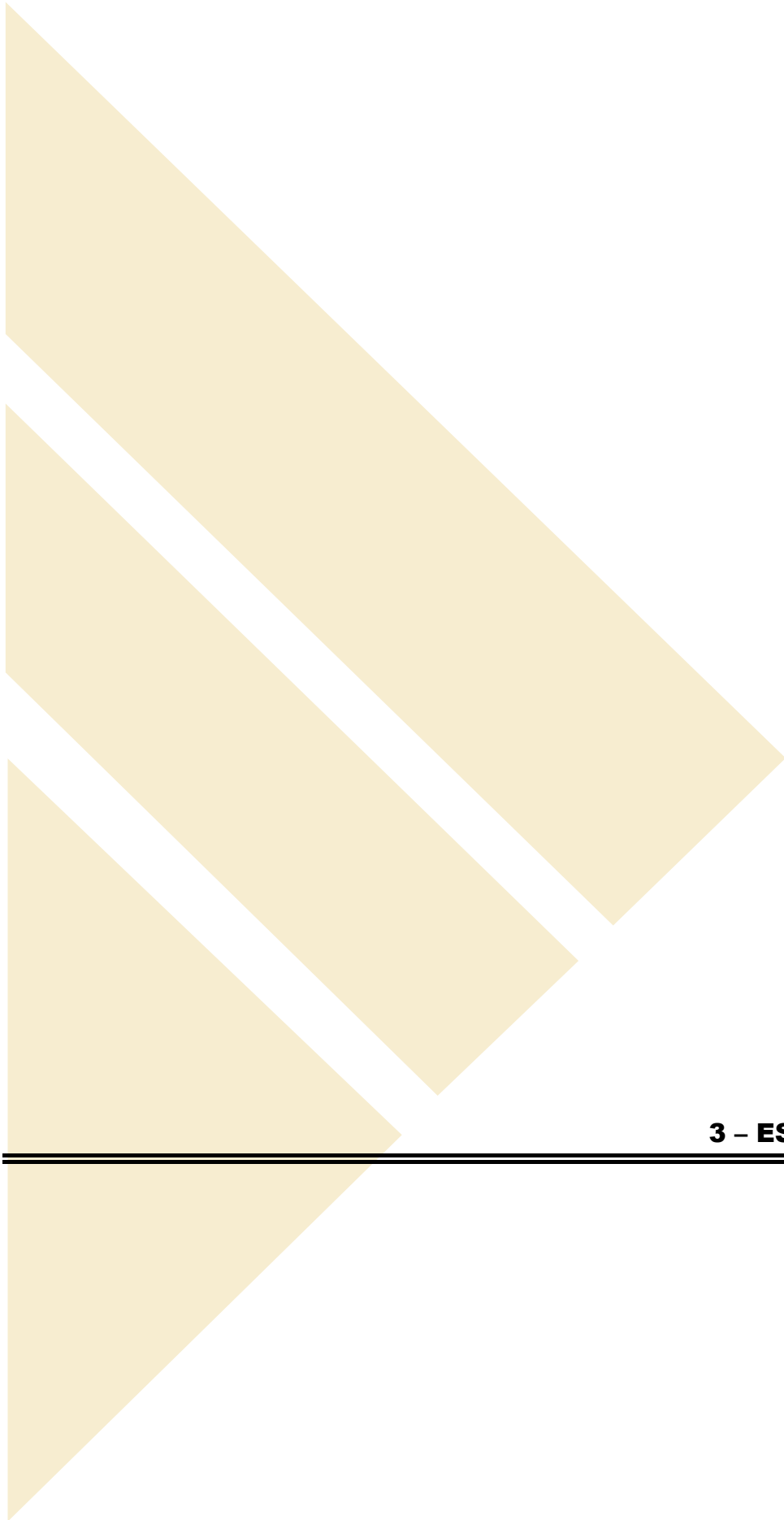
Itapajé limita-se geograficamente da seguinte forma: ao norte com Itapipoca e Uruburetama; ao sul com Tejuçuoca e Irauçuba; a leste com Pentecoste, Tejuçuoca, Apuiarés, Uruburetama e Umirim e a oeste com Irauçuba. O município de Itapajé possui uma área de 399km<sup>2</sup> e tem as seguintes coordenadas geográficas: latitude 3°41'12"S e longitude 39°35'10"W.

A Barragem Itapajé interceptará o Riacho Escorado, afluente do Rio Itapajé, na localidade do Sítio Ipú. Na Figura N° 2.1 é mostrado a localização e acesso da Barragem Itapajé.



## Figura Nº 2.1: Localização e Acesso





### **3 – ESTUDOS BÁSICOS**

---

**RW** – ENGENHEIROS CONSULTORES S/C LTDA



Av. Santos Dumont, 1343 - Sala 906 / Cep: 60.150-160 - Aldeota  
CNPJ 04072015/0001-16 / Fone: (85) 3226.5103 - Fortaleza - Ceará  
[rwconsultores@secrel.com.br](mailto:rwconsultores@secrel.com.br)

### 3 – ESTUDOS BÁSICOS

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

#### 1.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Os trabalhos de topografia abrangeram os seguintes serviços:

- Cartografia;
- Transporte de coordenadas;
- Transporte de cotas;
- Levantamento do eixo barrável e do vertedouro;
- Levantamento da bacia hidráulica;
- Levantamento de empréstimos.

##### 3.1.1 Cartografia

Os estudos cartográficos foram desenvolvidos basicamente a partir de cartas da SUDENE, na escala de 1:100.000 e com curvas de nível a cada 40m. Sobre a base cartográfica foi definida a localização do barramento e delimitada a área da bacia hidrográfica da barragem.

##### 3.1.2 Transportes de Coordenadas

Foram utilizados como ponto de partida, marcos geodésicos do IBGE existentes na área em estudo. Foram implantados oito marcos topográficos, que serviram de origem para o traçado da malha de coordenadas necessárias à elaboração das plantas topográficas. O Quadro N°3.1, a seguir, apresenta as características dos marcos implantados. As medições foram feitas com GPS (Sistema de Posicionamento Global) Trimble 4600LS, de uma frequência com duração de rastreamento de 1 hora.



<b>Quadro Nº3.1: Marcos Implantados na Barragem Itapajé</b>			
<b>Marco Nº</b>	<b>Estaca</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	
		<b>Este (X)</b>	<b>Norte (Y)</b>
M-100	0+0,00	436.191,4315	9.593,849,4704
M-101	12+4,183	436.018,4980	9.594.021,8240
M-200	22+5,832	436.035,9280	9.594.222,7180
M-105	30+1,280	435.987,6100	9.594.370,4660
M-106	32+13,572	435.987,6100	9.594.370,4660
M-107	40+3,694	435.970,1510	9.594.559,7220
M-2	0+13,277	436.231,0000	9.593.908,0000
M-0	24+10,302	436.068,0000	9.594.280,0000

**OBS.:** Coordenadas UTM no sistema SAD-69.

### 3.1.3 Transportes de Cotas

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

A poligonal de contra-nivelamento foi levantada após a execução da poligonal de nivelamento.

### 3.1.4 Levantamento do Eixo Barrável e Vertedouro

O levantamento do eixo barrável foi executado com uma abrangência numa faixa de domínio de 200 metros à montante e 200 metros à jusante do referido eixo. Foram levantadas seções transversais ao eixo, com pontos cotados a cada 20 metros, de acordo com a faixa de domínio recomendada.

Os levantamentos dos eixos longitudinal e transversal do vertedouro seguiram a sistemática descrita anteriormente, sendo que as seções tiveram seus levantamentos prolongados à montante, até a cota fixada para soleira, e à jusante, até encontrarem o leito do rio. Para distâncias maiores, o levantamento até o leito do rio foi feito

acompanhando o canal de sangria, através de poligonais seccionadas a cada 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros.

Utilizando-se um teodolito Wild T-1A, nº 156.024, locou-se o eixo da barragem e vertedouro, os quais foram materializados a cada 20 metros por pontos estaqueados, numerados e cotados, podendo ser encontradas estacas intermediárias indicando elementos importantes, tais como: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno, etc.

### 3.1.5 Levantamento da Bacia Hidráulica

O estudo topográfico da bacia hidráulica foi realizado por topografia tradicional, a qual constituiu na implantação de uma linha poligonal na calha do rio, com levantamento de seções transversais.

### 3.1.6 Levantamento das Jazidas

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

### 3.1.7 Apresentação dos Estudos Topográficos

No Volume 2 – Desenhos são apresentados os desenhos relativos aos estudos topográficos da bacia hidráulica, do boqueirão e do vertedouro e das áreas de empréstimos.

## 1.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS

Os estudos geológicos foram realizados através de bibliografias correlatas à área em questão, utilizando-se uma escala regional, para uma visão mais ampla das características geológicas da região. Em seguida, os estudos foram realizados em escala localizada, possibilitando uma melhor definição das litologias e suas respectivas estruturas, que constaram as seguintes etapas de trabalho:



- Levantamento bibliográfico dos principais trabalhos geológicos desenvolvidos na região;
- Mapeamento geológico do eixo barrável e vertedouro através de caminhamentos ao longo do eixo locado e nas seções transversais a cada 20 metros, abrangendo uma faixa de 200 metros, sendo 100 metros para cada lado;
- Mapeamento geológico da bacia hidráulica através de reconhecimento através das estradas de acesso, apresentado no Volume 1A;
- Elaboração dos mapas geológicos da bacia hidráulica e eixo barrável, nas escalas de 1:10.000 e 1:2.000 respectivamente, apresentado no Volume 1A.

Os estudos geológicos de superfície constaram de um mapeamento detalhado do sítio barrável, executado através de caminhamentos ao longo do eixo, no sentido margem direita para margem esquerda, utilizando como instrumentos, uma bússola, martelo geológico, lupa, trena e caderneta de campo para anotações. Foram coletadas algumas amostras de rochas para dirimir eventuais dúvidas, sobre os locais de fraturamento e afloramentos de rochas.

### 3.1.8 Geologia da Bacia Hidráulica

O esboço geológico regional compreende basicamente um complexo de rochas Pré-Cambrianas indiferenciadas estratigraficamente, pertencentes ao Complexo Tamboril/Santa Quitéria (PÍtsq) com tipo litológico predominante de migmatitos gnaisses diversos, envolvendo núcleos granitóides, geralmente porfiroblásticos.

A área exibe nos relevos elevados, corpos de granitóides de composição granítica a granodiorítica, dioritos e granitos diversificados, de textura grosseira e porfiróides, que datam do Proterozóico Superior (PSy), com ocorrência na parte norte e nordeste da bacia hidráulica.

Nos quadrantes leste e sul da bacia, ocorrem litologias do tipo PI(B) constituídos por migmatitos diversos, encerrando corpos de metacalcários, anfibolitos, metabasitos, rochas calcissilicáticas, quartzitos e metaultrabasitos subordinados.

Este complexo litológico está limitado ao norte, pelos sedimentos costeiros e inconsolidados do Terciário, pertencentes ao Grupo Barreiras - (TQbi) e aluviões Quaternários (QHa).

Os sedimentos aluviais do holoceno (QHa), areias quartzosas e areias argilosas, ocorrem em pequenas faixas ao longo dos eixos de drenagem dos rios e riachos locais, por vezes formando bancos de areia.

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

#### ***Pré-Camcriano indiferenciado estratigraficamente - PI (B)***

É constituída por uma associação complexa de migmatitos e gnaisses diversos, encerrando jazimentos subordinados de corpos metacalcários, anfibolitos, rochas calciosilicáticas e quartzitos.

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

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



### **Complexo Tamboril/Santa Quitéria (Pítsq)**

Morfologicamente, comporta-se como uma região serrana, onde a rede hidrográfica instalou-se segundo as direções de fraturamento. Do ponto de vista tectônico, caracteriza-se por apresentar estrutura de “domo gnaiss-granítico, também chamados de “domos gnáissicos manteados e ainda de “domos migmatíticos, constituídos de litologias altamente homogeneizadas, migmatíticas e culminações graníticas, cuja formação é atribuída a movimentos diapíricos de massas, resultantes de reomorfismo de substrato gnáissico supracrustal, em nível mais profundo que aqueles das rochas regionais.

Os maciços dômicos apresentam litologias amplamente foliadas na periferia, desde gnaisses e gnaisses migmatizados, até migmatitos metatexíticos passando mais para o interior, a migmatitos diatexíticos e núcleos granitóides nas porções centrais.. A passagem de uma fácies para outra se faz gradualmente, com a perda gradativa da foliação dos gnaisses e migmatitos gnáissicos, para estruturas de fluxo e difusas dos migmatitos diatexíticos, que propiciam a formação de rochas de composição próxima dos granitos.

Os gnaisses e migmatitos metatexíticos são de cor cinza-clara e granulação média a grossa, com foliação bem distinta. Às vezes são bandeados e eventualmente pegmatóides. Os núcleos anatóicos apresentam textura xenomorfa-granular e são constituídos de microclina em cristais disformes com intercrescimento perítico, plagioclásios em cristais irregulares. Os granitóides formam corpos mais ou menos individualizados, em geral subcirculares ou grosseiramente elípticos, com dimensões consideráveis. O posicionamento estrutural dos maciços graníticos indica uma afinidade com as zonas apicais do processo de granitização das rochas altamente migmatizadas. Comumente os granitóides são de cor cinza-clara, podendo ocorrer os tipos mais escuros e róseos. A granulação varia de média a grossa, até os tipos granulares e porfiróides.

São freqüentes nestas litologias granitizadas, enclaves de natureza, classificação e dimensões diversas, podendo ser gnaissica-migmatítica ou diorítica.



### **Grupo Barreiras Indiviso – TQbi**

Litologicamente se caracteriza por arenitos argilosos de coloração variegada em tons avermelhados, amarelados e esverdeados, com matriz argilo-caulínica, com cimento argiloso, granulação fina à média, com leitos conglomeráticos e por vezes, nódulos lateríticos na base. No topo podem ser encontrados, areias sílicas bem classificadas. Apresentam estruturas de estratificação cruzada e discreta estratificação plano-paralela/fluvial.

