

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos
BARRAGEM GERMINAL E ADUTORA DE PALMÁCIA
Município de Palmácia - Ceará

FASE B: DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO
ETAPA B3: Projeto Executivo da Barragem Germinal

Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto

| Rev. | Data | Descrição | Por | Ver. |
|-------------|-------------|----------------------------------|-----------------------|-------------|
| 000 | JULHO/2011 | Apresentação - Edição Preliminar | JM Eng. Cons. Ltda | Tadeu |
| | | | | |
| | | | | |

ÍNDICE

| | |
|-------------------|---|
| APRESENTAÇÃO..... | 8 |
| 1 | MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO.....10 |
| 2 | INTRODUÇÃO.....10 |
| 2.1 | FICHA TÉCNICA.....10 |
| 2.2 | LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....12 |
| 2.3 | LISTA DE DESENHOS.....15 |
| 3 | SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS.....16 |
| 3.1 | ESTUDOS TOPOGRÁFICOS.....16 |
| 3.1.1 | <i>EIXO BARRÁVEL E VERTEDOURO.....17</i> |
| 3.1.2 | <i>BACIA HIDRÁULICA.....17</i> |
| 3.1.3 | <i>JAZIDAS.....17</i> |
| 3.2 | ESTUDOS GEOLÓGICOS.....18 |
| 3.2.1 | <i>GEOMORFOLOGIA.....18</i> |
| 3.2.2 | <i>GEOLOGIA REGIONAL.....19</i> |
| 3.2.3 | <i>GEOLOGIA LOCAL.....19</i> |
| 3.3 | ESTUDOS GEOTÉCNICOS.....20 |
| 3.3.1 | <i>1ª CAMPANHA DE SONDAgens.....20</i> |
| 3.3.2 | <i>JAZIDAS.....21</i> |
| 3.3.3 | <i>2ª CAMPANHA DE SONDAgens.....21</i> |
| 3.3.3.1 | <i>SONDAgens COMPLEMENTARES:.....22</i> |
| 3.3.4 | <i>ANÁLISE DAS SONDAgens DAS DUAS CAMPANHAS.....24</i> |
| 3.3.5 | <i>CONCLUSÕES:.....28</i> |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 3.4 | ESTUDOS HIDROLÓGICOS FINAIS..... | 29 |
| 3.4.1 | CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA..... | 29 |
| 3.4.1.1 | ÍNDICE DE FORMA DA BACIA..... | 29 |
| 3.4.2 | ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS..... | 31 |
| 3.4.3 | ESTUDOS DAS CHUVAS INTENSAS..... | 31 |
| 3.4.3.1 | METODOLOGIA UTILIZADA..... | 32 |
| 3.4.3.2 | DADOS..... | 33 |
| 3.4.3.3 | AJUSTES DAS PRECIPITAÇÕES..... | 35 |
| 3.4.3.4 | CHUVA DE PROJETO..... | 38 |
| 3.4.3.5 | CÁLCULO DA CHUVA VIRTUAL DE 24 HORAS DE DURAÇÃO (P24H)..... | 39 |
| 3.4.4 | ESTUDOS DAS CHEIAS DE PROJETO..... | 42 |
| 3.4.4.1 | METODOLOGIA..... | 42 |
| 3.4.4.2 | TEMPO DE CONCENTRAÇÃO..... | 43 |
| 3.4.4.3 | HIDROGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR PARA DURAÇÃO $D = 1/5 T_c$ | 43 |
| 3.4.4.4 | EXCESSO DE PRECIPITAÇÃO..... | 44 |
| 3.4.4.5 | HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE..... | 45 |
| 3.4.5 | VOLUME AFLUENTE NA BACIA DO RIO PACOTI..... | 48 |
| 3.4.5.1 | VOLUME MÉDIO AFLUENTE ANUAL..... | 48 |
| 3.4.5.2 | VOLUME DE ACUMULAÇÃO DO RESERVATÓRIO..... | 49 |
| 3.4.6 | DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO DO RESERVATÓRIO..... | 51 |
| 3.4.6.1 | METODOLOGIA..... | 51 |
| 3.4.6.2 | LÂMINA DE EVAPORAÇÃO..... | 51 |
| 3.4.6.3 | FATOR DE FORMA DA BACIA (α)..... | 52 |
| 3.4.6.4 | FATOR ADIMENSIONAL DE EVAPORAÇÃO (F_e)..... | 54 |
| 3.4.6.5 | RELAÇÃO VOLUME REGULARIZADO X CAPACIDADE DE RESERVA..... | 54 |
| 3.4.7 | ESTUDO DE PROPAGAÇÃO DE ENCHENTES..... | 57 |
| 3.4.7.1 | METODOLOGIA..... | 57 |
| 3.4.7.2 | DADOS..... | 58 |
| 3.4.7.3 | CONCLUSÃO DA HIDROLOGIA..... | 68 |
| 3.5 | CURVA CHAVE..... | 69 |
| 3.5.1 | DETERMINAÇÃO DA ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA..... | 70 |

