

Governo do Estado do Ceará  
Secretaria dos Recursos Hídricos - SRH  
Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos  
Hídricos do Estado do Ceará - PROGERIRH



Contrato Nº 11 / PROGERIRH / CE / SRH / 2003

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, JATOBÁ E JUCÁ E ADUTORAS DE ANTONINA DO NORTE,  
GRANJEIRO E IPUEIRAS

## **BARRAGEM JUCÁ**

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



KL ENGENHARIA

**MA|BE**  
Infra-estrutura e Serviços S/C LTDA

**enerconsult s.a.**



## **BARRAGEM JUCÁ**

**MÓDULO IV – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM**

**VOLUME I – DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO**

**TOMO 1 – MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO**

EDITADO EM OUTUBRO DE 2006



KL ENGENHARIA

**MA|BE**  
Infra-estrutura e Serviços S/C LTDA

**enerconsult s.a.**   
ARCADIS

**ÍNDICE**

## ÍNDICE

<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS.....</b>	<b>17</b>
<b>3 – ESTUDOS BÁSICOS.....</b>	<b>20</b>
3.1 – CARTOGRAFIA.....	20
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.....	21
3.2.1.2 – Nivelamento.....	21
3.2.1.3 – Levantamento de Seções Transversais.....	22
<b>3.2.2 – Levantamento do Canal de Restituição.....</b>	<b>22</b>
3.2.2.1 – Locação.....	22
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 .....	23
<b>3.3.1 – Investigações Geológicas.....</b>	<b>23</b>
3.3.1.1 – Geologia Regional .....	23
3.3.1.2 – Geologia Local.....	26
<b>3.3.2 – Investigações Geotécnicas.....</b>	<b>27</b>
3.3.2.1 – Descrição das Sondagens Executadas .....	29
3.3.2.2 – Sondagens a Pá e Picareta .....	29
3.3.2.3 – Sondagens a Percussão.....	29



3.3.2.4 – Sondagens Mistas .....	29
<b>3.3.3 – Ensaios In Situ .....</b>	<b>30</b>
3.3.3.1 – Ensaios de Permeabilidade com Carga Constante .....	30
3.3.3.2 – Ensaios de Perda D'Água Específica .....	31
<b>3.3.4 – Pesquisa de Jazidas.....</b>	<b>32</b>
3.3.4.1 – Jazidas de Solo (Empréstimos 1, 2, 3, 4, 5 e 6) .....	33
3.3.4.2 – Jazidas de Areia (Areal 1) .....	36
3.3.4.3 – Pedreira .....	36
<b>3.3.5 – Ensaios de Laboratório.....</b>	<b>37</b>
3.4 – HIDROLOGIA .....	37
<b>3.4.1 – Característica Física da Bacia Hidrográfica .....</b>	<b>38</b>
<b>3.4.2 – Estudo de Cheias.....</b>	<b>38</b>
3.4.2.1 – Metodologia .....	39
3.4.2.2 – Precipitação .....	39
3.4.2.3 – Precipitação Efetiva .....	40
3.4.2.4 – Hidrograma Unitário – SCS .....	42
<b>3.4.3 – Curvas de Regulação do Reservatório .....</b>	<b>43</b>
3.4.3.1 – Metodologia .....	44
3.4.3.2 – Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico .....	44
3.4.3.3 – O Diagrama Triangular de Regularização .....	46
3.4.3.4 – Resultados.....	47
<b>3.4.4 – Dimensionamento do Vertedouro .....</b>	<b>49</b>
3.4.4.1 – Propagação da Cheia no Reservatório.....	50



3.4.4.2 – Resultados.....	51
<b>3.4.5 – Sumário Técnico dos Estudos Hidrológicos .....</b>	<b>54</b>
<b>4 – ALTERNATIVAS EXAMINADAS E JUSTIFICATIVA DA OPÇÃO ESCOLHIDA...58</b>	<b>58</b>
<b>5 – DESCRIÇÃO DO PROJETO.....60</b>	<b>60</b>
5.1 – CARACTERIZAÇÃO DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM E VERTEDOURO.....	60
<b>5.1.1 – Fundação da Barragem.....</b>	<b>60</b>
<b>5.1.2 – Fundação do Vertedouro .....</b>	<b>62</b>
5.2 – REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO .....	62
5.3 – GEOMETRIA DA TRINCHEIRA DE FUNDAÇÃO .....	63
5.4 – LOCAL DE BOTA-FORA.....	63
5.5 – TRATAMENTO DAS FUNDAÇÕES .....	63
5.6 – MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.....	64
5.7 – CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO DA BARRAGEM.....	64
5.8 – VAZÕES DE PERCOLAÇÃO PELO MACIÇO E FUNDAÇÃO .....	70
5.9 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE.....	71
<b>5.9.1 – Método Bishop Simplificado .....</b>	<b>73</b>
<b>5.9.2 – Programa Slope/W.....</b>	<b>74</b>
5.9.2.1 – Método de Análise .....	74
5.9.2.2 – Geometria e Estratigrafia.....	74
5.9.2.3 – Superfície de Escorregamento .....	75
5.9.2.4 – Pressão Neutra.....	75
5.9.2.5 – Propriedade do Solo .....	75
5.9.2.6 – Definição do Problema .....	76



5.9.2.7 – Resolução do Problema .....	77
5.9.2.8 – Apresentação dos Resultados .....	77
5.9.2.9 – Formulário .....	77
<b>5.9.3 – Resultados Obtidos.....</b>	<b>79</b>
5.10 – TOMADA D'ÁGUA.....	80
5.11 – VERTEDOURO .....	81
<b>5.11.1 – Perfil Creager .....</b>	<b>82</b>
<b>5.11.2 – Dimensionamento dos Chumbadores .....</b>	<b>85</b>
5.12 – RELAÇÃO DOS DESENHOS.....	86
<b>6 – CANTEIRO DE OBRA .....</b>	<b>90</b>
<b>7 – EQUIPAMENTO MÍNIMO.....</b>	<b>92</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: Projeto Executivo da Barragem**

**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 Adutoras

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 Jucá**, 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.



KL ENGENHARIA

**MA|BE**  
Infra-estrutura e Serviços S/C LTDA

**enerconsult s.a.**   
ARCADIS

## 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 Nº11/PROGERIRH/SRH/2003, o Projeto Executivo da Barragem Jucá.

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 Justificativas da Opção Escolhida;
- Descrição do Projeto;
- Canteiro de Obra;
- Equipamento Mínimo.

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

### FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM JUCÁ

#### Identificação

Denominação:.....Barragem Jucá

Estado:.....Ceará

Município:.....Parambu

Rio Barrado:.....Rio Jucá

Coordenadas UTM (SAD-69):.....E(X)=327.620; N(Y)=9.286.874

Proprietário:.....SRH/CE

Autor do Projeto:.....Consórcio KL Engenharia, MA/BE e Enerconsult

Data do Projeto:.....Julho/2005

### **Bacia Hidrográfica**

Área da Bacia Hidrográfica Total:.....644,62km<sup>2</sup>

Perímetro da Bacia Hidrográfica.....116,811km

Fator de Compacidade.....1,30

Fator de Forma.....0,49

Tempo de Concentração.....6,26h

Declividade Média:.....9,76m/km

Comprimento do Rio Principal:.....436,17km

Pluviosidade Média Anual:.....925,7mm

Evaporação Média Anual:.....2548mm

Evapotranspiração Potencial (Hargreaves):.....2037mm

Insolação Média Anual:.....2.540,2h

Umidade Relativa Média Anual:.....61,6%

Temperatura Média Anual: Média das Máximas.....31,6°C

Temperatura Média Anual: Média das Médias .....26,6°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 430,00m):.....823,1ha

Volume Acumulado (cota 430,00m):.....31,8hm<sup>3</sup>

Volume Afluente Médio Anual:.....	8,045hm <sup>3</sup> /ano
Vazão Regularizada (90%):.....	0,123m <sup>3</sup> /s
Vazão Máxima de Projeto Amortecida (TR=1.000 anos):.....	2.316m <sup>3</sup> /s
Vazão Máxima de Projeto Amortecida (TR=10.000 anos):.....	3.072m <sup>3</sup> /s
Nível d'água Máximo (TR=1.000 anos):.....	432,90m
Nível d'água Máximo Maximorum (TR=10.000 anos).....	433,60m

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

Altura Máxima:.....	18,30m
Largura do Coroamento:.....	6,00m
Extensão pelo Coroamento:.....	380,27m
Cota do Coroamento:.....	434,60m
Largura Máxima da Base:.....	79,37m
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- $\phi=300$ mm
Cota do Eixo da Tubulação:.....	423,00m
Controle de Montante:.....	Comporta Stop-Log com Acionamento Manual
Controle de Jusante:	
Registro de Gaveta:.....	1- $\phi=300$ mm
Válvula Borboleta:.....	1- $\phi=300$ mm
Volume Morto (cota 425,00m):.....	4,34hm <sup>3</sup>

## Vertedouro

Tipo:.....Perfil Creager com Bacia de Dissipação

Soleira:

Cota:.....430,00m

Largura:.....90,00m

Bacia de Dissipação:

Cota:.....427,00m

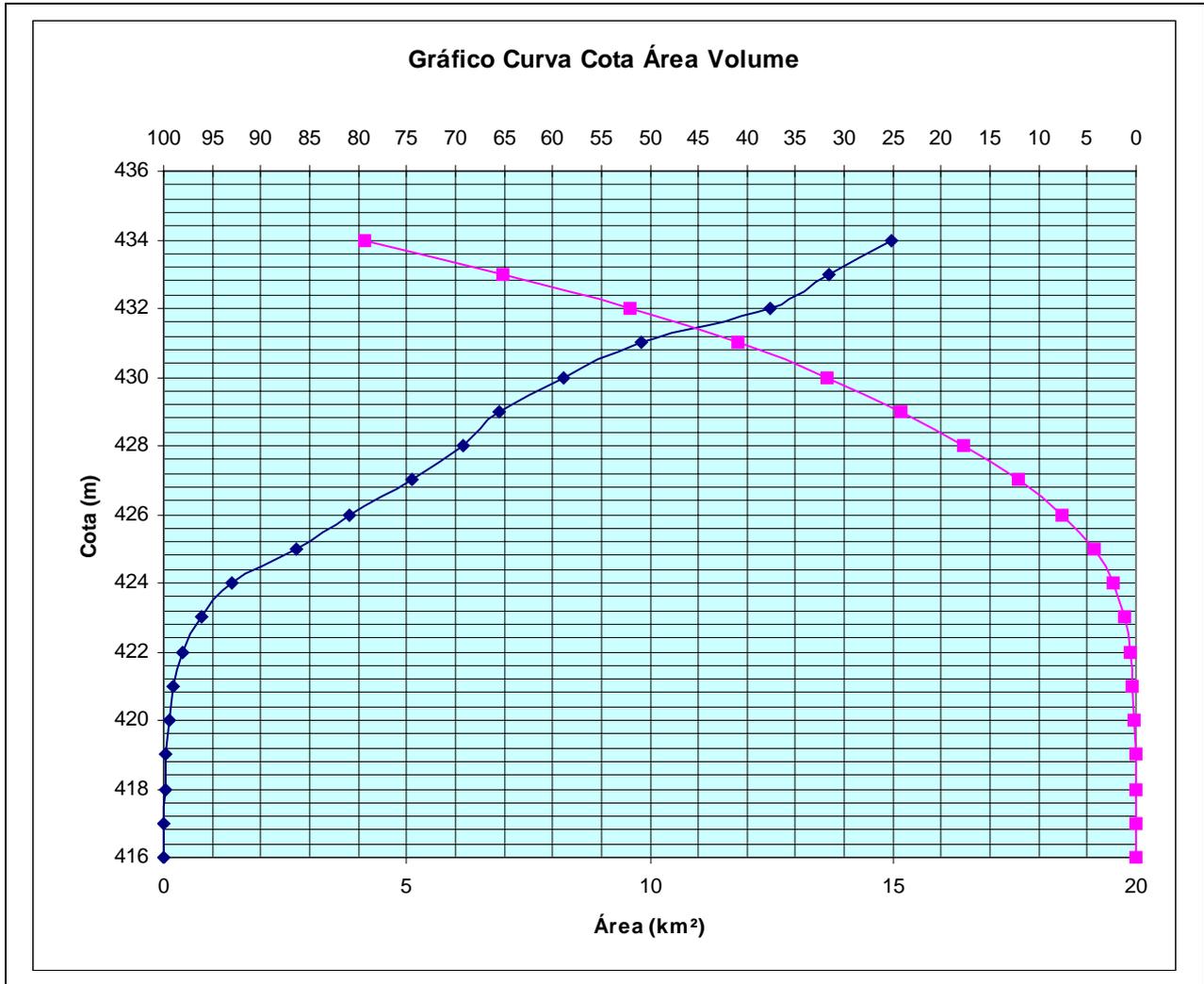
Largura:.....90,00m

Extensão:.....35,00m

Os dados da Curva Cota x Área x Volume são mostrados no **Quadro Nº1.1** e a Curva é mostrada no **Gráfico Nº1.1**.