### **Coberturas Sedimentares – TQc**

As coberturas sedimentares de espriamento aluvial incluem os capeamentos de planalto de coluviões holocênicas. São sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos, de tom creme, de granulometria fina a média, ocasionalmente mais grosseira, inconsolidado onde localmente apresentam cascalhos laterizados na base, a matriz é areno-argilosa caulínica e o cimento é argilo-ferruginoso. Apresentam-se sob a forma de pequenas mesetas com bordas dissecadas e contorno irregular, com topografia suave, representando uma pequena elevação em relação ao substrato rochoso. De uma maneira geral, predomina uma seqüência clástica grosseira, do topo para a base, iniciando com um capeamento de solos arenosos, inconsolidados, esbranquiçados à creme, mal selecionados.

### **Aluviões – QHa**

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

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



### 3.1.9 Caracterização Estrutural

A bacia hidrográfica da Barragem Itapajé está localizada em zona de domínio de rochas do Pré-Cambriano Indiferenciado, que sofre um controle estrutural ao longo dos seus eixos de drenagem, através de zonas de falhas indiscriminadas (segundo carta geológica da CPRM – Projeto Radam Brasil), com direção preferencial NE/SW.

Observou-se a ocorrência de falhamentos com menor representatividade, no lado sul da bacia, observadas no corte da estrada que liga Itapage à Santa Luzia. Os falhamentos regionais são em geral, indiscriminados e justificam o controle da drenagem dentrítica retangular, com intensos traços de fraturas, expresas na grã topográfica, através de deflexões abruptas dos eixos de drenagens dos rios e riachos.

### 3.1.10 Metamorfismo

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

Nestes corpos observa-se uma forte lineação marginal que forma a região transicional entre os domos gnaiss-migmatítico-granítico e as rochas circundantes, cujos elementos planares vão sendo diluídos da periferia para o núcleo. Nas porções centrais destes corpos, são encontradas rochas graníticas, no lato sensu, cuja formação é derivada da culminação dos processos anatéticos.

Pequenos traços de fraturas, distribuídos com maior intensidade na direção NW/SE denunciam o controle da drenagem.

### 3.1.11 Geologia Local – Eixo Barrável

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

A geologia do sítio da Barragem Itapajé, principalmente em seu eixo, apresenta uma situação geológica característica da região, pois a área situa-se sobre rochas metamórficas do tipo gnaisse e migmatitos diversos, encerrando corpos granitóides (PÍtsq).

No sítio do barramento, na área que corresponde às ombreiras ou zonas mais elevadas, verificou-se um capeamento de solo residual (TQc), constituído de argila siltosa, com pedregulho, coloração creme e amarela à cinza variegada, a profundidades que variam de 1,00m a 3,00 m. Logo abaixo desta camada de solo argiloso, encontra-se uma espessa camada de silte arenoso, micáceo, compacto a muito compacto, de coloração amarela e cinza-clara, chegando a encerrar solo residual a profundidades de 9,00 m. Esta situação é observada principalmente nas ombreiras da barragem, e área do vertedouro, onde aos afloramentos rochosos são inexistentes. No restante do eixo, principalmente no vale do riacho Escorado, observou-se a ocorrência de silte arenoso, micáceo, com pedregulhos, compacta à muito compacta e de cor cinza-clara à escura e amarela. Nas áreas onde estão localizadas as calhas do rio escorado e braço, ocorre areia siltosa com pedregulhos, fofa à compacta, de coloração cinza-clara à creme e apresentam pequena espessura.

Abaixo da camada de solo residual encontra-se rocha gnáissica-granítica, descritas e classificadas pelas sondagens como sendo um gnaisse-granítico, de coloração cinza claro e escuro, com granulação variando de média à grosseira e por vezes porfiroblástica.



Estas ocorrências rochosas apresentam características pouco resistentes aos processos de decomposição e não apresentam afloramentos ao longo do eixo barrável. Entretanto, foram verificadas ocorrências de grandes blocos de rocha granítica, apresentadas em forma de blocos soltos e embricados, provenientes dos “domos graníticos” das serras circunvizinhas. Foram evidenciadas ocorrências de gnaiss-granítico à montante do eixo, próximo à bifurcação do rio Escorado e braço, onde apresentou resquícios dos traços de foliação do gnaiss e textura granítica. A passagem de uma fácies para outra se faz gradualmente, com a perda gradativa da foliação dos gnaisses e migmatitos gnaíssicos, para estruturas de fluxo e difusas dos migmatitos diatexíticos, que propiciam a formação de rochas de composição próxima dos granitos.

Na parte baixa dos boqueirões, nas margens do riacho Escorado e braço, estão restritos os sedimentos aluviais representativos no local do sítio barrável, sob a forma de solos silto-arenosos do período Terciário, pouco elevadas, e estendem-se por toda a extensão do rio e braço, desenvolvendo planícies aluviais (várzeas) sujeitas a inundações, e em particular na calha principal do rio estão os depósitos de aluviões recentes, do período Quaternário, em forma de pequenos e médios bancos de areias bem graduadas, de cor creme e com granulometria de média a grossa (aluvião), com pedregulho, e sua ocorrência se dá em quantidades pouco consideráveis.

### 1.3 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS

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

#### 3.1.12 Investigação Geotécnica

As sondagens realizadas na Barragem Itapajé foram executadas no eixo barrável e no vertedouro, as quais estão relacionadas nos Quadros N°3.2 e 3.3. No Volume 2 – Desenhos é mostrada a planta de locação dos furos de sondagem.

<b>Quadro N°3.2: Sondagens Realizados em Junho/2002</b>		
<b>Sondagem N°</b>	<b>Estaca</b>	<b>Local</b>
SP-01	03	Eixo Barrável

<b>Quadro Nº3.2: Sondagens Realizados em Junho/2002</b>		
<b>Sondagem Nº</b>	<b>Estaca</b>	<b>Local</b>
SM-02	6+10	Eixo Barrável
SP-03	10	Eixo Barrável
SP-04	24	Eixo Barrável
SP-05	26	Eixo Barrável
SP-06	28	Eixo Barrável
SP-07	30	Eixo Barrável
SM-08	37	Eixo Vrtedouro
SM-09	40	LE – Eixo Vertedouro
SPP-01	06	LE – Eixo Barrável
SPP-02	08	LD – Eixo Barrável
SPP-03	24	LE – Eixo Barrável
SPP-04	26	LD – Eixo Barrável

<b>Quadro Nº3.3: Sondagens Realizados em Agosto/2006</b>		
<b>Sondagem Nº</b>	<b>Estaca</b>	<b>Local</b>
SP-101	05	Eixo Barrável
SP-102	07	Eixo Barrável
SP-103	09	Eixo Barrável
SP-104	25	Eixo Barrável
SP-105	27	Eixo Barrável
SP-106	29	Eixo Barrável
SM-201	39	Eixo Barrável
SM-202	07	Eixo Vrtedouro
SM-203	07	LE – Eixo Vertedouro
SM-204	16	Eixo Vertedouro



### 3.1.13 Metodologia Empregada

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

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

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

### 3.1.14 Apresentação dos Resultados da Investigação Geotécnica

A locação dos furos de sondagem é apresentada no Volume 2 – Desenhos.

Os resultados das investigações geotécnicas são apresentados no Volume 1A – Estudos Geotécnicos, sob a forma de perfis individuais.

A partir dos boletins de sondagem elaborou-se o perfil geotécnico das camadas do subsolo, mostrado no Volume 2 – Desenhos.



### 3.1.15 Estudos das Ocorrências de Materiais

Como fonte de materiais para construção foram identificadas quatro jazidas de solo, denominadas de J-01, J-02, J-03 e J-04, um areal denominado de A-01 e uma pedreira, denominada de P-01. No Volume 2 – Desenhos é mostrada a locação de todas as ocorrências.

#### 3.3.5.1 Jazida

As jazidas de solo terroso estudadas são denominadas J-01, J-02, J-03 e J-04. No Quadro N°3.4 são mostradas as características desta ocorrência.

<b>Quadro N°3.4: Característica da Jazida</b>				
<b>Característica</b>	<b>J-01</b>	<b>J-02</b>	<b>J-03</b>	<b>J-04</b>
Material	Silte areno argiloso cor amarelada	Silte areno argiloso	Silte areno argiloso	Silte areno argiloso
Utilização	Maciço	Maciço	Maciço	Maciço
Distância Ao Eixo	150,00m	150,00m	100,00m	300,00m
Área Utilizável	50.000,00 m <sup>2</sup>	105.000,00m <sup>2</sup>	20.000,00m <sup>2</sup>	105.000,00m <sup>2</sup>
Volume Utilizável	100.000,00m <sup>3</sup>	157.500,00m <sup>3</sup>	20.000,00m <sup>3</sup>	157.500,00m <sup>3</sup>
Espessura Média Útil	2,00m	1,50m	1,00m	1,50m
Expurgo	0,10m	0,10m	0,10m	0,10m
Vegetação	Mata Rala	Mata Rala	Mata Rala	Mata Rala
Proprietário	Clovis Gomes Pereira / Expedito Matos	Clovis Gomes Pereira	Clovis Gomes Pereira / Expedito Matos	-
Benfeitoria	-	-	-	-
Malha	-	-	-	-

No local da área estudada para essa jazida foram abertos poços a pá e picareta. Para análise da qualidade desses materiais foram coletadas amostras para serem realizados os seguintes ensaios:

- Granulometria (por Peneiramento);



- Limite de Liquidez;
- Limite de Plasticidade;
- Compactação.

Os resultados desses ensaios são mostrados no Quadro N°3.5.

Quadro N°3.5: Ensaio de Laboratório – Ocorrências de Solo											
Ocorrência	Granulometria (% que passa)					Plasticidade (%)			Compactação		USC
	3/8"	N.4	N.10	N.40	N.200	LL	LP	IP	Hót (%)	Dmáx (g/cm³)	
J-01	100	98	92	70	51	35	23	12	11,8	1,892	CL
J-02	100	100	98	77	55	34	21,4	12	15,3	1,828	CL
J-03	100	98	91	71	56	32	15,5	12	15,0	1,870	CL
J-04	100	97	91	71	53	34	22,5	11	13,1	1,865	CL

Usando o gráfico de plasticidade verifica-se que os solos das ocorrências terrosas, são classificados como “CL” (argila de baixa compressibilidade). Segundo SHERARD os solos tipo “CL” quando compactados com umidade próxima da ótima e com controle de execução, apresentam as seguintes propriedades:

#### **SOLOS CL**

- São impermeáveis;
- Tem alta resistência ao piping;
- Tem média resistência ao cisalhamento;
- Apresentam de boa a suficiente trabalhabilidade.

Conclui-se que os materiais escolhidos para construção da barragem são adequados e existem em quantidades suficientes.

### 3.3.5.2 Areal

Foi identificado um areal para a construção da barragem, denominados de A-01. No Volume 2 – Desenhos é apresentada a localização do areal. No Quadro N°3.6 são mostradas as características desta ocorrência:

<b>Quadro N°3.6: Características do Areal</b>	
<b>Característica</b>	<b>Areal</b>
Material	Areia Grossa
Utilização	Filtro, Concreto, Transição
Distância Ao Eixo	-
Área Utilizável	20.000,00 m <sup>2</sup>
Volume Utilizável	30.000,00m <sup>3</sup>
Espessura Média Útil	1,50m
Expurgo	0,10m
Vegetação	Nenhuma
Proprietário	-
Benfeitoria	-
Malha	-

Para o areal foram realizados em laboratório, ensaios geotécnicos de granulometria por peneiramento, cujos valores médios são apresentados no Quadro N°3.7 a seguir.

<b>Quadro N°3.7: Ensaios de Laboratório – Ocorrências de Areia</b>											
<b>Ocorrência</b>	<b>Granulometria (% que passa)</b>					<b>Plasticidade (%)</b>			<b>Compactação</b>		<b>USC</b>
	<b>3/8"</b>	<b>N.4</b>	<b>N.10</b>	<b>N.40</b>	<b>N.200</b>	<b>LL</b>	<b>LP</b>	<b>IP</b>	<b>Hót (%)</b>	<b>Dmáx (g/cm<sup>3</sup>)</b>	
Areal	100	92	78	19	0	-	-	-	-	-	SP

### 3.3.5.3 Pedreira

Foi identificada uma pedreira para a construção da barragem, denominada de P-01. No Volume 2 – Desenhos é apresentado a localização da pedreira.

No Quadro N°3.8 é apresentado a característica da pedreira.

<b>Quadro N°3.8: Características do Areal</b>	
<b>Característica</b>	<b>Areal</b>
Material	Gnaisse
Utilização	Concreto, Enrocamento, Transição
Distância Ao Eixo	150,00m
Área Utilizável	15.000,00 m <sup>2</sup>
Volume Utilizável	30.000,00m <sup>3</sup>
Espessura Média Útil	2,00m
Expurgo	0,10m
Vegetação	Mata Rala
Proprietário	Expedito Matos
Benfeitoria	-
Malha	-

#### 1.4 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

O presente estudo tem por objetivo a caracterização física e climatológica da bacia hidrográfica da Barragem Itapajé e ainda proporcionar o conhecimento do regime hidrológico do Riacho Escorado, com vistas aos dimensionamentos da capacidade de acumulação e do vertedouro da barragem.

##### 3.1.16 Caracterização Física e Morfológica da Bacia Hidrográfica

O boqueirão de Itapajé, localiza-se no Riacho Escorado nas coordenadas geográficas 3° 40'00" Latitude Sul e 39° 34'23" Longitude Oeste, sendo afluente do Rio Itapajé, região administrativa da Sub Bacia do Rio Caxitoré, Bacia do Rio Curu, distando cerca de 2,00 Km da sede do município de Itapajé.

A bacia hidrográfica da Barragem Itapajé abrange uma área de cerca de 26,60km<sup>2</sup>, formada de maciços residuais de complexo cristalino dissecados em cristais e colinas, depressão sertaneja submetida a processos de sedimentação, cujo valor paisagístico

tem como referencial o diferenciado entalhamento provocado pela erosão nas áreas elevadas do cristalino, com média declividade nas nascentes variando entre 8 a 10%, com aptidão para a formação de picos de cheia.

A bacia apresenta características predominantes do semi-árido nordestino com relevo tipo R6, segundo a classificação de NOUVELOT, com altitude média variando entre 250m e 500m, desenvolvendo-se sobre terrenos de formação geológica cristalina, portanto, praticamente impermeáveis.