| | | |
|----------------|--|-----------|
| 3.5.2 | <i>DETERMINAÇÃO DA ALTURA DA LÂMINA DE ÁGUA.....</i> | 71 |
| 3.5.3 | <i>DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DA VAZÃO DE ÁGUA.....</i> | 71 |
| 3.5.4 | <i>DETERMINAÇÃO DA VAZÃO EM PERÍODOS DE CHEIA.....</i> | 71 |
| 3.5.5 | <i>DETERMINAÇÃO DA VAZÃO EM PERÍODOS DE ESTIAGEM.....</i> | 72 |
| 3.5.6 | <i>A CURVA CHAVE E A BARRAGEM DE GERMINAL.....</i> | 72 |
| 3.6 | <i>ASSOREAMENTO DA BARRAGEM GERMINAL.....</i> | 73 |
| 3.6.1 | <i>A LOCALIZAÇÃO DE SEDIMENTO NAS BACIAS HIDRÁULICAS.....</i> | 75 |
| 3.6.2 | <i>ASSOREAMENTO EM BARRAGENS NO BRASIL.....</i> | 76 |
| 3.6.3 | <i>DEPOSIÇÃO DOS SEDIMENTOS NA BARRAGEM.....</i> | 76 |
| 3.6.4 | <i>CURVA DE BRUNE.....</i> | 77 |
| 3.6.5 | <i>MEDIDAS PREVENTIVAS.....</i> | 78 |
| 3.6.6 | <i>CONCLUSÕES APLICÁVEIS À BARRAGEM GERMINAL.....</i> | 78 |
| 4 | <i>DESCRIÇÃO DO PROJETO.....</i> | 80 |
| 4.1 | <i>BARRAGEM.....</i> | 80 |
| 4.2 | <i>VERTEDOIRO.....</i> | 81 |
| 4.3 | <i>TOMADA D'ÁGUA.....</i> | 82 |
| 5 | <i>INSTRUMENTAÇÃO EM BARRAGENS DE GRAVIDADE, TIPO CCR</i> | 83 |
| 5.1 | <i>MONITORAMENTO EM FUNÇÃO DO TIPO DE BARRAGEM.....</i> | 86 |
| 5.1.1 | <i>TIPOS DE INSTRUMENTOS.....</i> | 86 |
| 5.1.2 | <i>INSTRUMENTAÇÃO NA ESTRUTURA.....</i> | 87 |
| 5.1.2.1 | <i>PÊNDULO INVERTIDO.....</i> | 88 |
| 5.1.2.2 | <i>MEDIDOR TRIANGULAR DE VAZÃO.....</i> | 90 |
| 5.1.2.3 | <i>PIEZÔMETROS.....</i> | 91 |
| 5.2 | <i>INSTRUMENTAÇÃO DA BARRAGEM GERMINAL.....</i> | 92 |

| | | |
|-----|-------------------------------|----|
| 6 | CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO..... | 92 |
| 7 | CANTEIRO DE OBRA..... | 94 |
| 8 | ANEXO..... | 95 |
| 8.1 | Sondagens Complementares..... | 95 |