<b>Quadro Nº1.1: Curva Cota x Área x Volume</b>		
<b>Cota (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
416,0	0,00	0,00
417,0	5.710,00	2.855,00
418,0	30.752,89	21.086,45
419,0	51.688,50	62.307,14
420,0	101.029,81	138.666,30
421,0	208.122,66	293.242,53
422,0	395.701,99	595.154,86
423,0	784.767,58	1.185.389,64
424,0	1.406.169,64	2.280.858,25
425,0	2.731.509,30	4.349.697,72
426,0	3.830.971,73	7.630.938,24
427,0	5.100.693,64	12.096.770,92
428,0	6.162.420,16	17.728.327,82
429,0	6.899.249,08	24.259.162,44
430,0	8.231.084,12	31.824.329,04
431,0	9.836.260,79	40.858.001,50
432,0	12.456.413,47	52.004.338,63
433,0	13.684.092,40	65.074.591,56

Quadro Nº1.1: Curva Cota x Área x Volume		
Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
434,0	14.989.785,19	79.411.530,36





KL ENGENHARIA

**MA|BE**  
Infra-estrutura e Serviços S/C LTDA

**enerconsult s.a.**   
ARCADIS

## 2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS



## 2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

O sítio do barramento localiza-se no rio Jucá, no distrito de Cococi, no município de Parambu.

O acesso ao local da obra é feito a partir de Fortaleza pela rodovia BR-020 até chegar à cidade de Tauá, percorrendo 344,7 km. Continuando o percurso pela BR-020, caminha mais 19 km até atingir a entrada de uma estrada vicinal carroçável, pela margem esquerda da rodovia federal. Por esta estrada de terra percorre-se 6,0 km até o distrito de Marrecas e mais 12 km até um entroncamento Cococá-Cococi. Este entroncamento é a interseção da estrada vicinal que leva a Cococá e por um caminho de fazenda, percorre-se 12 km, até chegar a Cococi. Continuando pelo caminho de acesso a fazendas, percorre-se mais 7,0km até alcançar uma localidade denominada Formiga. Da localidade de Formiga, pelo mesmo caminho e percorrendo mais 1,2km, chega-se a localidade de Barra. Da localidade de Barra, percorrendo mais 2,6km chega-se ao eixo barrável.

Outro acesso ao local do eixo da barragem Jucá é feito partindo-se de Aiuaba na direção de Cococi (distrito de Parambu) pela CE-284 (estrada carroçável), percorrendo-se 28 km até o distrito de Barra, toma-se a direita seguindo pela estrada da Confiança (no sentido de Cococi) percorre-se 22 km onde entra-se a esquerda e percorrendo mais cerca de 12 km, chega-se ao distrito de Cococi. Deste distrito ao eixo dista-se 7,0 km. Este eixo barra o riacho Jucá, na localidade denominada Formiga.

Na **Figura 2.1** é apresentado o mapa de localização e acesso.





KL ENGENHARIA

**MA|BE**  
Infra-estrutura e Serviços S/C LTDA

**enerconsult s.a.**   
ARCADIS

### **3 – ESTUDOS BÁSICOS**



### 3 – ESTUDOS BÁSICOS

Neste capítulo descrito de maneira sucinta os Estudos Básicos realizados na Barragem Jucá.

#### 3.1 – CARTOGRAFIA

Os estudos cartográficos consistiram no levantamento aerofotogramétrico na área do reservatório da Barragem Jucá, enquadrada geograficamente nas coordenadas 6°21' – 6°29' S e 40°30' – 40°41' WGR.

Os serviços cartográficos realizados foram os seguintes:

- Cobertura aerofotogramétrica de uma área de 151,92 km<sup>2</sup>, na escala de 1:15.000;
- Implantação do apoio básico com 2 marcos de concreto;
- Apoio fotogramétrico de 151,92 km<sup>2</sup> voado com levantamento de 27 HV's;
- Aerotriangulação de 31 modelos, perfazendo uma área de 151,92 km<sup>2</sup>;
- Restituição estereofotogramétrica digital de uma área de 17,44 km<sup>2</sup> na escala de 1:5.000;
- Confecção e edição final de 6 plantas topográficas na escala de 1:5.000, perfazendo um total de 17,44 km<sup>2</sup> de edição cartográfica.

#### 3.2 – TOPOGRAFIA

Os estudos topográficos da Barragem Jucá 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 Jucá foi locado em um boqueirão com características topográficas favoráveis, onde o vertedouro foi definido, e estudado, em uma sela topográfica situada na ombreira direita, entre as estacas 86 a 92 do eixo da barragem.



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 e a Estação Total, 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 fracionados todos os pontos notáveis tais como: talwegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno entre outros.

Para locação do eixo barrável foi utilizado o marco M-1 como estação e visado o marco M-2, gerando então uma deflexão de  $0^{\circ} 05' 21''$  e uma distancia de 0,64 metros locando-se assim a estaca -00 , para melhor locação do eixo se fez necessária várias deflexões aproveitando-se assim o divisor de águas, estaca 15+2,23 deflexão de  $210^{\circ} 38' 35''$ , estaca 32+13,11 deflexão de  $198^{\circ} 44' 24''$  estaca 76+18,86 deflexão de  $216^{\circ} 06' 55''$ , estaca 83+12,22 deflexão de  $157^{\circ} 20' 13''$ , estaca 85+11,97 deflexão de  $232^{\circ} 06' 57''$  seguindo-se até a estaca -92 totalizando uma extensão de 1.840,00 metros.

O quadro a seguir apresenta a relação dos marcos implantados.

MARCO	ESTACA	COORDENADAS UTM (m)	
		ESTE	NORTE
M-1	-	327.620,182	9.286.874,641
M-2	-	327.582,117	9.286.573,024
M-3	-	326.452,418	9.285.804,049
M-4	-	326.650,727	9.285.867,946
JU-01	-	327.272,232	9.286.231,552
JU-02	-	326.758,984	9.285.892,672

### 3.2.1.2 – Nivelamento

O levantamento altimétrico da Barragem Jucá 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.

## 3.2.2 – Levantamento do Canal de Restituição

Assim como o eixo barrável e o vertedouro, o canal de restituição da barragem Jucá 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 88 do eixo barrável, foi locada a poligonal do canal de restituição, estaca S00 à estaca S40, totalizando 800,00 metros de extensão, acompanhando o talvegue à jusante que conduzirá o caudal de sangria até o um efluente do riacho Jucá.

### 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 às coordenadas utilizadas para o levantamento, estas foram fornecidas 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) e Mapa Geológico Preliminar do Estado do Ceará, elaborado pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

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:

**Pré-Cambriano indiferenciado estratigraficamente - PI(B):** É constituída por uma associação complexa de migmatitos e gnaisses diversos, encerrando jazimentos



subordinados de corpos metacalcários, anfíbolitos, rochas calciosilicáticas e quartzitos. Os gnaisses apresentam-se laminados, algo migmatizados, gradando para anfíbolitos. A biotita-quartzo-feldspato gnaissado exibe tonalidades cinza-claro a cinza médio e cinza-escuro. A estrutura normalmente mostra uma intercalação de bandas escuras, enriquecidas em máficos, com bandas claras, quartzo-feldspáticas. A granulação é principalmente equigranular média podendo variar para fina. Os gnaisses próximos às falhas de Alto Alegre-Caraíbas e Melancia, exibem porfiroblastos estirados de feldspatos, caracterizando os gnaisses facoidais. Os quartzitos ocorrem dispersos, sob a forma de lentes, encaixadas concordantemente ao lineamento das rochas gnáissicas e migmatíticas. Exibem tonalidades esbranquiçadas, granulação que varia de média a grossa, laminadas, quando micáceas.

As estruturas regionais são designadas como lineamentos, geossuturas e ou zonas de cisalhamento. De um modo geral, os lineamentos, representando extensa zonas de falhas, condicionam a estruturação de sistemas de blocos afundados, posteriormente preenchidos por seqüências sedimentares. Normalmente, estes falhamentos são recobertos por sedimentos paleozóicos.

**Diques Ácidos (PSy):** Granitóides Cocotá, com caráter ácido a hiperácido, como granitóides a biotita, apresentando composições granítica a granodiorítica, de grã média a grosseira, porfiroblásticos, exibindo estrutura xenolítica, geralmente são de cor cinza-clara, biotíticos. Formam matacões quando intemperizados, devido a fraturas subperpendiculares a sua orientação, às vezes formando pequenas elevações. Os veios de quartzo e de sílica cripto-cristalina geralmente formam cristas alongadas e finas, mostrando-se bastante fraturados; são de cor creme ou branca leitosa e exibem uma granulação microcristalina ou afanítica. Devido à degradação mecânica, facilitada pelo fraturamento, o solo, em torno estas rochas é coberto por pedregulho quartzoso.

**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 Parambu forma uma extensa escarpa, 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.



As unidades estratigráficas descritas a seguir, pertencem ao paleozóico-cambriano. São sedimentos maduros e comumente encontram-se preenchendo as partes baixas de grandes falhamentos, e são descrita da seguinte forma:

**Formação Melancia (PPrjm):** Os conglomerados apresentam-se geralmente com uma matriz grosseira, arenosa e com forte diagênese, leitos siltosos intercalados e alternados a arenitos litofeldspáticos, de tons avermelhados e, não raro, folhelhos amarronzados e siltitos arenosos, além de brechas. Esta unidade faz limite ao norte com as rochas pertencentes a formação Cococi. Ao oeste com a Formação Serra Grande (SDsg), ao sul com as rochas do Pré-Cambriano Indiferenciado PI(B) e a leste/sul com litologias da Formação Cococi e Formação Angico Torto.

**Formação Cococi (PPrco):** Sequência de ardósias, folhelhos, argilitos e siltitos calcíferos de tons cinzentos, violáceos, com intercalações esporádicas de arenitos grosseiros e conglomerados, ardósias cinzentas em zonas de falha. Sua distribuição na área limita-se ao norte/leste com as rochas da Formação Angico Torto e ao sul com a Formação melancia.

**Formação Angico Torto (Pprjat):** Conglomerados polimíticos, brechas, arcóseos, subarcóseos e arenitos litofeldspáticos, geralmente duros e compactos, às vezes calcíferos, com intercalações de arenitos mais finos, siltitos e argilitos no topo. A coloração oscila entre rósea e avermelhada. Esta ocorrência está limitada ao norte com as rochas Pré-Cambrianas Indiferenciadas PI(B) e os granitóides Cocotá (PSy).

**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 ao Sul da área de implantação da barragem, no topo da sequência PI(B), há ocorrências desses materiais em grandes proporções.

**Aluviões de idade Quaternária (QHa):** 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 Rio Jucá.

Do ponto de vista estrutural, destacam-se na área as Falha Normais de Alto Alegre-Caraíbas e Falha de Melancia, que tem direção aproximadamente E-W, nas proximidades da parte basal da Serra Grande, sendo marcada por uma retilinearidade, incomum. Esconsa a elas tem-se também outros dois importantes falhamentos, uma de movimentação transcorrente e outra normal. 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, 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 sedimentares, em que a litologia predominante é marcada pela presença de rochas das Formações Angico Torto (Pprjat), Cococi (Pprco) e Melancia (PPrjm).

A falha transcorrente descrita anteriormente, tem orientação NE/SW e é perfeitamente observada na estrada de acesso a localidade de Barra, à jusante do eixo barrável, na altura em que corta o rio Jucá. Esta ocorrência é caracterizada por apresentar ardósias extremamente fraturadas, em duas direções perpendiculares, N85°/20°SE e N135°/25°SW, caracterizando a movimentação transcorrente da falha. A rocha apresenta uma coloração cinza arroxeadada.

Nas ombreiras, as coberturas de solo formam um manto de intemperismo que raramente ultrapassa a profundidade de 1,0m, 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; a camada mais profunda, adjacente ao topo da rocha, em média com 0,50m de espessura é um solo residual jovem proveniente de um arenito grosseiro ou conglomerado. A inexistência de afloramentos rochosos pode ser observada nas duas obreiras, ocorrendo sobre a capa de cobertura, blocos soltos de arenito grosseiro, por vezes conglomerático, arredondados, apresentando coloração amarronzada, cinza e amarela por fora e no seu interior apresenta uma coloração amarelo avermelhada. Esta ocorrência de blocos soltos é observada desde a estaca 0 até a estaca 52 e estaca 56 até a estaca 92.

Nas proximidades da estaca 37, na variante de montante a cerca de 50m do eixo, ocorre afloramento de folhelhos extremamente fraturados, quebradiços, de coloração amarronzada e arroxeados, granulação fina. As fraturas principais obedecem



às direções preferenciais NE/SW e uma segunda família de fraturas se apresentam perpendiculares às primeiras

Nas margens do riacho Jucá ocorrem os sedimentos aluvionares que formam terraços formados pela deposição de areias finas, siltes e argilas de coloração escura, com matéria orgânica em decomposição. Estas áreas são inundadas durante a estação chuvosa.

Na calha do rio são encontrados areias de granulometria fina, média e grossa com pedregulhos e cascalhos de vários tamanhos. Sedimento aluvionar mal selecionado. Não foram observados afloramentos rochosos neste trecho da calha do rio.