No local do barramento foram encontrados os seguintes parâmetros:

- Área de drenagem.....26,60km<sup>2</sup>;
- Comprimento do talvegue.....9,00km;
- Perímetro da BHD (P).....28,00km;
- Índice de compacidade.....  $K_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} = 1,53$  ;
- Relevo (média declividade) – Tipo R5 da Classificação de Nouvelot, 250 m < Ds < 500 m;
- Altitude média.....280m

#### 3.4.4.1 Vegetação

A cobertura vegetal da área é composta pela Floresta Subperenifólia tropical Pluvio-Nebular (Matas Úmidas), Floresta Subcaducifólia Tropical (Matas Secas) e pela Caatinga Arbustiva Densa.

#### **Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular (Matas Úmidas)**

A fisionomia da vegetação dessa floresta é semelhante tanto para as serras cristalinas como para as sedimentares; no entanto, a composição florística apresenta diferenças. Árvores de caules retilíneos, espessos, cobertos, muitas vezes, com líquens, orquídeas, samambaias e bromeliáceas alcançam 30m. A estratificação vertical apresenta três ou

quatro sinúcias. O dossel contínuo na sinúcia superior é formado, entre outras espécies, por: Tukurubá (*Lucuna grandiflora*), Jatobá (*Hymenaea courbaril*), Maçaranduba (*Manilkara rufula*), Potumuju (*Centrolobium robustum*), Murici (*Byrsonima cericea*).

### **Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Matas Secas)**

Ocupando os níveis dos relevos cristalinos e, portanto à retaguarda da floresta citada encontra-se a mata seca. Esta floresta recobre, ainda, relevos cristalinos mais baixos, chamados, no local, de serrotes, e as vertentes de níveis tabulares, menos favorecidos pelas chuvas. Encontram-se indivíduos da mata úmida e da caatinga arbórea cuja faixa de amplitude ecológica permite viver neste ambiente. Espécies encontradas: Angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*), Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*), Aroeira (*Astronium urundeava*), Mulungu (*Erythrina velutina*), Sipaúba (*Thiloa glaucocarpa*), Catolé (*Syagrus comosa*).

### **Caatinga Arbustiva Densa**

O porte mais baixo e os caules retorcidos e esbranquiçados caracterizam a caatinga arbustiva. Da mesma forma que ocorre na caatinga arbórea, também aqui é a densidade maior ou menor dos indivíduos componentes da comunidade que lhe empresta a isionomia denominada de caatinga arbustiva densa e caatinga arbustiva aberta. As espécies mais frequentes são: Jurema (*Mimosa hostile*), Catingueira (*Caesalpinha bracteosa*), Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*), Marmeleiro-Preto (*cróton sonderianus*), Mandacaru (*Cereus jamacaru*).

#### **3.4.1.2 Fatores Pedológicos**

Os solos da região em geral são de média a pouca profundidades, de textura média a argilosa e coloração avermelhada recobertos por vegetação arbustiva, onde se desenvolve agricultura de subsistência e pecuárias extensiva. São classificados como sendo Podzólicos Vermelho – Amarelos (Pe).

#### **3.4.1.3 Fatores Geomorfológicos**

Os solos do sítio barrável são originários na sua quase totalidade do intemperismo do complexo cristalino, cujos solos caracterizam-se por ganisse, migmatito e granito.

Material proveniente da decomposição das rochas acima citadas, com provável influência, em algumas áreas de material retrabalhado nos horizontes superficiais dos Podzólicos. Os afloramentos de rocha, correspondem às áreas onde as rochas supracitadas estão expostas.

Ao longo do Riacho Escorado são encontrados solos aluviais constituídos de uma faixa de sedimentos originários do transporte fluvial, com relevo forte ondulado e montanhoso.

Os sedimentos quaternários que ocorrem com pouca frequência na área são representados pelos aluviões do Riacho Escorado, recobrando rochas do cristalino. A área apresenta pouca variedade petrográfica, abrangendo rochas sedimentares metamórficas, sendo que as rochas predominantes são as metamórficas (migmatitos e ganisses).

#### 3.1.17 Climatologia

A bacia está sujeita a um clima de significativo poder evaporativo, provocando consequentemente um regime de escoamento superficial de relativa variabilidade, com cursos d'água intermitentes, apresentando vazões nulas por alguns períodos, exatamente quando é acentuado o “déficit” hídrico local.

O clima da região é caracterizado por um regime pluviométrico de ciclo tropical curto, sujeito a grandes desvios interanuais e a um clima quente e semi-árido, com estação chuvosa ocorrendo no outono e temperatura superior a 24,9° C no mês mais frio.

A temperatura média anual é da ordem de 26,6° C nas partes elevadas da bacia, com amplitude térmica média anual da ordem de 2° C a 3° C, situando-se o período mais quente na primavera (Outubro e Novembro) que é a época mais seca, e a mais fresca no outono (Março e Abril), correspondente ao período chuvoso.

A umidade relativa do ar anual situa-se na faixa de 68%, aumentando na quadra invernal para 80%.

### 3.1.18 Regime Pluviométrico

A precipitação média calculada na bacia é de 801,4 mm.

O posto pluviométrico representante da bacia faz parte da rede pluviométrica pertencente à SUDENE. Este posto dispõem de dados coletados mediante pluviômetro convencional no período de 1912 a 1985.

O posto selecionado para a coleta das séries históricas, foi o de Itapajé. As suas coordenadas geográficas compreendem 3°41' Latitude Sul e 39°35' Longitude Oeste e a precipitação média anual de cerca de 801,4 mm.

### 3.1.19 Caracterização de Chuva Sobre a Bacia

O estudo de variações da precipitação anual próxima ao local do barramento, foi feito com a utilização dos dados da estação pluviométrica de Itapajé.

A partir da análise das séries históricas, verifica-se que o regime das chuvas caracteriza-se por uma irregularidade interanual, ou seja, em determinado ano ocorre alta pluviosidade, enquanto que em outros anos as precipitações são bastantes baixas, acarretando uma alta variabilidade, cujos coeficientes de variação – CV são elevados da ordem de 2,40 indicando uma representativa dispersão.

A precipitação média anual situa-se em torno de 801,4 mm, sendo que a maior concentração ocorre no quadrimestre de fevereiro a maio, no qual, em média, se verifica 79% da precipitação anual. O período de menor precipitação ocorre geralmente no período de agosto a novembro, onde se observa o máximo de 1% da média anual. O trimestre corresponde aos meses de fevereiro a abril ou março a maio, é responsável por quase 2/3 da pluviosidade anual (Quadro N°3.9).

<b>Quadro N°3.9: Resumo do Comportamento das Precipitações</b>	
Precipitação Média Anual	801,4 mm
Maior Concentração – 79% da Pluviosidade Média Anual	Quadrimestre Fevereiro a Maio
Menor Precipitação – 1% da Pluviosidade	Quadrimestre Agosto a Novembro

<b>Quadro N°3.9: Resumo do Comportamento das Precipitações</b>	
Média Anual	
Maior Precipitação – Quase 2/3 da Pluviosidade Anual	Trimestre Fevereiro a Abril ou Março a Maio

### 3.1.20 Estudos dos Regimes Médios

Os estudos do regime médio dos deflúvios tem aplicação direta na determinação da capacidade do açude. Para reservatórios de porte expressivo, essa tarefa é realizada a partir de técnicas de simulação do comportamento do reservatório diante de vazões a ele afluentes, das retiradas de água e das perdas em geral, estabelecendo-se, assim um balanço hídrico que é executado mês a mês.

No caso do Açude Itapajé com uma bacia hidrográfica de 26,60km<sup>2</sup>, serão aqui aplicadas a metodologia de Molle e Cadier (1992) para a determinação do volume afluente médio anual e o método de Campos (1996) para o cálculo da regularização do volume afluente médio anual a partir da bacia hidráulica e operação do reservatório.

#### 3.4.5.1 Volume Afluente Médio Anual

O Volume Médio Anual Escoado ( $V_{esc}$ ) é calculado tomando-se como base:

- A superfície de drenagem,
- A classificação hidrológica da bacia hidrográfica,
- O total pluviométrico anual e a zona climática.

O volume médio escoado em uma bacia hidrográfica pode ser estimado pela relação:

$$V_{esc} = S_c \cdot L \cdot (P) \times 1000 \quad (1)$$

Onde:

$S_c$  = Superfície de contribuição em km<sup>2</sup>



$L \cdot (P) =$  = Lâmina média escoada anualmente em mm.

Sendo que, o cálculo de  $L \cdot (P)$  é dado pela fórmula abaixo:

$$L \cdot (P) = L_{600\text{corrigida}} \cdot C \cdot e^{A \cdot (P-600)} \quad (2)$$

Onde:

$C$  = Coeficiente climático = 1,0 para zonas do sertão

$A$  = Coeficiente de correção = 0,0033 no caso geral

$P$  = Precipitação média anual = 801,4 mm

Para o cálculo de  $L_{600\text{corrigida}}$ , faz-se necessário aplicar a seguinte expressão matemática:

$$L_{600\text{corrigida}} = L_{600\text{padrão}} \cdot CV \cdot CA \cdot CL \quad (3)$$

Onde:

$L_{600\text{corrigida}}$  = Lâmina anual média que escoaria na BHD, se esta fosse situada num local com precipitação anual média de 600 mm, na zona climática “Sertão”. (Molle e Cadier – 1992). É definida a partir dos solos da bacia hidrográfica.

$CV$  = Coeficiente que depende da cobertura vegetal da BHD

$CA$  = Coeficiente encontrado em função do número de açudes a montante do barramento projetado.

$CL$  = Coeficiente de correção variável em decorrência das zonas de retenção a montante do barramento.

- $L_{600\text{corrigida}}$  é uma lâmina calculada em função dos solos pertinentes à BHD. No caso do sítio barrável em estudo o solo predominante é classificado como sendo Podzólico Vermelho - Amarelo – Pe6.

- Segundo o Manual do Pequeno Açude – Molle e Cadier (1992 – Tabela B pág. 50),  $L_{600\text{ padrão}} = 45\text{ mm}$ .
- Mas, como a lâmina escoada na BHD da Barragem Itapajé é superior a 600mm, será necessário corrigi-la através da fórmula (3). Neste caso, será aplicado os coeficientes de correção descritos abaixo:

(a) CV é calculado em função do tipo de conservação da cobertura vegetal da BHD, de acordo com o Manual do Pequeno Açude de Molle e Cadier (1992 – pág. 55 – Tabela Fator de correção de CV).

Neste caso particular CV = 1,00 para BHD's com 20% a 60% de desmatamento em seu interior.

(b) O fator de correção CA depende dos açudes existentes na bacia de alimentação. Como o BHD em estudo contém um açude a montante com superfície de drenagem ( $S_a$ ) de 9,0 Km<sup>2</sup>, a densidade de açudes é dada pela relação:

$$D_a = \frac{S_a}{S_c} \quad (4),$$

ou seja,

$$D_a = \frac{9,0}{26,6} = 0,33 \Rightarrow 0,25 \leq D_a \leq 0,50 \Rightarrow CA = 1,00$$

(c) O fator de correção CL indica a presença de depressões, zonas aluviais ou bancos de areia que podem reter uma parte importante do escoamento, sobretudo quando estão situados no percurso da água, ou seja, na parte inferior das vertentes ou perto do leito dos rios.

Como na bacia de contribuição do Açude Itapajé não existe nenhuma zona de retenção importante no percurso da água, o fator CL assumirá um valor de 1,2.

Utilizando-se os coeficientes e o  $L_{600\text{ padrão}}$  na fórmula (3) tem-se o seguinte:

$$L_{600\text{ corrigida}} = 45 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,20$$

$$L_{600 \text{ corrigida}} = 54,00 \text{ mm}$$

Com o valor de  $L_{600 \text{ corrigida}}$  encontrado, aplica-se a fórmula (2), obtendo-se o seguinte resultado:

$$L \cdot (P) = 54,00 \times 1,00 \times e^{0,0033 \cdot (801,4 - 600)}$$

$$L \cdot (P) = 104,96 \text{ mm}$$

Uma vez obtida a  $L \cdot (P)$ , será encontrada a superfície de contribuição que, neste caso,  $S_c = S$  pelo fato dos solos na bacia serem homogêneos e possuírem o mesmo  $L_{600}$ , característico de substratos rochosos.

Aplicando-se a equação (1),

$$V_{esc} = 104,96 \times 26,60 \times 1000$$

$$V_{esc} = 2.792.005 \text{ m}^3 / \text{ano}$$

Ou seja, o volume afluente anual ( $\mu$ ) na BHD da Barragem Itapajé é de 2.792.005 m<sup>3</sup>/ano, gerando um deflúvio médio anual [ $L \cdot (P)$ ] de 104,96mm.

### 3.1.21 Interferência do Açude já Existente a Montante

Este lago influencia no processo de estocagem de águas reduzindo a afluência ao Açude Itapajé numa quantidade igual ao volume nele consumido que não retorna ao leito dos respectivos riachos. Este volume é, principalmente, o total anualmente evaporado na bacia hidráulica do açude.

Pode-se admitir um consumo mínimo igual ao volume evaporado no espelho d'água da cota média deste açude durante o verão. Este valor pode ser estimado pela relação:

$$VE = ABH \times E \tag{4}$$

Onde

$VE$  = Volume médio anual evaporado pelo açude a montante;

**ABH** = Área média da bacia hidráulica do açude durante o verão;

**E** = Lâmina média evaporada durante o verão, tomada como sendo (Julho a Dezembro) 1.220 mm do tanque classe A da Estação Meteorológica de Sobral.

Adotando-se a ABH como sendo 65 hectares, e a superfície de evaporação igual a 1/3 da superfície média detectada, tem-se o seguinte:

$$VE = \frac{65 \times 104 \times 1,22}{3} = 264.333 m^3 / ano$$

O volume líquido afluente médio anual passará a ser de:

$$Vescliq = Vesc - VE = 2.792.005 - 264.333 = 2.527.672 m^3$$

### 3.1.22 Dimensionamento Hidrológico do Reservatório

O uso do Diagrama de Regularização (DTR) como ferramenta auxiliar ao dimensionamento de reservatórios é restrito aos casos em que a projetista deseja uma garantia de 90% no fornecimento da água.