ÍNDICE DAS TABELAS

| | | |
|-------------|---|----|
| TABELA 1 - | CARACTERÍSTICAS DA REDE PLUVIOMÉTRICA..... | 30 |
| TABELA 2 - | CHUVAS DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS - POSTO PACOTI (CÓD: 438036)..... | 32 |
| TABELA 3 - | PARÂMETROS ESTATÍSTICOS: VARIÁVEL REDUZIDA (Y), PROBABILIDADES (P) E PERÍODO DE RETORNO (TR)..... | 34 |
| TABELA 4 - | PARÂMETROS ESTATÍSTICOS: MÉDIA DA VARIÁVEL REDUZIDA (\bar{y}_n) E DESVIO PADRÃO(S _N) EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE DADOS (N)..... | 35 |
| TABELA 5 - | ANÁLISE ESTATÍSTICA DA SÉRIE DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS (POSTO PACOTI)..... | 36 |
| TABELA 6 - | CONVERSÃO DA CHUVA PONTUAL EM CHUVA DISTRIBUÍDA NA BACIA HIDROGRÁFICA..... | 38 |
| TABELA 7 - | CHUVA REAL DE 1 DIA PARA VIRTUAL DE 24 HORAS..... | 38 |
| TABELA 8 - | ALTURAS DE CHUVAS DE DURAÇÃO DE 1H (UMA HORA)..... | 40 |
| TABELA 9 - | PRECIPITAÇÕES TOTAIS (P3H) E EFETIVAS (PE) EM MM..... | 44 |
| TABELA 10 - | HIDROGRAMAS DAS CHEIAS..... | 45 |
| TABELA 11 - | DESCARGAS MÁXIMAS AFLUENTES..... | 46 |
| TABELA 12 - | QUADRO COTA X ÁREA X VOLUME..... | 48 |
| TABELA 13 - | EVAPOTRANSPIRAÇÃO - POSTO GUARAMIRANGA..... | 50 |
| TABELA 14 - | ALTURA D'ÁGUA X VOLUME..... | 52 |
| TABELA 15 - | DETERMINAÇÃO DOS PERCENTUAIS DO VOLUME ACUMULADO, ATRAVÉS DO "DTR", PARA A SIMULAÇÃO DO RESERVATÓRIO..... | 54 |
| TABELA 16 - | RELAÇÃO ENTRE A CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO E O VOLUME ANUAL REGULARIZADO..... | 56 |
| TABELA 17 - | DETERMINAÇÃO DO GRÁFICO $\frac{2S}{\Delta t} + O \times O$ | 59 |
| TABELA 18 - | DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DA CURVA DE ROUTING..... | 61 |
| TABELA 19 - | DESCARGAS EFLUENTES PARA TR = 100 ANOS..... | 63 |
| TABELA 20 - | DESCARGAS EFLUENTES PARA TR = 500 ANOS..... | 64 |
| TABELA 21 - | DESCARGAS EFLUENTES PARA TR = 1.000 ANOS..... | 65 |
| TABELA 22 - | DESCARGAS EFLUENTES PARA TR = 10.000 ANOS..... | 66 |

| | |
|--|----|
| TABELA 23 - QUADRO RESUMO DO RESERVATÓRIO..... | 67 |
| TABELA 24 - DESCARGA MÉDIA DE SEDIMENTOS EM 10 ⁶ TON/ANO..... | 73 |