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 blocos soltos e rolados de arenitos grosseiros e conglomeráticos descritos anteriormente nas ombreiras.

### 3.3.2 – Investigações Geotécnicas

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

Quadro Nº3.3.1.: Locação das Sondagens Executadas			
Furo	Local	Coordenadas UTM (SAD-69)	
		N (Y)	E (X)
SP-01	Eixo	9.286.203,90	327.229,52
SP-02	Eixo	9.286.159,73	327.162,82
SP-03	Eixo	9.286.115,56	327.096,12
SP-04	30,0m p/ montante	9.286.095,55	327.011,53
SP-05	30,0m p/ montante	9.286.086,90	326.995,72
SP-06	30,0m p/ montante	9.286.063,27	326.962,23
SP-07	40,0m p/ jusante	9.286.049,06	327.068,15
SP-08	40,0m p/ jusante	9.286.026,17	327.034,53
SP-09	40,0m p/ jusante	9.286.004,33	327.002,64
SP-10	Eixo	9.285.994,09	326.912,69
SP-11	Eixo	9.285.960,96	326.862,67
SP-12	Eixo	9.285.927,83	326.812,64
SP-601	Eixo	9.285.938,87	326.829,32
SM-01	Eixo	9.286.082,41	327.046,08



Quadro Nº3.3.1.: Locação das Sondagens Executadas			
Furo	Local	Coordenadas UTM (SAD-69)	
		N (Y)	E (X)
SM-02	Eixo	9.286.060,34	327.012,74
SM-03	Eixo	9.286.049,30	326.996,07
SM-04	Eixo	9.286.038,26	326.979,39
SM-05	30,0m p/ montante	9.286.077,92	326.976,45
SM-06	40,0m p/ jusante	9.286.017,42	327.018,17
SM-101	Eixo	9.286.104,52	327.079,44
SM-102	Eixo	9.286.016,18	326.946,04
SM-501	35,54m p/ montante	9.285.968,45	326.809,62
SM-502	35,84m p/ jusante	9.285.908,87	326.848,91
SM-07	Eixo	9.285.803,85	326.452,84
SM-08	Eixo	9.285.835,71	326.402,03
SM-09	Eixo	9.285.862,19	326.359,83
SM-10	95,0m do eixo barrável p/ jusante	9.285.744,65	326.368,43
SM-11	200,0m do eixo barrável p/ jusante	9.285.645,10	326.329,54
SM-103	95,0m do eixo barrável p/ montante	9.285.884,33	326.503,32
SM-104	95,0m do eixo barrável p/ montante	9.285.905,61	326.469,39
SM-105	95,0m do eixo barrável p/ montante	9.285.937,51	326.418,53
SM-106	95,0m do eixo barrável p/ jusante	9.285.723,37	326.402,37
SM-107	95,0m do eixo barrável p/ jusante	9.285.776,55	326.317,58
SM-108	Eixo	9.285.814,50	326.435,87
SM-109	Eixo	9.285.825,12	326.418,92
SM-503	9,66m eixo vertedouro p/ jusante	9.285.790,03	326.385,50
SM-504	38,12m eixo vertedouro p/ montante	9.285.664,39	326.397,88
SM-505	Eixo do vertedouro	9.285.678,23	326.358,61
SM-506	56,93m eixo vertedouro p/ jusante	9.285.696,90	326.307,76
SP-602	59,63m eixo vertedouro p/ montante	9.285.897,27	326.393,29
SP-603	39,79m eixo vertedouro p/ jusante	9.285.844,51	326.478,05
SP-604	59,50m eixo vertedouro p/ jusante	9.285.815,94	326.342,93
SP-605	40,43m eixo vertedouro p/ montante	9.285.763,41	326.427,94

A seguir serão descritos os resultados da investigação geotécnica realizada.



### 3.3.2.1 – Descrição das Sondagens Executadas

A investigação geotécnica iniciou-se com a execução de três 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 dos furos, foi fornecida a partir dos estudos topográficos de campo.

### 3.3.2.2 – Sondagens a Pá e Picareta

Algumas sondagens à percussão, programadas na campanha de investigação geotécnica do subsolo do eixo barrável, foram substituídas por sondagens a pá e picareta. A substituição dos tipos de sondagens aconteceu pelo seguinte motivo: o afloramento rochoso no local não permitiu a execução de sondagens à percussão.

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 tipos de terrenos 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 – Ensaios In Situ

#### 3.3.3.1 – Ensaios 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 09 (nove) ensaios.

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

QUADRO Nº3.3.2 – ENSAIOS DE PERMEABILIDADE COM CARGA CONSTANTE		
SONDAGEM	Nº DE ENSAIOS	TRECHOS ENSAIADOS
SM-01	02	0,00 a 2,00
SM-04	03	0,00 a 3,00
SM-102	04	0,00 a 4,00

QUADRO Nº3.3.3 – ENSAIO DE INFILTRAÇÃO			
SONDAGEM	ENSAIOS Nº	PROF. (m)	INFILTRAÇÃO (cm/s)
SM-01	01	0,00-1,00	$8,65 \times 10^{-4}$
	02	2,00-2,30	$1,02 \times 10^{-6}$
SM-02	01	0,00-1,00	$3,19 \times 10^{-4}$
	02	1,00-2,00	$3,04 \times 10^{-4}$
	03	2,00-3,00	$1,95 \times 10^{-5}$
SM-03	01	0,00-1,00	$1,64 \times 10^{-4}$
	02	1,00-2,00	$4,08 \times 10^{-5}$
	03	2,00-3,00	$2,23 \times 10^{-5}$
	04	3,00-4,00	$3,62 \times 10^{-5}$



### 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 Nº 3.3.4** mostra os dados técnicos gerais dos ensaios de perda d'água sob pressão.

QUADRO Nº3.3.4 – ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA ESPECÍFICA		
SONDAGEM	Nº DE ENSAIOS	TRECHOS ENSAIADOS
SM-01	04	3,50 a 15,50
SM-02	04	1,70 a 16,10
SM-03	03	3,80 a 6,80 9,80 a 15,80
SM-05	02	4,50 a 10,50
SM-06	02	3,80 a 9,81
SM-101	03	1,50 a 9,70
SM-102	02	7,70 a 13,70

Os resultados dos ensaios de Perda D'Água Específica são mostrados no **Quadro Nº 3.3.5**:

<b>QUADRO Nº3.3.5 – ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA</b>				
<b>SONDAGEM</b>	<b>ENSAIO Nº</b>	<b>PROF. (m)</b>	<b>PERDA D'ÁGUA ESPECIFICA (l/min/m/atm)</b>	<b>COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE (cm/s)</b>
SM-01	01	3,50-6,50	1,539	$1,73 \times 10^{-4}$
	02	6,50-9,50	1,636	$1,81 \times 10^{-4}$
	03	9,50-12,50	1,369	$1,52 \times 10^{-4}$
	04	12,50-15,50	0,600	$6,66 \times 10^{-5}$
SM-02	01	1,50-4,50	11,565	$12,83 \times 10^{-4}$
	02	4,50-7,50	5,404	$5,99 \times 10^{-4}$
	03	7,50-10,50	4,088	$4,53 \times 10^{-4}$
	04	10,50-13,50	4,474	$4,96 \times 10^{-4}$
	05	13,50-16,50	5,293	$5,88 \times 10^{-4}$
SM-03	01	3,50-6,50	5,297	$5,88 \times 10^{-4}$
	02	6,50-9,50	0,00	0,00
	03	9,50-12,50	5,456	$6,05 \times 10^{-4}$
SM-05	01	4,50-7,50	0,00	0,00
	02	7,50-10,50	5,429	$6,02 \times 10^{-4}$
SM-06	01	3,50-6,50	4,425	$5,96 \times 10^{-4}$
	02	6,50-9,81	4,041	$4,48 \times 10^{-4}$
SM-101	01	1,50-4,50	1,259	$1,39 \times 10^{-4}$
	02	4,50-7,50	1,320	$1,46 \times 10^{-4}$
	03	7,50-9,70	1,218	$1,35 \times 10^{-4}$
SM-102	01	7,00-10,00	5,315	$5,90 \times 10^{-4}$
	02	10,00-13,00	1,700	$1,88 \times 10^{-4}$

### 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, levaram-se em consideração duas variáveis importantes: qualidade e volume dos materiais detectados.

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

- J1: Jazida 1
- J2: Jazida 2
- J3: Jazida 3
- J4: Jazida 4



- J5: Jazida 5
- J6: Jazida 6
- A1: Areal
- P1: Pedreira 1

#### 3.3.4.1 – Jazidas de Solo (Empréstimos 1, 2, 3, 4, 5 e 6)

Para que houvesse uma boa abrangência nos estudos dos empréstimos, lançou-se uma malha quadrada com 100,00 m de lado, onde se procederam 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 resumem-se as características das áreas potencialmente exploráveis:

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

Área total estudada .....	210,000,00m <sup>2</sup> ;
Número de furos realizados .....	30 und;
Profundidade média dos furos .....	0,95 m;



Volume total de material ..... 199.500,00m<sup>3</sup>;  
Camada média de expurgo ..... 0,10 m;  
Espessura média útil ..... 0,85 m;  
Volume de material utilizável ..... 178.500,00m<sup>3</sup>;  
Distância do eixo barrável ..... 5,79 km.

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

Área total estudada ..... 50.000,00m<sup>2</sup>;  
Número de furos realizados ..... 10 und;  
Profundidade média dos furos ..... 1,13 m;  
Volume total de material ..... 56.500,00m<sup>3</sup>;  
Camada média de expurgo ..... 0,10 m;  
Espessura média útil ..... 1,03 m;  
Volume de material utilizável ..... 51.500,00m<sup>3</sup>;  
Distância do eixo barrável ..... 4,94 km.

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

Área total estudada ..... 30.000,00m<sup>2</sup>;  
Número de furos realizados ..... 06 und;  
Profundidade média dos furos ..... 1,18 m;  
Volume total de material ..... 35.400,00m<sup>3</sup>;  
Camada média de expurgo ..... 0,10 m;  
Espessura média útil ..... 1,08 m;  
Volume de material utilizável ..... 32.400,00m<sup>3</sup>;  
Distância do eixo barrável ..... 4,10 km.

**DADOS GERAIS DA JAZIDA J-4**

Área total estudada .....	380.000,00m <sup>2</sup> ;
Número de furos realizados .....	48 und;
Profundidade média dos furos .....	0,61 m;
Volume total de material .....	231.800,00m <sup>3</sup> ;
Camada média de expurgo .....	0,10 m;
Espessura média útil .....	0,51 m;
Volume de material utilizável .....	193.800,00m <sup>3</sup> ;
Distância do eixo barrável .....	0,00 km.

**DADOS GERAIS DA JAZIDA J-5**

Área total estudada .....	360.000,00m <sup>2</sup> ;
Número de furos realizados .....	50 und;
Profundidade média dos furos .....	0,60 m;
Volume total de material .....	216.000,00m <sup>3</sup> ;
Camada média de expurgo .....	0,10 m;
Espessura média útil .....	0,50 m;
Volume de material utilizável .....	180.000,00m <sup>3</sup> ;
Distância do eixo barrável .....	0,74 km.

**DADOS GERAIS DA JAZIDA J-6**

Área total estudada .....	160.000,00m <sup>2</sup> ;
Número de furos realizados .....	25 und;
Profundidade média dos furos .....	0,58 m;
Volume total de material .....	92.800,00m <sup>3</sup> ;



Camada média de expurgo .....	0,10 m;
Espessura média útil .....	0,48 m;
Volume de material utilizável .....	76.800,00m <sup>3</sup> ;
Distância do eixo barrável .....	3,05 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 AREIAL**

Distância do areial ao eixo .....	0,00 km;
Extensão .....	1.000,00m;
Largura .....	10,00m;
Altura a explorar .....	2,00m;
Volume explorável .....	20.000,00m <sup>3</sup> .

#### 3.3.4.3 – Pedreira

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

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

Extensão .....	150,00m;
Largura .....	100,00m;
Altura a explorar .....	3,00m;
Volume explorável .....	45.000,00m <sup>3</sup> ;
Distância para o eixo .....	6,10 km;



Classificação ..... Arenito.

### 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. No **Quadro Nº 3.3.6** são mostrados os valores médios dos resultados dos ensaios de laboratório.

#### 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. No **Quadro Nº 3.3.7** são mostrados valores médios dos resultados dos ensaios de laboratório.

#### Pedreira

Nas pedreiras P1 foram realizados 03 (três) ensaios tipo “Los Angeles”. O valor médio obtido no ensaio foi de 33,8%.

### 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 Jucá possui as seguintes características físicas:

- Bacia Hidrográfica..... 644,62km<sup>2</sup>;
- Perímetro da Bacia Hidrográfica..... 116,81km;
- Declividade Média da Bacia Hidrográfica..... 9,76m/km;
- Comprimento do Rio Principal..... 36,17km;
- Fator de Compacidade.....1,30;
- Fator de Forma..... 0,49;
- Tempo de Concentração.....6,26h.

### 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 indicou a escolha de métodos de transformação chuva-deflúvio como metodologia a ser adotada.