Os valores percentuais evaporados, sangrados e regularizados do volume afluente podem ser obtidos através do DTR correspondente ao coeficiente de variação dos deflúvios anuais em função do fator adimensional de evaporação e do fator adimensional de capacidade. O procedimento de cálculo segue as seguintes etapas:

1. Coeficiente de variação dos deflúvios anuais (CV): Para a Barragem Itapajé, será tomado como sendo igual a 1,3, que correspondem aos do reservatório do Açude Jerimum.
2. Fator de capacidade ( $f_k$ ): Será calculado pela relação:

$$f_k = \frac{K}{\mu} \quad (5)$$

sendo ( $K$ ) o volume do reservatório e ( $\mu$ ) o volume médio anual afluente ao reservatório. Tem-se:  $f_k = \frac{4.851.761}{2.527.672} = 1,91$

3. Fator adimensional de evaporação  $f_E$  através da relação:

$$f_E = \left( \frac{3\alpha^{1/3}}{\mu^{1/3}} \right) \times E \quad (6)$$

Onde:

$\alpha$  = fator de forma da bacia hidráulica;

$\mu$  = volume afluente médio anual em m<sup>3</sup>;

$E$  = lâmina evaporada a partir da superfície do lago durante a estação seca medida em metros.

Estimativa do fator de forma da bacia hidráulica ( $\alpha$ ). Este fator é determinado através da fórmula:

$$V = \alpha \cdot h^3 \quad (7)$$

Onde:

$h$  = profundidade da superfície do lago medida em relação ao ponto mais profundo da bacia hidráulica;

$\alpha$  = fator de forma da bacia hidráulica;

$V$  = volume acumulado na profundidade  $h$ .

$$\alpha = \frac{\sum V_i}{\sum (h_i)^3} \quad (8)$$

Com os dados do Quadro 3.10 cota x área x volume  $\alpha = 996,09$

<b>Quadro N°3.10: Curva Cota x Área x Volume</b>		
<b>Cota</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume Acumulado (m<sup>3</sup>)</b>
261,0	0,00	0,00
262,0	212,12	106,06
263,0	1.875,09	1.149,67
264,0	17.725,47	10.949,95
265,0	64.187,50	51.906,43
266,0	102.179,75	135.090,06
267,0	138.888,76	255.624,31
268,0	181.483,66	415.810,52
269,0	218.472,90	615.788,80
270,0	256.325,02	853.187,76
271,0	292.327,98	1.127.514,26
272,0	333.867,22	1.440.611,86
273,0	378.047,40	1.796.569,17
274,0	423.091,09	2.197.138,42
275,0	471.309,93	2.644.338,93
276,0	513.105,92	3.136.546,85
277,0	553.826,42	3.670.013,02
278,0	592.681,67	4.243.267,07
279,0	628.728,50	4.853.972,15
280,0	709.281,43	5.522.977,12
281,0	750.614,63	6.252.925,15
282,0	788.905,25	7.022.685,09

Estimativa da evaporação (E) durante a estação seca.

Considera-se o período de junho a dezembro como representativo da estação sem escoamento superficial do vale. O valor da lâmina evaporada do lago é estimado como sendo 80% da lâmina evaporada do tanque classe A no mesmo período.

Neste caso, o valor estimado para a (E) é igual a 1,07m correspondente ao tanque A da estação meteorológica de Sobral. Da fórmula (7) tem-se que:  $f_E = 0,24$ .

#### 4. Estimativa dos volumes regularizado, sangrado e evaporado.

Utilizando-se o DTR referente ao CV = 1,3 os valores encontrados são os seguintes:

- Volume efetivamente regularizado (% de  $\mu$ ) 29%, ou seja 733.024,88m<sup>3</sup>/ano;
- Volume sangrado (% de  $\mu$ ) 48%;
- Volume evaporado (% de  $\mu$ ) 23%.

O volume adotado foi de 4.851.762 m<sup>3</sup> que corresponde a cota de 278,00 da curva cota x área x volume construída para o reservatório.

#### 3.1.23 Estudo de Cheias

O estudo de cheias de projeto tem como objetivo calcular as vazões de pico na bacia da Barragem Itapajé desde a sua foz até o exutório para um período de retorno de 100 ou 200 anos.

A metodologia usada foi a de Molle e Cadier (1992 – Manual do Pequeno Açude).

O cálculo da vazão máxima admissível no vertedouro subdivide-se em duas partes:

- O cálculo da vazão de pico da cheia de projeto ( $Q_x$ );
- Cálculo da cheia de amortecimento ( $Q_{amort}$ ).

#### 3.4.8.1 Cálculo da Vazão de Pico da Cheia de Projeto

A vazão de pico da cheia de projeto é calculada pelas fórmulas abaixo, considerando que a BHD tem uma superfície superior a 5 Km<sup>2</sup>. Neste caso:

$$Q_x = 25 \cdot S_c^{(0,58)} \cdot F_c \quad (9)$$

Onde:

$S_c$  = Superfície de contribuição da cheia

$F_c$  = Fator corretivo

- A superfície de contribuição da cheia pode ser tomada como sendo igual à superfície da BHD,  $S_c = S$  pelo fato dos solos na bacia serem homogêneos e possuírem o mesmo  $L_{600}$ , característico de substratos rochosos.
- O fator de correção  $F_c$  introduz correções correspondentes aos fatores relacionados com a forma da bacia hidrográfica; forma da rede de drenagem; relevo; existência de zonas particularmente degradadas e condições climáticas especiais ao microclima da BHD, segundo a expressão:

$$F_c = C_{form} \times C_{dren} \times C_{rel} \times C_{deg r} \times C_{c lim} \quad (10)$$

Para o cálculo dos coeficientes corretivos, serão observadas as seguintes etapas:

1. A correção segundo a forma da BHD ( $C_{form}$ ) é função de:

$$\frac{L^2}{S} \quad (11),$$

sendo que:

$L$  = comprimento do talvegue em km

$S$  = superfície da BHD em km<sup>2</sup>

De (11) tem-se:

$$\frac{L^2}{S} = 3,05 \Rightarrow C_{form} = 0,85 \Rightarrow \text{(Tabela – pág. 64 - Molle e Cadier –1992)}$$

2. Influência da forma da rede de drenagem ( $C_{dren}$ )



Visto que a forma da rede de drenagem é do tipo radial o coeficiente corretivo  $C_{dren} = 1,25 \Rightarrow$  (Tabela – pág. 65 - Molle e Cadier – 1992).

### 3. Influência do relevo ( $C_{rel}$ )

O relevo da BHD é classificado como sendo ondulado com declividades variando entre 8 a 10% e, neste caso o  $C_{rel}$  será tomado como sendo igual a 1,00.

### 4. Cálculo do coeficiente de zonas degradadas ( $C_{deg r}$ )

Como não existem áreas de solos degradadas implica que  $C_{dreg} = 1,00$ .

### 5. Cálculo do coeficiente de zonas climáticas ( $C_{c lim}$ )

Na zona climática do sertão  $C_{c lim} = 1,00$ .

O cálculo final do fator de correção  $F_c$  de acordo com a expressão:

$$F_c = C_{form} \times C_{dren} \times C_{rel} \times C_{deg r} \times C_{c lim} \quad (10)$$

é o seguinte:

$$F_c = 0,85 \times 1,25 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,00$$

$$F_c = 1,06$$

De posse destes dados e aplicando-se a fórmula (9), obtém-se o resultado abaixo para a cheia máxima:

$$Q_x = 177,70 m^3 / s$$

#### 3.4.8.2 Cálculo da Cheia de Amortecimento

A correção devida à amortização da cheia só poderá ser feita após serem conhecidas as características geométricas do açude, tais como: os coeficientes ( $\alpha$ ) e (K) através do levantamento topográfico planialtimétrico da barragem, tomando-se como base as duas

últimas alturas com as respectivas áreas da bacia hidráulica, e a lâmina vertente máxima do vertedouro, de acordo com o que se segue:

$$H_1 = 17,00 \Rightarrow S_1 = 600.779 \text{ m}^2$$

$$H_2 = 18,00 \Rightarrow S_2 = 640.882 \text{ m}^2$$

➤ Cálculo de ( $\alpha$ )

$$\alpha = 1 + \frac{\text{Log}(S_1 / S_2)}{\text{Log}(H_1 / H_2)} \quad (12)$$

$$\alpha = 2,50$$

➤ Cálculo de ( $K$ )

$$K = \frac{S_1}{\alpha \cdot H_1^{(\alpha-1)}} \quad (13)$$

$$K = 3.428,48$$

➤ Estimativa da lâmina vertente máxima do vertedouro ( $H_v$ )

$$H_v = \left( \frac{Q_x}{2,20 \cdot L} \right) \quad (14)$$

Através da cheia máxima  $Q_x$  adota-se numa primeira tentativa vários pares – lâmina vertente e largura de vertedouro, sendo escolhidos aqueles mais favoráveis em função das limitações do relevo local.

Neste caso, os valores encontrados são os seguintes:

$$H_v = 0,58 \text{ m}$$

$$L = 140,00 \text{ m}$$

O cálculo da cheia de amortecimento é dado pela seguinte relação:

$$X_o = \left( \frac{S}{H_v \cdot S_{amort}} \right) \quad (15)$$

Onde:

$S$  = superfície da BHD;

$S_{amort}$  = superfície de amortecimento que neste caso é dada por regressão linear, levando-se em consideração o número de açudes a montante do barramento:

$$S_{amort} = S_x + 0,8 \cdot S_{log} \quad (16)$$

$$S_x = \alpha \cdot K \cdot H_v^{(\alpha-1)} \quad (17)$$

Aplicando-se as fórmulas (16) e (17), o resultado é o seguinte:

$$S_{amort} = 484.409,65 m^2 \text{ ou } 48,44 \text{ ha}$$

Com a utilização da fórmula (15) encontra-se:

$X_o = 94,68 \Rightarrow$  Ábaco pág. 68 – Molle e Cadier (1992) localiza-se o coeficiente de amortização  $K_{amort} = 0,91$ .

De modo que a cheia de amortecimento é dada pela relação:

$$Q_{amort} = K_{amort} \times Q_x \Rightarrow Q_{amort} = 161,71 m^3 / s \quad (18)$$

Com a vazão de  $161,71 m^3/s$  e largura do vertedouro de  $30,00m$  a lâmina vertente é calculada da seguinte forma:

$$H_v = \left( \frac{Q_{amort}}{L \cdot C_d} \right)^{0,667}$$

$C_d = 2,10$  para vertedouro soleira perfil tipo Creager.

$$H_v = 1,88 m$$

Por questões econômica, será adotado um vertedouro tipo Perfil Creager com largura de  $30,00m$  e revanche de  $3,50m$ .



## **4 – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM**

---

**RW** – ENGENHEIROS CONSULTORES S/C LTDA

Av. Santos Dumont, 1343 - Sala 906 / Cep: 60.150-160 - Aldeota  
CNPJ 04072015/0001-16 / Fone: (85) 3226.5103 - Fortaleza - Ceará  
[rwconsultores@secrel.com.br](mailto:rwconsultores@secrel.com.br)



## 4 – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM

O presente capítulo contém o Memorial Descritivo e Justificativo do Projeto Executivo da Barragem Itapajé, o qual foi dividido nos seguintes itens, de acordo com os aspectos abordados:

- Caracterização da Fundação;
- Rebaixamento do Lençol Freático;
- Geometria da Trincheira de Fundação;
- Local de Bota-Fora;
- Maciço da Barragem;
- Vertedouro;
- Tomada D'Água.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA FUNDAÇÃO

Através da análise dos resultados das sondagens executadas no local das obras, pode-se traçar um provável perfil geotécnico da área do trecho da barragem. Foram executadas sondagens a percussão, sondagem mista (iniciadas a percussão e prosseguidas com sonda rotativa e sondagens a pá e picareta (poços de inspeção).

As características dos materiais da fundação da barragem podem ser visualizadas nos boletins de sondagens, nos resultados dos ensaios de infiltração realizados nos trechos de percussão e finalmente no perfil geológico-geotécnico.

O eixo locado prevê o fechamento de dois boqueirões independentes e a construção do vertedouro na ombreira direita.

#### 4.1.1 Fundação da Barragem

O local de implantação da barragem foi estudado pela ocasião do Projeto Básico através das seguintes sondagens: SP-01, SM-02, SP-03, SP-04, SP-05, SP-06 e SP-07, essas sondagens foram executadas ao longo do eixo levantado. Foram, ainda, executados os furos a pá e picareta: SPP-01, SPP-02, SPP-03 E SPP-04. Esses poços de inspeção foram executados até o impenetrável. Foi feita coleta de material para realização de ensaios geotécnicos.

Na fase de elaboração do Projeto Executivo foram realizados mais furos de sondagens a percussão ao longo do eixo da barragem. Essa investigação final consistiu na realização das sondagens: SP-101, SP-102 e SP-103. No boqueirão auxiliar entre as estacas 0+0,00 e 12+0,00 e SP-104, SP-105 e SP-106. No boqueirão principal, entre as estacas 22+0,00 e 30+0,00.

A sondagem SP-01 realizada na estaca 3 apresentou nos primeiros 3,00m de profundidade uma camada de argila siltosa, com pedregulhos, cinza escuro, com resistência a penetração, SPT, variando de 4 golpes a 6 golpes. O ensaio de infiltração “in situ” mostrou coeficiente de permeabilidade variando de  $8,7 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  a  $9,96 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ . No horizonte entre as profundidades de 3,00m a 6,00m, encontra-se uma camada de argila arenosa, com pedregulhos, cinza e amarela, com SPT'S variando de 9 golpes a 25 golpes. O ensaio de infiltração “in situ” indicaram coeficiente de permeabilidade variando de  $1,88 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  e  $4,96 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ . Na camada de 6,00m a 13,45m, há um substrato de argila siltosa, com pedregulhos, amarela, com SPT'S variando de 11 golpes a 42 golpes. Os ensaios de infiltração “in situ” indicaram coeficiente de permeabilidade variando de  $1,02 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  e  $9,2 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ . Não foi encontrado nível d'água neste furo de sondagem.

A sondagem SM-02, executada na estaca 6+10,00m, possui uma camada de 1,00m de areia siltosa com pedregulhos, cinza, com SPT de 2 golpes. No horizonte entre 1,00m e 3,91m encontrou-se uma camada de solo residual formado por silte arenoso, micáceo, com pedregulhos, cinza e amarelo com SPT'S variando de 40 golpes a 30/7 golpes. Neste trecho, foi realizado um ensaio de infiltração “in situ”, com coeficiente de



permeabilidade variando de  $2,7 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  a  $3,18 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ . Foi encontrado entre os horizontes de 3,91m e 6,00m, uma camada de gnaiss com textura granítica, extremamente fraturado, muito alterado, com recuperação variando de 27% a 30%. No horizonte entre 6,00m e 10,00m de profundidade foi encontrado um solo residual, formado por silte arenoso, micáceo, com pedregulhos, cinza e amarelo, com SPT'S variando de 30/1 golpes a 30/2 golpes. Os ensaios de infiltração realizados entre as profundidades de 6,00m e 10,00m indicaram coeficientes de permeabilidade variando de  $1,01 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  e  $5,85 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ . Na profundidade de 10,00m e 11,00m foi identificado um substrato de gnaiss, com textura granítica, extremamente fraturado, muito alterado, com recuperação de 40%. Foi identificado nível d'água na profundidade de 0,65.