ÍNDICE DAS FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO NO CONTEXTO ESTADUAL, MUNICIPAL E REGIONAL DA BARRAGEM GERMINAL..... | 13 |
| FIGURA 2 - ISOZONAS DO BRASIL..... | 39 |
| FIGURA 3 - ALTURA DE CHUVA X TEMPO DE DURAÇÃO..... | 41 |
| FIGURA 4 - DIAGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR..... | 43 |
| FIGURA 5 - VAZÕES AFLUENTES..... | 46 |
| FIGURA 6 - DIAGRAMA COTA X ÁREA X VOLUME..... | 49 |
| FIGURA 7 - DIAGRAMA TRIANGULAR DE REGULARIZAÇÃO..... | 55 |
| FIGURA 8 - RELAÇÃO LÂMINA DE SANGRIA X VOLUME DE ACUMULAÇÃO..... | 58 |
| FIGURA 9 - COEFICIENTE DE DESCARGA C ₀ | 58 |
| FIGURA 10 -CURVA DE ROUTING..... | 60 |
| FIGURA 11 -BANCOS SEDIMENTARES..... | 74 |
| FIGURA 12 -CURVA DE BRUNE..... | 76 |
| FIGURA 13 -BARRAGEM GERMINAL (MAQUETE)..... | 82 |
| FIGURA 14 -ESQUEMA DE INSTALAÇÃO (PÊNULOS DIRETO E INVERTIDO)..... | 87 |
| FIGURA 15 -PÊNULO INVERTIDO..... | 88 |
| FIGURA 16 -MEDIDOR TRIANGULAR..... | 89 |
| FIGURA 17 -PIEZÔMETRO..... | 90 |

APRESENTAÇÃO

Os serviços executados pela empresa JM Engenheiros Consultores Ltda, no âmbito do Contrato nº 10/ SRH/CE/2010 , assinado em 30/04/2010 com a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), tem como objeto a **Elaboração dos Estudos Básicos e Concepção, Eia/Rima, Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento, Detalhamento do Projeto Executivo, Avaliação Econômica e Financeira Referentes a Barragem Germinal e a Adutora de Palmácia, no Estado do Ceará.**

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

FASE A - ESTUDOS DE VIABILIDADE

- ❖ **ETAPA A1** - Relatório de Identificação de Obras - RIO
 - **VOLUME I** - Relatório de Identificação de Obras - RIO
- ❖ **ETAPA A2** - Estudos Básicos e Concepção Geral do Projeto da Barragem Germinal
 - **VOLUME I** - Estudos Básicos
 - *Tomo 1 - Levantamentos Topográficos*
 - *Tomo 2 - Estudos Cartográficos*
 - *Tomo 3 - Estudos Hidrológicos*
 - *Tomo 4 - Estudos Geológicos e Geotécnicos*
 - **VOLUME II** - Concepção Geral do Projeto da Barragem Germinal
 - *Tomo 1 - Relatório de Concepção Geral*
 - *Tomo 1A - Desenhos*
 - *Tomo 1B - Memória de Cálculo*
- ❖ **ETAPA A3** - Estudos Básicos e a concepção da Adutora de Palmácia
 - **VOLUME I** - Estudos Básicos
 - *Tomo 1 - Relatório Geral*
 - *Tomo 2 - Estudos Topográficos*
 - *Tomo 3 - Estudos Geotécnicos*
 - **VOLUME II** - Relatório Técnico Preliminar (RTP) da Adutora
 - *Tomo 1 - Relatório de Concepção Geral*
 - *Tomo 1A - Desenhos*