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

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Jucá 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 e 10000 anos ( $T_r$  = tempo de retorno).

O modelo HEC-1 permite o uso de várias metodologias para determinação da chuva efetiva, simulação do escoamento superficial em bacia (*overland flow*) e propagação do escoamento em canais e reservatórios. No caso da bacia do Jucá 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 da barragem Jucá foi assumida uma precipitação uniformemente distribuída sobre a referida bacia. O HEC-1 permite a entrada de tormentas históricas ou sintéticas, sendo as últimas freqüentemente utilizadas para planejamento e estudos de projetos.

O hietograma adotado baseia-se nas curvas altura-duração-freqüência obtidas através do método de Tabora, cujos valores para a bacia em estudo são apresentados no **Quadro 3.4.1**, a seguir.



QUADRO 3.4.1 – CHUVAS PONTUAL E REDUZIDA								
DURAÇÃO	5 MIN	15 MIN	60 MIN	2 H	3 H	6 H	12 H	24 H
P(mm) – TR 50	15,6	30,2	52,3	65,8	73,7	87,1	100,6	114,0
P(mm) – TR 100	17,3	33,4	57,8	72,7	81,4	96,2	111,1	125,9
P(mm) – TR 1000	22,6	42,9	73,5	93,5	105,3	125,3	145,3	165,3
P (mm) – TR 10000	28,0	51,9	88,2	113,5	128,4	153,8	179,1	204,5

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 à 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 Jucá foi adotado um CN = 81 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:

- Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. solos arenosos profundos com pouco silte e argilla.
- Solos menos permeáveis que o anterior, solos arenosos menos profundo que o do tipo a e com permeabilidade superior à média.
- Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.
- Solos contendo argilas expansivas, pouco profundas 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:



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

Onde  $T_c$  = tempo de concentração em minutos;  $L$  = comprimento do maior talvegue em km;  $\Delta H$  = diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório. Logo, para a bacia do Jucá tem-se:

$$L = 36.17 \text{ km} \qquad \Delta H = 353 \text{ m} \qquad S = 9.76 \text{ m/km}$$

O que resulta  $T_c = 6.26 \text{ h}$ ;  $T_{LAG} = 3.76 \text{ h}$  para a Barragem Jucá.

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

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

Onde  $Q_p$  = é a vazão de pico ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $t_p$  = tempo de pico do hidrograma (h),  $A$  = área da bacia em  $\text{km}^2$  e  $\Delta t$  = 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  $\Delta t = 0.20 t_p$ , não devendo exceder  $0.25 t_p$ . Estas relações baseiam-se nas seguintes relações empíricas.

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

Onde  $T_c$  = é o tempo de concentração da bacia. O HEC-1 sugere que  $\Delta t \leq 0.29 T_{LAG}$ . 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.

Conforme metodologia acima, a vazão de pico do hidrograma de 1000 anos de tempo de retorno foi  $2.316 \text{ m}^3/\text{s}$ . Para o tempo de retorno de 10000 anos foi obtida uma vazão de pico de  $3.072 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 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 Jucá;
- Estimativa das perdas por evaporação e sangria da Barragem Jucá;

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 foram utilizados 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  $h^3$ )

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  $\text{MIN}(0.5 K; 0.5 \mu)$ ;
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

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

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

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



VOLUME UTILIZADO

$$D_M = Z_1 - Z_2$$

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

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

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: 30 mm
- Volume afluente médio escoado ( $\mu$ ): 18.82 hm<sup>3</sup>/ano

O coeficiente de variação de  $CV = 1.29$  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,

$$E_L = 0.85 \cdot (166.2+225.9+247.9+273.7+307.8+289.7+275.5)$$

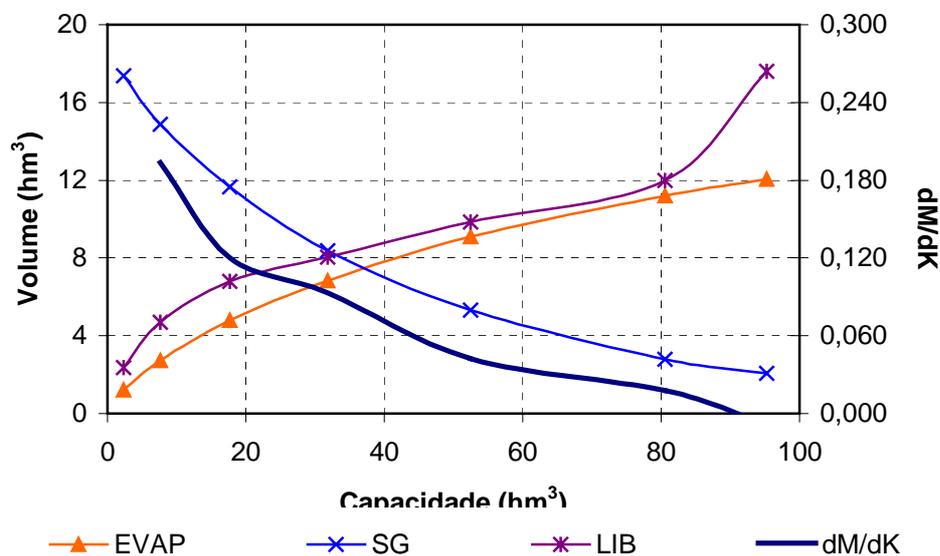
$$= 1518.7 \text{ mm (Evaporação na estação seca)}$$

$$\alpha = 13888,9$$

$$f_E = 3 \alpha^{1/3} E_L / \mu^{1/3} = 0.41$$

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 Jucá, 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 JUCÁ											
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)
424	2,3	0,12	1,6	2,365	6,4	1,202	92,0	17,363		0,010	0,313
426	7,6	0,41	6,9	4,703	14,4	2,713	78,8	14,865	0,19	0,043	1,348
428	17,7	0,94	13,0	6,786	25,3	4,779	61,7	11,652	0,12	0,081	2,563
<b>430</b>	<b>31,8</b>	<b>1,69</b>	<b>19,5</b>	<b>8,045</b>	<b>36,2</b>	<b>6,834</b>	<b>44,4</b>	<b>8,383</b>	<b>0,09</b>	<b>0,123</b>	<b>3,875</b>
432	52,5	2,79	23,8	9,842	48,1	9,106	28,1	5,308	0,04	0,151	4,750
434	80,6	4,28	26,2	11,992	59,1	11,193	14,8	2,798	0,02	0,166	5,250
435	95,3	5,06	25,6	17,619	63,6	12,055	10,9	2,057	-0,01	0,163	5,125



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

A **Figura 3.4.4** e os dados apresentados no **Quadro 3.4.2** sugerem que os ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento decaem rapidamente. Foi adotado o volume em torno de 31,8 hm<sup>3</sup>, correspondente à cota 430 m. Para esta capacidade o reservatório regulariza 19,5% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, 8,045 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 0,123 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. JUCÁ			
EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO			
RG - %	SG - %	EV - %	Qr 90% (m3/s)
8,045 – 19,5%	8,383 – 44,4%	6,834 – 36,2%	0,123

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)

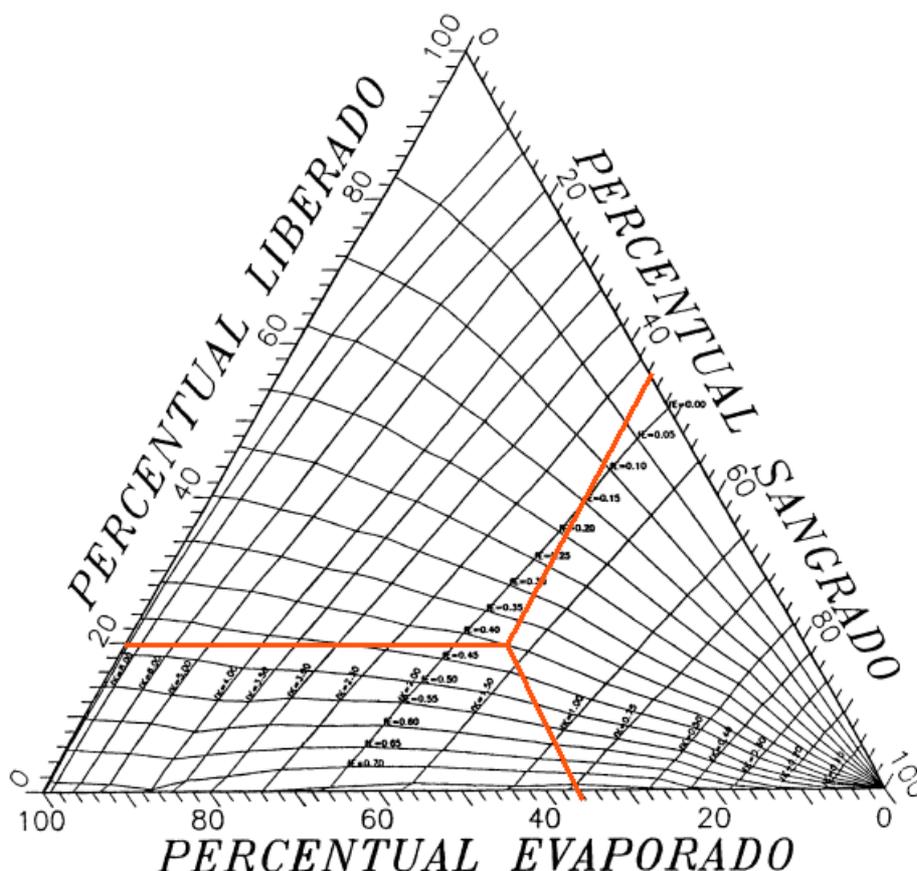


FIGURA 3.4.5 – DIAGRAMA TRIANGULAR DE REGULARIZAÇÃO APLICADO A BARRAGEM JUCÁ

### 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, de perfil Creager com coeficiente de descarga 2.1, ficando suas equação característica:

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

#### 3.4.4.2 – Resultados

Uma vez escolhida a dimensão do açude (cota=430 m), 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 para chuvas de duração de 24 horas e de 2 dias, encontram-se nos **Quadros 3.4.3 e 3.4.4**, respectivamente, 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 Jucá correspondente ao tempo de retorno  $T_r=1000$  anos para vertedouro em perfil Creager e chuva de duração de 24 horas. Os resultados correspondentes para o tempo de retorno de 10.000 anos podem ser visualizados na **Figura 3.4.7**. Resultados referentes as chuvas de 2 dias associados. A 1000 anos e 10000 anos de tempo de retorno são mostrados nas **Figuras N<sup>os</sup>3.4.8 e 3.4.9**, respectivamente:

<b>QUADRO 3.4.3 – RESULTADO DA LAMINAÇÃO PARA O RESERVATÓRIO JUCÁ</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> = 2316 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager: L = 50 m</b>			
430	433,40	3,40	647,0
<b>Perfil Creager: L = 70 m</b>			
430	433,10	3,10	801,0
<b>Perfil Creager: L = 90 m</b>			
430	432,90	2,90	930,0
<b>Perfil Creager: L = 120 m</b>			
430	432,70	2,70	1088,0
<b>Tr = 10.000 anos - Q<sub>in</sub> = 3072,0 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager: L = 50 m</b>			
430	434,20	4,20	910,0
<b>Perfil Creager: L = 70 m</b>			
430	433,90	3,90	1121,0



QUADRO 3.4.3 – RESULTADO DA LAMINAÇÃO PARA O RESERVATÓRIO JUCÁ			
COTA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	Q <sub>out</sub> (m <sup>3</sup> /s)
<b>Perfil Creager: L = 90 m</b>			
430	433,60	3,60	1295,0
<b>Perfil Creager: L = 120 m</b>			
430	433,30	3,30	1508,0

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)

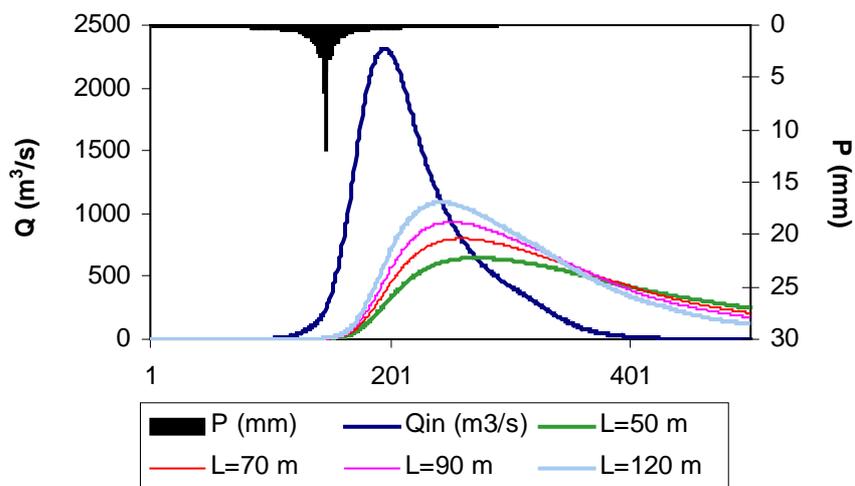


FIGURA 3.4.6 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAÍDA DO RESERVATÓRIO JUCÁ (TR=1.000 ANOS, PERFIL CREAGER)

