

**BARRAGEM JATOBÁ**

**MÓDULO IV – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM**  
**VOLUME I – DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO**  
**TOMO 1 – MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO**

EDITADO EM JULHO DE 2006

**ÍNDICE**

**ÍNDICE**

**ÍNDICE .....1**

<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS.....</b>	<b>16</b>
<b>3 – ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS.....</b>	<b>19</b>
3.1 – CARTOGRAFIA.....	19
3.2 – TOPOGRAFIA .....	20
<b>3.2.1 – Levantamento do Eixo Barrável e do Vertedouro.....</b>	<b>20</b>
3.2.1.1 – Locação dos eixos e Implantação de Marcos .....	20
3.2.1.2 – Nivelamento.....	21
3.2.1.3 – Levantamento de Seções Transversais.....	21
<b>3.2.2 – Levantamento do Canal de Restituição.....</b>	<b>21</b>
3.2.2.1 – Locação .....	21
3.2.2.2 – Nivelamento e Levantamento de Seções Transversais.....	22
<b>3.2.3 – Coordenadas e Cotas .....</b>	<b>22</b>
3.3 – INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS .....	22
<b>3.3.1 – Investigações Geológicas.....</b>	<b>23</b>
3.3.1.1 – Geologia Regional .....	23
3.3.1.2 – Geologia Local.....	25
<b>3.3.2 – Investigações Geotécnicas.....</b>	<b>26</b>
3.3.2.1 – Descrição das Sondagens Executadas .....	28
3.3.2.2 – Sondagens a Pá e Picareta .....	28
3.3.2.3 – Sondagens a Percussão.....	28
3.3.2.4 – Sondagens Mistas .....	29
<b>3.3.3 – Ensaio In Situ .....</b>	<b>29</b>

3.3.3.1 – Ensaio de Permeabilidade com Carga Constante .....	29
3.3.3.2 – Ensaio de Perda D'Água Específica .....	30
<b>3.3.4 – Pesquisa de Jazidas.....</b>	<b>30</b>
3.3.4.1 – Jazidas de Solo (Empréstimos 1, 2, 3, 4 e 5) .....	31
3.3.4.2 – Jazidas de Areia (Areal 1) .....	33
3.3.4.3 – Pedreira .....	34
<b>3.3.5 – Ensaio de Laboratório.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3.6 – Estudo Complementar .....</b>	<b>35</b>
3.4 – HIDROLOGIA.....	35
<b>3.4.1 – Característica Física da Bacia Hidrográfica .....</b>	<b>35</b>
<b>3.4.2 – Estudo de Cheias.....</b>	<b>36</b>
3.4.2.1 – Metodologia .....	36
3.4.2.2 – Precipitação .....	37
3.4.2.3 – Precipitação Efetiva .....	38
3.4.2.4 – Hidrograma Unitário – SCS .....	40
<b>3.4.3 – Curvas de Regulação do Reservatório .....</b>	<b>42</b>
3.4.3.1 – Metodologia .....	43
3.4.3.2 – Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico .....	43
3.4.3.3 – O Diagrama Triangular de Regularização .....	45
3.4.3.4 – Resultados.....	46
<b>3.4.4 – Dimensionamento do Vertedouro .....</b>	<b>48</b>
3.4.4.1 – Propagação da Cheia no Reservatório.....	49
3.4.4.2 – Resultados.....	49
<b>3.4.5 – Sumário Técnico dos Estudos Hidrológicos .....</b>	<b>54</b>

<b>4 – ALTERNATIVAS EXAMINADAS E JUSTIFICATIVA DA OPÇÃO ESCOLHIDA...</b>	<b>57</b>
<b>5 – DESCRIÇÃO DO PROJETO.....</b>	<b>59</b>
5.1 – CARACTERIZAÇÃO DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM E VERTEDOIRO.....	60
<b>5.1.1 – Fundação da Barragem.....</b>	<b>60</b>
<b>5.1.2 – Fundação do Vertedouro .....</b>	<b>61</b>
5.2 – REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO .....	61
5.3 – GEOMETRIA DA TRINCHEIRA DE FUNDAÇÃO .....	62
5.4 – LOCAL DE BOTA-FORA.....	62
5.5 – TRATAMENTO DAS FUNDAÇÕES .....	62
5.6 – MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO .....	63
5.7 – CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO DA BARRAGEM.....	63
5.8 – VAZÕES DE PERCOLAÇÃO PELO MACIÇO E FUNDAÇÃO .....	69
5.9 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE.....	73
<b>5.9.1 – Método Bishop Simplificado .....</b>	<b>74</b>
<b>5.9.2 – Programa Slope/W.....</b>	<b>75</b>
5.9.2.1 – Método de Análise .....	76
5.9.2.2 – Geometria e Estratigrafia.....	76
5.9.2.3 – Superfície de Escorregamento .....	76
5.9.2.4 – Pressão Neutra.....	76
5.9.2.5 – Propriedade do Solo .....	77
5.9.2.6 – Definição do Problema .....	78
5.9.2.7 – Resolução do Problema .....	79
5.9.2.8 – Apresentação dos Resultados.....	79
5.9.2.9 – Formulário .....	79

<b>5.9.3 – Resultados Obtidos</b> .....	<b>80</b>
5.10 – TOMADA D'ÁGUA.....	81
5.11 – VERTEDOIRO .....	82
<b>5.11.1 – Perfil Creager</b> .....	<b>84</b>
<b>5.11.2 – Cálculo da Lâmina no Trecho do Vertedouro Lateral</b> .....	<b>86</b>
<b>5.11.3 – Cálculo da Lâmina no Canal Rápido</b> .....	<b>92</b>
<b>5.11.4 – Cálculo do Comprimento do Ressalto e da Altura Conjugada</b> .....	<b>95</b>
5.12 – RELAÇÃO DOS DESENHOS.....	96
<b>6 – CANTEIRO DE OBRA</b> .....	<b>99</b>
<b>7 – EQUIPAMENTO MÍNIMO</b> .....	<b>100</b>

## **APRESENTAÇÃO**

### **APRESENTAÇÃO**

O consórcio KL – Serviços de Engenharia S/S Ltda, MABE – Infra-Estrutura e Serviços Ltda e ENERCONSULT S/A, no âmbito do contrato Nº11/PROGERIRH/CE/SRH/2003 do Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará – PROGERIRH tem por finalidade a Elaboração dos Estudos de Viabilidades Técnicas, Ambientais, Econômicas, Eias - Rimas, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais e Planos de Reassentamentos de Populações, Manuais de Operação e Manutenção e Avaliação Financeira e Econômica referentes às Barragens: Mamoeiro, Riacho do Meio, Melancia, Jucá e Jatobá e Adutoras de Antonina do Norte, Granjeiro e Ipueiras.

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

Módulo I: Estudos de Alternativas de Localização das Barragens e Adutoras

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

Módulo II: Estudos Básicos, Anteprojetos e Avaliações

VOLUME I: Estudos Básicos

TOMO 1 – Relatório Geral - Textos

TOMO 2 – Estudos Hidrológicos

TOMO 3 – Estudos Cartográficos

TOMO 4 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

TOMO 5 – Estudos Pedológicos

VOLUME II: Anteprojetos

TOMO 1 – Relatório de Concepção Geral

TOMO 1A – Desenhos e Plantas

TOMO 1B – Memória de Cálculo

VOLUME III: Avaliações Financeiras e Econômicas

TOMO 1 – Relatório de Avaliações Financeira e Econômica

Módulo III: Estudos dos Impactos no Meio Ambiente (EIA/RIMA)

VOLUME I: EIA

VOLUME II: RIMA

**Módulo IV: Detalhamento do Projeto Executivo das Barragens**

**VOLUME I: Detalhamento do Projeto Executivo**

**TOMO 1 – Memorial Descritivo do Projeto**

TOMO 2 – Desenhos do Projeto

TOMO 3 – Memória de Cálculo

TOMO 4 – Especificações Técnicas

TOMO 5 – Quantitativos e Orçamentos

TOMO 6 – Síntese

Módulo V: Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento

VOLUME I: Levantamento Cadastral

TOMO 1 – Relatório Geral

TOMO 2 – Laudos Individuais de Avaliação

TOMO 3 – Levantamentos Topográficos

VOLUME II: Plano de Reassentamento

TOMO 1 – Relatório Final de Reassentamento

Módulo VI: Projeto Executivo das Aduadoras

VOLUME I: Estudos Básicos

TOMO 1 – Levantamentos Topográficos

TOMO 2 – Investigações Geotécnicas

VOLUME II: Anteprojeto

VOLUME III: Detalhamento do Projeto Executivo

TOMO 1 – Memorial Descritivo

TOMO 2 – Memória de Cálculo

TOMO 3 – Quantitativos e Orçamentos

TOMO 4 – Especificações Técnicas e Normas de Medições

Módulo VII: Elaboração dos Manuais de Operação e Manutenção

VOLUME I: Manuais de Operação e Manutenção

O presente relatório que trata da **Barragem Jatobá**, aqui nomeado como Volume I – Detalhamento do Projeto Executivo, Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto, é parte integrante do Módulo IV – Projeto Executivo da Barragem.

## **1 – INTRODUÇÃO**

### **1 – INTRODUÇÃO**

O consórcio constituído pelas empresas KL – Serviços de Engenharia S/S Ltda, MABE – Infra-Estrutura e Serviços Ltda e ENERCONSULT S/A vem, através desta, apresentar, em atendimento ao Contrato N°11/PROGERIRH/SRH/2003, o Projeto Executivo da Barragem Jatobá.

Neste volume que corresponde ao TOMO 1 do VOLUME I é apresentado o Memorial Descritivo do Projeto.

Este relatório de concepção foi desenvolvido abordando os seguintes capítulos:

- Localização e Acessos;
- Análise dos Estudos Básicos;
- Investigações Geológicas e Geotécnicas;
- Alternativas Examinadas e Justificativa da Opção Escolhida;
- Descrição do Projeto;

- Canteiro de Obra;
- Equipamento Mínimo.

A seguir é mostrado a Ficha Técnica da Barragem Jatobá onde se discrimina os principais elementos técnicos.

## **FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM JATOBÁ**

### **Identificação**

Denominação:.....Barragem Jatobá  
 Estado:.....Ceará  
 Município:.....Ipueiras  
 Rio Barrado:.....Riacho Jatobá  
 Coordenadas UTM (SAD-69):.....E(X)=306.238; N(Y)=9.492.498  
 Proprietário:.....SRH/CE  
 Autor do Projeto:.....Consórcio KL Engenharia, MA/BE e Enerconsult  
 Data do Projeto:.....Novembro/2005

### **Bacia Hidrográfica**

Área da Bacia Hidrográfica Total:.....41,38km<sup>2</sup>  
 Perímetro da Bacia Hidrográfica.....27,04km  
 Fator de Compacidade.....1,19  
 Fator de Forma.....0,45  
 Tempo de Concentração.....1,10h  
 Declividade Média:.....63,65m/km  
 Comprimento do Rio Principal:.....9,60km  
 Pluviosidade Média Anual:.....826,1mm  
 Evaporação Média Anual:.....2.094,4mm  
 Evapotranspiração Potencial (Hargreaves):.....2.063,9mm

Insolação Média Anual:.....	2.613,2h
Umidade Relativa Média Anual:.....	60,2%
Temperatura Média Anual: Média das Máximas.....	32,5°C
Temperatura Média Anual: Média das Médias .....	25,8°C
Temperatura Média Anual: Média das Mínimas.....	21,0°C
Classificação Climática: .....	DS2A'a'
Classificação Climática Segundo Koeppen:.....	BWx'

### **Características do Reservatório**

Área da Bacia Hidráulica (cota 266,00m):.....	136,90ha
Volume Acumulado (cota 266,00m):.....	6,24hm <sup>3</sup>
Volume Afluente Médio Anual:.....	0,830hm <sup>3</sup> /ano
Vazão Regularizada (90%):.....	0,028m <sup>3</sup> /s
Vazão Máxima de Projeto (TR=1.000 anos):.....	748,0m <sup>3</sup> /s
Vazão Máxima de Projeto (TR=10.000 anos):.....	911,0m <sup>3</sup> /s
Nível d'água Máximo (TR=1.000 anos):.....	268,20m
Nível d'água Máximo Maximorum (TR=10.000 anos).....	268,80m

### **Barragem Principal – Tipo Homogênea de Terra**

Altura Máxima:.....	22,05m
Largura do Coroamento:.....	6,00m
Extensão pelo Coroamento (15+15,00 a 49+10,00):.....	762,15m
Cota do Coroamento:.....	269,80m
Largura Máxima da Base:.....	86,54m
Talude de Montante:.....	1,0(V):2,0(H)
Talude de Jusante:.....	1,0(V):2,0(H)

## **Tomada D'Água**

Tipo:.....Tubo Flangeado em Aço Carbono Envelopado por Galeria de Concreto

Diâmetro:.....1-  $\phi=300\text{mm}$

Cota do Eixo da Tubulação:.....257,00m

Controle de Montante:.....Comporta Stop-Log com Acionamento Manual

Controle de Jusante:

Registro de Gaveta:.....1-  $\phi=300\text{mm}$

Válvula Borboleta:.....1-  $\phi=300\text{mm}$

Volume Morto (cota 259,00m):.....0,74hm<sup>3</sup>

## **Vertedouro**

Tipo:.....Perfil Creager, Canal Lateral, Canal Rápido e Bacia de Dissipação

Soleira:

Cota:.....266,00m

Largura:.....30,00m

Canal Lateral (Seção Trapezoidal):

Cota:.....263,00m

Largura da Base:.....Variável de 10,00m a 16,00m

Extensão:.....12,00m

Canal Rápido (Seção Trapezoidal):

Cota Inicial:.....263,00m

Cota Final:.....248,00m

Largura da Base:.....Variável de 16,00m a 20,00m

Extensão:.....170,44m

Bacia de Dissipação (Seção Trapezoidal)

Cota:.....248,00m

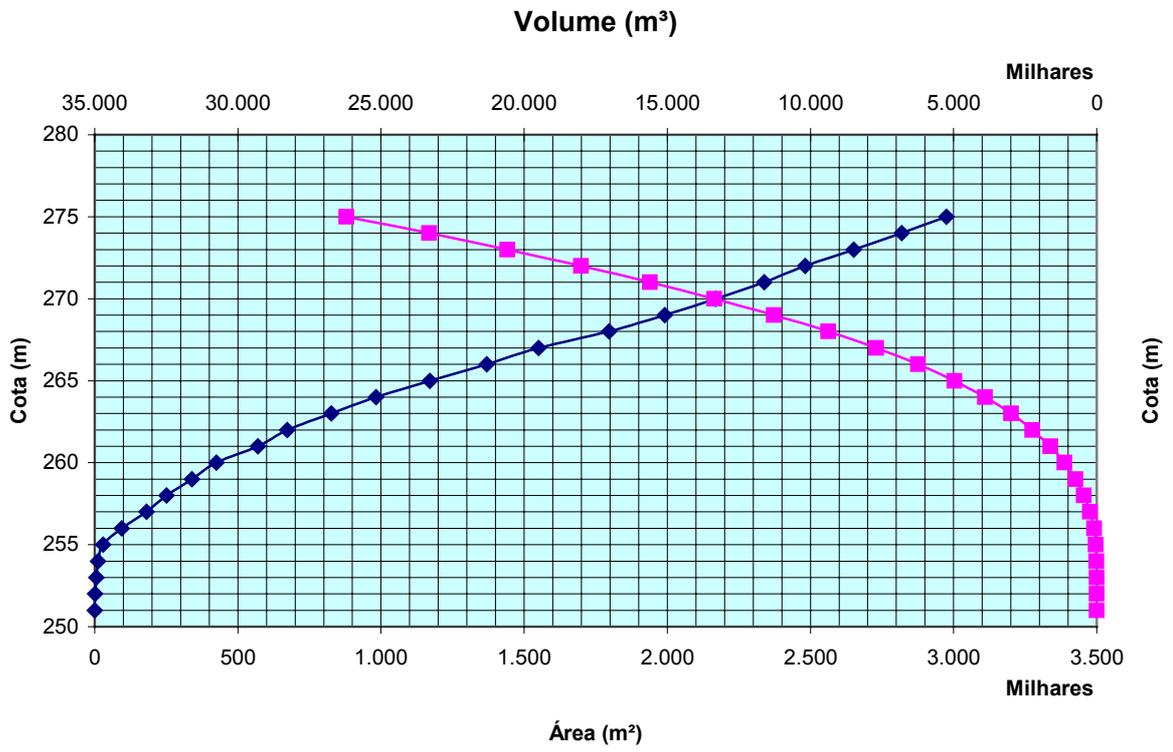
Largura da Base:.....20,00m

Extensão:.....109,05m

Os dados da Curva Cota x Área x Volume são mostrados no Quadro N°1.1 e a Curva é mostrada no Gráfico N°1.1.

<b>Quadro N°1.1: Curva Cota x Área x Volume</b>		
<b>Cota (m)</b>	<b>Área (m²)</b>	<b>Volume (m³)</b>
251,0	0,00	0,00
252,0	1.238,40	619,02
253,0	5.378,39	3.927,24
254,0	10.694,59	11.963,73
255,0	29.629,79	32.125,92
256,0	94.706,78	94.294,20
257,0	181.194,04	232.244,61
258,0	250.962,28	448.322,77
259,0	339.812,75	743.710,29
260,0	425.251,97	1.126.242,65
261,0	570.045,02	1.623.891,14
262,0	671.973,23	2.244.900,27
263,0	826.109,69	2.993.941,73
264,0	982.244,09	3.898.118,62
265,0	1.170.480,47	4.974.480,90
266,0	1.369.012,37	6.244.227,32
267,0	1.550.652,55	7.704.059,78
268,0	1.796.589,51	9.377.680,81
269,0	1.990.948,25	11.271.449,69
270,0	2.168.818,66	13.351.333,14
271,0	2.338.773,94	15.605.127,44
272,0	2.481.800,50	18.015.416,66
273,0	2.650.642,93	20.581.638,38
274,0	2.818.311,78	23.316.115,73
275,0	2.975.128,19	26.212.835,72

Gráfico Curva Cota Área Volume



**2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS**

**2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS**

O sítio do barramento localiza-se no Riacho Jatobá, no município de Ipueiras.

O acesso ao local da obra é feito a partir de Fortaleza pela BR-222 até chegar a cidade de Tianguá, percorrendo 318,8 km. Em Tianguá, pega-se a rodovia estadual CE-187 até a cidade de Ipu, passando pelas cidades de Ubajara, Ibiapina, São Benedito e Guaraciaba do Norte, percorrendo 87 km. Da cidade de Ipu até a cidade de Ipueiras percorre-se 24,0 km pela rodovia estadual CE-187 (trecho coincidente com a rodovia federal BR-403).

Um segundo acesso a obra seria pegando a BR-020 até a cidade de Canindé, percorrendo 120,2 km. Em Canindé, pega-se a rodovia estadual CE-257, até o entroncamento da CE-257 com a CE-187, passando pelo distrito de Salitre e cidades de Santa Quitéria e Hidrolândia, percorrendo uma distância total de 174 km. No entroncamento CE-257 com a CE-187, percorrendo 7 km para a direita chega-se a Ipu, ou percorrendo 17 km para a esquerda chega-se a Ipueiras.

Para chegar ao eixo selecionado (Eixo IV-A), parte-se da cidade de Ipueiras por uma estrada vicinal carroçável a qual dá acesso a Ararendá. O eixo em estudo fica a 5,0 km da sede do município de Ipueiras, na Fazenda Cupira.

Na **Figura Nº 2.1** a seguir é apresentado o mapa de localização e acesso.

**Figura 2.1**

## **3 – ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS**

### **3 – ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS**

Neste capítulo é apresentado de maneira sucinta os Estudos Básicos realizados na Barragem Jatobá.

#### **3.1 – CARTOGRAFIA**

Os estudos cartográficos consistiram no levantamento aerofotogramétrico na área do reservatório da Barragem Jatobá, enquadrada geograficamente nas coordenadas 4°31' – 4°41' S e 40°41' – 40°49' WGR.

Os serviços cartográficos realizados foram os seguintes:

- Cobertura aerofotogramétrica de uma área de 88,87km<sup>2</sup>, na escala de 1:15.000;
- Apoio fotogramétrico de 88,87km<sup>2</sup> voado com levantamento de 12HV's;
- Aerotriangulação de 23 modelos, 88,87km<sup>2</sup>;
- Restituição estereofotogramétrica digital de uma área de 6,99km<sup>2</sup> na escala de 1:5.000;
- Confeção e edição final de duas plantas topográficas na escala de 1:5.000, perfazendo um total de 6,99km<sup>2</sup> de edição cartográfica.

### 3.2 – TOPOGRAFIA

Os estudos topográficos da Barragem Jatobá constituíram na execução dos seguintes serviços, a saber:

- Levantamento do Eixo Barrável e do Vertedouro;
- Levantamento do Canal de Restituição;
- Coordenadas e Cotas.

#### **3.2.1 – Levantamento do Eixo Barrável e do Vertedouro**

O eixo da barragem Jatobá foi locado em um boqueirão com características topográficas favoráveis, onde o Vertedouro foi definido e estudado no mesmo alinhamento do eixo da barragem na ombreira direita na estaca 53.