A sondagem SP-03, realizada na estaca 10, foi encontrado uma camada de 5,83m de solo residual, formado por silte arenoso, micáceo, com pedregulhos, cinza e amarelo, com SPT'S variando de 11 golpes a 50/21 golpes. Os ensaios de infiltração "in situ" indicaram coeficiente de permeabilidade variando de  $1,51 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  a  $8,11 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ . Não foi identificado nível d'água.

A sondagem SP-04, locada na estaca 24, apresenta até a profundidade de 1,72m um solo residual caracterizado por silte arenoso, micáceo, com pedregulhos, cinza claro, com SPT'S variando de 25/5 golpes a 30/11 golpes. O ensaio de infiltração "in situ" indicou coeficiente de permeabilidade de  $5,22 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ . Neste furo de sondagem, não foi identificado nível d'água.

A sondagem SP-05, localizada na estaca 26, possui até a profundidade de 1,00m, uma camada de argila siltosa, cinza e escura, com SPT de 2/15 golpes. Entre as profundidades de 1,00m e 7,00m existe uma areia siltosa micáceo, cinza escuro, com SPT'S variando de 1/15 golpes a 9 golpes. O ensaio de infiltração "in situ" indicou coeficiente de permeabilidade variando de  $1,72 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  a  $6,17 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ . Entre as profundidades de 7,00m a 8,90m, surgiu uma argila siltosa com pedregulhos, cinza, com SPT'S variando de 11 golpes a 12 golpes. Entre o horizonte 8,90m e 12,02m de profundidade, surgiu o solo residual, caracterizado por silte arenoso com pedregulhos, cinza e amarelo, com SPT'S variando de 30/6 golpes a 30/2 golpes. O ensaio de

infiltração “in situ” indicou coeficiente de permeabilidade variando de  $1,72 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  a  $5,16 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ . O nível d’água neste furo foi encontrado a 0,65m de profundidade.

Na sondagem SP-06, realizada na estaca 29, apresentou até a profundidade de 1,80m uma argila siltosa, com pedregulhos, amarela, com SPT’S variando de 7 golpes a 23 golpes. O coeficiente de permeabilidade encontrado foi de  $4,51 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ , obtido no ensaio de infiltração. No horizonte de 1,80m e 5,00m, foi encontrado um solo formado por silte arenoso, micáceo, amarelo, com SPT’S variando de 26 golpes a 47/22 golpes. O coeficiente de permeabilidade encontrado variou entre  $1,01 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  e  $8,19 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ , obtido através do ensaio de permeabilidade “in situ”. Entre o horizonte de 5,00m e 9,85m encontrou-se solo residual formado por silte arenoso, micáceo, com pedregulhos, cinza e amarelo, com SPT’S variando de 25/3 golpes a 30/2 golpes. Não foi encontrado nível d’água neste furo de sondagem.

A sondagem SP-07, realizada na estaca 30, apresenta até a profundidade de 3,20m uma camada de argila siltosa micácea, com pedregulhos, amarela, com SPT’S variando de 8 golpes a 13 golpes. O coeficiente de permeabilidade desta camada está variando de  $1,06 \times 10^{-6} \text{cm/s}$  e  $9,03 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ , obtido no ensaio de permeabilidade “in situ”. No horizonte de 3,20m a 6,00m apresentou uma camada de silte arenoso micáceo, cinza escuro, com SPT’S variando de 24 golpes a 25/6 golpes. O ensaio de infiltração “in situ” indicou coeficiente de permeabilidade variando de  $1,06 \times 10^{-6} \text{cm/s}$  a  $3,64 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ . Entre as profundidades de 6,00m e 9,04m foi encontrado um silte arenoso com pedregulhos, cinza claro, com SPT’S variando de 30/7 golpes a 30/4 golpes. Neste furo de sondagem não foi encontrado nível d’água.

O furo a pá e picareta SSP-01 foi executado na estaca 6, deslocado 20m para jusante até a profundidade de 1,65m, apresentando nível d’água na profundidade de 1,52m. No horizonte de 0,00m a 0,35m foi encontrado um material areno-argiloso, de textura fina a média, cinza escura. De 0,35m até 0,80m foi encontrado um material argilo-areno-siltoso de textura fina, cinza. De 0,80m a 1,65m encontrou-se um material areno-argiloso de textura média a fina, amarela e cinza, variegada.





O furo SSP-02 foi executado na estaca 8, deslocado 20m para montante até a profundidade de 1,45m, impenetrável as ferramentas pá e picareta. Neste furo não foi identificado nível d'água. De 0,00m a 0,70m o material encontrado foi um siltico-areno-argiloso, micáceo, com fragmentos de quartzo, textura fina a média, cinza e amarela, variegada. De 0,70m a 1,45m foi encontrado um material argiloso, com pedregulhos de seixos de quartzo, amarelo, caracterizado por um solo residual.

O furo SPP-03 foi executado na estaca 24, deslocado 20m para jusante até a profundidade de 1,15m, impenetrável as ferramentas pá e picareta. Neste furo, não foi identificado o nível d'água. De 0,00m a 0,40m foi encontrado um material siltico-arenoso de textura fina, cinza e amarelo variegado. De 0,40m a 0,80m, foi encontrado um material argilo-siltico-arenoso, com seixos de quartzo, amarelo. De 0,80m a 1,15m foi encontrado um material argilo-arenoso, micáceo, fragmentos de seixos de quartzo, amarelo, caracterizado como solo residual. Na profundidade de 1,15m foi encontrado uma rocha gnáissica alterada.

O furo SPP-04 foi executado na estaca 26, deslocado 20m para montante até a profundidade de 1,90m, com nível d'água a 0,70m de profundidade. De 0,00m a 0,80m foi encontrado um material argiloso, cinza escuro. De 0,80m a 1,90m foi encontrado um material argilo-siltico-arenoso, textura média a fina, cinza.

A sondagem SP-101 executada na estaca 5, com a cota da boca do furo igual à 270,252 apresentou três horizontes litológicos. O furo teve 11,83 metros de profundidade e mostrou que entre 0,00m a 0,20m foi encontrado areia fina argilosa, com raízes vegetal, cinza claro. De 0,20m a 6,50m foi encontrado argila arenosa, micácea com fragmentos de rocha, rija e dura, cinza, amarela e vermelha (solo residual). Os SPT'S variaram de 12 a 47 golpes/30cm. De 6,50m a 11,83m foi encontrado silte argiloso, micácea, com fragmentos de rocha, média e dura, cinza, amarela e vermelha (alteração de rocha). Os SPT'S variaram de 10 a 10/3 golpes.

A sondagem SP-102 executada na estaca 7 com a cota da boca do furo igual 264,088m foi aprofundada até 3,48m e ultrapassou três horizontes litológicos. De 0,00 a 0,20m foi encontrado argila siltosa com fragmentos de rocha, cinza e vermelha. De 0,20m a 0,97m



foi encontrado areia fina, siltosa, fofa, vermelha. De 0,97m a 3,48m foi encontrado silte arenoso, micáceo, com fragmentos de rocha, compacto a muito compacto, cinza claro. Os SPT'S ao longo do furo variaram de 4 a 10/2 golpes.

A sondagem SP-103 executada na estaca 9 com cota da boca do furo igual a 269,521 foi aprofundada até 2,32m e atravessou dois horizontes litológicos. De 0,00m a 0,92m foi encontrado argila siltosa, com raízes vegetal e fragmentos de rocha, cinza e vermelha (solo residual). De 0,92m a 2,32m foi encontrado silte arenoso, micáceo com fragmento de rocha, compacto a muito compacto, cinza, amarelo e vermelho (alteração de rocha).

A sondagem SP-104 realizada na estaca 25, com cota da boca do furo igual a 265,173m e foi executada até a profundidade de 5,86m. Ao longo do seu perfil foram atravessados cinco horizontes litológicos. De 0,00m a 0,74m foi encontrado areia fina, siltosa, fofa, com raízes vegetal. De 0,74m a 1,92m foi encontrado areia média e grossa com pedregulhos, fofa cinza clara. De 1,92m a 2,87m foi encontrado argila siltosa, com matéria orgânica, muito mole, cinza escura. De 2,87m a 3,50m foi encontrado areia média e grossa, argilosa, micácea, com fragmentos de rocha, pouco compacta, cinza e amarela. De 3,50m a 5,86m foi encontrado silte arenoso micáceo com fragmentos de rocha muito compacto, cinza e amarelo (alteração de rocha).

A sondagem SP-105 executada na estaca 27 com cota da boca do furo igual a 262,811m atingiu 5,76m de profundidade e atravessou quatro horizontes litológicos. De 0,00m a 0,76m foi encontrado argila siltosa com pedregulhos e matéria orgânica. De 0,76m a 3,00m foi encontrado areia média e grossa, com cascalho. Aluvião nesse horizonte foi observado baixa resistência à penetração ao amostrador padrão 5 e 1 golpe. De 3,00m a 5,00m foi encontrado, também, aluvião. De 5,00m a 5,76m foi encontrado alteração de rocha.

A sondagem SP-106 executada na estaca 29 com cota da boca do furo igual a 273,901m foi aprofundada até 2,96m atravessando três horizontes litológicos. De 0,00m a 0,20m foi encontrado silte arenoso com fragmentos de rocha e raízes, cinza e vermelho. De 0,20m a 2,55m foi encontrado solo residual de rocha. De 2,55m a 2,96m foi encontrado alteração de rocha.

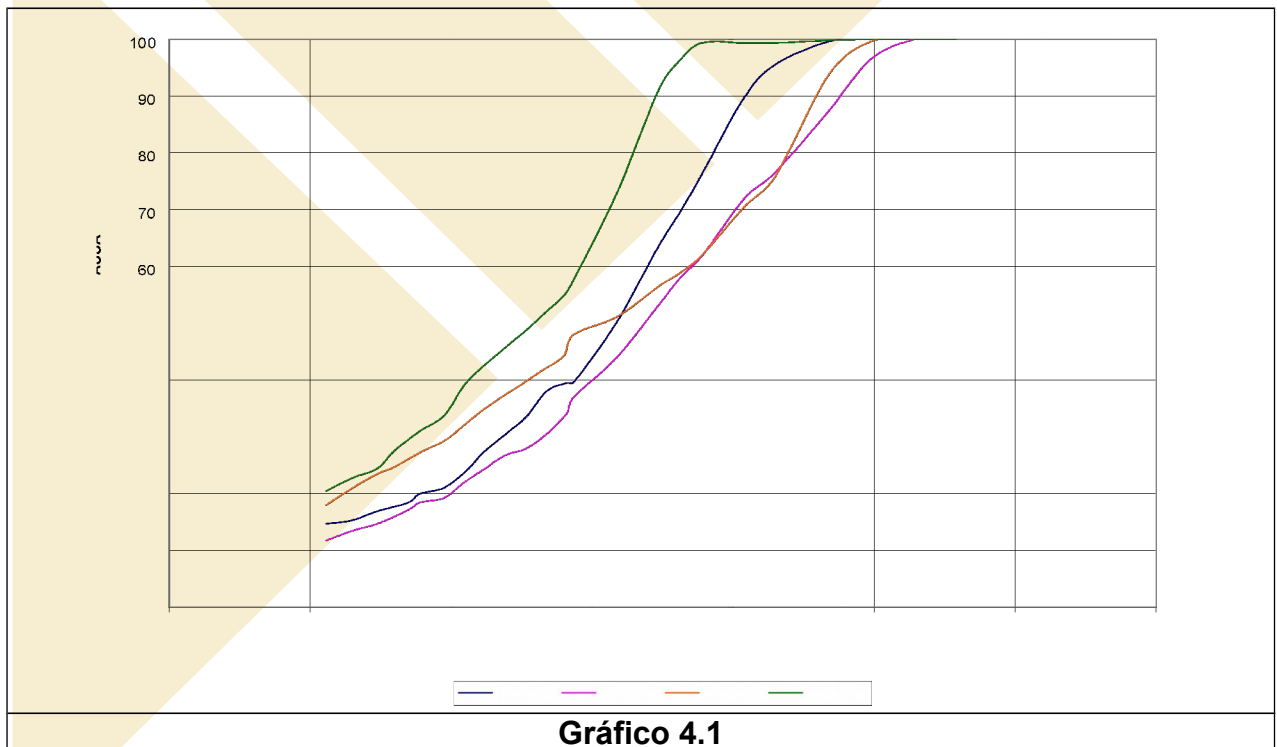


De cada poço a picareta foi coletado uma amostra representativa para a realização dos seguintes ensaios geotécnicos de laboratório:

- Granulometria por Sedimentação;
- Limite de Liquidez;
- Limite de Plasticidade;
- Peso Específico Real dos Grãos.

Na Tabela N°4.1 é mostrado o resumo dos resultados dos ensaios de laboratório. No Gráfico N°4.1 são apresentadas as curvas granulométricas:

Tabela N°4.1: Ensaios de Laboratório											
Furo	Peneiramento					Sedimentação		LL	IP	$\gamma_g$	USC
	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	Silte	Argila				
<b>SPP-01</b>	100	99	96	69	40	21	18	19	4	2,647	SM-SC
<b>SPP-02</b>	97	87	77	58	37	20	17	20	6	2,684	SM-SC
<b>SPP-03</b>	99	94	76	59	48	23	25	32	11	2,642	SC
<b>SPP-04</b>	100	100	99	96	58	30	28	27	7	2,634	ML-CL



Com a realização dessas investigações de campo e laboratório foi possível definir o substrato de assentamento da barragem. Para assentamento dos espaldares foi previsto uma escavação obrigatória com profundidade de 1,0 m nos trechos entre as estacas 2 e 12, 25 e 26 e 30 e 40. Entre as estacas 26 e 30 que fica na calha do riacho Escorado a escavação obrigatória prevista foi de 3,0 metros, com a finalidade da retirada dos sedimentos mais fofos.