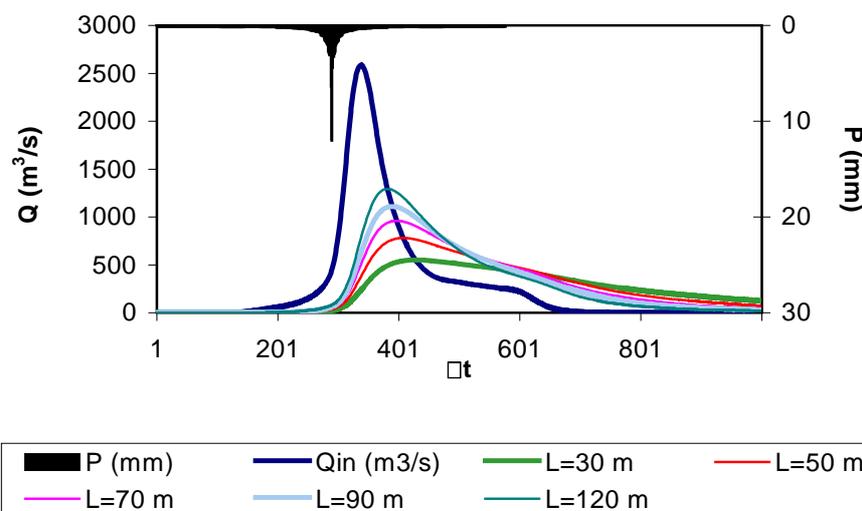
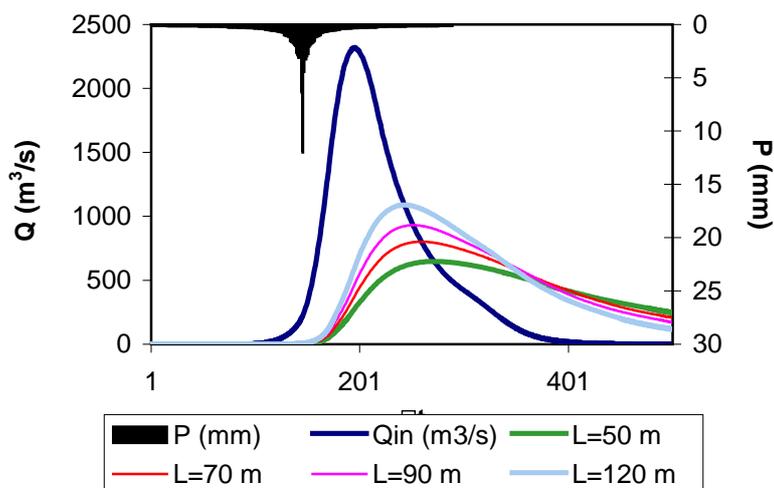


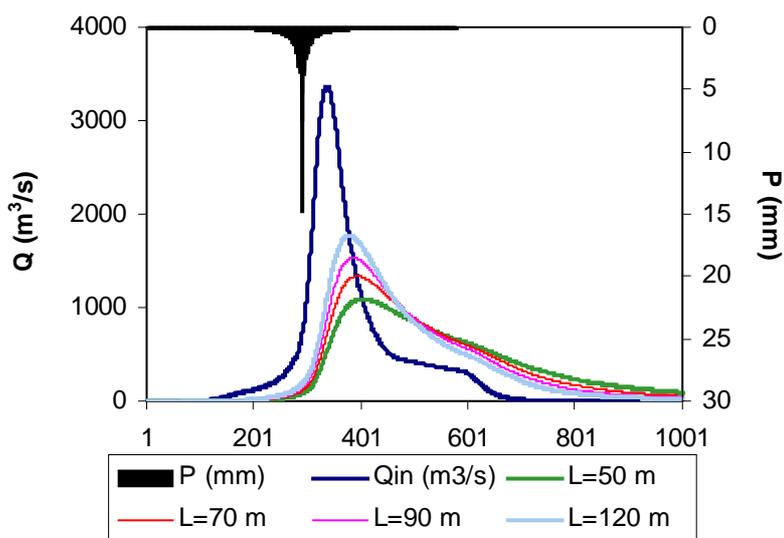
FIGURA 3.4.8 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAÍDA DO RESERVATÓRIO JUCÁ (TR=10.000 ANOS, PERFIL CREAGER)



<b>QUADRO 3.4.4 – RESULTADO DA LAMINAÇÃO PARA O RESERVATÓRIO JUCÁ (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> = 2587 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager: L = 30 m</b>			
430	434,2	4,2	551,0
<b>Perfil Creager: L = 50 m</b>			
430	433,8	3,8	780,0
<b>Perfil Creager: L = 70 m</b>			
430	433,5	3,5	960,0
<b>Perfil Creager: L = 90 m</b>			
430	433,3	3,3	1110,0
<b>Perfil Creager: L = 120 m</b>			
430	433,0	3,0	1292,0
<b>Tr = 10.000 anos - Q<sub>in</sub> = 3371,0 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager: L = 50 m</b>			
430	434,8	4,8	1092,0
<b>Perfil Creager: L = 70 m</b>			
430	434,3	4,3	1334,0
<b>Perfil Creager: L = 90 m</b>			
430	434,0	4,0	1531,0
<b>Perfil Creager: L = 120 m</b>			
430	433,7	3,7	1768,0



**FIGURA 3.4.8 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO RESERVATÓRIO JUCÁ (TR=1.000 ANOS, PERFIL CREAGER – CHUVA DE 2 DIAS)**



**FIGURA 3.4.9 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO RESERVATÓRIO JUCÁ (TR=1.000 ANOS, PERFIL CREAGER – CHUVA DE 2 DIAS)**

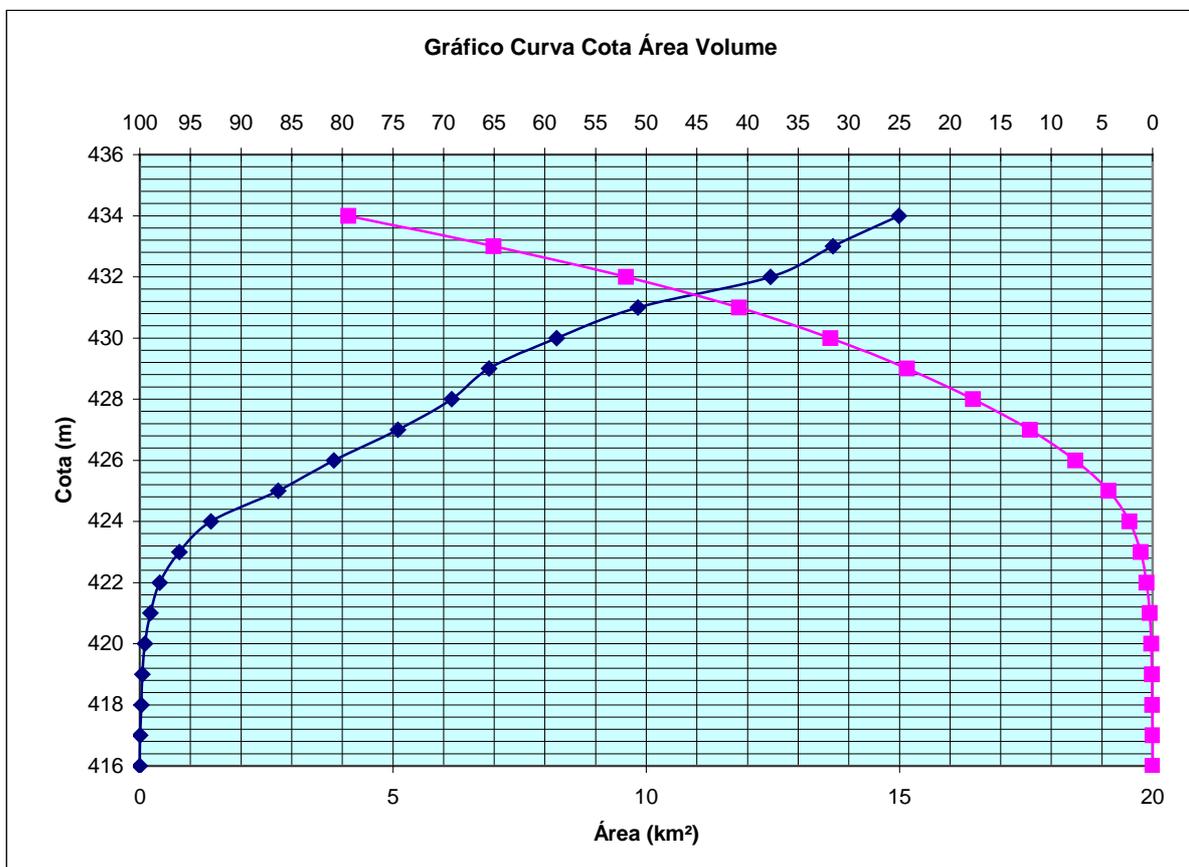
### 3.4.5 – Sumário Técnico dos Estudos Hidrológicos

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	
Área da bacia do Açude Jucá	644,62 km <sup>2</sup>
Perímetro da bacia do Açude Jucá	116,811 km
Declividade Média da bacia do Açude Jucá	9,76 m/km
Comprimento do rio principal	36,17 km
Fator de compactidade	1,30
Fator de forma	0,49

Tempo de concentração	6,26 hrs
-----------------------	----------

ESTUDO DE CHEIAS	
Precipitação Efetiva	SCS
Propagação do Escoamento na Bacia	Hidrograma Unitário do SCS
CN	81
Vazão afluente – Tempo de retorno = 1000 anos	2587 m <sup>3</sup> /s
Vazão afluente – Tempo de retorno = 10000 anos	3371 m <sup>3</sup> /s

CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO	
Capacidade máxima	31,8 hm <sup>3</sup>
Cota da soleira do Vertedouro	430 m
Cota de coroamento	434,70



CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO – EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO			
RG - %	SG - %	EV - %	Qr 90% (m <sup>3</sup> /s)
8,045 – 19,5%	8,383 – 44,4%	6,834 – 36,2%	0.123

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

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

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

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



<b>DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO – PERFIL CREAGER: <math>Z_w = 430</math> 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 = 10.000 anos - Qin = 2587 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager: L = 90 m</b>			
430	433,30	3,30	1.110,0
<b>Tr = 10.000 anos - Qin = 3371 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager: L = 90 m</b>			
430	434,00	4,00	1.531,0



KL ENGENHARIA

**MA|BE**  
Infra-estrutura e Serviços S/C LTDA

enerconsult s.a.



#### **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 arenitos fraturados, 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.



KL ENGENHARIA

**MA|BE**  
Infra-estrutura e Serviços S/C LTDA

**enerconsult s.a.**



## 5 – DESCRIÇÃO DO PROJETO



## 5 – DESCRIÇÃO DO PROJETO

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

- 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

A análise das características dos horizontes de Fundação da Barragem e vertedouro foi feita com base no exame dos perfis individuais da campanha de sondagens realizadas durante a investigação geotécnica.

#### 5.1.1 – Fundação da Barragem

Ao longo do eixo do barramento foram executados onze sondagens a percussão mostradas no quadro abaixo:

PROGRAMAÇÃO DE SONDAÇÃO – SONDAÇÕES A PERCUSSÃO		
SONDAGEM Nº	LOCAL	ESTACA
SP-01	EIXO	41+00
SP-02	EIXO	45+00
SP-03	EIXO	49+00



PROGRAMAÇÃO DE SONDAÇÃO – SONDAÇÕES A PERCUSSÃO		
SONDAÇÃO Nº	LOCAL	ESTACA
SP-04	EIXO	53+00
SP-05	30,0m PARA MONTANTE	54+00
SP-06	30,0m PARA MONTANTE	56+00
SP-07	40,0m PARA JUSANTE	52+00
SP-08	40,0m PARA JUSANTE	54+00
SP-09	40,0m PARA JUSANTE	56+00
SP-10	EIXO	60+00
SP-11	EIXO	63+00

E foram executadas oito sondagens mista que são mostradas no quadro abaixo:

PROGRAMAÇÃO DE SONDAÇÃO – SONDAÇÕES MISTAS		
SONDAÇÃO Nº	LOCAL	ESTACA
SM-01	EIXO	52+00
SM-02	EIXO	54+00
SM-03	EIXO	55+00
SM-04	EIXO	56+00
SM-05	30,0m PARA MONTANTE	55+00
SM-06	40,0m PARA JUSANTE	55+00
SM-101	EIXO	50+00
SM-102	EIXO	58+00

A partir das sondagens realizadas no boqueirão da barragem foram preparados o perfil geotécnico do eixo barrável e as seções transversais A-A', B-B' e C-C'. Examinando esses perfis verifica-se que entre as estacas 30 a 53 e 62 e 67 existe uma camada pouco espessa de areia siltosa com blocos de rocha. Já entre as estacas 53 e 62 há um aprofundamento do pacote aluvionar que chega a 7,0m de profundidade. Abaixo desses níveis, são encontrados arenitos. Situação semelhante pode ser visto nas seções A-A', B-B' e C-C'. De forma que com base nessas informações foi possível definir uma linha de escavação obrigatória e uma linha de penetração do cut-off que terá como premissa penetrar no mínimo 50cm no solo residual ou no arenito. A locação dos furos de sondagens com indicação das seções e as seções geotécnicas podem ser vistas nos Desenhos I-2-JU-06/33-010, I-2-JU-07/33-010 e I-2-JU-10/33-010.