Os levantamentos topográficos do eixo barrável e do Vertedouro, foram executados através de locação de estação total, pelo método de coordenadas com identificação dos eixos: Este, Norte, elevação e descrição dos pontos identificados. Os serviços realizados foram: locação; implantação de marcos para futura relocação; nivelamento e levantamento de seções transversais.

##### 3.2.1.1 – Locação dos eixos e Implantação de Marcos

Utilizando-se GPS manual GARMIN 12 e a Estação Total descrita anteriormente, locou-se o eixo da barragem e do Vertedouro, o qual foi materializado a cada 20 metros por pontos estaqueados e numerados, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis tais como: talwegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno entre outros.

O eixo da barragem parte da estaca 00, localizada na ombreira esquerda, onde implantou-se o marco de concreto M-1 aquém 1,30 metros seguindo daí até a estaca final 58+12.28 onde implantou-se o marco de concreto M-2 à 1,40 metros além da estaca 58+12,28, posteriormente realizou-se um estaqueamento complementar, seguindo da estaca 58 até 61+11,50 metros, e da estaca -01 até -26 totalizando uma extensão de 1.751,50 metros.

O eixo do Vertedouro foi locado partindo da estaca 53, o qual foi estaqueado da estaca 501 até a 527+10,2, no riacho Jatobá.

O quadro a seguir apresenta a relação dos marcos implantados.

MARCO	ESTACA	COORDENADAS UTM (m)	
		ESTE	NORTE
M-1	-	306.238,420	9.492.948,127
M-2	-	306.804,689	9.491.918,681

### 3.2.1.2 – Nivelamento

O levantamento altimétrico da Barragem Jatobá e o seu respectivo Vertedouro, foi realizado utilizando-se GPS e Estação Total, onde foram niveladas todas as estacas do eixo materializado.

### 3.2.1.3 – Levantamento de Seções Transversais

Foram levantadas seções transversais ao eixo da barragem e do Vertedouro a cada 20 metros abrangendo uma faixa de domínio com largura de 150 metros à montante e à jusante, e se constituíram de pontos cotados a cada 10 metros, considerando também os pontos de destaque do relevo topográfico.

Numa fase posterior, para um melhor desenvolvimento dos estudos, a faixa de domínio foi expandida à montante e a jusante, para cerca de 400 e 300 metros, respectivamente.

## 3.2.2 – Levantamento do Canal de Restituição

Assim como o eixo barrável e o Vertedouro, o canal de restituição da barragem Jatobá, foi levantado plani-altimetricamente através de Estação Total, pelo método de coordenadas com identificação dos eixos: Este, Norte, elevação e descrição dos pontos identificados. Os serviços topográficos executados no canal de restituição, foram os seguintes: locação; nivelamento e levantamento de seções transversais.

### 3.2.2.1 – Locação

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

A partir da estaca S13 do eixo do Vertedouro, foi locada a poligonal do canal de restituição até a estaca S27+10,19, totalizando 290,29 metros de extensão, acompanhando o talvegue à jusante que conduzirá o caudal de sangria até o riacho Jatobá.

### 3.2.2.2 – Nivelamento e Levantamento de Seções Transversais

Utilizando-se o mesmo equipamento citado no item anterior, realizou-se o levantamento altimétrico da poligonal do canal de restituição, através de seccionamento a cada 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 10 metros. A partir desse levantamento foi elaborada uma planta baixa com curvas de nível do terreno natural a cada metro.

### 3.2.3 – Coordenadas e Cotas

Em relação as coordenadas utilizadas para o levantamento, foram coordenadas obtidas através de GPS manual GARMIN 12, e confirmadas pelo estudo realizado pela TOPOCART, empresa responsável pelos serviços cartográficos.

Também foram utilizadas cotas fornecidas pela TOPOCART, empresa responsável pelos serviços cartográficos.

## 3.3 – INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS

As investigações executadas para caracterização geológico-geotécnica da região das obras, foram divididas em duas fases, a saber: estudos geológicos de superfície e investigações geotécnicas de subsuperfície.

Os estudos geológicos de superfície constaram do mapeamento geológico do sítio barrável, área do Vertedouro e estudos de reconhecimento superficial dos materiais a serem utilizados na construção da barragem e estruturas adjacentes.

As sondagens de subsuperfície efetuadas ao longo do sítio barrável, área do Vertedouro e jazidas de materiais terrosos e arenosos consistiram na Abertura de Poços de Inspeção a Pá e Picareta (SPP), Sondagens a Percussão (SP), Sondagens Mistas (SM) e Sondagens Rotativas (SR) com ensaios “in situ” do tipo Perda d’água Específica e Permeabilidade com carga constante (LE FRANC).

É interessante ressaltar que, quando da execução das investigações geotécnicas, houve extração de amostras deformadas de solo do eixo barrável e das

jazidas, de modo a se proceder às análises de laboratório indispensáveis à caracterização dos materiais existentes na região.

Todos os procedimentos utilizados seguiram as normas preconizadas pela ABNT.

### **3.3.1 – Investigações Geológicas**

A seguir serão apresentados os resultados do estudo geológico realizado.

#### **3.3.1.1 – Geologia Regional**

A descrição da Geologia Regional é apresentada neste relatório com base em pesquisa bibliográfica de trabalhos de geologia realizados na região, tendo como fonte o Mapa Geológico do Estado do Ceará, em escala 1:500.000, elaborado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).

No âmbito regional tem-se o contraste de dois tipos distintos de litologia que evidenciam rochas sedimentares e rochas cristalinas, constituindo as unidades litoestratigráficas que foram mapeadas e descritas, conforme a fonte supracitada, da seguinte forma:

**Unidade sem denominação (PX):** pertencente ao pré-cambriano não diferenciado, inclui gnaisses e migmatitos diversos (paleossomas predominantes: biotita-gnaisses, biotita-hornblenda-gnaisses e muscovita-biotita-gnaisses de composição oscilando entre granítica e diorito-tonalítica), encerrando jazimentos, subordinados, de metacalcários, quartzitos, rochas calcissilicáticas (tactitos), anfibolitos, metabasitos e metaultrabasitos, além de rochas gabro-dioríticas (noritos, hornblenda-gabros e piroxênio-dioritos, enderbitos e secundariamente piroxenitos, coexistindo em contatos gradacionais e, por vezes, arrançados em tramas híbridas onde pode ocorrer fácies quartzo-monzoníticas, leucograníticas e granodioríticas). Ao redor de Ipueiras há uma grande área onde predominam rochas graníticas (granitóides), muitas vezes formando núcleos mais homogêneos nas rochas migmatizadas. A sudeste de Ipueiras ocorre migmatitos porfiroblásticos (PXy).

**Complexo Tamboril – Santa Quitéria (PXtsq):** pertencente ao Pré-Cambriano não diferenciado, essa unidade é formada por migmatitos diversos, exibindo estruturas flebítica, estromática, oftálmica, schillieren, nebulítica e homofânica; envolvem granitóides geralmente porfiroblásticos. Nas partes centrais predominam os tipos mais homogêneos e de maior mobilidade. Os paleossomas estão geralmente constituídos por rochas da unidade sem denominação PI(B) do Proterozóico inferior, com migmatitos gnaisses diversos.

**Granitóides Serra da Mata:** a sudeste de Ipueiras, abrangendo uma área entre Nova Russas e Sucesso, ocorrem essas rochas, pertencentes ao Proterozóico Superior, que constituem granitóides a biotita e/ou hornblenda, com alguma muscovita, de composições granítica a granodiorítica, de grã média a grosseira, porfiroblásticos ou não.

**Magmatitos Guaribas, Araqueri (PPα):** de idade cambriana, do Paleozóico, essa rochas ocorrem a sudeste de Ipueiras, em forma de diques de riolitos, biotita-andesitos, dioritos, pórfiros, dacitos, riódacitos, traquitos e microgranitos.

**Formação Serra Grande (SDsg):** do Paleozóico, Siluro-Devoniana, a Formação Serra Grande é constituída de arenitos brancos, grosseiros e conglomeráticos na base, contendo leitos de até 20m , com seixos de até 20cm de diâmetro, com predomínio de arenitos finos no topo. Apresenta estratificação cruzada irregular e fraturas silicificadas. O seu contato inferior faz-se em nítida discordância angular com as rochas cristalinas. A Oeste das cidades de Ipu e Ipueiras forma uma extensa escarpa, com cerca de 700m de altura, constituída inteiramente de arenitos e arenitos conglomeráticos, cujas camadas mergulham suavemente para Oeste, formando uma cuesta cujo frente é a escarpa da Serra Grande. Em certas regiões, aparecem intercalações de siltitos e folhelhos arroxeados, principalmente no topo da formação.

**Coberturas Sedimentares de Espraimento Aluvial (TQc):** essas coberturas, de idade Terciária, são sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos, de tons alaranjados, avermelhados e amarelados, localmente cascalhosos e laterizados na base. Na porção a Sudoeste de Ipueiras, próximo de Livramento há ocorrências desses materiais.

**Aluviões: de idade Quaternária (QHα):** os sedimentos aluviais são constituídos de areias finas a grosseiras incluindo cascalhos inconsolidados e argilas com matéria orgânica em decomposição. Ocorrem principalmente nos leitos e margens dos principais rios e riachos da região, destacando-se o Riacho Jatobá.

Do ponto de vista estrutural, destaca-se na área a Falha de Tauá, de movimento transcorrente, que tem direção aproximadamente noroeste-sudeste a norte-sul, prolongando-se por mais de 200Km, nas proximidades da parte basal da Serra Grande, sendo marcada por uma retilinearidade, incomum. Paralela a ela tem-se também outro importante lineamento, que é a Falha de São Pedro, também de movimento transcorrente. Esses dois falhamentos condicionam as lineações estruturais das rochas, que em alguns locais apresentam extensos dobramentos, e são responsáveis por uma extensa zona cataclástica, caracterizando o aumento de porfiroblastos de feldspato alcalino decimétricos, nas proximidades do plano de falha.

O padrão de drenagem dominante é dendrítico, com tendência a subdendrítico. Esse padrão está condicionado ao domínio das rochas cristalinas. De uma maneira geral os rios são pouco encaixados, formando setores de planícies fluviais muito restritas. No âmbito das rochas sedimentares da Formação Serra Grande, no Planalto da Ibiapaba esse padrão tem comportamento diferenciado, apresentando uma drenagem com padrão subparalelo.

### 3.3.1.2 – Geologia Local

A área em estudo está inserida geologicamente no domínio das rochas cristalinas, em que a litologia predominante é marcada pela presença de rochas metamórficas gnáissicas e migmatíticas.

Os gnaisses têm na sua composição mineralógica a predominância de biotita, quartzo e feldspato, exibindo 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 equigranular fina. Os gnaisses situados próximos às zonas de falhas exibem comumente porfiroblastos estirados de feldspatos, caracterizando os gnaisses facoidais. Ocorrem ainda granada-biotita-gnaisses, que são semelhantes à biotita gnaisses, destacando-se, neste caso, a presença de porfiroblastos de granada rósea, maior percentagem de máficos e, conseqüentemente, tonalidades mais escuras.

Há também a presença dos migmatitos, podendo ser homogêneos e heterogêneos. Os migmatitos homogêneos caracterizam-se pela presença de estruturas do tipo nebulítica, anatexítica e schlieren, com volume dominante de neossoma sobre o paleossoma. É possível, em alguns casos observar-se a passagem para rochas graníticas para migmatitos heterogêneos em questão de poucos metros. Em afloramentos essas rochas revelam a dominância das tonalidades rósea e cinza-claro, com granulação variando de inequigranular média a grossa, às vezes tendendo a porfiroblástica. A textura mostra-se com algumas lineações. Os migmatitos heterogêneos, com estruturas planares visíveis, também foram identificados na área e, da mesma forma que os migmatitos homogêneos, estes não ocupam áreas com limites definidos, havendo uma passagem gradacional para migmatitos homogêneos ou gnaisses, ao longo de um mesmo afloramento.

Nas ombreiras, as coberturas de solo sobre essas rochas formam um manto de intemperismo que raramente ultrapassa a profundidade de 1,50m, constituído por duas camadas distintas: a camada mais superficial é de solo mais maduro de granulometria areno-argilosa, coloração avermelhada ou amarelada, que não conserva nenhuma aparência da rocha original e possui características de excelentes qualidades para construção de barragens de terra homogênea; a camada mais profunda, adjacente ao

topo da rocha, em média com 0,50m de espessura é um solo residual jovem ou saprolito, composto essencialmente de quartzo, mica e feldspato, classificado como silte arenoso micáceo.

Na ombreira esquerda, entre as estacas 13 e 19, próximo à estrada carroçável que dá acesso ao sítio, onde esta corta de forma esconsa o eixo barrável, foram evidenciados blocos soltos de arenito grosseiro, de coloração cinza escuro por fora e quando quebrados apresentam uma coloração vermelha ferruginosa no interior. Esta ocorrência é caracterizada pela proximidade da Formação Serra Grande, constituída em grande parte por rochas sedimentares, entre as quais está o arenito, com características semelhantes à ocorrência.

Nas margens do riacho Jatobá ocorrem os sedimentos aluvionares que formam terraços formados pela deposição de areias finas, siltes e argilas de coloração escura, com matéria orgânica em decomposição. Na calha do riacho são encontrados areias de granulometria fina e média a grossa com pedregulhos e minerais micáceos provenientes da decomposição das rochas do embasamento cristalino. Na área destinada ao Vertedouro, não foram encontrados afloramentos rochosos. O solo é representado por um silte areno-argiloso de coloração cinza claro a escuro, recoberto com seixos rolados de migmatitos e quartzo.

### 3.3.2 – Investigações Geotécnicas

No **Quadro Nº 3.3.1** são numeradas todas as sondagens realizadas na Barragem Jatobá.

<b>Quadro Nº3.3.1.: Locação das Sondagens Executadas</b>			
<b>Furo</b>	<b>Local</b>	<b>Coordenadas UTM (SAD-69)</b>	
		<b>N (Y)</b>	<b>E (X)</b>
SP-01	Eixo da Barragem	9.492.629,687	306.479,694
SP-02	Eixo da Barragem	9.492.594,978	306.499,505
SP-03	Eixo da Barragem	9.492.542,817	306.529,274
SP-04	Eixo da Barragem	9.492.490,714	306.559,028
SP-05	Eixo da Barragem	9.492.438,593	306.588,750
SP-06	Eixo da Barragem	9.492.386,495	306.618,513
SP-07	40,00m Montante (eixo da barragem)	9.492.314,344	306.613,260
SP-08	40,00m Jusante (eixo da barragem)	9.492.354,075	306.682,695
SP-09	40,00m Montante (eixo da barragem)	9.492.232,549	306.656,602

Quadro Nº3.3.1.: Locação das Sondagens Executadas					
Furo	Local			Coordenadas UTM (SAD-69)	
				N (Y)	E (X)
SP-10	40,00m	Jusante	(eixo da barragem)	9.492.272,089	306.726,154
SP-11	40,00m	Montante	(eixo da barragem)	9.492.175,383	306.692,610
SP-12	40,00m	Jusante	(eixo da barragem)	9.492.215,028	306.761,965
SP-601	20,00m	Lado Direito	(eixo vertedouro)	9.491.940,721	306.701,294
SP-602	20,00m	Lado Esquerdo	(eixo vertedouro)	9.492.027,092	306.717,941
SP-603	15,00m	Lado Direito	(eixo vertedouro)	9.491.965,628	306.807,634
SP-604	25,00m	Lado Esquerdo	(eixo vertedouro)	9.491.997,252	306.783,140
SP-605	20,00m	Lado Direito	(eixo vertedouro)	9.492.112,559	306.857,414
SP-606	20,00m	Lado Esquerdo	(eixo vertedouro)	9.492.119,708	306.818,058
SP-607	20,00m	Lado Direito	(eixo vertedouro)	9.492.190,079	306.871,495
SP-608	20,00m	Lado Esquerdo	(eixo vertedouro)	9.492.197,228	306.832,139
SP-609	20,00m	Lado Direito	(eixo vertedouro)	9.492.283,567	306.874,631
SP-610	20,00m	Lado Esquerdo	(eixo vertedouro)	9.492.276,500	306.835,260
SP-611	Eixo da Tomada D'Água			9.492.545,197	306.534,642
SM-01	Eixo da Barragem			9.492.334,380	306.648,245
SM-02	Eixo da Barragem			9.839.282,248	306.677,984
SM-03	Eixo da Barragem			9.492.253,905	306.694,161
SM-04	Eixo da Barragem			9.492.230,110	306.707,735
SM-05	Eixo da Barragem			9.492.195,392	306.727,542
SM-06	Eixo da Barragem			9.492.056,427	306.806,809
SM-07	Eixo da Barragem			9.492.021,658	306.826,642
SM-08	Eixo da Barragem			9.491.986,910	306.846,463
SM-09	50,00m	Jusante	(eixo barragem)	9.492.046,289	306.869,794
SM-10	100,00m	Jusante	(eixo barragem)	9.492.046,289	306.893,377
SM-106	100,00m	Jusante	(eixo barragem)	9.492.105,852	306.913,224
SM-107	Eixo da Barragem			9.839.282,248	306.658,152

<b>Quadro Nº3.3.1.: Locação das Sondagens Executadas</b>			
<b>Furo</b>	<b>Local</b>	<b>Coordenadas UTM (SAD-69)</b>	
		<b>N (Y)</b>	<b>E (X)</b>
SM-108	Eixo da Barragem	9.492.369,123	306.628,424
SM-501	Eixo Vertedouro	9.491.981,440	306.795,387
SM-502	Eixo Vertedouro	9.492.116,133	306.837,736
SM-503	Eixo Vertedouro	9.492.193,654	306.851,817
SM-504	Eixo Vertedouro	9.492.280,034	306.854,946
SM-505	Eixo da Tomada D'Água	9.492.527,896	306.503,011
SM-506	Eixo da Tomada D'Água	9.492.566,901	306.571,670

A seguir serão apresentados os resultados da investigação geotécnica realizada.

### 3.3.2.1 – Descrição das Sondagens Executadas

A investigação geotécnica iniciou-se com a execução de quatro tipos de sondagens, a saber:

- SPP: Sondagem a Pá e Picareta;
- SP: Sondagem a Percussão;
- SM: Sondagem Mista (iniciada a percussão e seguida em rotativa).

Todas as sondagens mencionadas acima seguiram as normas da ABNT.

A locação, bem como as cotas topográficas das bocas de furos foram fornecidas a partir dos estudos topográficos de campo.

### 3.3.2.2 – Sondagens a Pá e Picareta

Os poços de inspeção localizados no eixo barrável foram realizados nos pontos onde haviam sido projetados furos de percussão e a ocorrência de rocha aflorando não permitiu a execução deste tipo de sondagem.

Todos os poços foram perfurados por meio de escavação manual com dimensões de 1,00m longitudinalmente por 1,00m transversalmente.

### 3.3.2.3 – Sondagens a Percussão

O objetivo básico destas sondagens foi o de definir a espessura dos depósitos aluvionais sobre o embasamento rochoso e as resistências das camadas através do “SPT”(STANDARD PENETRATION TEST), realizado a cada metro sondado.

O critério de paralisação das sondagens foi o de lavagem por tempo (menos de 5cm de penetração para 10 minutos de lavagem), ou a profundidade de projeto, no caso dos furos de percussão simples. Todas as sondagens foram realizadas com diâmetro de 2 ½” (duas e meia polegadas).

#### 3.3.2.4 – Sondagens Mistas

Sondagem mista é aquela executada por sondagem a percussão em todo os tipos de terreno penetráveis por esse processo, e executadas por meio de sondagem rotativa nos materiais impenetráveis a percussão.

Iniciou-se os furos com sondagem percussiva no diâmetro de 2 ½” (duas e meia polegadas), no qual foi definida a espessura de solos sobre o embasamento rochoso e as resistências das camadas através do “SPT”. Prosseguiu-se com sonda rotativa, na qual usava-se a sonda MACH 920 de avanço manual, acoplada a um calibrador e a um barrilete duplo caixa de mola, tipo NX para recuperação do testemunho, do qual obteve-se informações da alteração, fraturamento e estanqueidade da rocha.

### 3.3.3 – Ensaio In Situ

#### 3.3.3.1 – Ensaio de Permeabilidade com Carga Constante

Nos ensaios de Permeabilidade “in situ” com carga constante, mantém-se constante a vazão até que as condições de fluxo se estabilizem e a carga (altura da água no furo), se torne constante. Nestas condições, medem-se a vazão e a carga, para aplicação das fórmulas apropriadas.

Este tipo de ensaio pode ser usado para solos que se situem abaixo ou acima do nível estático da água (NA).

Foram executados 35 (trinta e cinco) ensaios.