- *Tomo 1B - Memória de Cálculo*

FASE B - DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO

- ❖ **ETAPA B1** - Estudos dos Impactos no Meio Ambiente (EIA-RIMA)
 - **VOLUME I** - Relatório do EIA/RIMA da Barragem Germinal e Adutora de Palmácia
 - *Tomo 1 - Estudos dos Impactos no Meio Ambiente (EIA) da Barragem Germinal e Adutora de Palmácia*
 - *Tomo 2 - Relatório dos Impactos no Meio Ambiente (RIMA) da Barragem Germinal e Adutora de Palmácia*
 - *Tomo 3 - Relatório de Desmatamento Racional da Bacia Hidráulica*
- ❖ **ETAPA B2** - Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento da Barragem Germinal e Adutora de Palmácia
 - **VOLUME I** - Levantamento Cadastral
 - *Tomo 1 - Relatório Geral*
 - *Tomo 2 - Laudos Individuais de Avaliação*
 - *Tomo 3 - Levantamentos Topográficos*
 - **VOLUME II** - Plano de Reassentamento da Barragem Germinal
 - *Tomo 1 - Diagnóstico*
 - *Tomo 2 - Detalhamento do Projeto de Reassentamento*
 - *Tomo 3 - Relatório Final de Reassentamento*
- ❖ **ETAPA B3** - Projeto Executivo da Barragem
 - **VOLUME I** - Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem Germinal
 - *Tomo 1 - Memorial Descritivo do Projeto*
 - *Tomo 2 - Desenhos*
 - *Tomo 3 - Memória de Cálculo*
 - *Tomo 4 - Especificações Técnicas e Normas de Medições e Pagamentos*
 - ✓ *Tomo 4.1 – Serviços Gerais*
 - ✓ *Tomo 4.2 – Concretos CCV e CCR*
 - ✓ *Tomo 4.3 – Equipamentos Hidromecânicos.*
 - *Tomo 5 - Quantitativos e Orçamentos*
 - *Tomo 6 - Relatório Síntese*
 - *Tomo 7 – Manual de Operação e Manutenção;*
- ❖ **ETAPA B4** - Projeto Executivo da Adutora de Palmácia
 - **VOLUME I** - Detalhamento do Projeto Executivo da Adutora
 - *Tomo 1 - Relatório Geral*
 - *Tomo 2 - Memória de Cálculo*
 - *Tomo 3 - Quantitativos e Orçamentos*
 - *Tomo 4 - Especificações Técnicas e Normas de Medições e Pagamentos*
 - *Tomo 5 - Desenhos*
- ❖ **ETAPA B5** - Avaliação Econômica e Financeira do Sistema (Barragem e Adutora)
 - **VOLUME I** - Avaliação Econômica e Financeira do Sistema - Barragem Germinal e Adutora de Palmácia

A documentação ora apresentada compreende Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto Volume I da Etapa B3: Projeto Executivo da Barragem;

1 MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

Conterá no desenvolvimento deste item um resumo dos estudos básicos, com a descrição das atividades e investigações realizadas.

Também será apresentado neste Tomo 1 a ficha técnica, localização e acesso, , lista de desenhos, síntese dos estudos básicos, descrição do projeto, cronograma de execução e organização e características do canteiro de obras.

2 INTRODUÇÃO

Conterá no desenvolvimento deste item a ficha técnica, localização e acesso e a lista de desenhos objetivando a elaboração do projeto executivo da Barragem Germinal, no município de Palmácia, Estado do Ceará.

2.1 FICHA TÉCNICA

➤ *Características Gerais*

| | |
|--|------------------------------|
| •Nome do Açude | Barragem Germinal |
| •Município | Palmácia |
| •Estado | Ceará |
| •Rio Barrado | Rio Pacoti |
| •Área da Bacia Hidrográfica | 94,00km ² |
| •Área da Bacia Hidráulica (cota 354,00)..... | ≅ 24.445ha |
| •Capacidade de Acumulação (cota 354,00)..... | ≅ 2.014.427,22m ³ |

➤ *Características da Barragem*

| | |
|---|--------|
| •Tipo | CCR |
| •Cota do Coroamento | 357,00 |
| •Largura do Coroamento | 6,00m |
| •Folga | 0,70m |
| •Altura Máxima a partir do T.N. | 27,45m |
| •Extensão pelo Coroamento (exceto sangradouro)..... | 95,00m |

- Localização Entre as estacas G +15m a 2 + 5m e 4 +15m a 7
- Talude de montante: Vertical
- Talude de jusante: 0,8(H) : 1(V)

➤ **Características do Sangradouro**

- Tipo Creager
- Localização Entre as Estacas 2 +5m e 4 +15m
- Largura 50m
- Descarga de Projeto (Efluente Milenar).....378,00 m³/s
- Nível Normal (cota de acumulação).....354,00
- Lâmina de Sangria 2,30m
- Nível Máximo Maximorum do Reservatório a Montante.....356,30
- Cota da Crista do Sangradouro 354,00

➤ **Características da Tomada D'Água**

- Tipo Galeria Direta
- Localização Estaca 2 +3,00m
- Comprimento da tubulação ≅ 29m
- Descarga Regularizada 0,049m³/s
- Diâmetro da Tubulação 500mm

- Diâmetro da Válvula Dispersora 500mm
- Cota da boca de montante 335,00
- Cota da boca de jusante 335,00

2.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A barragem germinal barrará o rio Pacoti, à montante da confluência deste com o rio Salgado, no município de Palmácia, Estado do Ceará.