Na parte referente ao cut-off teve-se a preocupação de aprofundar a trincheira até o solo residual. Conforme o Profº Milton Vargas, os solos residuais são aqueles provenientes da decomposição e alteração das rochas "in situ", onde o agente de transporte é reduzido a um mínimo. Eles seriam subdivididos, conforme a zona de intensidade de intemperismo, em horizontes que, geralmente, se organizam da superfície para o fundo, mas que, eventualmente, podem estar ausentes, num perfil de solo residual destacam-se, na classe dos solos residuais, dois tipos, assim denominados: solo residual maduro e saprolito. O primeiro acontece quando o solo perdeu toda a estrutura original da rocha madre e tornou-se relativamente homogêneo. O segundo é o caso em que o solo mantém a estrutura original da rocha-madre, inclusive veios intrusivos, fissuras, xistosidade e camadas, mas perdeu totalmente sua consistência.

Segundo o Profº Paulo Cruz, em sua obra 100 Barragens Brasileiras, os solos residuais com SPT maior que sete golpes, em princípio, são adequados como fundação de barragens. No que diz respeito a deslocamentos, estes se dão quase que inteiramente durante o período construtivo e não devem ultrapassar de 1% a 2% a altura da camada residual. Quanto à permeabilidade, podem-se esperar valores da mesma ordem de grandeza daquele do material utilizado na construção da barragem.

A respeito do assentamento dos espaldares da barragem, foram executados em locais já descritos quatro poços a pá e picareta.

Os materiais encontrados são solos argilos-arenosos e argilo-siltico-arenosos. Esses materiais são solos maduros que tanto podem ser coluviais como residuais. Na classificação USC (Unified Soil Classification) esses materiais são do tipo SM, SC, ML e

CL. Trata-se portanto de solos inorgânicos e tem baixa compressibilidade pois o limite de liquidez  $LL < 50$ .

Esses materiais com SPT maior que sete golpes estão capacitados a suportar as tensões de peso do maciço.

Quanto a análise da estabilidade do maciço cujos cálculos são apresentados no Volume 3 – Memória de Cálculo, deve-se dizer que tanto no talude de montante quanto no talude de jusante foi aplicado o Método de BISHOP modificado através de superfícies circulares em regiões denominadas superficiais, ou seja, os círculos passando inteiramente dentro do maciço da barragem, em regiões intermediárias onde os círculos, ainda, dentro do maciço se aproximam da interface maciço terreno natural e finalmente superfícies profundas onde os círculos cortam a base do aterro da barragem e mergulham na camada de material abaixo da barragem.

Em cada caso da análise foi pesquisada a situação de menor coeficiente de segurança.

Foram analisadas as situações de maciço de fundação não saturado, que corresponde a situação de final de construção, e maciço de fundação saturado que corresponde a situação de regime permanente. No segundo caso a pressão neutra, redutora da tensão efetiva, corresponde ao produto do peso específico da água  $\gamma_w = 10 \text{ kN} / \text{m}^3$  pela distância da linha freática ao círculo de exame. As cotas da linha freática são dados de alimentação ao programa SLOPE/W. Os círculos são gerados pelo programa. Os resultados dos valores mínimo em cada simulação são mostrados no Volume 3 – Memória de Cálculo.

Em tempo, deve-se, também aqui dizer que além das análise estática foram feitas simulações levando em conta a ocorrência de abalo sísmico. Para tanto, como recomenda a nomenclatura, foi adotado um multiplicador de aceleração da gravidade tanto para a componente normal como a tangencial. Foi adotado um acréscimo de 10% para todas as simulações efetuadas, ou seja, final de construção, regime permanente e rebaixamento rápido.

Os parâmetros de resistência adotados para os diversos materiais foram atribuídos a partir do cotejamento dos seguintes elementos: características dos materiais, resultado dos ensaios disponíveis, recomendações constantes na literatura, porte da obra e experiência do projetista.

Os fatores mínimos dos coeficientes de segurança adotados no processo de análise da estabilidade foram os recomendados usualmente na literatura. Esses valores são mostrados em forma de tabelas no Volume 3 – Memória de Cálculo.

A publicação “DESIGN OF SMALL DAMS” do BUREAU OF RECLAMATION dos Estados Unidos traz um estudo sobre os valores médios, desvio padrão, mínimo e máximo para os diversos solos. Para os solos das jazidas e da camada de fundação da barragem tem-se os seguintes solos: SM, SC, ML e CL. Para estes solos os valores efetivos são mostrados a seguir:

<b>Solos SM</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
C' (KPa)	45,50	38,60	146,15	1,38
$\phi'$ (°)	33,6	5,7	45,0	23,3

<b>Solos SC</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
C' (KPa)	34,47	17,23	58,59	4,82
$\phi'$ (°)	33,9	2,9	38,3	28,4

<b>Solos ML</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
C' (KPa)	24,81	29,64	82,03	0,69
$\phi'$ (°)	34,0	3,1	37,7	25,2

<b>Solos CL</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
C' (KPa)	71,00	52,39	164,07	6,2
$\phi'$ (°)	25,1	7,0	33,8	8,0

#### 4.1.2 Fundação do Vertedouro

A área onde será implantado o vertedouro foi estudada pelas sondagens SM-08 e SM-09 executadas na campanha do Projeto Básico e SM-201, SM-202, SM-203 e SM-204 executadas para a fase de Projeto Executivo.

A sondagem SM-08, localizada na estaca 37, apresentou até a profundidade de 3,00m uma argila siltosa, com SPT'S variando de 6 golpes a 15 golpes. Neste trecho foi realizado ensaio de infiltração, cujos coeficientes de permeabilidade encontrados variaram de  $3,77 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  a  $6,50 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ . Do horizonte de 3,00m a 11,45m foi identificado solo residual, formado por silte arenoso micáceo, cinza escuro, com SPT'S variando de 25/8 golpes até 30/1 golpes. Os ensaios de infiltração indicaram coeficientes de permeabilidade variando de  $2,91 \times 10^{-6} \text{cm/s}$  a  $9,89 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ . Entre os horizontes 11,45m e 14,00m foi encontrado o substrato rochoso, caracterizado por gnaisse com textura granítica, extremamente fraturado, medianamente fraturado, alterado, com recuperação de 20% a 98,6%.

A sondagem SM-09, realizada na estaca 40, apresentou até a profundidade de 3,90m uma argila siltosa, com pedregulhos, amarela, com SPT'S variando de 7 golpes a 20 golpes. Entre a profundidade de 3,90m e 11,00m foi encontrado solo residual, formado por silte arenoso micáceo, cinza, com SPT'S variando de 45 golpes a 25/2 golpes. Entre o horizonte 11,00m e 15,60m foi identificado substrato rochoso, formado por gnaisse com textura granítica, extremamente fraturado, medianamente fraturado, com recuperação variando de 90% a 97,5%.



A sondagem SM-201 foi executada na estaca 39. A profundidade atingida foi de 8,02m. De 0,00m a 1,97m foi encontrado solo residual e de 1,97m a 8,02m foi encontrado alteração de rocha.

A sondagem SM-202 foi executada a 80m a jusante da estaca 37+10,00. A profundidade atingida foi de 11,56m sendo 5,56m em solo residual e 6,00m em maciço rochoso gnáissico.

A sondagem SM-203 foi executada a 80m a jusante da estaca 35+10,00 com 9,85m de profundidade sendo 3,85m em solo residual e 6,00m em rocha tipo gnaisse.

A sondagem SM-204 foi executada a 260,00m a jusante da estaca 37+10,00 com 7,48m de profundidade sendo 4,48m em solo residual e alteração de rocha e 3,00m em rocha tipo gnaisse.

#### 1.5 - REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO

Durante a execução dos maciços e trincheiras de fundação haverá necessidade de ser afetado o rebaixamento do lençol freático. Visto a característica do maciço geotécnico o esgotamento das covas de fundação poderá ser feito através do bombeamento direto. Bastando que haja o cuidado de fazer a condução das águas para um ponto mais baixo e nesse local seja colocado um a dois anéis de concreto para servir de poço de sucção. A condução das águas pode ser feita para vários pontos sendo cada ponto um ponto de sucção.

#### 1.6 - GEOMETRIA DA TRINCHEIRA DE FUNDAÇÃO

A trincheira de vedação será executada nos locais e a princípio nas profundidades mostradas nos desenhos das seções transversais do Volume 2 – Desenhos.

A geometria do cut-off é de um trapézio com os lados inclinados com taludes de 1:1 (V:H). A escavação inicia no pé do filtro vertical e desce no sentido de montante. A base menor do trapézio terá 6,00m de extensão.



O assentamento da base do cut-off deverá sempre ser em solo residual, alteração de rocha ou rocha. A penetração mínima desses materiais será de 50cm.

### 1.7 - LOCAL DE BOTA-FORA

No lado de montante do eixo da Barragem Itapajé, ao longo da calha do rio, abaixo da cota 266,00m está destinada ao depósito de material de bota-fora, proveniente das escavações obrigatórias para a execução da obra.

### 1.8 - MATERIAIS DE CONSTRUÇÕES

As pesquisas dos materiais para construção foram feitas buscando localizar os materiais necessários o mais próximo da obra para otimizar os custos.

Desta forma foram identificadas dentro do sítio barrável quatro ocorrência de solo, denominadas J-01, J-02, J-03 e J-04, um areal identificado como A-01 e uma pedreira denominada P-01.

#### 4.2.1 Materiais Terrosos

A jazida J-01 fica situada entre os dois boqueirões para o lado de jusante. Nessa ocorrência foram feitos quatro furos a pá e picareta com coleta de amostra para realização de ensaios. Os solos dessa ocorrência são do tipo CL segundo a classificação USC. A profundidade média de exploração é de 2,0m e o volume disponível é de 100.000m<sup>3</sup>.

A jazida J-02 fica localizada por montante a cerca de 500m do eixo do Riacho Escorado ficando mais para a ombreira esquerda. A pesquisa desta ocorrência foi feita através da execução de quatro poços a pá e picareta com coleta de amostras para execução de ensaios geotécnicos. Os materiais dessa ocorrência segundo a classificação unificada são do tipo CL. A espessura média de exploração é de 1,50m. O volume disponível é de 157.500m<sup>3</sup>.

A jazida J-03 fica dentro do canal de restituição do vertedouro a cerca de 150m do eixo barrável medido do Riacho Escorado. Para estudar essa ocorrência, foram executados

três poços a pá e picareta com coleta de amostra para realização de ensaios de laboratório. Os solos dessa jazida foram classificados como CL segundo a classificação unificada de solos USC. A espessura de exploração da camada é de 1,00m e o volume disponível é de 20.000m<sup>3</sup>.

A jazida J-04 fica localizada por montante do eixo da barragem a cerca de 150m do ponto onde o Riacho Escorado cruza o eixo barrável. Para fazer o estudo desta jazida foram executados três poços a pá e picareta com coleta de amostras para realização de ensaios geotécnicos. Os resultados dos ensaios permitiram enquadrar os solos dessa jazida como sendo do tipo CL da classificação USC. A espessura média de exploração é de 1,50m e o volume disponível é de 157.500m<sup>3</sup>.

#### 4.2.2 Materiais Arenosos

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

Os ensaios de permeabilidade executados nas amostras apresentaram valores médios de  $2,2 \times 10^{-3}$  cm/s.

#### 4.2.3 Pedreira

O material da pedreira foi considerado adequado ao fim que se destina.

Os volumes encontrados em princípio atendem às necessidades da obra.

### 1.9 - MACIÇO DA BARRAGEM

A barragem foi concebida como sendo um maciço homogêneo a ser construída com material proveniente das jazidas J-02 e J-04. A barragem ficará com coroamento na cota 281,50m, com altura máxima de 19,70m na estaca 27.



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

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

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

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

A camada de transição tem a granulometria mostrada no Quadro nº4.1.

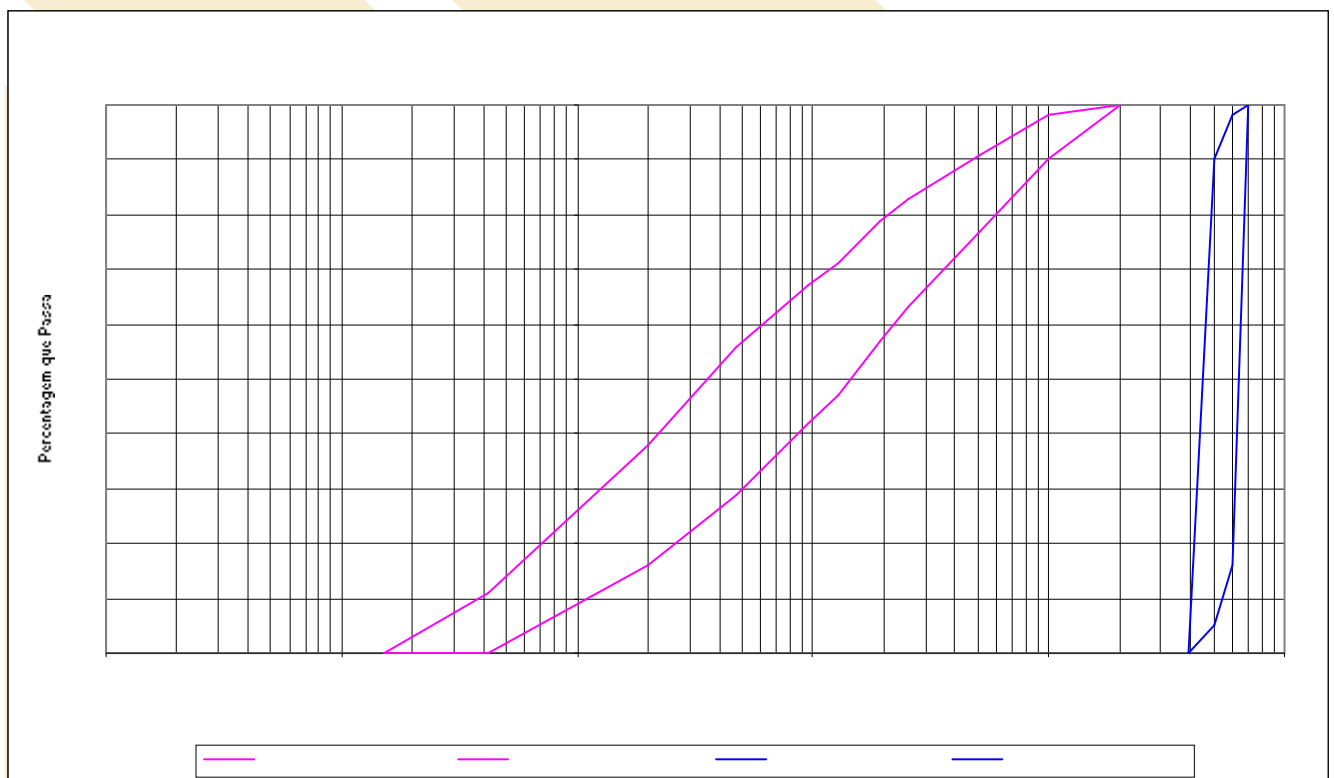
<b>Quadro nº4.1: Material do Enrocamento do Riprap</b>	
<b>Peneira</b>	<b>Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)</b>
700mm	100
600mm	16 – 98
500mm	5 – 90
390mm	0