Os dados gerais destes ensaios encontram-se no **Quadro N° 3.3.2.**

QUADRO N°3.3.2 – ENSAIOS DE PERMEABILIDADE COM CARGA CONSTANTE		
SONDAGEM	N° DE ENSAIOS	TRECHOS ENSAIADOS
SM-01	09 (nove)	0,00 a 9,00
SM-02	05 (cinco)	0,00 a 5,00
SM-03	09 (nove)	1,00 a 10,00
SM-04	07 (sete)	0,00 a 7,00
SM-05	05 (cinco)	0,00 a 5,00

### 3.3.3.2 – Ensaio de Perda D'Água Específica

Ensaio de perda d'água sob pressão em furos de sondagem têm por objetivo a determinação da permeabilidade e do comportamento dos maciços rochosos frente à percolação da água através de suas fissuras.

Consiste na injeção de água sob pressão em um trecho do furo de sondagem e na medida da quantidade de água que se infiltra no maciço, durante um certo tempo, sob uma dada pressão de injeção. O ensaio é realizado em 5 (cinco) estágios de pressão, sendo os 1º e o 5º estágios sob uma pressão mínima; os 2º e 4º estágios sob uma pressão intermediária; e o 3º estágio sob uma pressão máxima, conforme a seguir:

- 1º e 5º estágios - pressão de 0,10 Kg/cm<sup>2</sup>;
- 2º e 4º estágios - pressão intermediária =  $P_{máx}/2$ ;
- 3º estágios - pressão máxima =  $P_{max}$ .

Os trechos ensaiados, sempre que possível foram de 3,00 m.

O **Quadro N° 3.3.3** mostra os dados técnicos gerais dos ensaios de perda d'água sob pressão.

QUADRO N°3.3.3 – ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA ESPECÍFICA		
SONDAGEM	Nº DE ENSAIOS	TRECHOS ENSAIADOS
SM-01	02 (dois)	9,76m - 12,76m 13,76m - 16,76m
SM-02	02 (dois)	12,00m - 15,00 m 15,00m - 18,00 m
SM-03	03 (três)	10,00m - 13,00 m 13,00m - 16,00 m 16,00m - 19,00 m
SM-04	01 (um)	8,00m – 11,00 m
SM-05	-	-

### 3.3.4 – Pesquisa de Jazidas

Os trabalhos referentes à pesquisa de materiais a serem utilizados nas obras tiveram seu início a partir de um reconhecimento em campo, de modo a localizar e conferir os empréstimos existentes na área. Deve-se salientar que os estudos básicos existentes nortearam os trabalhos. Neste momento, levou-se em considerações duas variáveis importantes: qualidade e volume dos materiais detectados.

Assim sendo, pode-se identificar e estudar os seguintes empréstimos:

- Jazidas de Solo: J-1, J-2, J-3, J-4 e J-5;
- Areal: A-1;
- Pedreira: P-1.

#### 3.3.4.1 – Jazidas de Solo (Empréstimos 1, 2, 3, 4 e 5)

Para que houvesse uma boa abrangência nos estudos dos empréstimos, lançou-se uma malha quadrática com 100,00 m de lado, onde procedeu-se à abertura de poços a pá e picareta para coleta de materiais e posterior realização de ensaios de laboratório.

Dentro de um afastamento econômico adequado do local da obra em estudo, foram identificados e caracterizados os materiais das áreas de empréstimo.

Em cada poço de inspeção foi feita uma descrição dos materiais, identificando suas características e quantificando suas potencialidades e distância média de transporte, conforme já comentado.

- Granulometria (com e sem sedimentação );
- Limites de “Atterberg”;
- Ensaios de Compactação (Proctor Normal) ;
- Umidade Natural;
- Peso Específico Real;
- Permeabilidade com carga variável;
- Cisalhamento direto lento.

A seguir resume-se as características das áreas potencialmente exploráveis:

#### **DADOS GERAIS DA JAZIDA J-1**

Área total estudada .....	65.625,00m <sup>2</sup> ;
Número de furos realizados .....	12 und;
Profundidade média dos furos .....	1,98 m;
Volume total de material .....	129.938,00m <sup>3</sup> ;

Camada média de expurgo ..... 0,06 m;  
Espessura média útil ..... 1,92 m;  
Volume de material utilizável ..... 126.000,00m<sup>3</sup>;  
Distância do eixo barrável ..... 1,32 km.

#### **DADOS GERAIS DA JAZIDA J-2**

Área total estudada ..... 137.500,00m<sup>2</sup>;  
Número de furos realizados ..... 24 und;  
Profundidade média dos furos ..... 2,25 m;  
Volume total de material ..... 309.375,00m<sup>3</sup>;  
Camada média de expurgo ..... 0,05 m;  
Espessura média útil ..... 2,20 m;  
Volume de material utilizável ..... 302.500,00m<sup>3</sup>;  
Distância do eixo barrável ..... 1,60 km.

#### **DADOS GERAIS DA JAZIDA J-3**

Área total estudada ..... 111.250,00m<sup>2</sup>;  
Número de furos realizados ..... 19 und;  
Profundidade média dos furos ..... 2,07 m;  
Volume total de material ..... 230.288,00m<sup>3</sup>;  
Camada média de expurgo ..... 0,07 m;  
Espessura média útil ..... 2,00 m;  
Volume de material utilizável ..... 222.500,00m<sup>3</sup>;  
Distância do eixo barrável ..... 0,45 km.

#### **DADOS GERAIS DA JAZIDA J-4**

Área total estudada ..... 60.000,00m<sup>2</sup>;

Número de furos realizados .....	12 und;
Profundidade média dos furos .....	2,25 m;
Volume total de material .....	153.000,00m <sup>3</sup> ;
Camada média de expurgo .....	0,05 m;
Espessura média útil .....	2,50 m;
Volume de material utilizável .....	150.000,00m <sup>3</sup> ;
Distância do eixo barrável .....	2,72 km.

#### **DADOS GERAIS DA JAZIDA J-5**

Área total estudada .....	120.000,00m <sup>2</sup> ;
Número de furos realizados .....	21 und;
Profundidade média dos furos .....	1,85 m;
Volume total de material .....	222.000,00m <sup>3</sup> ;
Camada média de expurgo .....	0,05 m;
Espessura média útil .....	1,80 m;
Volume de material utilizável .....	216.000,00m <sup>3</sup> ;
Distância do eixo barrável .....	2,50 km.

#### **3.3.4.2 – Jazidas de Areia (Areal 1)**

Da mesma forma com o ocorrido na jazida terrosa, o areal foi identificado e posteriormente estudado, onde se lançou uma malha de sondagens, ao longo do depósito.

Amostras deste material também foram colhidas e encaminhadas ao laboratório para ensaios.

A jazida em questão encontra-se ao longo do leito do rio.

#### **DADOS GERAIS DO AREAL**

Distância do areial ao eixo .....	0,6km;
Extensão .....	3.000,00m;

Largura ..... 10,00m;  
Altura a explorar ..... 1,00m;  
Volume explorável ..... 30.000,00m<sup>3</sup>.

#### 3.3.4.3 – Pedreira

A pedreira encontrada localiza-se a jusante do eixo barrável.

#### **CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PEDREIRA**

Extensão ..... 100,0m;  
Largura ..... 100,0m;  
Altura a explorar ..... 6,00m;  
Volume explorável ..... 60.000,00m<sup>3</sup>;  
Distância para o eixo ..... 2,60km;  
Classificação ..... Gnaisse.

#### **3.3.5 – Ensaios de Laboratório**

Todos os ensaios de laboratório seguiram o preconizado pelas normas técnicas da ABNT.

De modo a facilitar a visualização, elaborou-se quadro resumos referente a cada ensaio, os quais são apresentados a seguir:

##### Jazidas de Solos

Foram coletadas 30 (trinta) amostras para que fossem submetidas a ensaios normais de caracterização, constando de determinação dos Limites de Atterberg (LL e LP), Granulometria por peneiramento e com sedimentação, peso específico, Compactação Proctor Normal, Permeabilidade com carga variável e Cisalhamento Direto Lento.

Os ensaios de Granulometria com Sedimentação, peso específico, Permeabilidade com Carga Variável e Cisalhamento Direto Lento não foram executados para todas as amostras coletadas.

##### Jazida de Areia

Foram 10 (dez) as amostras coletadas na jazida de areia A1 e submetidas a Análise Granulométrica por Peneiramento e Permeabilidade com Carga Constante.

### Pedreira

Na pedreira P-1 foram realizados 03 (três) ensaios tipo “Los Angeles”.

### **3.3.6 – Estudo Complementar**

Realizou-se um estudo complementar com o intuito de analisar mais detalhadamente a geologia das regiões da barragem e do Vertedouro através de sondagens mistas.

O **Quadro – Sondagem Mista** a seguir mostra os dados técnicos gerais das sondagens realizadas no estudo complementar.

#### **QUADRO – SONDAGEM MISTA**

SONDAGEM	LOCALIZAÇÃO DAS ESTACAS	PROFUNDIDADE (m)		DIMENSÕES	INCLINAÇÃO
		SP	SR		
SM – 106	E-5S – 100m JUS	0,00	10,00	2 1/2” e NX	Vertical
SM – 107	38 + 0,00	5,05	9,00	2 1/2” e NX	Vertical
SM – 108	35 + 0,00	4,89	12,12	2 1/2” e NX	Vertical

### 3.4 – HIDROLOGIA

Os estudos hidrológicos consistiram na caracterização física da bacia hidrográfica, no estudo de cheias, nas curvas de regularização do reservatório e no dimensionamento do Vertedouro.

#### **3.4.1 – Característica Física da Bacia Hidrográfica**

A bacia hidrográfica da Barragem Jatobá possui as seguintes características físicas:

- Bacia Hidrográfica..... 41,38km<sup>2</sup>;
- Perímetro da Bacia Hidrográfica..... 27,04km;
- Declividade Média da Bacia Hidrográfica..... 63,65m/km;
- Comprimento do Rio Principal..... 9,60 km;

– Fator de Compacidade.....	1,19;
– Fator de Forma.....	0,45;
Tempo de Concentração.....	1,10h.

### 3.4.2 – Estudo de Cheias

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

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

- PMP (precipitação máxima provável) para projetos de importantes obras hidráulicas;
- Cheia padrão para obras hidráulicas de risco intermediário;
- Precipitações associadas a um risco ou probabilidade de ocorrência.

Em barragens pequenas, onde grandes riscos não estão envolvidos, pode-se utilizar o hidrograma de projeto baseado no último caso. Foram calculadas aqui as cheias de projeto de 1000 e 10000 anos. O intervalo de computação dos hidrogramas de cheia foi de 1 minuto.

#### 3.4.2.1 – Metodologia

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

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

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Jatobá foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, um modelo projetado para simular o escoamento

superficial em uma bacia, sendo esta representada como um sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Para esta bacia foi estudada a sua resposta ao hietogramas de projeto correspondentes a 1000 anos ( $T_r$  = tempo de retorno).

O modelo HEC-1 permite o uso de várias metodologias para determinação da chuva efetiva, simulação do escoamento superficial em bacia (overland flow) e propagação do escoamento em canais e reservatórios. No caso da bacia do Jatobá foi adotado o seguinte:

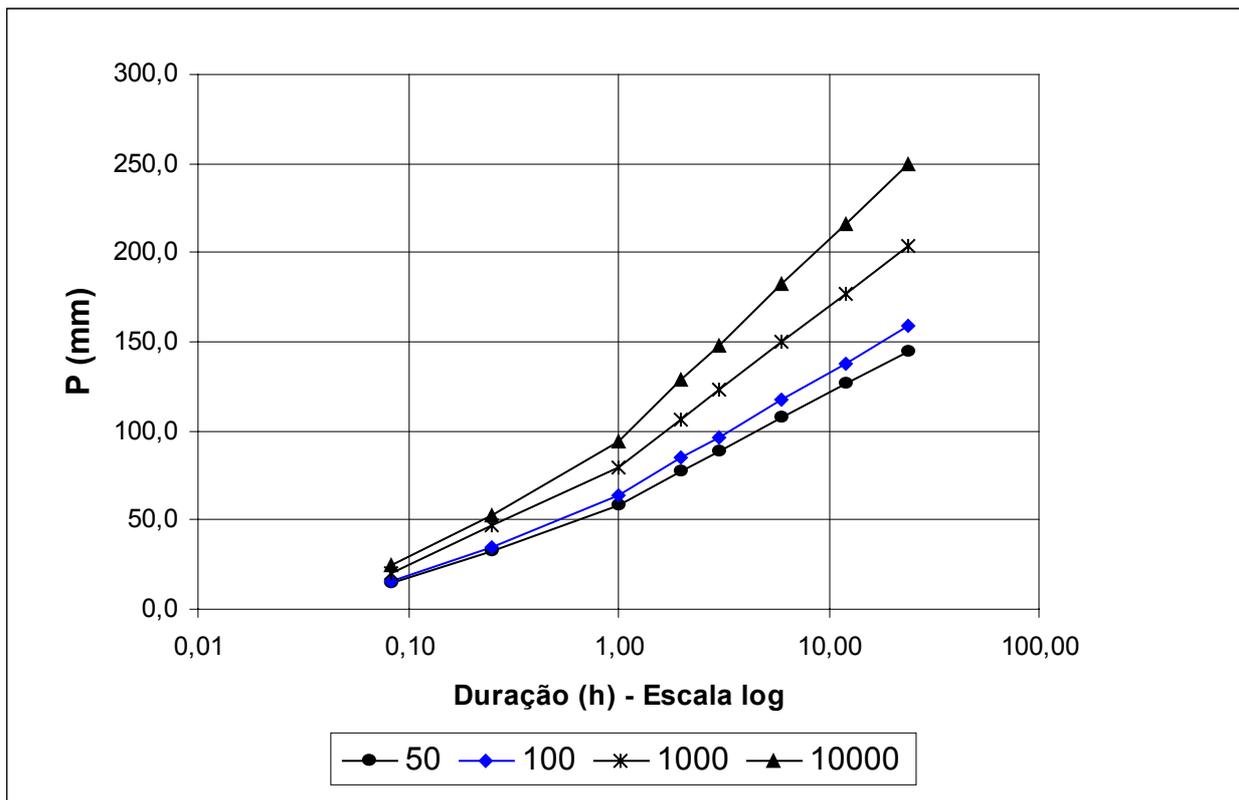
- Método Curva-Número (*Soil Conservation Service*) na determinação da chuva efetiva;
- Método do *Soil Conservation Service* na determinação do hidrograma unitário sintético – Escoamento Superficial na bacia (*Overland flow*);

### 3.4.2.2 – Precipitação

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

O hietograma adotado baseia-se nas curvas altura-duração-freqüência obtidas através do método de Torga, no capítulo 5. A **Figura 3.4.1** apresenta a curva intensidade-duração-freqüência para a bacia de estudo, sendo a precipitação associada aos tempos de retorno de 50, 100, 1000 e 10000 anos para as durações de 5 min, 15 min, 60 min, 2 h, 3 h, 6 h, 12 h e 24 h. Como a área da bacia é da ordem de 41 km<sup>2</sup> para ambas opções de eixo analisadas, foi utilizada a chuva pontual, não sendo realizado nenhum ajuste para correção de área.

QUADRO 3.4.1 – CHUVAS REDUZIDA								
DURAÇÃO	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) – TR 50	14,5	32,0	58,4	77,2	88,3	107,1	126,0	144,9
P(mm) – TR 100	15,9	35,0	63,9	84,6	96,7	117,3	138,0	158,7
P(mm) – TR 1000	20,4	46,6	79,7	106,8	122,7	149,9	177,1	204,2
P (mm) – TR 10000	25,0	52,6	94,4	128,3	148,1	182,0	215,8	249,7



**FIGURA 3.4.1 – CURVAS INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQÜÊNCIA - CHUVA REDUZIDA**

O HEC-1 utiliza os dados da curva intensidade-duração-freqüência para construir uma distribuição triangular da precipitação, onde é assumido que cada total precipitado para qualquer duração ocorre durante a parte central da tormenta (tormenta balanceada). Alturas correspondentes a 10 e 30 minutos são interpoladas das alturas precipitadas de 5, 15 e 60 minutos através das equações do HYDRO-35 (National Weather Service, 1977):

$$P_{10 \text{ min}} = 0,41.P_{5 \text{ min}} + 0,59.P_{15 \text{ min}}$$

$$P_{30 \text{ min}} = 0,51.P_{15 \text{ min}} + 0,49.P_{60 \text{ min}}$$

Onde  $P_n$  é a precipitação para a duração de  $n$  minutos. Adotou-se um hietograma de projeto com duração de 24 horas.

### 3.4.2.3 – Precipitação Efetiva

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

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

De maneira geral, existem três metodologias utilizadas para determinação da chuva efetiva: equações de infiltração, índices e relações funcionais. Especificamente, o HEC-1 possibilita o uso de 5 métodos: 1) taxa de perda inicial e uniforme; 2) taxa de perda exponencial; 3) Curva-Número; 4) Holtan; 5) Função de Infiltração Green e Ampt. Foi considerado mais adequado, diante dos dados disponíveis, o método curva número do Soil Conservation Service.

O método Curva Número é um procedimento desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo USDA, no qual a lâmina escoada (isto é, a altura de chuva efetiva) é uma função da altura total de chuva e um parâmetro de abstração denominado Curva-Número, CN. Este coeficiente varia de 1 a 100, sendo uma função das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia: (1) tipo de solo hidrológico; (2) uso do solo e tratamento; (3) condição da superfície subterrânea, e (4) condição de umidade antecedente. Para a bacia do Jatobá foi adotado um CN = 86 com base nos mapas de solo (grupos hidrológicos), uso e ocupação e relevo contidos no PERH (1990).

A equação de escoamento do SCS é dada por

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

Onde Q = escoamento; P = precipitação; S = capacidade máxima de armazenamento do solo;  $I_a$  = perdas antes do início do escoamento.

As perdas antes do início do escoamento ( $I_a$ ) incluem água retida em depressões superficiais, água interceptada pela vegetação, evaporação, e infiltração.  $I_a$  é altamente variado, mas a partir de dados de pequenas bacias  $I_a$  é aproximado pela seguinte relação empírica:

$$I_a = 0,20.S$$

Substituindo (2) em (1) elimina-se  $I_a$ , resultando em:

$$Q = \frac{(P - 0,20.S)^2}{P + 0,80.S}$$

Onde S está relacionado às condições de solo e cobertura através do parâmetro CN por

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{unidades métricas})$$

Onde CN varia de 0 a 100. CN foi tabelado para diferentes tipos de solos e cobertura, sendo estes valores tabelados apresentados para condições de umidade antecedente normal (AMC II). Para condições secas (AMC I) e úmidas (AMC III), CNs equivalentes podem ser calculados pelas seguintes fórmulas:

CONDIÇÕES SECAS

$$CN (I) = \frac{4,2.CN(II)}{10 - 0,058.CN(II)}$$

CONDIÇÕES ÚMIDAS

$$CN (III) = \frac{2,3.CN(II)}{10 + 0,13.CN(II)}$$

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

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

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

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

#### 3.4.2.4 – Hidrograma Unitário – SCS

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. Este método foi escolhido por ter sido idealizado para bacias de áreas entre 2.5 e 1000 km<sup>2</sup>, e por ser construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas. Além disto, este modelo necessita apenas de um parâmetro: o T<sub>LAG</sub>. Este parâmetro, T<sub>LAG</sub>, é igual à distância (lag) entre o centro de massa do excesso de chuva e o pico do hidrograma unitário.

O tempo de concentração da bacia foi estimado aqui pela fórmula do Califórnia Highways, também conhecida como fórmula de Kirpich:

$$T_c = 57 \cdot \left( \frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0.385}$$

Onde T<sub>C</sub> = tempo de concentração em minutos; L = comprimento do maior talvegue em km; ΔH = diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório. Logo, para a bacia do Jatobá tem-se:

$$L = 9,6 \text{ km} \quad \Delta H = 611 \text{ m} \quad S = 63,65 \text{ m/km}$$

O que resulta T<sub>C</sub> = 1,10 h; T<sub>LAG</sub> = 0,66 h para a Barragem Jatobá.

A vazão de pico e o tempo de pico são, assim, calculados por:

$$Q_p = 208 \cdot \frac{A}{t_p} \quad t_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{LAG}$$

Onde Q<sub>p</sub> = é a vazão de pico (m<sup>3</sup>/s), t<sub>p</sub> = tempo de pico do hidrograma (h), A = área da bacia em km<sup>2</sup> e Δt = o intervalo de cálculo (5 minutos).

Uma vez determinados estes parâmetros e o intervalo de cálculo (duração do hidrograma unitário), o HEC-1 utiliza estes para interpolar um hidrograma unitário a partir de um hidrograma unitário adimensional do SCS. A seleção do intervalo de cálculo é baseado na relação Δt = 0.20 t<sub>p</sub>, não devendo exceder 0.25 t<sub>p</sub>. Estas relações baseiam-se nas seguintes relações empíricas

$$t_{lag} = 0.60 T_c \quad \text{e} \quad 1.7 t_p = \Delta t + T_c$$

Onde T<sub>c</sub> = é o tempo de concentração da bacia. O HEC-1 sugere que Δt ≤ 0.29 T<sub>LAG</sub>. Para cálculo do hidrograma de projeto por esta metodologia, é necessária uma estimativa do tempo de concentração da bacia. Este tempo de concentração foi avaliado através da aplicação da fórmula de Kirpich.