As escavações obrigatória foram prevista para garantir que os espaldares da barragem fiquem assentes em solos com SPT>7 golpes/30cm.



Outro fato verificado é que o nível d'água na calha do rio está aflorando e no pacote aluvionar está a cerca 4,0m de profundidade. Mas, acima de linha de escavação do cut-off.

### 5.1.2 – Fundação do Vertedouro

No local escolhido para acomodar o vertedouro foram executadas doze sondagens mistas que são indicadas no Quadro abaixo. A localização dessas sondagens pode ser vista no Desenho I-2-JU-06/33-010.

A partir dessas sondagens foram preparadas as seções D-D', E-E', F-F' e G-G', que podem ser vistas no Desenho I-2-JU-10/33-010. Examinando essas seções verifica-se que o local possui uma camada pouco espessa de solo formado por alteração de arenito e/ou silte argiloso e, em baixo desse material encontra-se arenito macia a dura. Desta forma, conclui-se que as escavações do Vertedouro será quase que total dentro do arenito macio à dura. Por esta razão foram adotados taludes de escavação de 10:1 (V:H).

PROGRAMAÇÃO DE SONDAAGEM		
SONDAGEM Nº	LOCAL	ESTACA
SM-103	95,0m PARA MONTANTE	86+00
SM-104	95,0m PARA MONTANTE	88+00
SM-105	95,0m PARA MONTANTE	91+00
SM-106	95,0m PARA JUSANTE	86+00
SM-107	95,0m PARA JUSANTE	91+00
SM-108	EIXO	87+00
SM-109	EIXO	88+00
SM-07	EIXO	86+00
SM-11	200,0m PARA JUSANTE	87+00
SM-10	95,0m PARA JUSANTE	88+00
SM-08	EIXO	89+00
SM-09	EIXO	91+10,00

### 5.2 – REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO

As sondagens indicaram o posicionamento do nível d'água variando da superfície a cerca de 4,0m. As escavações obrigatórias e cut-off em parte da barragem terão de atravessar o nível d'água dentro do pacote aluvionar. Por essa razão será necessária a operação de rebaixamento do lençol freático. Dependendo da



permeabilidade do solo a ser rebaixado que pode ser baixa devido a impregnação com solos argilosos é possível fazer as escavações criando valas nas laterais e dirigindo as águas para poços tubulares dentro do cut-off e fazer o rebaixamento por bombeamento direto.

### 5.3 – GEOMETRIA DA TRINCHEIRA DE FUNDAÇÃO

A trincheira de fundação do cut-off será executada nos locais indicados no Desenho I-2-JU-11/33-010 com as profundidades indicadas no desenho. Com geometria prevista em projeto, ou seja, um trapézio com taludes de 1:1 (V:H) e base menor 8,0m de largura em todas as seções onde a trincheira está prevista

A trincheira do cut-off deve penetrar pelo menos 50cm no solo residual ou no arenito mole a duro.

### 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, devem receber um destino. Os organismos que tratam da preservação do meio ambiente tem recomendado que este material ocupe parte da bacia hidráulica. Por esta razão foi reservado o espaço abaixo da curva de nível 421,0m para colocação deste material. No desenho NºI-2-JU-10/33-010 (Planta de Localização e Acesso das Ocorrências) é mostrado a área para bota-fora.

### 5.5 – TRATAMENTO DAS FUNDAÇÕES

Examinando os resultados dos ensaios de perda d'água realizados no arenito verifica-se que as perdas específicas são bem elevadas, bem superior a 1,0 l/min/m/atm o que justifica a execução de uma cortina de injeção que deve se estender entre as estacas 38 e 68 e deve ter profundidade de 20,00m dentro do arenito, contado da escavação do cut-off.

A cortina de injeção terá fisicamente uma única linha que será locada, em planta, no eixo da trincheira de vedação (cut-off). Os furos serão executados na vertical.

A cortina de injeção será formada obrigatoriamente por furos exploratórios e primários. Inicialmente serão executados os furos exploratórios que serão espaçados de 12,00m em 12,00m. Esses furos serão executados com sonda rotativa com coroa de diamante diâmetro NX (75,3mm). Em todos os furos exploratórios serão executados ensaios de perda d'água em segmentos de 3,00m em 3,00m. Em seguida serão executados os furos primários espaçados de 12,00m em 12,00m e defasados 6,00m



dos exploratórios. Esses furos serão executados também com sonda rotativa com coroa diâmetro NX (75,3mm). Em cada furo primário que apresentar tomada de calda superior a 20 kg/m, serão executados dois furos secundários em torno do furo primário. Esses furos serão espaçados de 12,00m em 12,00m e defasados 6,00m dos furos primários. Da mesma forma, em cada furo secundário que apresentar tomada de calda superior a 20 kg/m, sendo executados dois terciários que são espaçados entre si de 6,00m e são defasados 3,00m dos furos secundários.

Os detalhes da cortina podem ser vistos no Desenho I-2-JU-33/33-010.

## 5.6 – MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Para construção da Barragem Jucá foram estudadas seis jazidas de solo denominadas: J-01, J-02, J-03, J-04, J-05 e J-06. O volume disponível nestas jazidas é de cerca de 734.000hm<sup>3</sup>. Os materiais encontrados são classificados como SC, CL e GM na classificação USC.

A Barragem projetada será executada com materiais dessas jazidas.

Para execução das zonas de drenagem interna e proteção dos taludes foram estudados o areal A-01 e a pedreira P-01.

## 5.7 – CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO DA BARRAGEM

A concepção do barramento da barragem Jucá 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 seis jazidas, pedreira e o areal.

A barragem ficará com coroamento na cota 434,70m e soleira na cota 430,00m, reservando nesta cota 31,80hm<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. Os materiais provenientes das escavações do vertedouro não serão utilizados na composição do maciço.

O maciço foi concebido com taludes de montante e jusante com inclinação de 1:2 (V:H). A seção máxima ficou localizada na estaca 54. A altura máxima já levando em conta a escavação obrigatória é de 19,17m. A seção máxima pode ser vista no Desenho I-2-JU-11/33-010.

No talude de jusante foi previsto a construção de uma berma na cota 424,70m com 2,0m de largura.

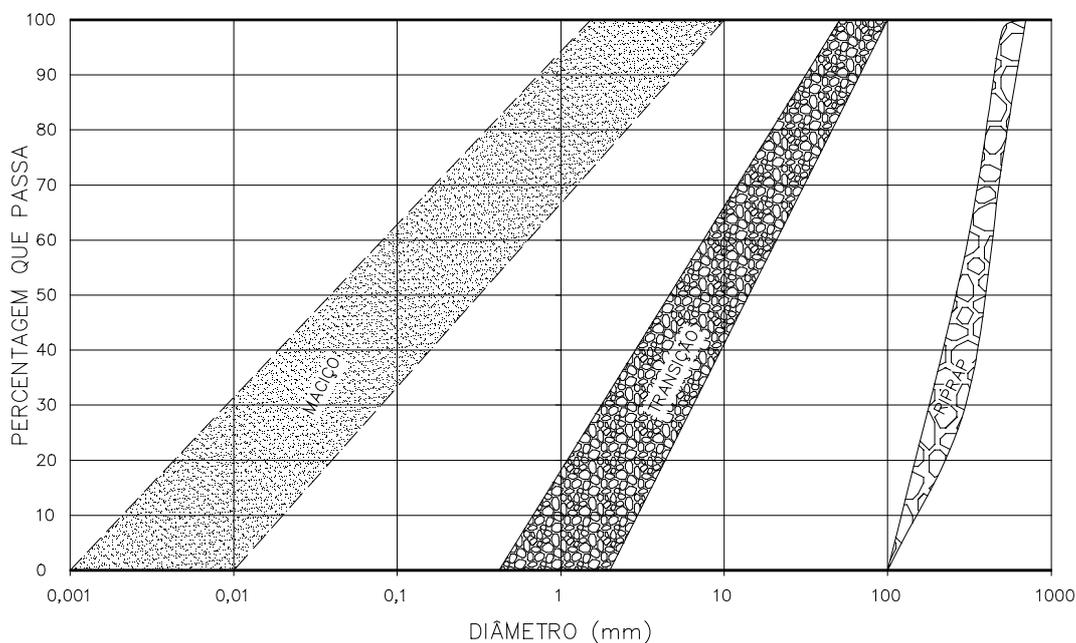
O talude de montante será protegido da ação da energia da onda do reservatório com a construção de um rip-rap. O rip-rap será formado por uma camada de blocos de rocha sã que serão assentes sobre uma camada de transição. O rip-rap terá 0,70m de espessura e a transição terá 0,20m de espessura. A camada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

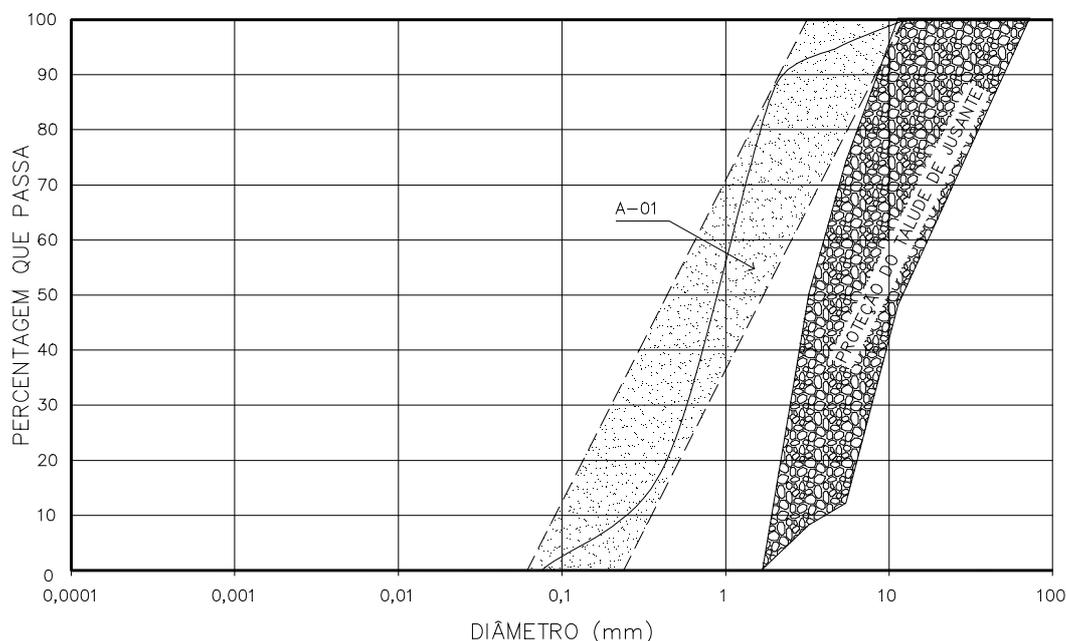
## FAIXA GRANULOMETRICA DA PROTEÇÃO DO TALUDE DE MONTANTE


**GRÁFICO N°5.1**

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 N° 5.3**, a seguir:

<b>QUADRO N° 5.3: 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
N°4 (4,76mm)	8-50
N°10 (2,00mm)	-

## CURVA GRANULOMETRICA DO AREAL E DA PROTEÇÃO DO TALUDE DE JUSANTE


**GRÁFICO Nº 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 434,00m.

O tapete horizontal será construído entre as estacas 38 e 68 numa extensão de 600m. Entre as estacas 38 e 44 e 67 e 68 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 45 a 64. O rock-fill nas interfaces 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 Nº 5.4: 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 Nº 5.5: 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 Nº 5.6: 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 DA PROTEÇÃO DO TALUDE DE JUSANTE