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

<b>Quadro nº4.2: Material de Transição</b>	
<b>Peneira</b>	<b>Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)</b>
200mm	100
100mm	90 – 98
2" (50,8mm)	77 – 91
1" (25,4mm)	63 – 83

Quadro nº4.2: Material de Transição	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)
¾" (19,10mm)	57 – 79
½" (12,27mm)	47 – 71
3/8" (9,52mm)	42 – 67
Nº 4 (4,76mm)	29 – 56
Nº 10 (2,00mm)	16 – 38
Nº 40 (0,42mm)	0 – 11
Nº 100 (0,15mm)	0

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

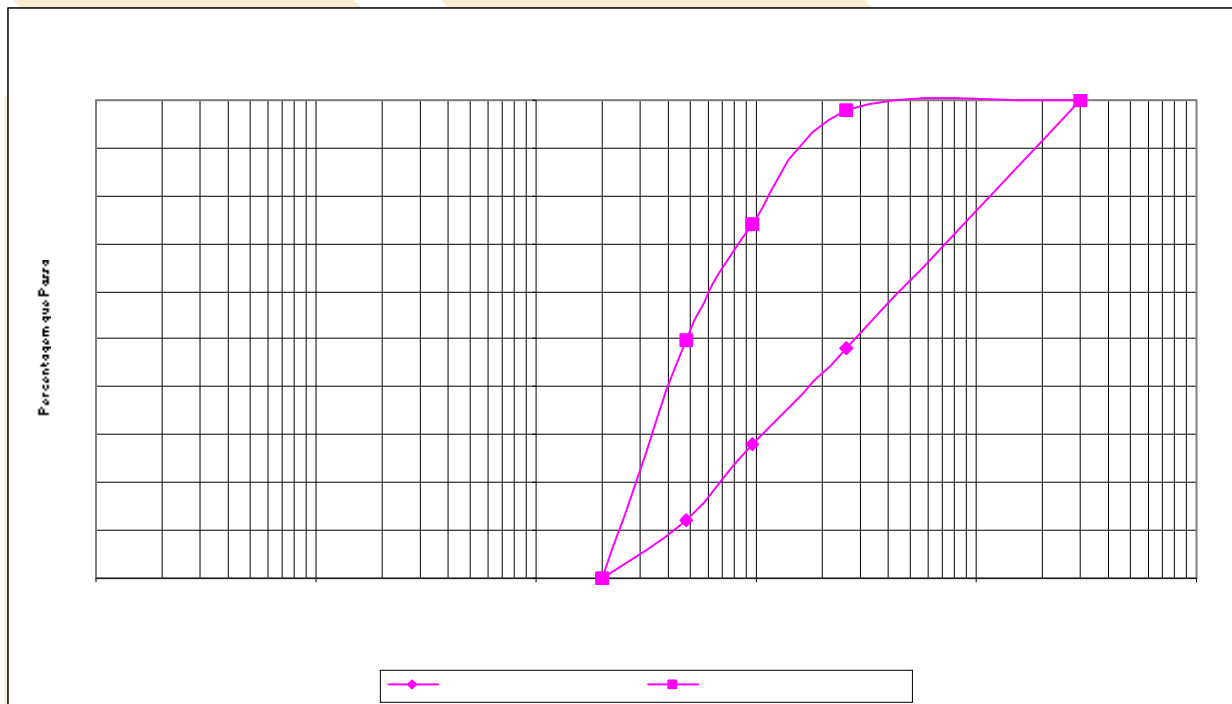


O talude de jusante terá inclinação de 1,0(V):2,0(H) em toda a sua extensão. Entre as estacas 3 e 10 será implantada uma berma na cota 274,00m, com 2,00m de largura.

Entre as estacas 24 e 28+10,00 será implantada uma berma na cota 272,00m, com 2,00m de largura. A proteção do talude será feita com uma camada de 0,30m de espessura de material britado, com granulometria mostrada no Quadro nº4.3.

<b>Quadro nº4.3: Material de Proteção do Talude de Jusante</b>	
<b>Peneira</b>	<b>Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)</b>
300mm	100
1" (25,4mm)	48 – 100
3/8" (9,5mm)	28 – 74
Nº 4 (4,8mm)	12 – 50
Nº 10 (2,0mm)	0

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



Para a drenagem interna do maciço da Barragem Itapajé, está prevista a construção de um filtro vertical e um tapete drenante. O filtro vertical terá 1,0m de espessura e será

executado com areia grossa proveniente do areal A-01. O filtro ficará com topo na cota 278,00m, coincidindo com a cota da soleira. O tapete horizontal consiste em um colchão de areia grossa proveniente do areal A-01, com espessura de 1,00m.

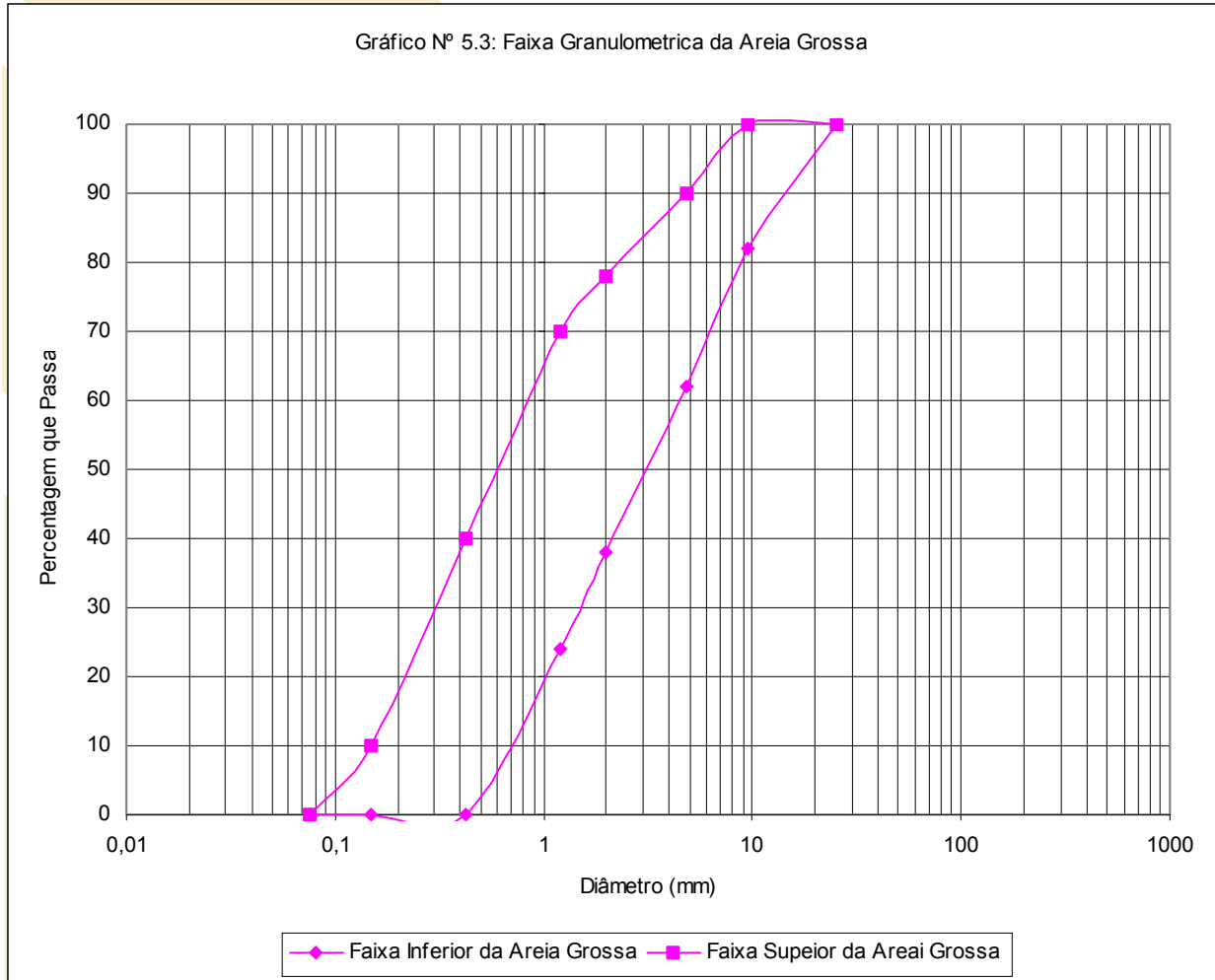
No Quadro nº4.4 é mostrada a faixa granulométrica a qual a areia grossa deverá estar enquadrada para formar o filtro e o tapete do sistema de drenagem interna da barragem.

<b>Quadro nº4.4: Areia Grossa</b>	
<b>Peneira</b>	<b>Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)</b>
2" (50,8mm)	100
1" (25,4mm)	100
¾" (19,10mm)	94 – 100
½" (12,27mm)	78 – 100
3/8" (9,5mm)	68 – 98
Nº 4 (4,76mm)	28 – 94
Nº 10 (2,00mm)	11 – 76
Nº 40 (0,42mm)	0 – 40
Nº 100 (0,15mm)	0 – 10
Nº 200 (0,075mm)	0

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

Entre as estacas 5 a 9 será executado um dreno de pé no talude de jusante consistindo num enrocamento de pedra com seção trapezoidal com crista na cota 270,00m e largura da crista de 2,0m, em toda a sua extensão, com talude de 1,0 (V): 1,5 (H). Entre as interfaces da base do terreno natural e enrocamento e maciço da barragem serão colocadas camadas de transição com 0,60m de espessura, sendo 0,30m de areia grossa e 0,30m de Brita "A".

Entre as estacas 24+10,00 a 28 será executado um dreno de pé no talude de jusante consistindo num enrocamento de pedra com seção transversal com crista na cota 268,00m e largura de crista de 2,00m, em toda a extensão, com talude de 1,0 (V) : 1,5 (H). Entre as interfaces da base do terreno natural e enrocamento e maciço da barragem serão colocadas camadas de transição com 0,60m de espessura, sendo 0,30m de areia grossa e 0,30m de Brita "A".



A areia grossa que formará a transição do rock-fill deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada no Quadro Nº4.4. A brita da transição do rock-fill, denominada de brita "A", deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada no Quadro Nº4.5.

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

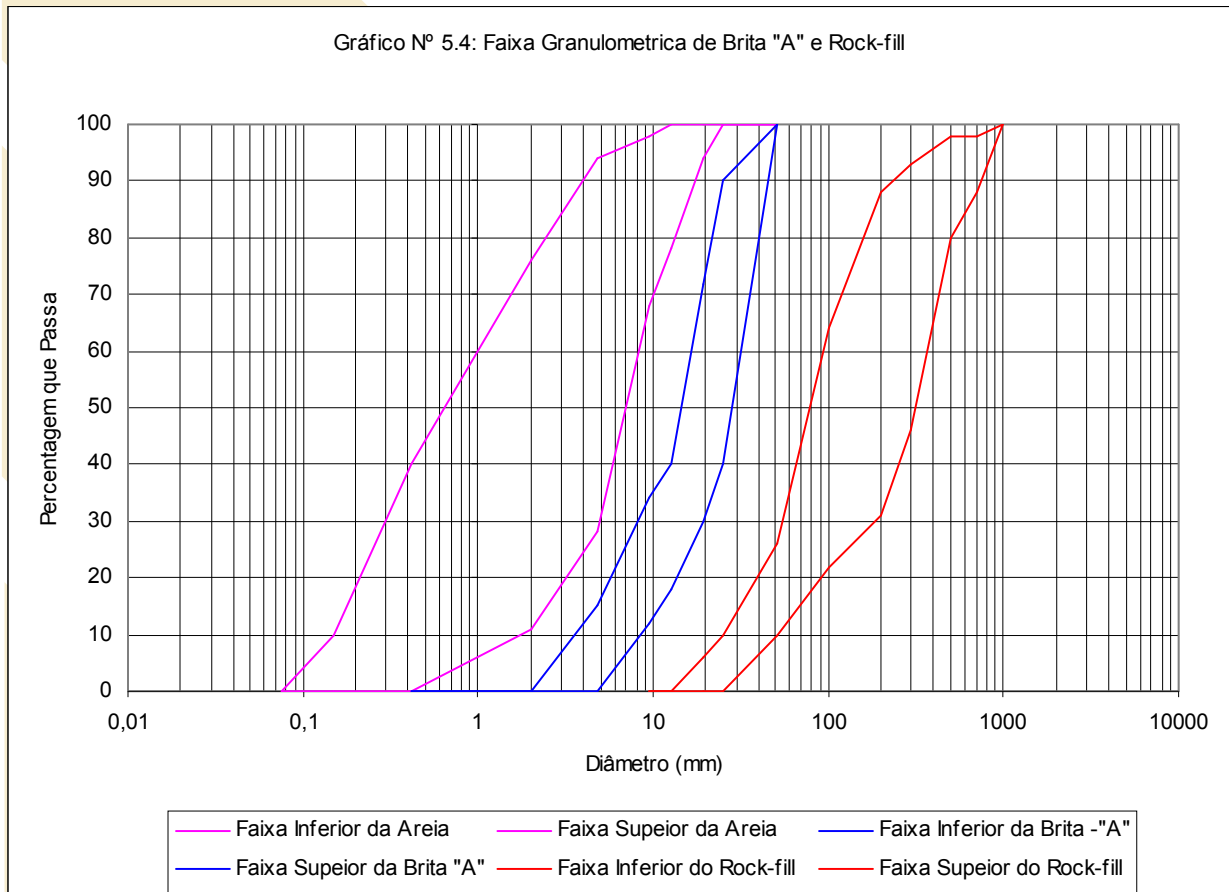
O enrocamento do rock-fill deverá estar enquadrado na faixa granulométrica apresentada no Quadro nº4.6.