A **Figura 3.4.2** abaixo apresenta o hidrograma de projeto e o hidrograma afluente a barragem Jatobá obtido através do uso do modelo HEC, conforme

metodologia acima . A vazão de pico do hidrograma de 1000 anos de tempo de retorno foi 748 m<sup>3</sup>/s. Para o tempo de retorno de 10000 anos foi obtida uma vazão de pico de 911 m<sup>3</sup>/s (Figura 3.4.3).

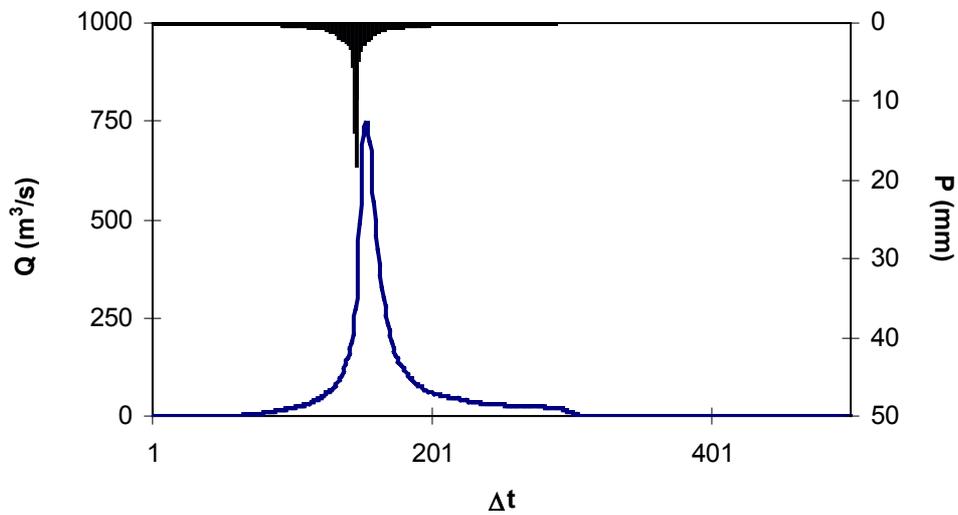


FIGURA 3.4.2 – HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE AO JATOBÁ (TR = 1000 ANOS)

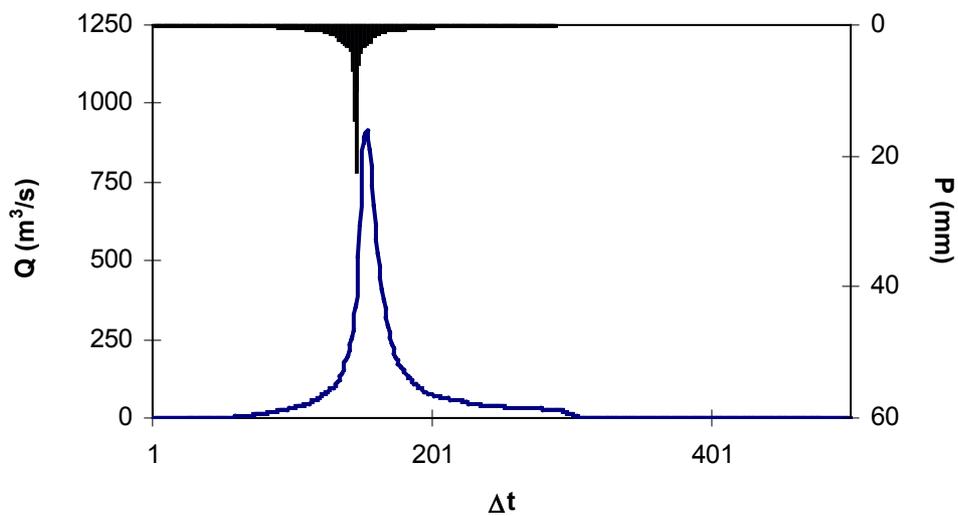


FIGURA 3.4.3 – HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE AO JATOBÁ (TR = 10000 ANOS)

### 3.4.3 – Curvas de Regulação do Reservatório

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

investimentos a serem realizados. Em termos hidrológicos, os objetivos centrais deste capítulo são:

- Análise incremental do ganho em volume regularizado em relação ao aumento da capacidade para a Barragem Jatobá;
- Estimativa das perdas por evaporação e sangria da Barragem Jatobá;

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

#### 3.4.3.1 – Metodologia

Na determinação das curvas de regulação do reservatório foi utilizado dois métodos, a saber:

- Solução direta da equação de balanço hídrico;
- Diagrama Triangular de Regularização.

#### 3.4.3.2 – Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico

A equação do balanço hídrico de um reservatório pode ser dada por:

$$Z_{t+1} = Z_t + I_t - \frac{A_{t+1} + A_t}{2} E - M - S_t$$

$$S_t = \max(B - K; 0)$$

Com

$$B = Z_t + I_t - \frac{A_{t+1} + A_t}{2} E - M$$

Onde

$Z_t$  = volume armazenado no início do ano t;

$I_t$  = volume afluente ao reservatório durante o ano t;

$A_t$  = área do espelho d'água no início do ano t;

E = lâmina evaporada durante o ano t, suposta constante ao longo dos anos;

K = capacidade do reservatório;

$S_t$  = volume perdido por sangria durante o ano t.

Representando-se a bacia hidráulica por

$$Z(h) = \alpha \cdot h^3 \quad \text{e} \quad A(h) = 3 \cdot \alpha \cdot h^2 ,$$

h - altura d'água     $\alpha$  - fator de forma (obtido por regressão entre z e h<sup>3</sup>)

Supondo um modelo mutuamente exclusivo com volume contínuo e uma série de vazões afluentes com uma extensão de 2000 anos seguindo uma distribuição Gamma de 2 parâmetros, pode-se resolver a equação de balanço hídrico segundo o processo descrito por CAMPOS (1990) [CAMPOS, J.N.B. 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMITENTES. TESE PARA CONCURSO DE PROF. TITULAR. UFC. ], a saber:

1. Estabelece-se um valor inicial para a retirada M;
2. Considera-se um volume inicial igual MIN(0.5 K; 0.5  $\mu$ );
3. Calcula-se

$$Z_U = Z_t + I_t \quad \text{p/ } Z_t + I_t \leq K$$

$$Z_U = K \quad \text{caso contrário}$$

$$D_s = \text{MAX}(Z_t + I_t - K; 0)$$

Onde  $Z_U$  é o volume armazenado no final da estação e  $D_s$  o volume sangrado no ano t.

4. Calcula-se o volume no fim da estação seca (início do próximo ano) por:
  - a) divide-se M e E em L partes (no caso L=6);
  - b) retirada da reserva, se disponível, de M/L

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

$$Z_2 = Z_1 - M / L \quad \text{se} \quad Z_1 - M / L > Z_{MIN}$$

$$Z_2 = Z_{MIN} \quad \text{caso contrário (ANO FALHO)}$$

$$Z_{MIN} = \text{MAX}(0,05 \cdot K ; 0,20 \cdot \mu)$$

VOLUME UTILIZADO

$$D_M = Z_1 - Z_2$$

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

$$h_2 = \left( Z_2 / \alpha \right)^{1/3}$$

c) retirada da reserva, se disponível, de E/L

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

$$h_3 = h_2 - E / L \quad \text{se} \quad h_2 - E / L \geq 0$$

$$h_3 = 0 \quad \text{caso contrário}$$

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

$$Z_3 = \alpha \cdot h_3^3$$

VOLUME UTILIZADO

$$D_E = Z_3 - Z_2$$

d) retorna-se a b) até completar as L fases da integração.

5. Prossegue-se com os passos 3 e 4 até que se complete os 2000 anos da série gerada, totalizando os volumes evaporado, sangrado e liberado;

6. Concluído os 2000 anos, verifica-se se a frequência de falha está entre 9,95 e 10,05%, ou se o erro em retirada é menor do que 0,5 unidade. Caso afirmativo aceita-se o valor de M, caso contrário atribui-se novo valor de M e retorna-se a 1.

### 3.4.3.3 – O Diagrama Triangular de Regularização

O método do Diagrama Triangular baseia-se no balanço de massas de um reservatório para um período longo:

$$\sum I = \sum M + \sum S + \sum E + Z$$

Onde  $\sum I$ ,  $\sum M$ ,  $\sum S$ ,  $\sum E$  representam as somas dos volumes afluente, retirado, sangrado e evaporado, enquanto Z representa a diferença entre os volumes final e inicial do reservatório. Dividindo-se a equação de balanço de massas acima por N, N suficientemente grande, obtém-se:

$$\mu = E \{M\} + E \{S\} + E \{E\}$$

Onde  $E \{.\}$  representa o operador valor esperado, e  $\mu$  o deflúvio afluente médio. Pela última equação verifica-se que o volume afluente divide-se em três componentes, o que sugere o uso do Diagrama Triangular para estabelecer como esta divisão se processa em função dos parâmetros estatísticos dos deflúvios e das características do reservatório (CAMPOS, 1990).

#### 3.4.3.4 – Resultados

As características do escoamento estabelecidas no PERH (1990) foram utilizadas aqui para a geração de séries sintéticas de vazão, a saber:

- lâmina média escoada: 101,35 mm
- volume afluente médio escoado ( $\mu$ ): 4,19 hm<sup>3</sup>/ano

O coeficiente de variação de CV = 1,36 foi adotado com base no valor indicado por CAMPOS et al. (1995).

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

$$E_L = 0.80 \cdot (168,2+268,3+321,6+342+398,3+380,3+326,8)$$

$$= 1764,4 \text{ mm (Evaporação na estação seca)}$$

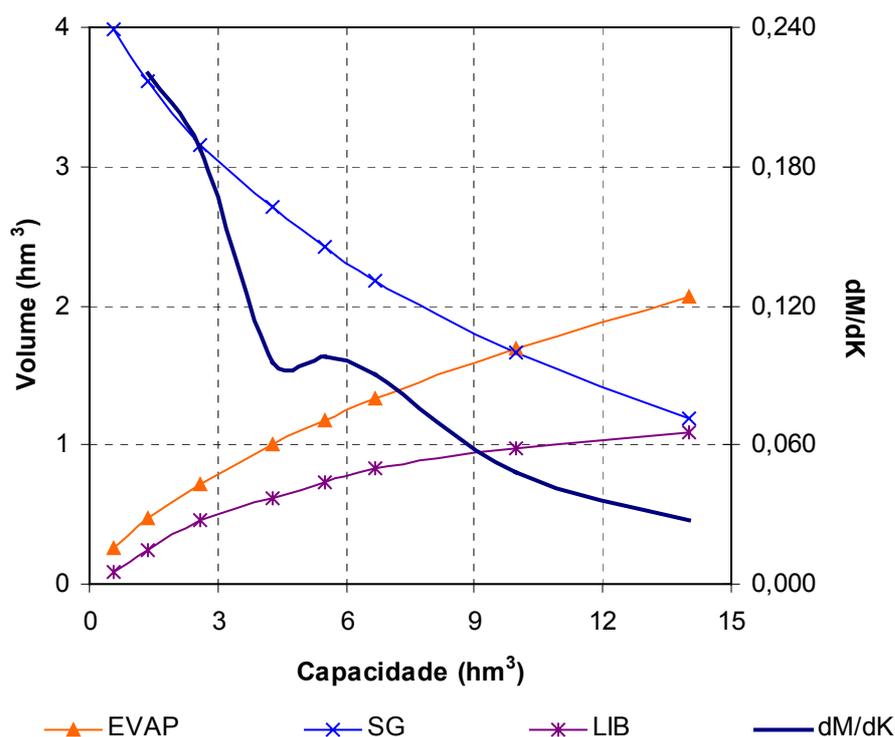
$$\alpha = 1386,73$$

$$f_E = 3 \alpha^{1/3} E_L / \mu^{1/3} = 0,366$$

No **Quadro 3.4.2** apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de  $f_K$  (fator de capacidade =  $K/\mu$ ). A **Figura 3.4.4** apresenta as curvas de regulação para o reservatório Jatobá, que nada mais é que o gráfico dos valores apresentados no Quadro 3.4.2.

QUADRO 3.4.2 – ESTUDO INCREMENTAL DE CAPACIDADES DO RESERVATÓRIO JATOBÁ											
COTA (m)	K (hm <sup>3</sup> )	fk=K/ m	%LIB	LIB (hm <sup>3</sup> /ano)	%EV	EV (hm <sup>3</sup> /ano)	%SG	SG (hm3/ano)	dM/dK	Q90 (m3/s)	M90 (hm3/ano)
258	0,565	0,13	1,8	0,080	6,1	0,265	92,0	3,984	---	0,003	0,082
260	1,355	0,32	5,7	0,247	10,9	0,472	83,4	3,612	0,22	0,008	0,256
262	2,570	0,61	10,6	0,459	16,4	0,712	73,0	3,161	0,19	0,015	0,484

QUADRO 3.4.2 – ESTUDO INCREMENTAL DE CAPACIDADES DO RESERVATÓRIO JATOBÁ											
COTA (m)	K (hm <sup>3</sup> )	fk=K/ m	%LIB	LIB (hm <sup>3</sup> /ano)	%EV	EV (hm <sup>3</sup> /ano)	%SG	SG (hm <sup>3</sup> /ano)	dM/dK	Q90 (m <sup>3</sup> /s)	M90 (hm <sup>3</sup> /ano)
264	4,283	1,02	14,3	0,618	23,3	1,009	62,4	2,706	0,10	0,021	0,648
265	5,490	1,31	16,8	0,728	27,2	1,179	56,0	2,426	0,10	0,024	0,766
<b>266</b>	<b>6,695</b>	<b>1,60</b>	<b>19,1</b>	<b>0,830</b>	<b>30,6</b>	<b>1,328</b>	<b>50,2</b>	<b>2,177</b>	<b>0,09</b>	<b>0,028</b>	<b>0,875</b>
268	9,946	2,37	22,6	0,980	39,1	1,694	38,3	1,662	0,05	0,033	1,031
270	13,99	3,34	25,1	1,087	47,5	2,060	27,4	1,190	0,03	0,036	1,144



**FIGURA 3.4.4 – CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO JATOBÁ**

A **Figura 3.4.4** e os dados apresentados no **Quadro 3.4.2** sugerem que a partir da cota 266 m (volume em torno de 6,69 hm<sup>3</sup>) os ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento não são significativos. Para esta capacidade o reservatório regulariza 19,1% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, 0,830 hm<sup>3</sup>/ano, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de 0,028 m<sup>3</sup>/s. O **Quadro 3.4.3** mostra como o volume afluente ao reservatório distribui-se em volume regularizado (RG), volume evaporado (EV) e volume sangrado (SG). Os resultados obtidos com o método do Diagrama Triangular de Regularização (**Figura 3.4.5**) confirmam os valores obtidos pela solução direta do balanço hídrico.

QUADRO 3.4.3 – DISTRIBUIÇÃO DO VOLUME AFLUENTE E QR (90%) PARA O RES. JATOBÁ			
EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO			
RG - %	SG - %	EV - %	Qr 90% (m3/s)
0,830 – 19,1%	2,177 – 50,2%	1,328 – 30,6%	0,028

EV - Volume Evaporado (hm3/ano)

SG - Volume Sangrado (hm3/ano)

RG- Volume Regularizado (hm3/ano)

Qr 90% - Vazão regularizada com 90% de garantia (m3/s)

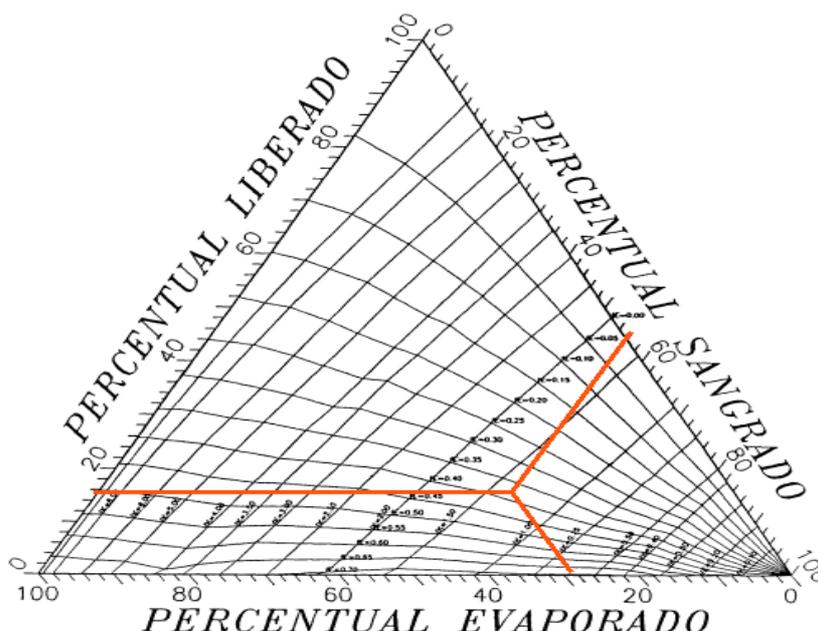


FIGURA 3.4.5 – DIAGRAMA TRIANGULAR DE REGULARIZAÇÃO APLICADO A BARRAGEM JATOBÁ

### 3.4.4 – Dimensionamento do Vertedouro

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

No dimensionamento do Vertedouro foi adotada a cheia associada ao tempo de retorno de 1.000 anos, realizando-se para esta os estudos de laminação, e será determinada a cota de coroamento da barragem com base na cheia associada a 10.000 anos, para garantir o não galgamento nesta cheia.

Dentre destes princípios, apresenta-se neste capítulo o dimensionamento do Vertedouro.

### 3.4.4.1 – Propagação da Cheia no Reservatório

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

A equação discretizada da continuidade é dada por

$$\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} = \frac{I_t + I_{t+1}}{2} - \frac{Q_t + Q_{t+1}}{2} \quad (1)$$

Onde  $I_t$  e  $I_{t+1}$  = vazões afluentes ao reservatório em  $t$  e  $t+1$ ;  $Q_t$  e  $Q_{t+1}$  = vazões de saída ao reservatório em  $t$  e  $t+1$ ;  $S_t$  e  $S_{t+1}$  = armazenamento em  $t$  e  $t+1$ ;  $\Delta t$  = intervalo de tempo. As incógnitas  $Q_{t+1}$  e  $S_{t+1}$  podem ser colocadas em um mesmo lado, resultando em:

$$Q_{t+1} + 2 \cdot \frac{S_{t+1}}{\Delta t} = I_t + I_{t+1} - Q_t + 2 \cdot \frac{S_t}{\Delta t} \quad (2)$$

Conhecendo-se a função  $Q=f(S)$ , constroi-se uma função  $Q=h(Q+2S/\Delta t)$ , resultando no seguinte processo de cálculo:

1. Determinação do volume inicial  $S_0$  (conforme objetivo do estudo), e a partir deste, determina-se  $Q_0$ ;
2. Calcular o termo direito da equação 2, uma vez que o hidrograma de entrada foi determinado pelo método do hidrograma unitário do SCS;
3. Com este valor  $(Q_{t+1} + 2 \cdot S_{t+1}/\Delta t)$  é possível obter  $Q_{t+1}$  através de  $Q=h(Q+2S/\Delta t)$  e  $S_{t+1}$  através de  $S_{t+1} = f^{-1}(Q_{t+1})$ ;
4. Repete-se 2 e 3 para todos intervalos de cálculo.

Foi analisado um vertedouro com perfil Creager e coeficiente de descarga 2.1, ficando sua equação característica:

$$Q = 2.1 L (Z - Z_w)^{1.5}$$

### 3.4.4.2 – Resultados

Uma vez escolhida a dimensão do açude (cota=266,0m), elaborou-se o estudo de laminação para a cheia de 1.000 anos, para dimensionamento do Vertedouro, e para a cheia de 10.000 anos, visando garantir que a barragem não seja galgada nesta cheia, servindo assim para a definição da cota de coroamento da barragem.

Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro 3.4.3, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A Figura 3.4.6 abaixo mostra o hietograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Jatobá correspondente ao tempo de retorno  $T_r=1000$  anos para vertedouro em perfil Creager. Os resultados correspondentes para o tempo de retorno de 10.000 anos podem ser visualizados na **Figura 3.4.7**.