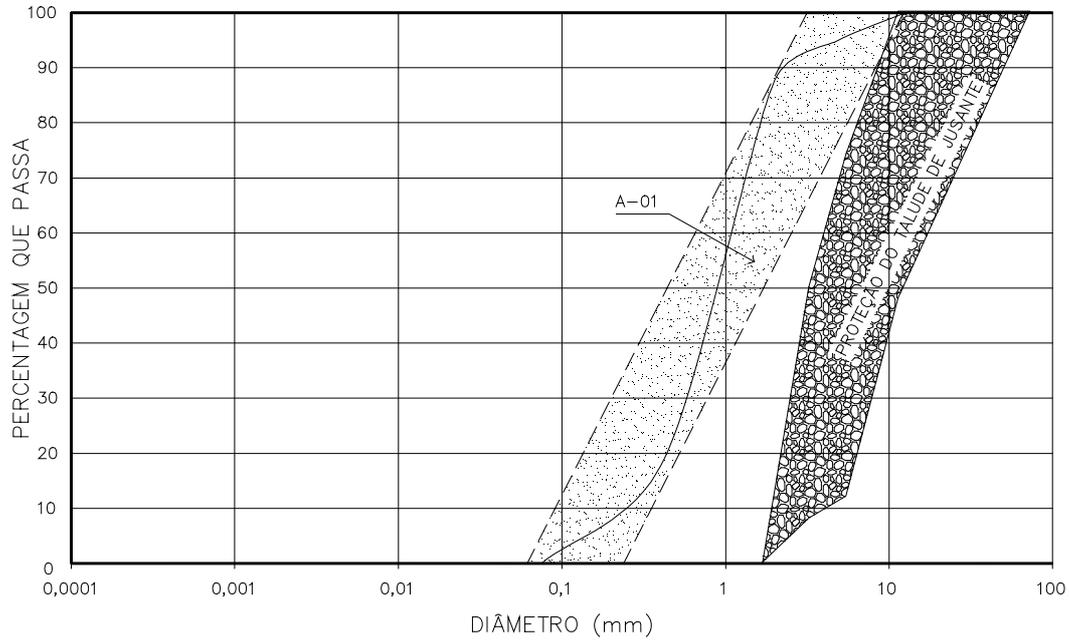


GRÁFICO Nº 5.3

FAIXA GRANULOMETRICA DA DRENAGEM INTERNA

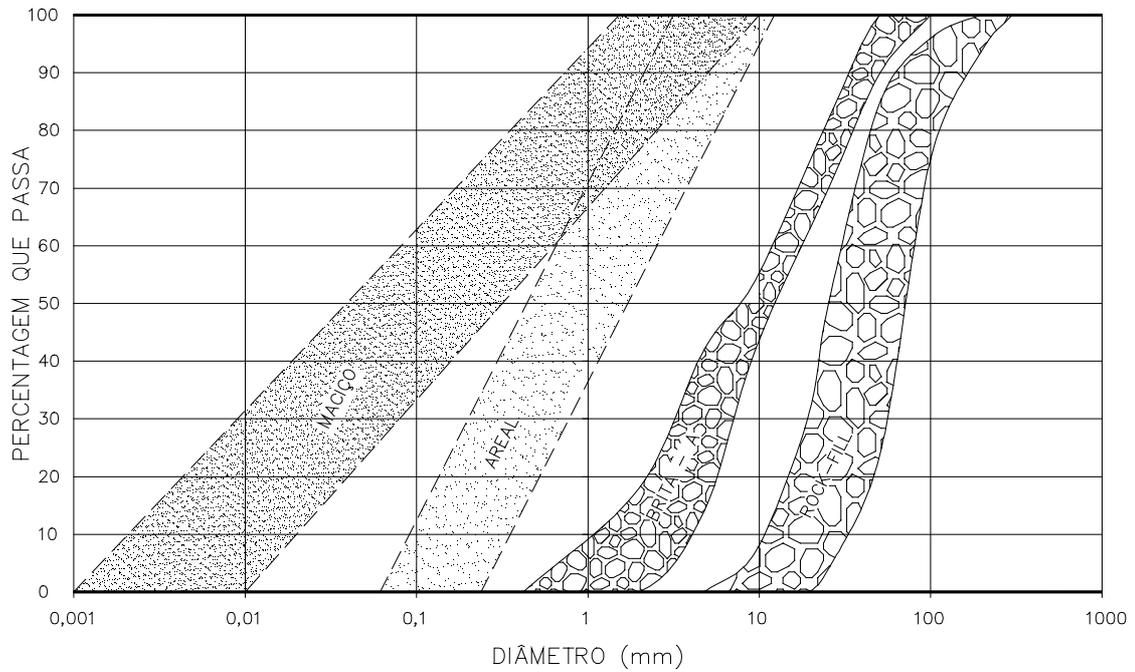


GRÁFICO Nº 5.4



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 Jucá 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-JU-13/33-010 a I-2-JU-19/33-010.

Os detalhes construtivos do rock-fill podem ser visto no Desenho I-2-JU-13/33-010.

A barragem foi dotada de uma tomada d'água formada de uma galeria tubular de  $\phi=300\text{mm}$  que será construída na estaca 65 com a cota do eixo do tubo ficando na 423,00m. A localização da tomada d'água pode ser vista no Arranjo Geral, Desenho I-2-JU-04/33-010.

## 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 posicionamento é indefinido. Para contornar esse problema foi associada à 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 do paramento de montante do filtro vertical com a base do tapete horizontal.

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 seguinte expressão:

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

Onde:

$(x, y)$  = ponto da curva

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



A partir dos cálculos, apresentados no Tomo 3 – Memória de Cálculo, obtem-se que a vazão de percolação pelo maciço é:

$$Q_M = 3,30 \times 10^{-8} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

A vazão perdida pela fundação é formada pelas águas que percolam pelo cut-off e abaixo do cut-off. No caso da Barragem Jucá o cut-off esta assente sobre maciço rochoso foi considerado a perda da vazão por baixo da barragem com a perda de carga total entre montante e o início do tapete horizontal. A partir dos cálculos, apresentados no Tomo 3 – Memória de Cálculo, obtem-se que a vazão de percolação é:

$$Q_F = 10^{-8} \times 0,390 \times 10,0 = 3,90 \times 10^{-8} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

## 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 Jucá 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.

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

A análise da estabilidade sísmica foi 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 N° 5.7** mostrado a seguir, indica os valores dos parâmetros geotécnicos adotados para a análise da estabilidade da barragem.

QUADRO N° 5.7: 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	18,7	5,0	28°	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:

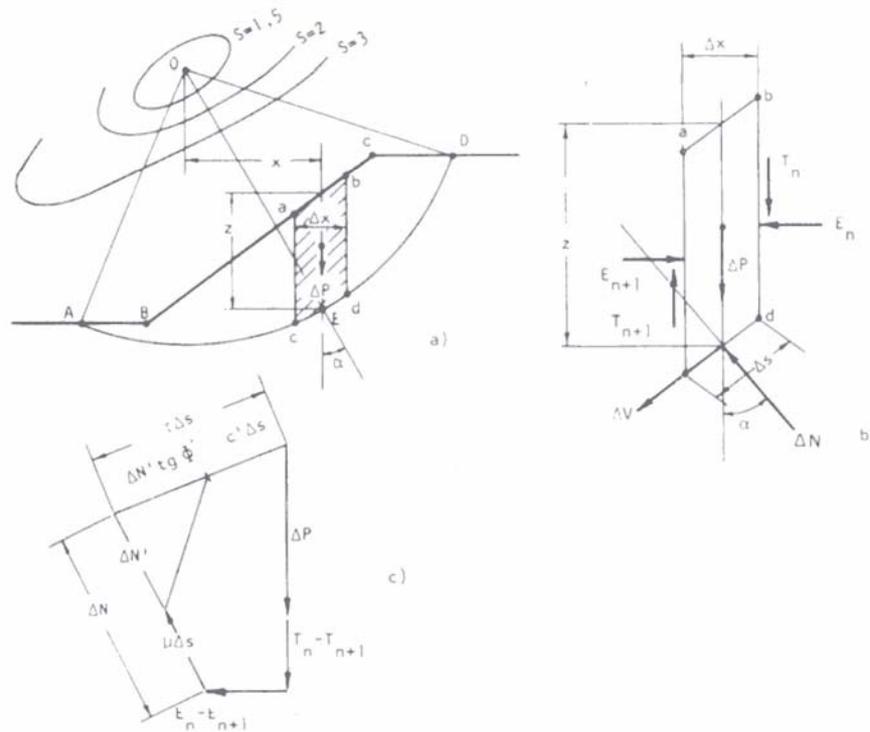
$$S = \frac{1}{\sum \Delta P \sec \alpha} \times \sum \cdot C' \cdot \Delta X + \operatorname{tg} \phi' \cdot \Delta P (1 - \bar{B}) \cdot \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{tg} \alpha}{S_0}}$$

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 à 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:

- **Coeficiente 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  $ru$  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 cômada. Isto é usado para a análise de taludes de escavação;
  - **Anisotropia na Força Cisalhante:** O SLOPE/W tem inúmeras 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 os arquivos de dados criados 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 adaptadas, o fator de segurança de todos os métodos pode ser determinado 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.

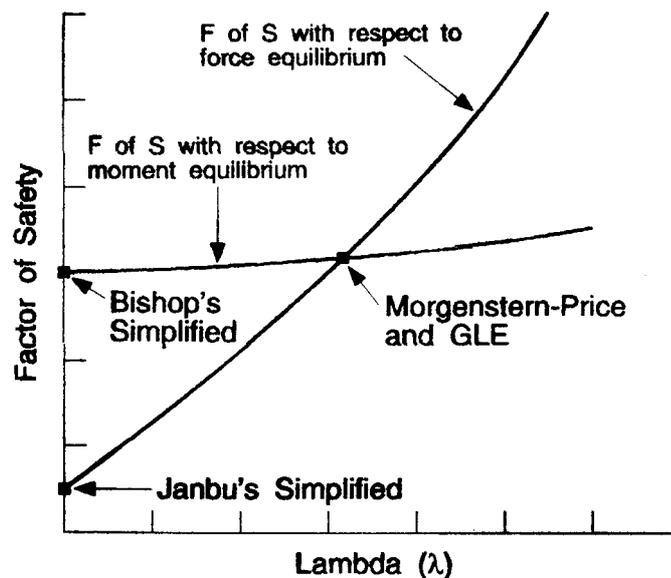


FIGURA Nº5.1: FATOR DE SEGURANÇA X LAMBDA

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 se utiliza 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 às forças normais 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:

- Análise da Estabilidade Estática

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

QUADRO Nº 5.8: ANÁLISE DE ESTABILIDADE – ESTÁTICA				
SIMULAÇÃO	C.S. MÍNIMO	SUPERFÍCIE DE DESLIZAMENTO		
		SUPERFICIAL	INTERMEDIÁRIA	PROFUNDA
Final de Construção – Talude de Montante	1,3	1,535	1,423	1,395
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	1,559	1,524	1,523
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	1,559	1,524	1,515
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,1	1,169	1,183	1,187

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

- 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 Nº 5.9**:

QUADRO Nº 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	1,353	1,261	1,235
Final de Construção – Talude de Jusante	1,0	1,380	1,340	1,340
Reservatório Cheio – Talude de	1,0	1,380	1,340	1,333



Jusante				
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,0	1,037	1,066	1,065

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 65 do eixo barrrável pela a ombreira direita. A tomada d'água terá extensão de 60,00m 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 423,00m. O corpo do tubo será envolto em concreto estrutural. A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de  $0,123\text{m}^3/\text{s}$  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 430,00m e 425,00m, onde os volumes são de  $31,80\text{hm}^2$  que corresponde a 100% de capacidade e  $4,84\text{hm}^3$  que corresponde a 13,60% da capacidade.

As escavações obrigatórias atingirão as cotas que permite a implantação da tomada d'água de acordo com as cotas projetadas.



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 Jucá será acomodado em um ponto de sela pela ombreira direita. Como foi observado nos estudos geotécnicos o maciço rochoso é formado de pacotes de arenitos fraturados e alterados.

Por esta razão e levando em conta as vazões dos estudos hidrológicos projetou-se um canal escavado com 100,00m de largura na cota 427,00m. O canal tem duas curvas para a esquerda. O canal está estaqueado entre as estacas 0+000 a 0+400 tendo, portanto 400,00m de comprimento.

O ponto de interseção entre o eixo do levantamento da Barragem e o canal do Vertedouro, ou seja, onde há a igualdade é EST 88 da Barragem é igual a EST 0+201,42m do eixo do canal vertedouro.

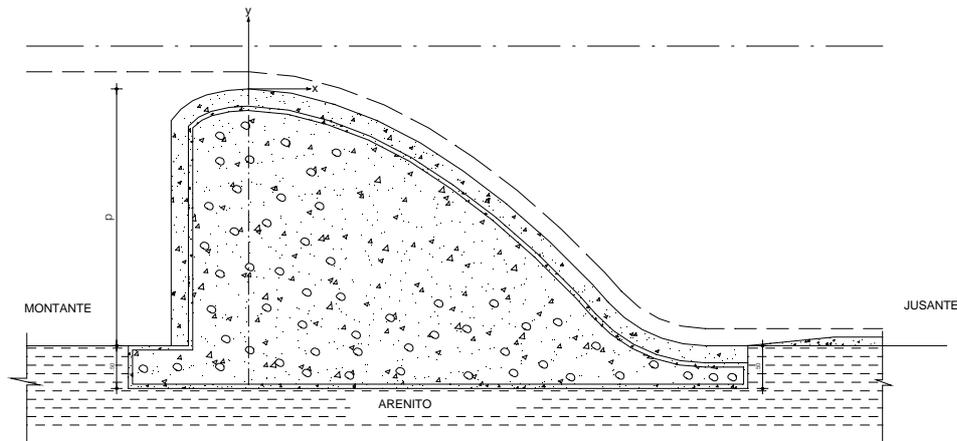
O projeto do vertedouro consistiu de um canal escavado na cota 427,00m com 100,00m de largura, a construção de um muro creager com 90,00m de largura, muros laterais e diques de fechamento. Para jusante foi previsto uma bacia de dissipação com 35,00m de extensão. O topo da laje da bacia de dissipação ficará na cota 427,00m. A laje terá espessura de 0,50m e será fixado ao maciço de arenito por chumbadores passivos de aço CA-50 de  $\phi 25,0\text{mm}$  com comprimento de 5,00m distribuídos em uma malha quadrada de 2,00m x 2,00m. Conforme sugestão contida no último relatório do Painel o de N°55 o “endsill” (protuberância) no final da laje de dissipação foi retirado. No redente de engastamento no final da laje foi prevista uma amarração com aço de 25,00mm de diâmetro executada ao longo do redente em duas linhas com furos espaçados de 1,0m e defasados de 0,50m. Os chumbadores terão 5,50m de comprimento útil e o cut-off está todo armado com armadura incorporada à laje.