[

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



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



### 1.10 - VERTEDOURO

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

Os estudos geotécnicos mostraram que ao longo do eixo transversal no barramento entre as estacas 32 e 38 o topo rochoso está abaixo da cota 272. Já a 80,00 para jusante o topo rochoso foi encontrado por volta da cota 268,40m e a 260,00m para jusante o topo rochoso foi encontrado na cota 270,50m.

A partir dessas informações foi projetado um canal de aproximação, um perfil “creager” fundado na 274,50 e vertendo num canal de concreto armado com extensão de cerca de 210,00m.

A soleira vertente foi colocada na cota 278,00m, quando o reservatório está acumulando 4,24hm<sup>3</sup>. A largura do vertedouro é de 30,00m.

No trecho do canal de concreto os muros laterais são, também, de concreto armado e foi previsto o grampeamento da laje por uma extensão de aproximadamente de 40,00m, ou seja, no eixo do vertedouro, a locação dos grampos encontram-se entre as estacas 3+5,00 e 5+5,00. Os grampos tem 5,50m de comprimento e são constituídos de aço CA-50 com diâmetro de 25mm. O espaçamento entre os grampos é de 2,50m.

O canal em perfil se desenvolve em rampa de 1,50%.

#### 4.2.4 Canal do Vertedouro

O eixo longitudinal do canal vertedouro está localizado perpendicularmente ao eixo topográfico da barragem na estaca 37+10,00. O eixo longitudinal projetado do vertedouro possui uma extensão de 527,99m, estando estaqueado de 20 em 20m. A estaca 3 do eixo projetada do vertedouro é igual a estaca 37+10,00 do eixo projetado da barragem.

O canal do vertedouro terá talude de escavação de 1,0 (V) : 2,0 (H), quando estiver em solo e quando o material de escavação for rocha, o talude será de 10,0 (V) : 1,0 (H). A base do canal terá 30,0m de largura.

O canal do vertedouro possui duas curva circular, com as características descritas no Quadro nº4.7

Quadro nº4.7: Elementos das Curvas do Canal Vertedouro							
Curva nº	Tipo	Estaca		AC	R (m)	T (m)	D (m)
		PC	PT				
1	Circular	0+131,89	0+180,33	55°30'19"	50,00	26,31	48,44

Quadro nº4.7: Elementos das Curvas do Canal Vertedouro							
Curva nº	Tipo	Estaca		AC	R (m)	T (m)	D (m)
		PC	PT				
2	Circular	0+251,63	0+317,30	65°05'28"	57,80	36,89	65,67

As estruturas do vertedouro principalmente no que se refere ao perfil creager serão fundados sobre rocha e a estrutura do perfil é de tal forma que dispensa a necessidade de utilização de sistemas de drenagem para alívio das subpressões. A estabilidade é obtida a partir da geometria do muro.

#### 1.11 - TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água será implantada na estaca 9 do eixo barrável, cujo terreno natural está na cota 269,521m. A tomada d'água terá extensão de 89,95m. A tomada d'água consistirá de uma galeria tubular de diâmetro  $\phi = 350\text{mm}$  de aço ASTM A-36. O eixo da galeria ficará na cota 265,00m. O corpo da galeria será envolto em concreto estrutural. A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de 0,100 m<sup>3</sup>/s.

O volume morto da Barragem Itapajé será na cota 266,00m, com um armazenamento de 0,28hm<sup>3</sup>.

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

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

#### 4.8.1 Canal da Tomada D'Água

Para a implantação da tomada d'água, foi projetado um canal escavado em solo, com base assente em rocha. O canal projetado terá uma extensão de 181,64m, com largura de base de 3,0m, com talude de 1,0(V):2,0(H) e escavado até a cota 264,525m.

O eixo longitudinal do canal da tomada d'água está localizado perpendicularmente ao eixo barrável na estaca 9. Quando projetado, o eixo longitudinal do canal foi estaqueado de 20 em 20 metros, nomeados em quilômetros. O eixo longitudinal do canal da tomada d'água cruza a estaca 9 do eixo barrável na estaca 5+10,00.

O canal da tomada d'água possui uma curva circular com a característica descrita no Quadro nº4.8:

<b>Quadro nº4.8: Elementos das Curvas do Canal da Tomada D'Água</b>							
<b>Curva</b>	<b>Tipo</b>	<b>Estaca</b>		<b>AC</b>	<b>R (m)</b>	<b>T (m)</b>	<b>D (m)</b>
		<b>PC</b>	<b>PT</b>				
1	Circular	2+3,098	2+16,989	49°58'05"	15,00	6,99	13,08
2	Circular	8+3,421	8+15,821	47°21'52"	15,00	6,58	12,40

#### 1.12 - APRESENTAÇÃO DO PROJETO EXECUTIVO

No Volume 2 – Desenhos são apresentados os desenhos do Projeto Executivo da Barragem Itapajé, como discriminado no Quadro nº4.9 a seguir.

<b>Quadro Nº4.9: Relação dos Desenhos</b>	
<b>DESENHO Nº</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>TOMO I</b>	
IT-01/32	Bacia Hidráulica
IT-02/32	Estudos Topográficos e Locação dos Eixos
IT-03/32	Perfil Longitudinal do Eixo Barrável
IT-04/32	Arranjo Geral das Obras
IT-05/32	Perfil Longitudinal do Eixo Barrável
IT-06/32	Planta de Locação dos Furos de Sondagens
IT-07/32	Perfil Longitudinal do Subsolo do Eixo Barrável
IT-08/32	Perfil Longitudinal do Subsolo do Eixo do Vertedouro
IT-09/32	Localização das Ocorrências
IT-10/32	Seção Máxima do Eixo Barrável – Estaca 27
IT-11/32	Seções Tipo do Eixo Barrável – (1º Trecho)

<b>Quadro Nº4.9: Relação dos Desenhos</b>	
<b>DESENHO Nº</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>TOMO I</b>	
IT-12/32	Seções Tipo do Eixo Barrável – (2º Trecho)
IT-13/32	Seções do Eixo Barrável – (1º Trecho) – Estaca 01 a Estaca 05
IT-14/32	Seções do Eixo Barrável – (1º Trecho) – Estaca 06 a Estaca 08
IT-15/32	Seções do Eixo Barrável – (1º Trecho) – Estaca 09 a Estaca 11
IT-16/32	Seções do Eixo Barrável – (2º Trecho) – Estaca 23 a Estaca 26
<b>TOMO II</b>	
IT-17/32	Seções do Eixo Barrável – (2º Trecho) – Estaca 27 a Estaca 29
IT-18/32	Seções do Eixo Barrável – (2º Trecho) – Estaca 30 a Estaca 39
IT-19/32	Vertedouro – Planta de Escavação do Canal do Vertedouro
IT-20/32	Escavação do Vertedouro – Perfil e Seções
IT-21/32	Vertedouro – Perfil Longitudinal e Seções
IT-22/32	Vertedouro – Perfil Creager e Detalhes
IT-23/32	Lajes e Muros de Contenção do Vertedouro – Fôrma e Armadura
IT-24/32	Vertedouro – Locação das Juntas e Detalhes
IT-25/32	Locação dos Chumbadores no Vertedouro – Planta, Perfil e Detalhes
IT-26/32	Escavação do Canal da Tomada D'Água – Planta, Perfil e Seções
IT-27/32	Seção da Tomada D'Água e Detalhes
IT-28/32	Caixa de Montante e Caixa de Dissipação da Tomada D'Água – Fôrma
IT-29/32	Armadura da Caixa de Dissipação da Tomada D'Água
IT-30/32	Armadura da Caixa de Montante e Galeria da Tomada D'Água
IT-31/32	Drenagem Superficial – Planta
IT-32/32	Drenagem Superficial – Detalhes



## 5 – EQUIPAMENTO MÍNIMO

---

**RW** – ENGENHEIROS CONSULTORES S/C LTDA

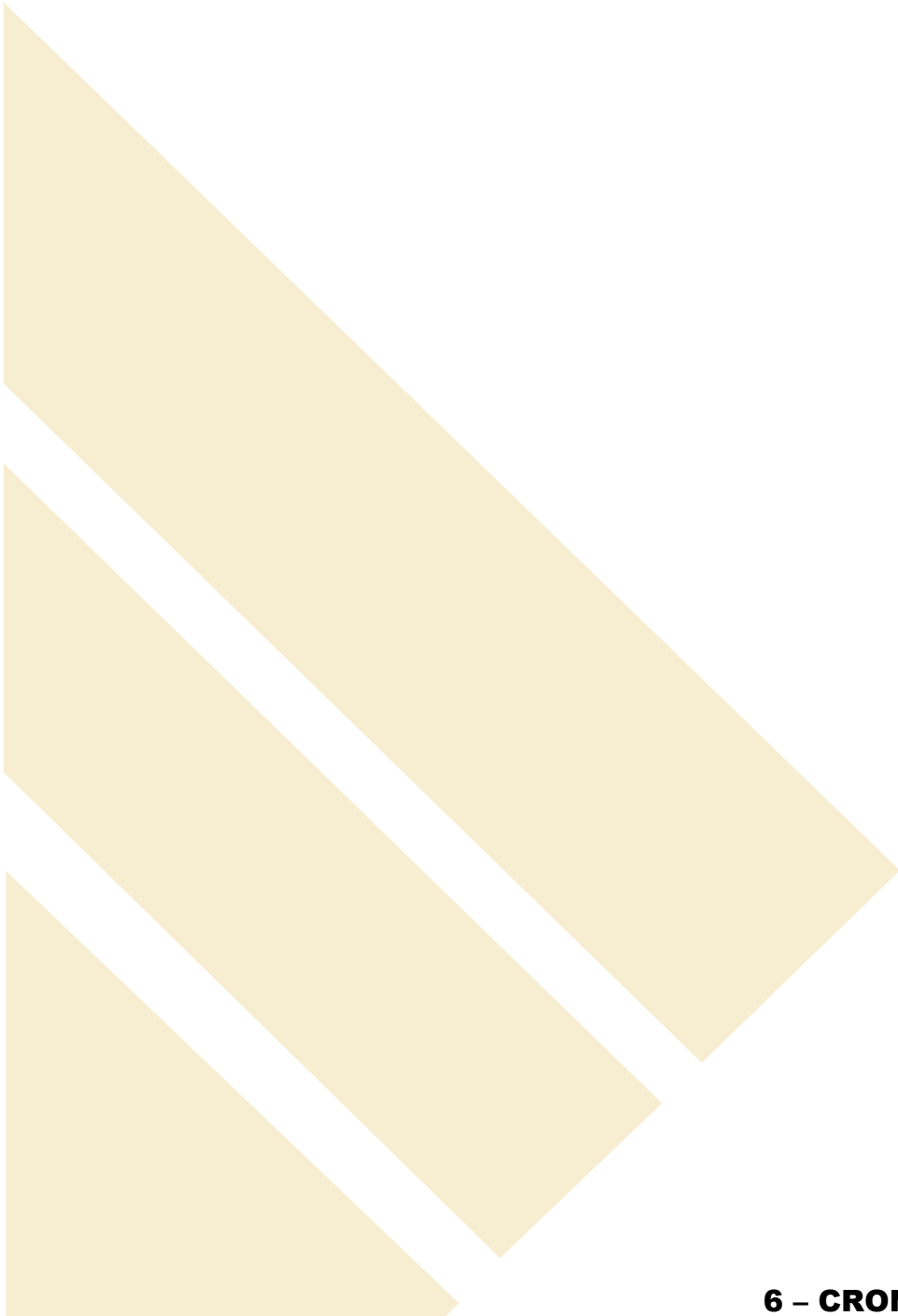
Av. Santos Dumont, 1343 - Sala 906 / Cep: 60.150-160 - Aldeota  
CNPJ 04072015/0001-16 / Fone: (85) 3226.5103 - Fortaleza - Ceará  
[rwconsultores@secrel.com.br](mailto:rwconsultores@secrel.com.br)



## 5 – EQUIPAMENTO MÍNIMO

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

<b>Quadro nº5.1: Equipamento Mínimo</b>		
1.	Trator de esteiras com potência igual ou superior a 270HP	02
2.	Trator de esteiras com Potência igual ou superior a 140HP	02
3.	Trator de pneus com potência igual ou superior a 100HP	03
4.	Carregadeira frontal com potência igual ou superior a 170HP	04
5.	Motoniveladora com Potência igual ou superior a 125HP	03
6.	Caminhão basculante com capacidade igual ou superior a 6m <sup>3</sup>	10
7.	Betoneiras com capacidade mínima de 320l	03
8.	Caminhão pipa com capacidade igual ou superior a 6000l com irrigadeira	04
9.	Rolo compactador autopropelido vibratório pé-de-carneiro de 10 ton ou similar	03
10.	Rolo liso autopropelido vibratório de 10ton ou similar	01
11.	Retro-escavadeira com capacidade igual ou superior a 0,6m <sup>3</sup>	02
12.	Conjunto de britagem com capacidade igual ou superior a 20m <sup>3</sup> /h	02
13.	Compressor de ar com capacidade igual ou superior a 700pcm (pés cúbicos por minuto)	02
14.	Compressor de ar portátil c/ capacidade superior a 250pcm	01
15.	Carreta de perfuração com capacidade igual ou superior a 500pcm (pés cúbicos por minuto)	02
16.	Grade de disco com capacidade de 20 discos de 24"	02
17.	Sapo mecânico	02
18.	Marteletes de 24Kg	04



## **6 – CRONOGRAMA FÍSICO**

---

**RW** – ENGENHEIROS CONSULTORES S/C LTDA

Av. Santos Dumont, 1343 - Sala 906 / Cep: 60.150-160 - Aldeota  
CNPJ 04072015/0001-16 / Fone: (85) 3226.5103 - Fortaleza - Ceará  
[rwconsultores@secrel.com.br](mailto:rwconsultores@secrel.com.br)





## 6 – CRONOGRAMA FÍSICO

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

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

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

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

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

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

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

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

- a) escavação do Vertedouro;

- b) escavação da barragem nas ombreiras e no vale do eixo.
- c) Início do tratamento de fundações da barragem.
- d) execução do aterro compactado nas ombreiras
- e) escavação da Tomada d'água
- f) Concretagem da tomada d'água.

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

Nesta etapa corresponde ao período seco e deverá ser executado:

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

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

Neste período deverão ser executados os seguintes trabalhos:

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

**Figura nº 6.1: Cronograma**