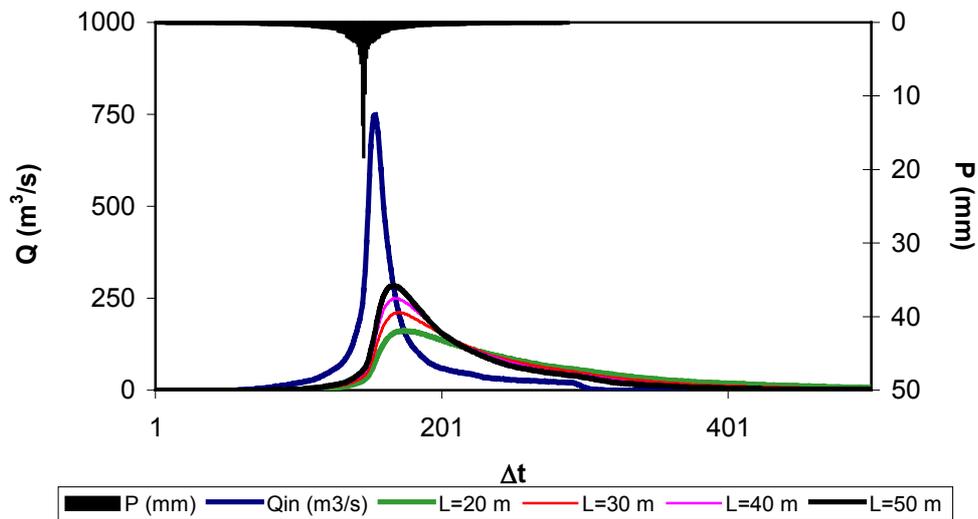
<b>QUADRO 3.4.3 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO ACIMA DESCRITA</b>			
<b>COTA (m)</b>	<b>COTA DE PICO (m)</b>	<b>LÂMINA (m)</b>	<b>Q<sub>OUT</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Tr = 1.000 anos - Q<sub>in</sub> = 748 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager L = 20 m</b>			
266,0	268,5	2,5	162,0
<b>Perfil Creager: L = 30 m</b>			
266,0	268,2	2,2	211,0
<b>Perfil Creager: L = 40 m</b>			
266,0	268,1	2,1	249,0
<b>Perfil Creager: L = 50 m</b>			
266,0	267,9	1,9	284,0
<b>Tr = 10.000 anos - Q<sub>in</sub> = 911,0 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager: L = 20 m</b>			
266,0	268,9	2,9	210,0
<b>Perfil Creager: L = 30 m</b>			
266,0	268,7	2,7	278,0
<b>Perfil Creager: L = 40 m</b>			
266,0	268,5	2,5	333,0
<b>Perfil Creager: L = 50 m</b>			
266,0	268,3	2,3	375,0

L = Largura do Vertedouro

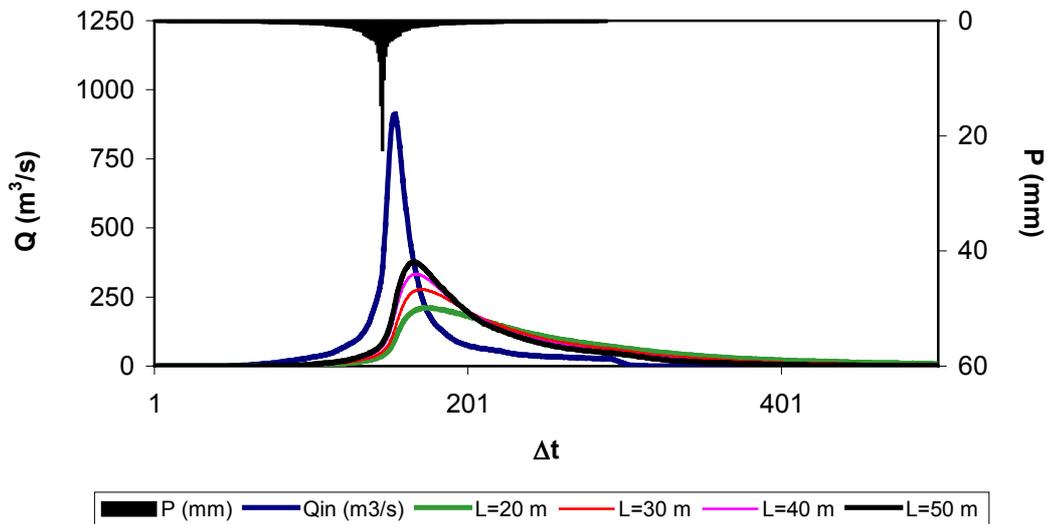
Z<sub>w</sub> = cota da soleira do Vertedouro

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

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



**FIGURA 3.4.6 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAÍDA DO RESERVATÓRIO JATOBÁ (TR=1.000 ANOS, PERFIL CREAGER)**



**FIGURA 3.4.7 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAÍDA DO JATOBÁ (TR=10.000 ANOS, PERFIL CREAGER)**

Como forma de complementar o projeto hidrológico da Barragem Jatobá, foi realizado um estudo do dimensionamento do Vertedouro para uma chuva de duração de 2 dias. Considerou-se um intervalo de tempo de 5 minutos. A metodologia para o cálculo foi a mesma descrita nos capítulos 6 e 8. Adicionalmente, novas simulações foram realizadas para menores larguras de vertedouros.

Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no **Quadro 3.4.4** usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos e uma duração de chuva de dois dias. A **Figura 3.4.8** abaixo mostra o hietograma de projeto, o hidrograma de

entrada e o de saída ao reservatório Jatobá correspondente ao tempo de retorno  $Tr=1000$  anos para vertedouro em perfil Creager. Os resultados correspondentes para o tempo de retorno de 10.000 anos podem ser visualizados na **Figura 3.4.9**.

É possível observar no **Quadro 3.4.8** que o hidrograma de projeto associado a uma chuva de duração de dois dias apresenta diferenças da ordem de 10% com relação ao hidrograma de projeto para chuva de duração 24 horas, conforme o Quadro 3.4.3.

<b>QUADRO 3.4.4 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO ACIMA DESCRITA (DURAÇÃO DA CHUVA = 2 DIAS)</b>			
<b>COTA (m)</b>	<b>COTA DE PICO (m)</b>	<b>LÂMINA (m)</b>	<b>Q<sub>OUT</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Tr = 1.000 anos - Q<sub>in</sub> = 776 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager L = 10 m</b>			
266,0	269,0	3,0	111,0
<b>Perfil Creager L = 20 m</b>			
266,0	268,7	2,7	183,0
<b>Perfil Creager: L = 30 m</b>			
266,0	268,4	2,4	238,0
<b>Perfil Creager: L = 40 m</b>			
266,0	268,2	2,2	279,0
<b>Perfil Creager: L = 50 m</b>			
266,0	268,1	2,1	311,0
<b>Tr = 10.000 anos - Q<sub>in</sub> = 936,0 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager: L = 10 m</b>			
266,0	269,6	3,6	146,0
<b>Perfil Creager: L = 20 m</b>			
266,0	269,1	3,1	236,0
<b>Perfil Creager: L = 30 m</b>			
266,0	268,8	2,8	303,0
<b>Perfil Creager: L = 40 m</b>			
266,0	268,6	2,6	359,0
<b>Perfil Creager: L = 50 m</b>			



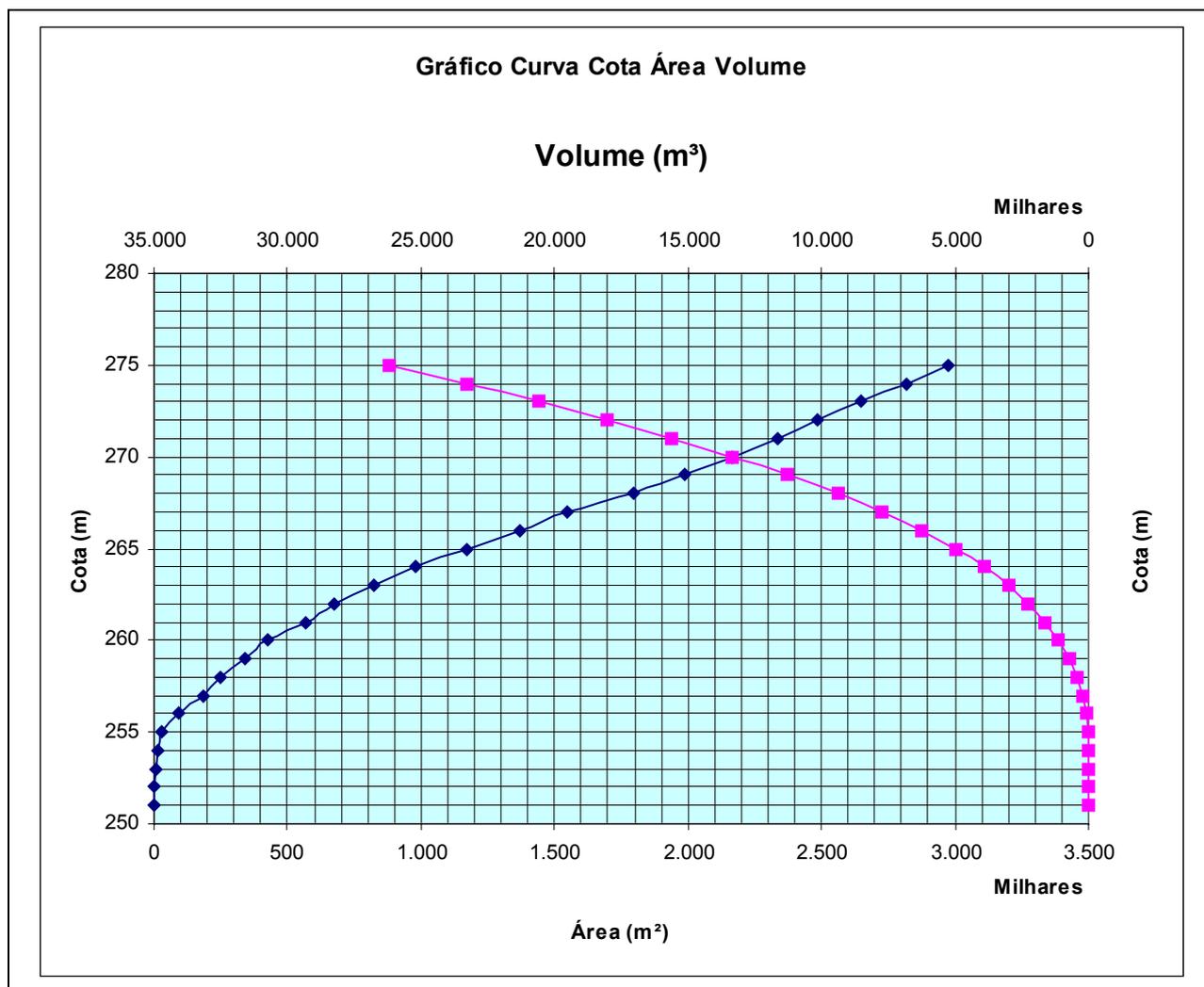
### 3.4.5 – Sumário Técnico dos Estudos Hidrológicos

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	
Área da bacia do Açude Jatobá	41,38 km <sup>2</sup>
Perímetro da bacia do Açude Jatobá	27,04 km
Declividade Média da bacia do Açude Jatobá	63,65 m/km
Comprimento do rio principal	9,60 km
Fator de compacidade	1,19
Fator de forma	0,45
Tempo de concentração	1,10 h

HIDROCLIMATOLOGIA	
Pluviometria Média Anual (sobre a bacia)	826,1 mm
Evaporação Média Anual	2904,4 mm
Evapotranspiração Potencial (Hargreaves)	2063,9 mm
Insolação Média Anual	2613,2 h
Umidade Relativa Média Anual	60,2 %
Temperatura Média Anual: Média das Máximas	32,5 °C
Temperatura Média Anual: Média das Médias	25,8 °C
Temperatura Média Anual: Média das Mínimas	21,0 °C
Classificação Climática	DS2A'a'
Classificação climática segundo Köppen	BWx'

ESTUDO DE CHEIAS	
Precipitação Efetiva	SCS
Propagação do Escoamento na Bacia	Hidrograma Unitário do SCS
CN	86,02
Vazão afluente – Tempo de retorno = 1000 anos	776 m <sup>3</sup> /s
Vazão afluente – Tempo de retorno = 10000 anos	936 m <sup>3</sup> /s

CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO	
Capacidade máxima	6 hm <sup>3</sup>
Cota da soleira do Vertedouro	266,00 m
Cota de coroamento	269,80 m



<b>CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO</b>			
<b>RESOLUÇÃO DIRETA DA EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO – COTA 266 m</b>			
<b>EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO</b>			
<b>RG - %</b>	<b>SG - %</b>	<b>EV - %</b>	<b>Qr 90% (m<sup>3</sup>/s)</b>
0,830 – 19,1%	2,177 – 50,2%	1,328 – 30,6%	0,028

<b>DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO – PERFIL CREAGER: Zw = 266 m</b>			
<b>COTA (m)</b>	<b>COTA DE PICO (m)</b>	<b>LÂMINA (m)</b>	<b>QOUT (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Tr = 1.000 anos - Qin = 776 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager: L = 30,0 m</b>			
266,00	268,40	2,40	238,0
<b>Tr = 10.000 anos - Qin = 936 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager: L = 30,0 m</b>			
266,00	268,80	2,80	303,0

PROBABILIDADES DE ENCHIMENTO E ESVAZIAMENTO	
RETIRADA ANUAL (HM <sup>3</sup> )	PROBABILIDADES
0,8	<p>Enchimento = 37%</p> <p>Esvaziamento = 10%</p> <p>Garantia = 90%</p>

ASSOREAMENTO			
VOLUME INICIAL	PERÍODO SIMULADO	VOLUME FINAL	REDUÇÃO
6,00 hm <sup>3</sup>	100 anos	4,44 hm <sup>3</sup>	26%

**4 – ALTERNATIVAS EXAMINADAS E JUSTIFICATIVA DA OPÇÃO ESCOLHIDA**

**4 – ALTERNATIVAS EXAMINADAS E JUSTIFICATIVA DA OPÇÃO ESCOLHIDA**

Tendo em vista as condições topográficas, boqueirão bem aberto, e as condições de fundação com a existência de um pacote aluvionar que repousa sobre uma formação de gnaisse decomposto, as alternativas de barragem para esse boqueirão fatalmente recairia em barragem de terra. Sendo assim, foi esta a única alternativa examinada e que por si só justifica sua escolha.

## **5 – DESCRIÇÃO DO PROJETO**

### **5 – DESCRIÇÃO DO PROJETO**

No presente capítulo é apresentado a Memória Descritiva e Justificativa do Projeto da Barragem Jatobá, abordando os seguintes tópicos:

- Caracterização da Fundação da Barragem e Vertedouro;
- Rebaixamento do Lençol Freático;
- Geometria da Trincheira de Fundação;
- Local de Bota-Fora;
- Tratamento das Fundações;
- Materiais de Construção;
- Características do Maciço da Barragem;
- Vazões de Percolação pelo Maciço e Fundação;
- Análise da Estabilidade;
- Tomada D'Água;
- Vertedouro.

## 5.1 – CARACTERIZAÇÃO DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM E VERTEDOIRO

Visando fazer a análise da formação geológica das camadas onde serão assentes o maciço da barragem e o Vertedouro foi elaborado uma campanha de sondagens geotécnicas a percussão e mista (iniciadas a percussão e prosseguidas por sonda rotativa) de forma que o exame desses perfis individuais associadas a uma seção geotécnica do subsolo permitiu fazer um entendimento do subsolo local.

### 5.1.1 – Fundação da Barragem

Ao longo do eixo da Barragem foram executadas 22 sondagens sendo 13 (treze) a percussão e 9 nove sondagens mista.

A localização dessas sondagens podem ser vistas no Desenho I-2-JA-06/35-010.

A partir dessas sondagens foi preparado o perfil geotécnico do subsolo do eixo barrável e as seções transversais A-A', B-B' e C-C' que podem ser vistas nos Desenhos I-2-JA-07/35-010 e I-2-JA-08/35-010.

Examinando o perfil geotécnico do eixo barrável e das seções verifica-se que o vale apresenta um pacote de areia fina e média com ou sem argila com profundidade que chega a 5,0m. O nível d'água foi encontrado a cerca de 3,0m. Verifica-se, também, que nessa camada de solo os valores de SPT são em muitos locais inferiores a

7 golpes/30cm. Abaixo dessa camada sedimentar é encontrado a rocha decomposta. Ensaio de infiltração “Le Frank” mostraram permeabilidades da ordem de  $10^{-5}$ cm/s.

Desta forma, foi definido uma linha de escavação obrigatória e uma linha de aprofundamento do cut-off que podem ser vistas no Desenho I-2-JA-07/35-010.

Tomou-se o cuidado de garantir que a base do cut-off penetre pelo menos 50cm dentro do solo residual ou da rocha decomposta.

Deve-se salientar que examinando a seção A-A' verifica-se que o pacote aluvionar chega a penetrar 9,16m e na seção B-B' ele atinge 10,19m.

A escavação obrigatória tem a finalidade de garantir que os espaldares fiquem assentes em solo com SPT>7 golpes/30cm.

### **5.1.2 – Fundação do Vertedouro**

Para estudar as condições da formação geológica do subsolo onde será implantado o Vertedouro, pela ombreira direita, executou-se 20 (vinte) sondagens sendo 10 (dez) sondagens a percussão e 10 (dez) sondagens mistas.

Examinando essas seções, como por exemplo a F-F' verifica-se que no pé do morro tem-se uma camada mais espessa de solo arenoso com profundidade de 5,0m na estaca 45. Abaixo dessa cota entra-se no gnaiss decomposto até 11,00m de profundidade a partir daí chega-se no gnaiss dura a muito dura. A partir do ponto que se escala o morro as camadas de solo e gnaiss decomposto são reduzido de espessura chegando ao ponto que na sondagem SM-08, a perfuração já inicia no gnaiss decomposto.

Da mesma forma, examinando as seções D-D' e E-E' é encontrado um comportamento semelhante ao descrito para a seção F-F'.

Concluindo, pode-se esperar que as escavações do Vertedouro prevista por volta da cota 262,00m serão executadas em gnaiss alterado e/ou gnaiss duro.

## **5.2 – REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO**

As sondagens executadas no vale do rio mostraram que existe nível d'água a profundidades da ordem de 2,0m dentro do pacote de areia. Tendo em vista as escavações obrigatórias e a execução do cut-off parcial com certeza será atingido o nível do lençol freático. Por esta razão deve-se esperar que seja necessário a realização do rebaixamento do lençol freático. A princípio pode ser tentado a canalização das águas para um ponto baixo e daí fazer o bombeamento. Caso esse

processo não se mostre totalmente satisfatório será então necessário fazer o uso de sistemas de rebaixamento com ponteiras.

### 5.3 – GEOMETRIA DA TRINCHEIRA DE FUNDAÇÃO

A trincheira de vedação (cut-off) será executado abaixo da linha das escavações obrigatórias, entre as estacas 35 e 43, nos locais e nas profundidades mostradas nas seções transversais da barragem e no perfil geológico do eixo barrável.

Neste segmento onde será construído o cut-off, ou seja, entre as estacas 35 e 43, nota-se a presença de uma camada de aluvião, encoberta por colúvio, que se estende tanto para montante como para jusante, caracterizando assim uma continuidade no sentido montante-jusante. Esta continuidade montante-jusante interferirá de alguma maneira com os trabalhos de preparação da fundação da barragem.

Desta maneira, o Consórcio Projetista recomenda que após a escavação da fundação (linha de escavação obrigatória), deve-se proceder uma inspeção geológica no local, realizada por um geólogo de engenharia, e determinar a execução ou não da trincheira de vedação neste segmento, nos limites concebidos no projeto.

A geometria do cut-off é um trapézio com lados inclinados com taludes de 1,0(V) para 1,0(H). A escavação inicia-se no pé do filtro vertical e desce no sentido de montante. A base menor do cut-off tem dimensão em todas as seções da barragem de 10,00m.

A escavação da trincheira a princípio terá profundidade do projeto mas poderá variar para mais ou para menos, afim de que o cut-off penetre pelo menos 0,50m na rocha decomposta saprólito).

### 5.4 – LOCAL DE BOTA-FORA

Todos os materiais das escavações da obra e que não tiveram destino na construção desta se tornarão resíduos e portanto deve receber um destino. Os organismos que tratam da preservação do meio ambiente tem recomendado que este material ocupe uma parte da bacia hidráulica. Por esta razão foi reservado o espaço abaixo da curva de nível 252,0 para colocação deste material.

### 5.5 – TRATAMENTO DAS FUNDAÇÕES

Examinando os ensaios de perda d'água em rocha LUGEON verifica-se que em alguns trechos houve perda específica superior a 1,0 l/min/m/atm, entretanto face ao tipo da solução assumida e sabendo-se que o pacote rochoso fica a 10,00m de profundidade é desnecessário a execução de uma cortina de injeção.

## 5.6 – MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Para construção da Barragem Jatobá foram estudadas cinco jazidas de solo J-01, J-02, J-03, J-04 e J-05, um areal A-01 e uma Pedreira P-01.

As jazidas de solos são compostos de materiais SC (areia argilosa), CL (argila de baixa plasticidade) ou mistura desses dois tipos de solos.

O maciço da barragem deve ser homogêneo executados com materiais dessas ocorrências de forma racional, ou seja, inicialmente serão exploradas as ocorrências mais próximas do barramento. A jazida J-03 é a que está mais próxima da barragem, dista 0,45km do centro da barragem e tem volume disponível de 222.500,00m<sup>3</sup>.

A drenagem interna e as zonas de proteção dos taludes serão executadas com materiais do Areal A-01 e Pedreira P-01.

A areia é do tipo SP da classificação USC e tem permeabilidade da ordem de  $1,7 \times 10^{-1}$  cm/s.

A pedreira P-01 é constituída de rocha gnáissica e o ensaio de abrasão “Los Angeles” enquadrado na faixa B apresentou resultado da ordem de 22%, ou seja, rocha sã.