Chama-se especial atenção durante as escavações do canal do vertedouro. Tendo em vista o tipo de rocha (arenito) o processo de escavação deve ser precedido de mais uma campanha de sondagens rotativa para avaliar a possibilidade de ser mantido os taludes de projeto. Também durante as escavações deve-se continuamente observado os materiais encontrados. É comum em formações sedimentares tipo arenito aparecer lentes preenchidas com solos normalmente siltes argilosos, se o mergulho dessas lentes for para dentro do canal, providencias devem ser tomadas, tais como: remoção das lentes, criação de bermas ou até mesmo estabilização destas com placas atirantada. Essas questões serão decididas no passo a passo da obra. É

importante que o consórcio projetista faça visitas periódicas durante a execução. Ressalva-se, por oportuno, que o processo de detonação e desmonte das escavações do canal do vertedouro deverão ser acompanhadas por especialistas nestes tipos de serviços. O fogo deverá ser cuidadosamente aplicado.

### 5.11.1 – Perfil Creager

A cota do perfil creager é 430,00m, portanto o muro tem 3,0m de altura.



Vazão de Projeto (Cheia Milenar)

$$Q_{1000} = 1.110,00 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$L = 90,0 \text{ m}$$

$$q = \frac{1110}{90} = 12,33 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

$$P = 3,00 \text{ m}$$

Adotando  $h_b = 3,30$  (dos Estudos Hidrológicos)

Tem-se:



$$H_0 = h_a + h_0$$

$$h_a = \frac{V^2}{2g}$$

$$V = \frac{q}{P + h_0}$$

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

$$h_a \cong 0,20m$$

$$H_0 = 3,50m$$

Determinação da curva de jusante do perfil creager.

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

Da relação  $\frac{h_a}{H_0} = 0,05$  obtém-se dos ábacos do "Bureau of Reclamation" os valores de  $K = 0,51$  e  $n = 1,849$ .

Substituindo esses valores na equação do perfil creager, tem-se:

$$Y = -0,176 \cdot X^{1,849}$$

As coordenadas do perfil creager são apresentadas no Quadro a seguir:

$X$	$Y = -0,176 \cdot X^{1,849}$
0,00	0,00
0,50	-0,05
1,00	-0,18
1,50	-0,37
2,00	-0,63
2,50	-0,96
3,00	-1,34
3,50	-1,78
4,00	-2,28
4,50	-2,83
4,88	-3,30



As curvas de concordância do paramento de montante são obtidas de ábacos do “Bureau of Reclamation” a partir da relação  $\frac{h_a}{H_0} = 0,05$ . Usando essa relação, obtém-se:

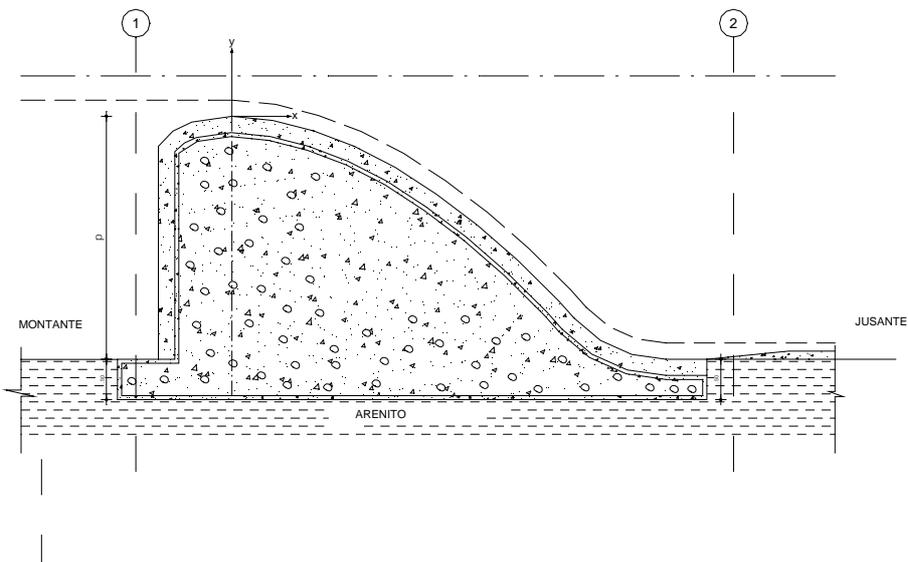
$$\frac{X_c}{H_0} = 0,257 \Rightarrow X_c = 0,90m$$

$$\frac{Y_c}{H_0} = 0,105 \Rightarrow Y_c = 0,37m$$

$$\frac{R_1}{H_0} = 0,503 \Rightarrow R_1 = 1,76m$$

$$\frac{R_2}{H_0} = 0,210 \Rightarrow R_2 = 0,74m$$

Determinação da lâmina, velocidade e número de Froude no pé do Creager.



Aplicando a conservação da energia entre os pontos 1 e 2, tem-se:

$$3,0 + 3,30 + 0,20 = y + \frac{V^2}{2g}$$

$$V = \frac{q}{y}$$

$$6,50 = y + \frac{7,74}{y^2}$$



Resolvendo por iteração, tem-se:

$$Y = 1,20m$$

A velocidade no pé do creager é:

$$V = \frac{12,33}{1,20} = 10,27m / s$$

O número de Froude  $F_R$  será:

$$F_R = \frac{V}{\sqrt{g \cdot Y}} = 2,99$$

A altura conjugada será:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2} \left[ \sqrt{1 + 8F_R^2} - 1 \right]$$

$$\frac{d_2}{d_1} = 3,76$$

Como  $d_1 = Y = 1,20m$ , tem-se:

$$d_2 = 3,76 \cdot d_1 = 4,51m$$

O comprimento da bacia de dissipação será:

$$\frac{L}{d_2} = 6,9 \text{ (Wilker, 1978)}$$

$$L = 6,9 \cdot d_2 \therefore L = 31,12m$$

Adotou-se uma bacia de 35,00m

### 5.11.2 – Dimensionamento dos Chumbadores

Para o dimensionamento dos chumbadores foi considerada a água no nível normal, ou seja, cota 430,00 e saturação do maciço de jusante.



A carga máxima é de  $3,0tf / m^2$ . A malha entre os chumbadores é de 2,0m x 2,0m, portanto, a carga máxima no chumbador é de  $12,00tf$ .

A capacidade do chumbador é dada pela expressão:

$F = \pi \times D_d \times L_s \times |C' + (\gamma \times h + \Delta P) \times tg\phi|$ , conhecida como fórmula brasileira de (Nunes 1987).

$F$  = capacidade de carga do Bulbo;

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

$L_s$  = comprimento do bulbo = 5,50m

$C'$  = adesão entre calda e solo, tomada igual à coesão efetiva do solo = 10tf/m<sup>2</sup>

$\gamma$  = massa específica do terreno = 1,8tf/m<sup>3</sup>

$h$  = profundidade do centro do bulbo = 2,75m

$\Delta P$  = parcela de aumento de pressão normal devido à pressão residual de injeção no caso de chumbadores  $\Delta P = 0,0$

$\phi$  = ângulo de atrito real do solo = 38°

Aplicando na expressão, temos:

$$F = \pi \times 0,10 \times 5,50 \times [10 + 1,80 \times 2,75 \times tg38^\circ]$$

$$F = 23,96 \Rightarrow OK!$$

## 5.12 – RELAÇÃO DOS DESENHOS

O Projeto da Barragem Jucá é composto dos seguintes desenhos, como discriminados no **Quadro Nº 5.10**:

QUADRO Nº 5.10: RELAÇÃO DOS DESENHOS	
DESENHO Nº	DESCRIÇÃO
I-2-JU-01/33-010	Bacia Hidráulica
I-2-JU-02/33-010	Estudos Topográficos e Locação dos Eixos
I-2-JU-03/33-010	Perfil Longitudinal do Eixo Barrável



<b>QUADRO Nº 5.10: RELAÇÃO DOS DESENHOS</b>	
<b>DESENHO Nº</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
I-2-JU-04/33-010	Arranjo Geral das Obras
I-2-JU-05/33-010	Perfil Longitudinal do Eixo Barrável, Tomada D'Água e Seção Transversal do Vertedouro
I-2-JU-06/33-010	Planta de Locação dos Furos de Sondagem
I-2-JU-07/33-010	Perfil Longitudinal do Subsolo do Eixo Barrável e Seção Transversal do Vertedouro
I-2-JU-08/33-010	Seções Geotécnicas do Subsolo no Eixo da Barragem
I-2-JU-09/33-010	Seções Geotécnicas do Subsolo no Vertedouro
I-2-JU-10/33-010	Planta de Localização e Acesso das Ocorrências
I-2-JU-11/33-010	Seção Máxima e Detalhes
I-2-JU-12/33-010	Seções Tipo da Barragem
I-2-JU-13/33-010	Seções Transversais do Eixo Barrável – (01/07) – Segmento (Est. 31 a Est. 42)
I-2-JU-14/33-010	Seções Transversais do Eixo Barrável – (02/07) – Segmento (Est. 43 a Est. 51)
I-2-JU-15/33-010	Seções Transversais do Eixo Barrável – (03/07) – Segmento (Est. 52 a Est. 53+10,74)
I-2-JU-16/33-010	Seções Transversais do Eixo Barrável – (04/07) – Segmento (Est. 54 a Est. 56)
I-2-JU-17/33-010	Seções Transversais do Eixo Barrável – (05/07) – Segmento (Est. 57 a Est. 59)
I-2-JU-18/33-010	Seções Transversais do Eixo Barrável – (06/07) – Segmento (Est. 60 a Est. 62)
I-2-JU-19/33-010	Seções Transversais do Eixo Barrável – (07/07) – Segmento (Est. 63 a Est. 68)
I-2-JU-20/33-010	Escavação do Vertedouro – Planta, Perfil e Seção Transversal
I-2-JU-21/33-010	Seções Transversais da Escavação do Vertedouro (Est. 0+0,00 a 15+0,00)
I-2-JU-22/33-010	Seções Transversais da Escavação do Vertedouro



QUADRO Nº 5.10: RELAÇÃO DOS DESENHOS	
DESENHO Nº	DESCRIÇÃO
	(Est. 15+10,00 a 20+0,00)
I-2-JU-23/33-010	Planta do Canal do Vertedouro, Perfil Longitudinal e Detalhes
I-2-JU-24/33-010	Seções dos Muros Laterais e Detalhes do Vertedouro
I-2-JU-25/33-010	Planta de Locação dos Chumbadores e Armaduras da Laje no Vertedouro
I-2-JU-26/33-010	Escavação da Tomada D'Água – Planta, Perfil, Seção Tipo e Transversais
I-2-JU-27/33-010	Seção da Tomada D'Água e Detalhes
I-2-JU-28/33-010	Caixa de Montante e Caixa de Dissipação da Tomada D'Água – Fôrma
I-2-JU-29/33-010	Armadura da Caixa Dissipadora da Tomada D'Água
I-2-JU-30/33-010	Ferragem da Caixa de Montante e Galeria da Tomada D'Água
I-2-JU-31/33-010	Drenagem Superficial – Planta (01/02)
I-2-JU-32/33-010	Drenagem Superficial – Detalhes (02/02)
I-2-JU-33/33-010	Planta de Locação, Perfil e Detalhes da Cortina de Injeção de Cimento



KL ENGENHARIA

**MA|BE**  
Infra-estrutura e Serviços S/C LTDA

**enerconsult s.a.**



## 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 Rio Jucá.

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 Nº 6.1:**

<b>Quadro Nº 6.1: Canteiro de Obra</b>	
<b>Item</b>	<b>Descrição</b>
01	Escritório da Contratada
02	Escritório da Contratante
03	Laboratório de Solo e Concreto
04	Depósito de Cimento
05	Posto de Abastecimento de Combustível
06	Oficina Mecânica
07	Almoxarifado
08	Carpintaria
09	Ferraria
10	Armação e Moldagem da Ferragem
11	Alojamento para Pessoal de Apoio
12	Eletrificação
13	Escritório de Supervisão
14	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:**

Quadro Nº 7.1: Relação dos Equipamentos do Laboratório		
Item	Especificação	Quant. Mínima
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 cilíndricos 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

Quadro Nº 7.2: Equipamento Mínimo		
Item	Descrição	Quant. Mínima
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



Quadro Nº 7.2: Equipamento Mínimo

Item	Descrição	Quant. Mínima
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
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