## 5.7 – CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO DA BARRAGEM

A concepção do barramento da barragem Jatobá foi concebido após a contemplação das características dos materiais disponíveis, da topografia do boqueirão e da disponibilidade hídrica. O boqueirão é bem aberto com camada aluvionar relativamente espessa, mas, esses materiais são impregnados com solos finos o que induziu o Projetista a não adotar um tapete impermeabilizante. A Barragem será construída com materiais das cinco jazidas, a pedreira e o areal.

A barragem ficará com coroamento na cota 269,80m e soleira na cota 266,00m, reservando nesta cota 6,20hm<sup>3</sup>.

A barragem terá 6,0m de largura do coroamento com caimento de 2% para montante. A camada final com 30cm de espessura será executada com cascalho argiloso ou produto de britagem. Nos limites dos bordos serão colocados meios-fios com abertura para montante.

A barragem foi concebida com seção de terra utilizando materiais das escavações das jazidas e de aproveitamento das escavações do Vertedouro constituindo de solo saprolítico.

O maciço foi concebido com taludes de montante e jusante com inclinação de

1:2 (V:H). A seção máxima ficou localizada na estaca 42+9,00m. A altura máxima já levando em conta a escavação obrigatória é de 20,69m. A seção máxima pode ser vista no Desenho I-2-JA-12/35-010.

No talude de jusante foi previsto a construção de uma berma na cota 259,80m com 2,0m de largura.

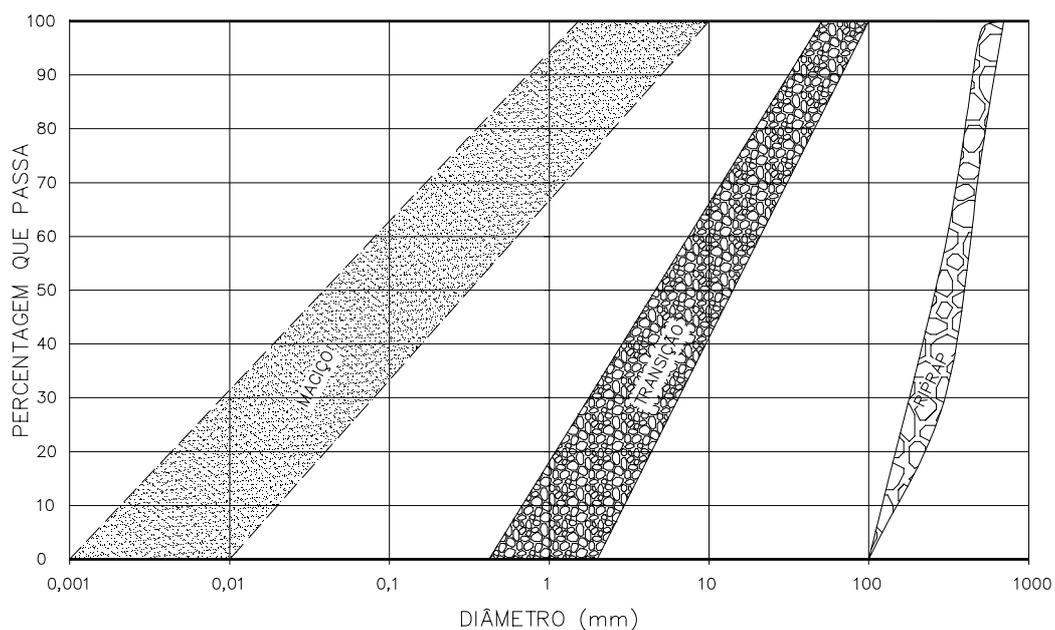
O talude de montante será protegido da ação da energia da onda do reservatório com a construção de um rip-rap. O rip-rap será formado por uma camada de blocos de rocha sã que serão assentes sobre uma camada de transição. O rip-rap terá 0,70m de espessura e a transição terá 0,20m de espessura. A camada de transição será formada por produto de britagem.

O enrocamento do rip-rap a ser construído deverá apresentar as seguintes características:

<b>QUADRO Nº5.1: MATERIAL DO ENROCAMENTO DO RIP-RAP</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)</b>
700mm	100
500mm	74-98
300mm	4-58
100mm	-

<b>QUADRO Nº5.2: MATERIAL DE TRANSIÇÃO</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)</b>
200mm	100
100mm	100
2" (50,8mm)	90-100
1" (25,4mm)	70-82
3/8" (9,5mm)	42-54
Nº4 (4,76mm)	14-42
Nº10 (2,00mm)	0-18
Nº40 (0,42mm)	-

FAIXA GRANULOMETRICA DA PROTEÇÃO DO TALUDE DE MONTANTE

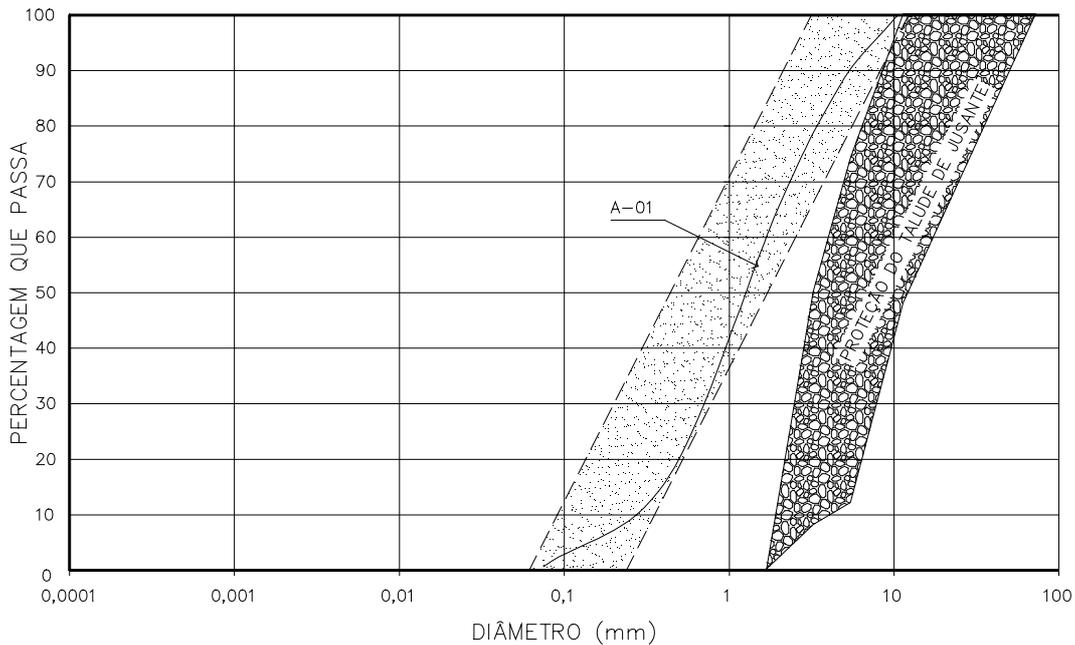


**GRÁFICO Nº5.1**

O talude de jusante será protegido com uma camada de material granular com 30cm de espessura que será obtido do produto de britagem. As características desse material são mostradas no **Quadro Nº 5.3**, a seguir:

<b>QUADRO Nº5.3: MATERIAL DE PROTEÇÃO DO TALUDE DE JUSANTE</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)</b>
300mm	100
1" (25,4mm)	48-100
3/8" (9,5mm)	12-74
Nº4 (4,76mm)	8-50
Nº10 (2,00mm)	-

CURVA GRANULOMETRICA DO AREAL E PROTEÇÃO DO TALUDE DE JUSANTE



**GRÁFICO N°5.2**

O sistema de drenagem interna da barragem é formado pelos seguintes componentes:

- Filtro Vertical de Areia;
- Tapete Horizontal de Areia;
- Dreno de Pé (Rock-Fill).

O filtro vertical de areia e o tapete horizontal terão 1,0m de espessura, serão executados com areia do areal A-01. O topo do filtro vertical ficará com nível da cheia decamilenar, ou seja, cota 268,80m.

O tapete horizontal será construído entre as estacas 20 e 52 numa extensão de 640,00m. Entre as estacas 20 e 26 e 47 e 52 o tapete é parcial não se estendendo até o pé de jusante.

O filtro vertical e o tapete horizontal serão construídos com material apresentando as seguintes características.

O rock-fill será executado entre as estacas 27 a 47. O rock-fill nas interface com a fundação e o maciço da barragem é dotado de camadas de filtro que são formados com areia de rio e uma brita produzida que é denominada de brita "A". No miolo do

maciço ele é formado por pedra de mão.

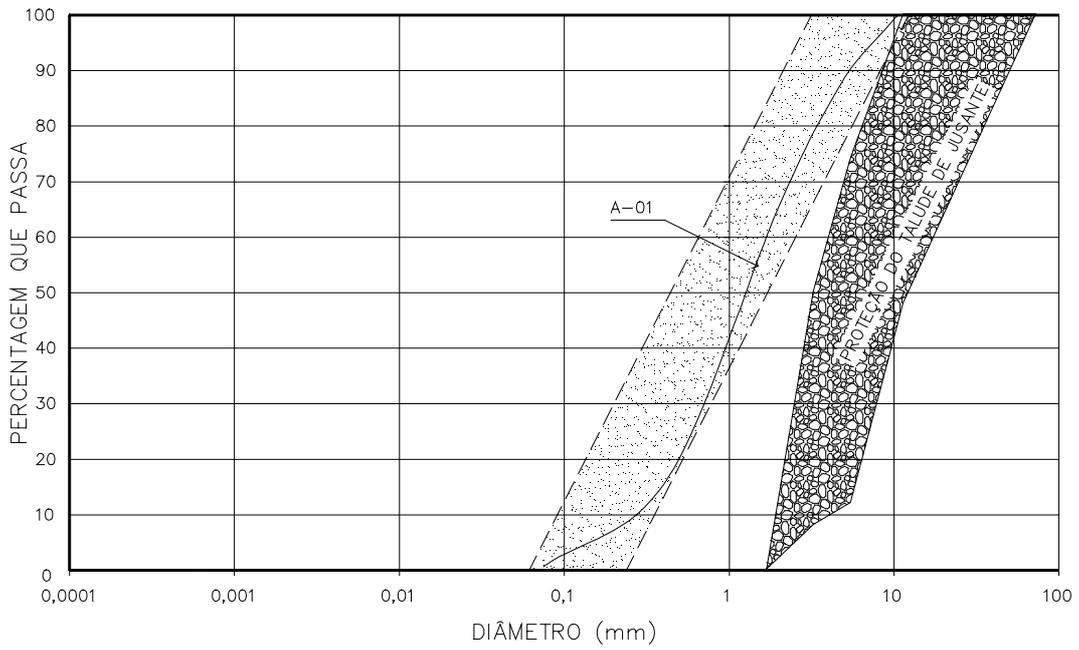
As características dos materiais do rock-fill são mostradas abaixo:

<b>QUADRO Nº5.4: AREIA GROSSA</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)</b>
3/8" (9,5mm)	95-100
Nº4 (4,76mm)	5-40
Nº10 (2,00mm)	0-21
Nº40 (0,42mm)	-
Nº200 (0,075mm)	-

<b>QUADRO Nº5.5: BRITA "A"</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)</b>
2" (50,8mm)	100
1" (25,4mm)	92-98
3/8" (9,5mm)	40-92
Nº4 (4,76mm)	10-72
Nº10 (2,00mm)	0-16
Nº40 (0,42mm)	-

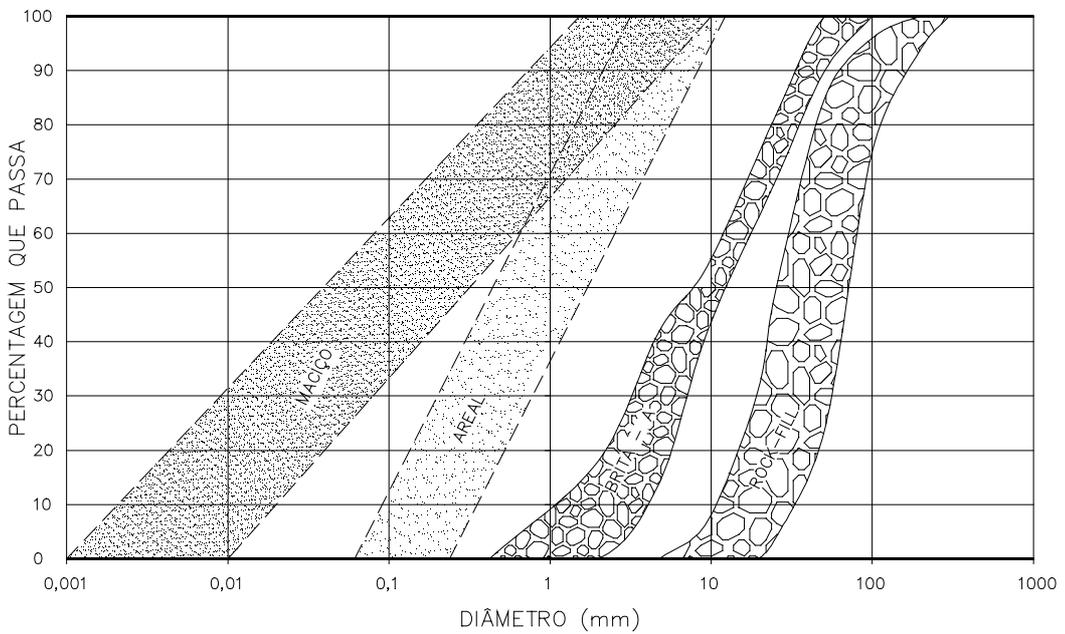
<b>QUADRO Nº5.6: ENROCAMENTO DO ROCK-FILL</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)</b>
300mm	100
200mm	94-100
100mm	75-96
2" (50,8mm)	24-85
1" (25,4mm)	4-50
3/8" (9,5mm)	0-7
Nº4 (4,76mm)	-

CURVA GRANULOMETRICA DO AREAL E PROTEÇÃO DO TALUDE DE JUSANTE



**GRÁFICO N°5.3**

FAIXA GRANULOMETRICA DA DRENAGEM INTERNA



**GRÁFICO N°5.4**

O rock-fill do pé de jusante é um enrocamento com forma trapezoidal formado

por uma berma externa ao talude de jusante com 2,0m de largura e taludes 1:1,5 (V:H). No caso da barragem Jatobá o enrocamento terá altura variável e a cota da berma é fornecida nos desenhos das seções do eixo barrável que pode ser visto nos Desenhos I-2-JA-13/35-010 a I-2-JA-21/35-010.

Visto o comentário do Relatório da Reunião 55º do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens de novembro de 2005, com respeito as dimensões do rock-fill e a origem do material, o Consórcio Projetista reavaliou e decidiu permanecer com as dimensões do rock-fill apresentada na citada reunião. Mesmo a grande parte da rocha vindo de exploração de pedreira, verificou-se que a formação geológica do subsolo do local do barramento é formado por lentes de areia e portanto aprofundar o rock-fill em 2,0m dentro da escavação é interessante para o controle da percolação sob o barramento.

Os detalhes construtivos do rock-fill podem ser visto no Desenho I-2-JA-12/35-010.

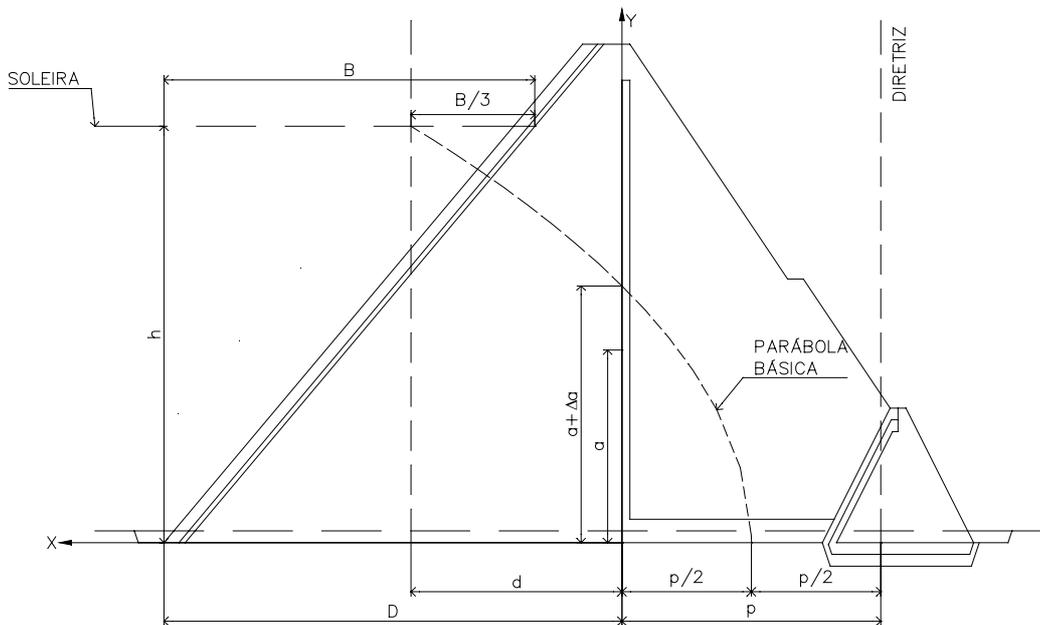
A barragem foi dotada de uma tomada d'água formada de uma galeria tubular de  $\phi=300\text{mm}$  que será construída na estaca 25 com a cota do eixo do tubo ficando na 257,00m. A localização da tomada d'água pode ser vista no Arranjo Geral, Desenho I-2-JA-04/35-010.

## 5.8 – VAZÕES DE PERCOLAÇÃO PELO MACIÇO E FUNDAÇÃO

As vazões que percolam pelo maciço da Barragem e são coletadas pelo filtro vertical são limitadas superiormente pela linha freática cujo o posicionamento é indefinido. Para contornar esse problema foi associada a linha freática à parábola de KOZENY. O problema de KOZENY corresponde à percolação de água através de um solo, com coeficiente de permeabilidade  $K$ , apoiado sobre uma camada impermeável  $K = 0$  e desaguando num dreno  $K = \infty$ . A camada impermeável será a base da Barragem.

Colocando-se um sistema de eixos cartesiano  $x$  e  $y$ , com  $y$  coincidindo com o paramento de montante do filtro vertical e  $x$  com a base da Barragem, ou seja, fundo do tapete horizontal. A origem desse sistema cartesiano será o ponto de interseção da paramento de montante do filtro vertical com a base do tapete horizontal, como pode ser visto na figura abaixo:

## PARABOLA DE KOZENY - SEÇÃO TRANSFORMADA



Os estudos de KOZENY verificaram que o fluxo no maciço é limitado por uma curva parabólica traçada no sistema cartesiano  $x \cdot y$  pela linha pontilhada com foco na origem dos eixos e equação da parábola dada pela a seguintes expressão:

$$\sqrt{x^2 + y^2} = x + p$$

Onde:

$(x, y)$  = ponto da curva

$p$  = o dobro da distância do foco ao vértice.

Sabendo-se que o meio poroso é anisotrópico com relação à permeabilidade e admitindo:

$$\frac{K_y}{K_x} = \frac{1}{9}$$

Para uso desta equação é necessário fazer a transformação de uma das ordenadas.

Fazendo-se a transformação no eixo  $x$ , tem-se:

$$x_r = x \cdot \sqrt{\frac{K_y}{K_x}}$$

Onde:

$X_r$  = Abscissa transformada

$X$  = Abscissa real

$K_x$  = Permeabilidade na direção horizontal

$K_y$  = Permeabilidade na direção vertical

Sendo assim:

$$X_r = d_r = d \cdot \sqrt{\frac{1}{9}} = \frac{d}{3}$$

Portanto a equação abaixo:

$$P = \sqrt{x^2 + y^2} - x$$

Se transformada em:

$$P = \sqrt{\left(\frac{x}{3}\right)^2 + y^2} - \frac{x}{3}$$

O valor de  $P$  pode ser calculado aplicando-se a equação ao ponto  $(d, h)$ .

$$P = \sqrt{\left(\frac{d}{3}\right)^2 + h^2} - \frac{d}{3}$$

Obtido o valor de  $P$  obtém-se a vazão de percolação pelo maciço que é dada pela expressão:

$$Q_M = K \cdot P$$

$$\text{Com: } K = \sqrt{K_x \cdot K_y} = 3 \cdot K_y.$$

$$\text{Para: } K_y = 5,0 \times 10^{-10} \text{ m/s e } p = 14,10 \text{ m.}$$

$$Q_M = 7,0 \times 10^{-9} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

A vazão de percolação pela fundação foi obtida considerando que o maciço rochoso abaixo do cut-off é bem mais permeável que este, razão pela qual considerou-

se a percolação ocorrendo apenas pelo maciço abaixo do cut-off, considerou-se ainda que este tem 10,00m de espessura. Aplicou-se a expressão dada por:

$$q = \lambda \cdot K_f \cdot h$$

Onde:

$q$  = Vazão por metro

$K_f$  = Coeficiente de permeabilidade

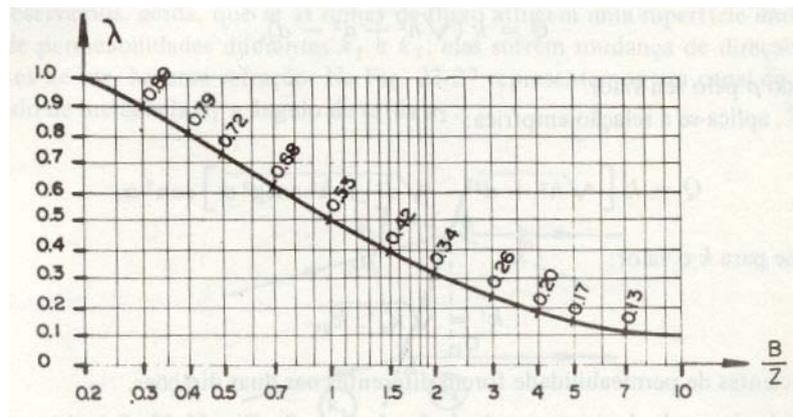
$h$  = Carga hidráulica

$\lambda$  = Coeficiente dado em função de  $B/Z$

$Z$  = Espessura do maciço permeável

$B$  = Extensão da zona impermeável de montante

$\lambda$  é obtido do gráfico abaixo



$$K_f = \sqrt{K_x \cdot K_y}$$

$$\frac{K_y}{K_x} = \frac{1}{9}$$

$$K_f = 3K_y$$

Para:  $K_y = 10^{-7} \text{ m / s}$

$$K_f = 3 \times 10^{-7} \text{ m / s}$$

Para:  $B \cong 44,0\text{m}$

$$\frac{B}{Z} = \frac{44}{10} = 4,1$$

$$\lambda = 0,20$$

$$q = 0,2 \times 3 \times 10^{-7} \times 17 = 1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

## 5.9 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE

A análise da estabilidade foi feita utilizando-se Método de Bishop Modificado e o programa Geo-Slope/W.

A geometria da Barragem Jatobá foi avaliada de duas maneiras, a saber: a análise de estabilidade estática e sísmica.

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

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

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

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

No que diz respeito à caracterização da ação sísmica, foi adotado, para a situação de final de construção, regime permanente e rebaixamento rápido, um coeficiente sísmico de 0,05.

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

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

Para a situação de final de construção adotou-se o coeficiente  $R_u$ . Este coeficiente é definido como a relação entre a pressão intersticial da água num determinado ponto com a tensão vertical nesse ponto através da expressão  $R_u = U/\sigma_1$ . Esse coeficiente é função do tipo do material. Para materiais de elevada permeabilidade nos quais a dissipação das pressões intersticiais é quase instantânea,

o coeficiente toma valores próximos de zero. No limite, o coeficiente  $R_u$  pode atingir 0,50 caso se esteja na presença de materiais saturados de baixa permeabilidade.

### b) Definição da Linha Piezométrica

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

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

### c) Parâmetros de Resistência dos Materiais

O **Quadro nº 5.7** mostrado a seguir, indica os valores dos parâmetros geotécnicos adotados para a análise da estabilidade da barragem.

QUADRO Nº5.7: PARÂMETROS GEOTÉCNICOS				
Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kPa)	$\phi$ (graus)	$R_u$
Rip-Rap	18,0	0,00	45°	0,00
Maciço/Cut-Off	18,8	9,0	31,1°	0,10
Filtro/Tapete	18,0	0,00	35°	0,00
Rock-Fill	20,0	0,00	38°	0,00
Aluvião	17,0	5,0	28°	0,10
Topo Rochoso	-	-	-	-

#### 5.9.1 – Método Bishop Simplificado

Em 1955 Bishop generalizou o método das fatias para levar em conta o efeito dos empuxos e cisalhamento ao longo das faces laterais das fatias.

Nesse método é feito, também, o equilíbrio dos momentos em torno do centro do círculo de ruptura.

O coeficiente de segurança é dado pela expressão:

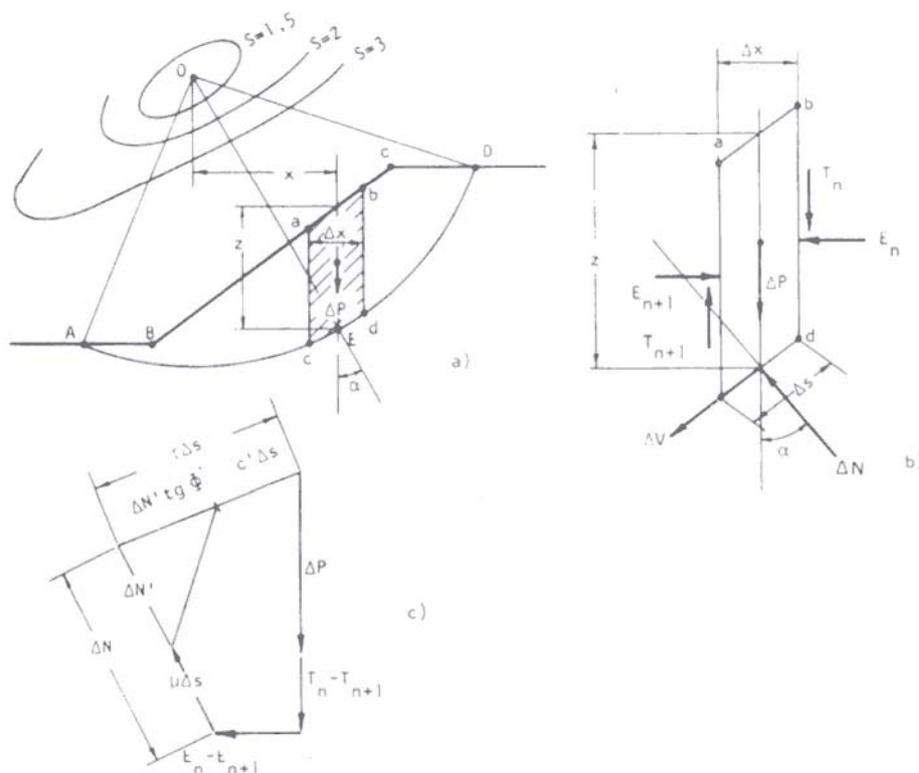
$$S = \frac{1}{\sum \Delta P \sec \alpha} \times \sum \cdot C' \cdot \Delta X + \text{tg} \phi' \cdot \Delta P (1 - \bar{B}) \cdot \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\text{tg} \phi' \cdot \text{tg} \alpha}{S_0}}$$

Onde:

$c'$  = coesão efetiva.

$\phi'$  = ângulo de atrito interno efetivo.

Os demais elementos são mostrados na figura abaixo:



## ESTABILIDADE DE TALUDES (MÉTODO DAS FATIAS E DE BISHOP)

### 5.9.2 – Programa Slope/W

O SLOPE/W é um programa computacional que utiliza a Teoria do Estado do Limite de Equilíbrio para calcular o fator de segurança dos taludes de solos e de rochas.

Será feita uma descrição sumária do programa SLOPE/W, abordando os seguintes tópicos, a saber:

- Métodos de Análise;
- Geometria e Estratigrafia;
- Superfície de Escorregamento;
- Pressão Neutra;
- Propriedade do Solo;
- Definição do Problema;
- Resolução do Problema;
- Apresentação dos Resultados;
- Formulário.

#### 5.9.2.1 – Método de Análise

O SLOPE/W possui a capacidade de determinar o fator de segurança dos problemas de estabilidade de taludes, por uma variedade de métodos a saber: Feldenius, Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, Spencer, Mongenstern-Price, Corps of Engineers, GLE (Limite de Equilíbrio Geral) e Elementos Finitos.

#### 5.9.2.2 – Geometria e Estratigrafia

O SLOPE/W pode ser usado para modelar uma ampla variação de geometria de taludes e estratigrafia tal como múltiplos tipos de solos, parcialmente submerso em água, várias espessuras e substrato descontínuo camadas de solos impermeáveis e secos ou saturados, tensões de ruptura. As tensões de quebra podem ser modeladas especificando a linha de tensão de ruptura ou o máximo ângulo de inclinação da superfície de escorregamento.

#### 5.9.2.3 – Superfície de Escorregamento

O SLOPE/W usa uma grade para os centros de rotação e um campo para os raios, para modelos de superfície de escorregamento circulares ou compostos.

#### 5.9.2.4 – Pressão Neutra

O SLOPE/W possui algumas opções para especificar a pressão neutra, a saber:

- **Coefficiente da pressão neutra:** Definição do coeficiente  $ru$  para cada tipo específico de solo;

- **Superfície Piezométrica:** O caminho fácil para especificar a pressão neutra é definir a superfície piezométrica que ultrapassa o domínio do problema;
- **Parâmetros de Pressão Neutra em Locais Específicos:** Se os parâmetros de pressão neutra, tal como pressão, linha de saturação ou  $u$  são conhecidos em uma dada localização específica do solo, eles podem ser especificados no modelo;
- **Isolinhas de Pressão Neutra:** Se isolinhas de pressão neutra são conhecidas, talvez vindas de observações de campo ou de outra forma, como o modelo de rede de fluxo, as pressões neutras podem ser incorporadas do modelo em estudo para analisar a estabilidade do talude.

#### 5.9.2.5 – Propriedade do Solo

O SLOPE/W possui os seguintes modelos para definir o solo:

- **Parâmetros da Pressão Total e/ou Efetiva:** Os parâmetros de Mohr-Colomb para coesão e ângulo de atrito são os mais comuns meios de modelar os solos sobre tensão cisalhante;
- **Tensão Cisalhante em Solos Não-Drenados:** Solos não-drenados exigem resistência ao cisalhamento com atrito nulo;
- **Material com Tensão de Cisalhamento Nulo:** Para materiais que contribuem somente com o seu peso, mas não contribuem para a tensão cisalhante do sistema;
- **Material Impenetrável:** Onde a superfície de escorregamento encontra um material impenetrável, tal como um topo rochoso, a superfície de escorregamento continua ao longo do limite superior do material impenetrável;
- **Envoltória da Ruptura Bilinear:** Uma envoltória da ruptura bilinear de Mohr-Coulomb é útil para modelar materiais que exigem uma mudança no ângulo de atrito, em particular na tensão normal;
- **Incremento na Coesão com a Profundidade:** Em solos normalmente consolidados ou em solos levemente não-consolidados, a coesão é aumentada com a profundidade. O SLOPE/W pode acomodar esta situação de duas maneiras. A primeira maneira é permitindo a coesão variar junto com a profundidade abaixo do topo da camada de solo. Isto é usado para a

- análise de taludes naturais. A segunda maneira é permitir a coesão variar em função da elevação, independente da profundidade do topo da câmoda. Isto é usado para a análise de taludes de escavação;
- **Anisotropia na Força Cisalhante:** O SLOPE/W tem uma inúmera maneiras para modelar a anisotropia dos parâmetros da tensão cisalhante, refletindo na variação da prática da engenharia utilizada ao longo do mundo.
  - **Envoltória da Tensão Cisalhante:** Nos casos onde a envoltória de ruptura de Mohr-Coulomb linear ou bilinear são insuficientes para modelar a tensão cisalhante do solo, o SLOPE/W tem a capacidade de especificar uma curva geral relacionando a tensão cisalhante e a tensão normal. Isto é a forma mais genérica de especificar a tensão cisalhante.
  - **Tensão Cisalhante Baseada na Tensão Normal com a Força Não-Drenada Máxima:** Junto com este modelo, a tensão cisalhante é baseada na coesão e no ângulo de atrito para a força não-drenada máxima. Tanto a coesão e o ângulo de atrito podem variar junto com a profundidade da superfície do terreno ou junto com a elevação acima do datum;
  - **Tensão Cisalhante Baseado na Sobrecarga da Pressão Efetiva:** A tensão cisalhante do solo neste modelo é diretamente relacionada com a pressão efetiva de sobrecarga por um fator específico, por isso aumenta linearmente junto com a profundidade abaixo da superfície do terreno.

#### 5.9.2.6 – Definição do Problema

O SLOPE/W inclui um programa executável denominado DEFINE, o qual define o modelo do problema para analisar a estabilidade de talude.

O programa DEFINE desenha o problema na tela, muito semelhante aos desenhos criados usando pacotes de programas CAD (desenho ajudado por computador).

Para definir o problema, começa definindo o espaço do desenho. Isto é feito escolhendo o tamanho do papel, a escala e a origem do sistema de coordenadas da página. Valores padrões são avaliados para todos estes ajustes. Para orientação quando está desenhando, eixos de coordenadas e grade de pontos de coordenadas podem ser mostrados.

Quando o espaço de desenho é definido, pode-se começar a rascunhar o problema na página usando linhas, círculos e arcos. Pode-se adicionalmente importar

uma figura de pano de fundo para representar alguma função. Tendo um rascunho ou figura do domínio do problema, ajuda para definir a estratigrafia do problema de talude.

Depois de definido o espaço do desenho e mostrado o domínio do problema, pode-se especificar a propriedade dos materiais, definir a geometria do talude junto com pontos e linhas, definindo a superfície de escorregamento de teste, especificando as condições de pressão neutra e as condições de aplicação de cargas.

#### 5.9.2.7 – Resolução do Problema

Uma vez o arquivos de dados criado no programa DEFINE o problema é resolvido utilizando o programa SOLVE.

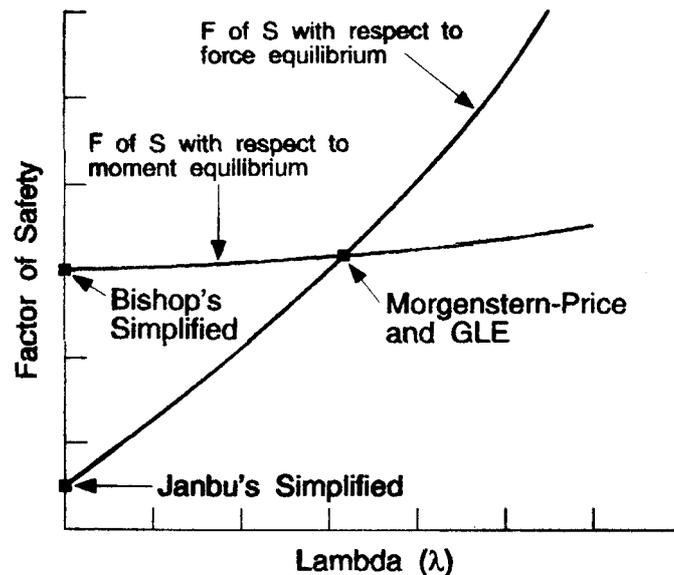
#### 5.9.2.8 – Apresentação dos Resultados

O programa CONTOURN é utilizado para visualizar os resultados, onde graficamente são mostrados todas as superfícies de escorregamento em teste e os fatores de segurança calculados pelo programa SOLVE. Os resultados podem ser apresentados como isolinhas de fator de segurança, diagramas de força e polígonos de forças de fatias individuais, gráficos de parâmetros calculados ao longo da superfície de escorregamento e a distribuição probabilística do fator de segurança.

#### 5.9.2.9 – Formulário

O SLOPE/W é formulado em termos de duas equações de fator de segurança. Estas equações são usadas para calcular o fator de segurança baseado no momento da fatia e na força de equilíbrio. Dependendo da função da força entre fatias adaptada, o fator de segurança de todos os métodos podem ser determinados destas duas equações.

Uma diferença chave entre os métodos é a admissão de hipótese com respeito as forças normais e de cisalhamento entre fatias. A relação entre as forças de interfatias é representada pelo parâmetro  $\lambda$ . Por exemplo, o valor de  $\lambda$  de zero significa que não há força de cisalhamento entre as fatias. O valor de  $\lambda$  diferente de zero significa que há força de cisalhamento entre as fatias.



**FIGURA Nº5.1: FATOR DE SEGURANÇA X LAMBDA**

Na **Figura Nº 5.1** apresenta o gráfico do fator de segurança versus  $\lambda$ . Duas curvas são mostradas na figura. Uma curva representa o fator de segurança em relação com o momento de equilíbrio e a outra curva representa o fator de segurança com relação a força de equilíbrio. No Método Bishop Simplificado usa-se a força normal, mas não força de cisalhamento entre as fatias ( $\lambda=0$ ) e somente satisfaz o momento de equilíbrio. Conseqüentemente, o fator de segurança Bishop está no eixo vertical da esquerda do gráfico. No método Janbu Simplificado também utiliza-se a força normal, mas não há força de cisalhamento entre as fatias e satisfaz somente a força de equilíbrio. O fator de segurança Janbu é, por isso, também localizado no eixo vertical da esquerda do gráfico. Nos métodos Morgenstern-Price e GLE utilizam-se ambos as forças normal e de cisalhamento entre as fatias e ambas satisfazem a força e o momento de equilíbrio; o resultado do fator de segurança é igual ao valor da interseção das duas curvas de fator de segurança. Na Figura Nº 5.1 mostra como geralmente a formulação do SLOPE/W possibilita calcular o fator de segurança dos vários métodos.

### 5.9.3 – Resultados Obtidos

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

#### a) Análise da Estabilidade Estática

Os valores dos fatores de segurança obtidos na análise de estabilidade estática são mostrados no **Quadro nº 5.8**:

**QUADRO Nº5.8: ANÁLISE DE ESTABILIDADE – ESTÁTICA**

SIMULAÇÃO	C.S. MÍNIMO	SUPERFÍCIE DE DESLIZAMENTO		
		SUPERFICIAL	INTERMEDIÁRIA	PROFUNDA
Final de Construção – Talude de Montante	1,3	1,609	1,473	1,605
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	1,828	1,632	1,608
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	1,827	1,632	1,607
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,1	1,009	1,158	1,101

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

#### b) Análise Sísmica

Os cálculos efetuados para simular um abalo sísmico foram feitos considerando o corpo da barragem como rígido, sendo que a caracterização da Sísmica se dá através do valor da aceleração máxima esperada na fundação. Esta é considerada constante ao longo do perfil da barragem. Este procedimento é adequado tendo em vista a pequena sísmicidade da região. Os valores dos fatores de segurança obtidos são mostrados no **Quadro N° 5.9**:

QUADRO N°5.9: ANÁLISE DE ESTABILIDADE – ABALO SÍSMICO				
SIMULAÇÃO	C.S. MÍNIMO	SUPERFÍCIE DE DESLIZAMENTO		
		SUPERFICIAL	INTERMEDIÁRIA	PROFUNDA
Final de Construção – Talude de Montante	1,0	1,421	1,309	1,435
Final de Construção – Talude de Jusante	1,0	1,611	1,438	1,417
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,0	1,609	1,438	1,417
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,0	1,001	1,040	1,001

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

#### 5.10 – TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água será implantada na estaca 27 do eixo barrável pela a ombreira esquerda. A tomada d'água terá extensão de 64,00m e será constituída de uma galeria tubular de diâmetro  $\phi=0,300\text{m}$  em aço ASTM A-36. O eixo da galeria ficará na cota 257,0m. O corpo do tubo será envolto em concreto estrutural. A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de  $0,028\text{m}^3/\text{s}$  com velocidade de  $2,0\text{m/s}$ .

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

No lado de jusante será construída uma caixa de concreto armado com três células. Na primeira célula serão colocados os equipamentos hidromecânicos de controle da vazão que são constituídos de um registro de gaveta e uma válvula borboleta. As águas que passarem por esses equipamentos chegarão na segunda célula que tem a função de dissipar a energia cinética. Finalmente, a terceira célula é um tanque tranquilizador com uma saída que dispõe de vertedouro triangular isósceles que permite pela sua equação que se façam as medidas de vazões a partir do nível d'água sobre o vértice da soleira.

Após a caixa de dissipação no início do trecho do canal de restituição, está previsto uma proteção com material granular com a finalidade de evitar a erosão provocado pelo fluxo das águas efluentes da tomada d'água. A proteção do canal de restituição será constituída por material granular obtido do produto de britagem, o mesmo aplicado no talude de jusante do maciço, em uma extensão de 5,00m, com 0,30m de espessura. Neste segmento, tanto a base do canal como as suas paredes estarão protegidas. As paredes do canal de restituição serão protegidas desde a sua base até a sua crista.

A Barragem será operada entre os níveis de cota 266,0m e 259,0m, onde os volumes são de 6,20hm<sup>3</sup> que corresponde a 100% de capacidade e 0,70hm<sup>3</sup> que corresponde a 11% da capacidade.

As escavações prevista para atingir as cotas de implantação da tomada d'água são suficientes para garantir que esta fique fundada em gnaisse decomposto ou mesmo gnaisse alterado.

O trecho da tomada d'água a jusante do filtro vertical será todo envolvido por areia grossa do tapete drenante. Da mesma forma o dreno de pé no local da tomada d'água será construído envolvendo a galeria.

#### 5.11 – VERTEDOURO

O Vertedouro da Barragem Jatobá foi reprojetoado conforme solicitação do relatório da Reunião 55º do Painel.

Nova concepção consiste de um vertedouro em canal lateral vertendo por um perfil creager com ogiva na cota 266,00m

Nessa nova concepção foi projetado inicialmente a escavação de um platô na cota 262,00m entre as estacas 1+3,50 e 1+15,00.



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

Onde:

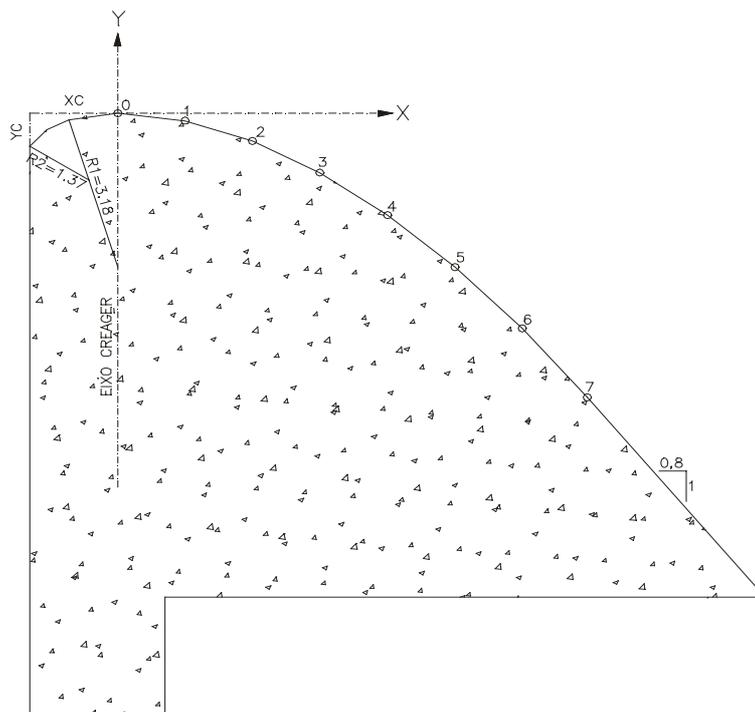
$H_0$  = Energia total acima da ogiva, incluindo a carga cinética;

$K, n$  = Valores obtido de ábacos em função da relação  $\frac{h_a}{H_0}$ .

c) O ponto de tangência  $X_T \cdot Y_T$  é aquele onde a derivada da função iguale-se ao talude do muro.

A seguir é apresentada a determinação do perfil do muro creager com paramento de montante vertical e o dimensionamento da bacia de dissipação.

### 5.11.1 – Perfil Creager



Vazão Milenar para a chuva de duração de 2 dias.

$$Q = 238 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$L = 30,00 \text{ m}$$

$$h_0 = 2,40 \text{ m}$$

$$q = \frac{238}{30} = 7,93 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

$$P = 3,0 \text{ m}$$

$$h_a = \frac{q^2}{2 \times g \times (P + h_0)^2}$$

$$h_a = 0,10 \text{ m}$$

$$H_0 = 2,40 + 0,10 = 2,50 \text{ m}$$

$$\frac{h_a}{H_0} = 0,04$$

Dos ábacos do "Bureau of Reclamation", tem-se:

$$K = 0,51$$

$$n = 1,85$$

Equação de Jusante

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

$$\frac{y}{2,50} = -0,51 \times \left( \frac{x}{2,50} \right)^{1,85}$$

$$y = -0,234 \cdot x^{1,85}$$

Derivando esta equação, tem-se:

$$\frac{dy}{dx} = -0,432 \cdot x^{0,85}$$

Fazendo  $\frac{dy}{dx} = -1,25$  que corresponde a um talude de 1:0,8 (V:H), obtém-se a abscissa do ponto de tangência ao perfil  $X_T$ .

$$-0,432 \cdot X^{0,85} = -1,25$$

$$X_T = \left[ \frac{1,25}{0,432} \right]^{1,176}$$

$$X_T = 3,48 \text{ m}$$

$$Y_T = -2,35 \text{ m}$$

As coordenadas do perfil de jusante são mostradas no Quadro a seguir:

$X$	$Y = -0,234 \cdot X^{1,85}$
0,00	0,00
0,50	-0,06
1,00	-0,23
1,50	-0,49
2,00	-0,84
2,50	-1,27
3,00	-1,78
3,48	-2,35

Determinação dos elementos da concordância da curva de montante do muro creager.

Para  $\frac{h_a}{H_0} = 0,04$ , tem-se:

Obtém-se dos ábacos do “Bureau of Reclamation” as seguintes relações:

$$\frac{X_c}{H_0} = 0,263 \Rightarrow X_c = 0,65 m$$

$$\frac{Y_c}{H_0} = 0,11 \Rightarrow Y_c = 0,27 m$$

$$\frac{R_1}{H_0} = 0,51 \Rightarrow R_1 = 1,27 m$$

$$\frac{R_2}{H_0} = 0,21 \Rightarrow R_2 = 0,52 m$$

### 5.11.2 – Cálculo da Lâmina no Trecho do Vertedouro Lateral

As águas verterão lateralmente no canal escavado o cálculo da lâmina no trecho de vazão variável foi feito pelo procedimento recomendado pelo Bureau of Reclamation. Nessa hipótese a energia vertente é toda dissipada na queda da água. Não havendo portanto contribuição para gerar o fluxo no sentido do canal.

O fluxo no canal é calculado por iteração considerando a variação do Momentum entre duas seções.

O Momentum é dado por:

$$M = \frac{Q \times v}{g}$$

Fazendo a variação do Momentum das duas seções e considerando que a taxa de variação do Momentum, que é a força de aceleração do movimento, é igual a inclinação da superfície da água  $\Delta Y / \Delta X$ , obtém-se a equação:

$$\Delta Y = \frac{Q_1}{g} \times \frac{(v_1 + v_2)}{(Q_1 + Q_2)} \times \left[ (V_2 - V_1) + V_2 \times \frac{(Q_2 - Q_1)}{Q_1} \right]$$

Resolvendo por iteração a equação acima, obtém-se as lâminas no trecho de vazão variada.

Os resultados obtidos são mostrados na tabela a seguir:

**CÁLCULO DA LÂMINA NO VERTEDOIRO LATERAL**

<b>Estação</b>	<b>ΔX</b>	<b>Q1</b>	<b>Q2</b>	<b>Q1+Q2</b>	<b>Q2-Q1</b>	<b>Q1/g</b>	<b>B</b>	<b>d1</b>	<b>d2</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>ΔY1</b>	<b>ΔY2</b>	<b>dc</b>	<b>Ac</b>	<b>Vc</b>	<b>Qc</b>	<b>Vp</b>
0	5,0	39,00	-	-	-	3,98	10,62	4,3300	-	74,11	-	0,53	-	-	-	6,065	119,60	0,33	39,00	370,5398
1	10,0	78,00	78,00	117,00	39,00	7,95	11,25	4,2900	4,2900	75,87	75,87	1,03	1,03	0,040	0,040	3,821	64,89	1,20	78,00	
2	15,0	117,00	117,00	195,00	39,00	11,93	11,87	4,2900	4,2020	78,53	76,36	1,49	1,53	0,088	0,088	2,916	47,37	2,47	117,00	
3	20,0	156,00	156,00	273,00	39,00	15,90	12,50	4,2020	4,1550	79,01	77,83	1,97	2,00	0,135	0,135	2,407	38,78	4,02	156,00	
4	25,0	195,00	195,00	351,00	39,00	19,88	13,12	4,1550	4,0040	80,41	76,58	2,43	2,55	0,198	0,198	2,075	33,67	5,79	195,00	
5	30,0	-	234,00	429,00	39,00	-	13,75		3,8870		76,11	-	3,07	0,268	0,268	1,837	30,32	-	-	

### **5.11.3 – Cálculo da Lâmina no Canal Rápido**

Usando o Step Method a lâmina e velocidade na seção inicial são conhecidas.

O cálculo é apresentado na planilha a seguir:

**Cálculo do Perfil do Rápido no Vertedouro Lateral**

Estação	Y	ΔX	B	A	R	R <sup>4/3</sup>	V	V <sup>2/2g</sup>	E	ΔE	So	Sf	Sfméd	So-Sfméd	ΔX1	ΔX2	X	Cota do Fundo	Cota do Perfil
0	3,88700	-	13,75	76,109	2,741	3,836	3,07	0,4818	4,3688	-	0,05000	0,000483	-	-	-	-	30,00	257,50	261,387
1	4,58820	10,00	15,00	100,400	3,183	4,682	2,33	0,2769	4,8651	0,496	0,05000	0,000227	0,000355	0,049645	10,00	10,00	40,00	257,00	261,588
2	5,18350	10,00	16,25	124,535	3,564	5,445	1,88	0,1799	5,3634	0,498	0,05000	0,000127	0,000177	0,049823	10,00	10,00	50,00	256,50	261,684
3	5,73800	10,00	17,50	149,802	3,923	6,186	1,56	0,1244	5,8624	0,499	0,05000	7,73E-05	0,000102	0,049898	10,00	10,00	60,00	256,00	261,738
4	6,27250	10,00	18,75	176,626	4,270	6,927	1,32	0,0895	6,3620	0,500	0,05000	4,97E-05	0,000063	0,049937	10,00	10,00	70,00	255,50	261,773
5	6,79500	10,00	20,00	205,158	4,610	7,673	1,14	0,0663	6,8613	0,499	0,05000	3,32E-05	0,000041	0,049959	10,00	10,00	80,00	255,00	261,795
6	0,96793	15,00	20,00	20,764	0,884	0,848	11,27	6,4731	7,4410	0,580	0,05333	0,029343	0,014688	0,038642	15,00	15,00	95,00	254,20	255,168
7	0,92790	10,00	20,00	19,849	0,850	0,805	11,79	7,0833	8,0112	0,570	0,08857	0,033817	0,031580	0,056990	10,00	10,00	105,00	253,32	254,248
8	0,89538	10,00	20,00	19,110	0,823	0,771	12,24	7,6419	8,5373	0,526	0,08857	0,038121	0,035969	0,052601	10,00	10,00	115,01	252,44	253,335
9	0,86851	10,00	20,00	18,502	0,800	0,742	12,65	8,1529	9,0214	0,484	0,08857	0,042227	0,040174	0,048396	10,00	10,00	125,01	251,56	252,429
10	0,84602	10,00	20,00	17,994	0,781	0,719	13,00	8,6194	9,4654	0,444	0,08857	0,046114	0,044170	0,044400	10,00	10,00	135,01	250,68	251,526
11	0,82700	10,00	20,00	17,566	0,764	0,699	13,32	9,0447	9,8717	0,406	0,08857	0,04977	0,047942	0,040628	10,00	10,00	145,01	249,80	250,627
12	0,81078	10,00	20,00	17,202	0,750	0,682	13,60	9,4318	10,2425	0,371	0,08857	0,053189	0,051480	0,037090	10,00	10,00	155,01	248,92	249,731
13	0,79685	10,00	20,00	16,889	0,738	0,667	13,85	9,7837	10,5805	0,338	0,08857	0,056373	0,054781	0,033789	10,00	10,00	165,01	248,00	248,797

#### 5.11.4 – Cálculo do Comprimento do Ressalto e da Altura Conjugada

Examinando a evolução do fluxo obtido pelo “Step Method” verifica-se que no final do rápido e entrada na bacia a lâmina é de 0,79m e a velocidade é de 13,85m/s.

Desta forma o número de Froude será:

$$F_R = \frac{V}{\sqrt{g \cdot d}} = \frac{13,85}{\sqrt{9,81 \times 0,79}} = 4,97$$

A altura conjugada  $d_2$  será:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2} \left[ \sqrt{1 + 8F_R^2} - 1 \right]$$
$$d_2 = \frac{0,79}{2} \times \left[ \sqrt{1 + 8 \times 4,97^2} - 1 \right]$$
$$d_2 = 5,17m$$

O comprimento da bacia de dissipação será:

$$L = 6 \times d_2$$
$$L = 31,02m$$

Tendo em vista as condições geológicas do terreno o canal da bacia foi revestido por cerca de 110,00m.

O dimensionamento dos chumbadores foi feito admitindo a hipótese que a barragem quando cheia poderá saturar o terreno de jusante. Nesse caso a carga maior no fundo do canal será de **8,0tf / m<sup>2</sup>**, o espaçamento entre os chumbadores é de no máximo 1,50m, logo a carga máxima sobre um chumbador é de **18,00tf**. O que daria uma resistência de **4,5tf / m** de chumbador.

A capacidade de um chumbador dessa natureza determinada pela fórmula brasileira simplificada (Nunes 1987) é dada por:

$$F = \pi \times D_d \times L_s \times (C' + (\gamma \cdot h + \Delta P) \times \phi)$$

Onde:

$F$  = capacidade de carga do bulbo

$D_d$  = diâmetro da perfuração = 0,10m

$L_s$  = comprimento do bulbo = 4,0m

$C'$  = aderência entre calda e terreno adotado igual à coesão real do solo

$\gamma$  = peso específico do solo

$h$  = profundidade do centro do bulbo = 2,0m

$\phi$  = ângulo de atrito real do solo

$\Delta P$  = parcela de aumento de pressão normal

Para:

$$C' = 10tf / m^2$$

$$\phi = 35^\circ$$

$$\gamma = 1,8tf / m^3$$

$$\Delta P = 0,0$$

Tem-se:

$$F = \pi \times 0,10 \times 4,0 \times (10 + 1,8 \times 2 \times \text{tg}35^\circ)$$

$$F = 15,70tf \cong 18,00(\text{atende})$$

## 5.12 – RELAÇÃO DOS DESENHOS

O Projeto da Barragem Jatobá é composto dos seguintes desenhos, como discriminados no **Quadro N° 5.10**:

QUADRO N° 5.10: RELAÇÃO DOS DESENHOS	
DESENHO N°	DESCRIÇÃO
I-2-JA-01/35-010	Bacia Hidráulica
I-2-JA-02/35-010	Estudos Topográficos e Locação dos Eixos
I-2-JA-03/35-010	Perfil Longitudinal do Eixo Barrável
I-2-JA-04/35-010	Arranjo Geral da Barragem
I-2-JA-05/35-010	Perfil Longitudinal do Eixo Barrável e Tomada D'Água
I-2-JA-06/35-010	Planta de Locação dos Furos de Sondagens
I-2-JA-07/35-010	Perfil Geológico do Eixo Barrável e Vertedouro – Est. 15 a Est. 61
I-2-JA-08/35-010	Seções Geotécnicas do Subsolo – Barragem e Vertedouro
I-2-JA-09/35-010	Vertedouro – Seções Geotécnicas do Subsolo – Planta de Locação
I-2-JA-10/35-010	Localização e Acessos das Ocorrências

<b>QUADRO Nº 5.10: RELAÇÃO DOS DESENHOS</b>	
<b>DESENHO Nº</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
I-2-JA-11/35-010	Seção Máxima e Detalhes
I-2-JA-12/35-010	Seções Tipo da Barragem
I-2-JA-13/35-010	Seções do Eixo Barrável – Segmento Est. 15+15,00 a Est. 26 – (01/09)
I-2-JA-14/35-010	Seções do Eixo Barrável – Segmento Est. 27 a Est. 29 – (02/09)
I-2-JA-15/35-010	Seções do Eixo Barrável – Segmento Est. 30 a Est. 32 – (03/09)
I-2-JA-16/35-010	Seções do Eixo Barrável – Segmento Est. 33 a Est. 35 – (04/09)
I-2-JA-17/35-010	Seções do Eixo Barrável – Segmento Est. 36 a Est. 38 – (05/09)
I-2-JA-18/35-010	Seções do Eixo Barrável – Segmento Est. 39 a Est. 41 – (06/09)
I-2-JA-19/35-010	Seções do Eixo Barrável – Segmento Est. 42 a Est. 43 – (07/09)
I-2-JA-20/35-010	Seções do Eixo Barrável – Segmento Est. 44 a Est. 46 – (08/09)
I-2-JA-21/35-010	Seções do Eixo Barrável – Segmento Est. 47 a Est. 53 – (09/09)
I-2-JA-22/35-010	Planta, Perfil e Cortes – Vertedouro
I-2-JA-23/35-010	Seções de Escavação do Vertedouro
I-2-JA-24/35-010	Planta e Perfil dos Muros + Vertedouro
I-2-JA-25/35-010	Detalhes do Creager e Muros Laterais
I-2-JA-26/35-010	Planta de Locação dos Chumbadores no Canal do Vertedouro
I-2-JA-27/35-010	Muros de Contenção do Vertedouro – Forma e Armadura
I-2-JA-28/35-010	Armadura da Laje do Canal Vertedouro
I-2-JA-29/35-010	Planta, Perfil e Seções de Escavação da Tomada D'Água
I-2-JA-30/35-010	Seção da Tomada D'Água e Detalhes Construtivos – Estaca 25
I-2-JA-31/35-010	Caixa de Montante e Caixa de Dissipação da Tomada D'Água – Forma
I-2-JA-32/35-010	Armadura da Caixa Dissipadora da Tomada D'Água
I-2-JA-33/35-010	Ferragem da Caixa de Montante e Galeria da Tomada D'Água
I-2-JA-34/35-010	Drenagem Superficial – Planta
I-2-JA-35/35-010	Drenagem Superficial – Detalhes

## **6 – CANTEIRO DE OBRA**

## 6 – CANTEIRO DE OBRA

O canteiro de obra será implantado em um platô próximo da jazida de solos pela margem esquerda do Riacho Jatobá.

O acesso ao canteiro aos centros habitacionais próximos pode ser feito o ano inteiro por estradas vicinais existentes e deverão passar por um processo de melhorias para receber o tráfego bem mais intenso que acontecerá por ocasião da construção da obra.

As instalações mínimas previstas para o canteiro de obras são mostradas no Quadro N°6.1:

Quadro N°6.1: Canteiro de Obra	
Item	Descrição
01	Escritório da Administração
02	Laboratório de Solo e Concreto
03	Depósito de Cimento
04	Posto de Abastecimento de Combustível
05	Oficina Mecânica
06	Almoxarifado
07	Carpintaria
08	Ferraria
09	Armação e Moldagem
10	Alojamento para Pessoal de Apoio
11	Eletrificação
12	Escritório de Supervisão
13	Ambulatório

Salienta-se que esse local atualmente não é alimentado por energia elétrica e portanto deve-se construir cerca de 10 km de rede elétrica.

**7 – EQUIPAMENTO MÍNIMO**

**7 – EQUIPAMENTO MÍNIMO**

Para cumprimento do Cronograma de implantação prevista no projeto, será necessário alocar a quantidade mínima de equipamento indicado nos **Quadros Nº 7.1 e 7.2**:

<b>Quadro Nº 7.1: Relação dos Equipamentos do Laboratório</b>		
<b>Item</b>	<b>Especificação</b>	<b>Quant. Mínima</b>
1	Conjuntos para determinação da densidade de campo pelo método do frasco de areia	3
2	Cilindro biselado para determinação de densidade nos aterros argilosos	6
3	Conjuntos completos para análise granulométrica por peneiramento, por via seca e úmida	2
4	Conjuntos completos para determinação dos Limites de Atterberg	2
5	Conjuntos completos para ensaios de compactação (Proctor Normal)	3
6	Conjuntos completos para ensaios de sedimentação e massa específica real dos solos	10
7	Equipamentos completos (estufas, cápsulas, balanças, bandejas, provetas, etc.), capazes de atender à solicitação do laboratório, para solos, ligantes e misturados	1
8	Conjuntos completos para ensaios de finura e de pega de cimento	1
9	Moldes para corpos de prova cilíndrico de concreto	50
10	Prensa para rompimento de corpos de prova de argamassa de concreto, com capacidade de 100,0 ton	1
11	Acessórios necessários ao preparo de traços de concreto e de argamassa, moldagem e cura de corpos de prova, etc.	1
12	Conjunto completo para ensaio de abatimento em concreto ("Slump test")	3
13	Conjunto completo para ensaio colorimétrico em areias	2
14	Frasco de Chapman	2
15	Equipamentos complementares necessários ao funcionamento do laboratório nos setores de agregados, cimento e concreto (estufas, balanças, cápsulas, bandejas, etc.)	1

<b>Quadro Nº 7.2: Equipamento Mínimo</b>		
<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Quant. Mínima</b>
1	Trator de esteira com potência igual ou superior a 270HP	2
2	Trator de esteira com potência igual ou superior a 140HP	2
3	Trator de pneus com potência igual ou superior a 100HP	2
4	Carregadeira de pneus com potência igual ou superior a 170HP	4
5	Motoniveladora com potência igual ou superior a 125HP	2
6	Grade de disco pesada	2
7	Caminhão pipa com capacidade de 8000l	5
8	Caminhão basculante com capacidade de 12m <sup>3</sup>	15
9	Rolo liso duplo Tandem autopropulsor do tipo CC 431 DYNAPAC ou similar	1
10	Rolo pé de carneiro tipo CA-25 DYNAPAC	2

<b>Quadro Nº 7.2: Equipamento Mínimo</b>		
<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Quant. Mínima</b>
11	Retro escavadeira sobre esteira com capacidade de 1,8m <sup>3</sup>	1
12	Conjunto de britagem com capacidade de 50m <sup>3</sup> /h	1
13	Compressor de ar com capacidade igual ou superior a 700pcm (pés cúbicos por minuto)	2
14	Carreta de perfuração com capacidade igual ou superior a 500pcm	2
15	Compressor de ar portátil com capacidade superior a 250pcm	2
16	Sapo mecânico	4
17	Martelete de 24kg	5