O acesso a sede do município de Palmácia, a partir de Fortaleza, é feito pela rodovia CE-065 passando-se pelo município de Maranguape e pelo distrito de Ladeira Grande, perfazendo um total de 70,00 km, daí segue-se na mesma rodovia em direção ao município de Pacoti e após percorrer cerca de 8,00km chega-se ao local do barramento, conforme mostra a Figura 1.

As coordenadas geográficas e a altitude da sede do município são:

- Latitude: 4°09'01";
- Longitude: 38°50'47";
- Altitude: 425,00 m;
- Área da superfície geográfica do município: 117,81 km².

Os municípios limítrofes são:

- Ao Norte: município de Maranguape;
- Ao Sul: municípios de Pacoti, Redenção e Guaiúba;
- A Leste: município de Guaiúba e Maranguape;
- A Oeste: município de Caridade.

O local do barramento tem as seguintes coordenadas aproximadas:

- ✓ Coordenadas em UTM:
 - Ombreira direita: E=515.01,08 e N=9.537.644,14;
 - Ombreira esquerda: E=514.915,08 e N=9.537.754,76.

INSERIR DO COREL DRAW

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO NO CONTEXTO ESTADUAL, MUNICIPAL E REGIONAL DA BARRAGEM GERMINAL

2.3 LISTA DE DESENHOS

A seguir será apresentada a lista dos desenhos que serão apresentados no Tomo 2 da Etapa B3 referente aos Desenhos do Projeto Executivo da Barragem Germinal, no município de Palmácia, estado do Ceará.

| LISTA DOS DESENHOS DA BARRAGEM GERMINAL Município de Palmácia, CE | |
|--|--|
| ETAPA B3 – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM | |
| Nº DO DESENHO | DESCRIÇÃO DO CONTEÚDO |
| <i>I-2-GE-01-23-000</i> | <i>BACIA HIDROGRÁFICA</i> |
| <i>I-2-GE-02-23-000</i> | <i>BACIA HIDRAULICA</i> |
| <i>I-2-GE-03-23-000</i> | <i>LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DO LOCAL DA BARRAGEM PERFIL LONGITUDINAL NO EIXO DA BARRAGEM</i> |
| <i>I-2-GE-04-23-000</i> | <i>PLANTA DE LOCAÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM</i> |
| <i>I-2-GE-05-23-000</i> | <i>PERFIL GEOLÓGICO/GEOTÉCNICO E SEÇÃO GEOLÓGICA GEOTÉCNICA (ESTACAS 4+10)</i> |
| <i>I-2-GE-06-23-000</i> | <i>SEÇÃO GEOLÓGICA GEOTÉCNICA ESTACA 1+10m,2+10m E 3E</i> |
| <i>I-2-GE-07-23-00</i> | <i>AMARRAÇÃO DOS EIXOS DAS OBRAS</i> |
| <i>I-2-GE-08-23-00</i> | <i>PLANTA BAIXA DE ESCAVAÇÃO</i> |
| <i>I-2-GE-09-23-00</i> | <i>ARRANJO GERAL DAS OBRAS PERFIL LONGITUDINAL DO EIXO DA BARRAGEM</i> |
| <i>I-2-GE-10-23-00</i> | <i>SEÇÃO TIPO(MÁXIMA) – INSUBMERSÍVEL E DETALHES</i> |
| <i>I-2-GE-11-23-00</i> | <i>SEÇÃO TIPO(MÁXIMA)- SUBMERSÍVEL E DETALHES</i> |
| <i>I-2-GE-12-23-00</i> | <i>SEÇÕES TRANSVERSAIS TRECHO OMBREIRA ESQUERDA - SEÇÕES DE 0 A 2+5m</i> |
| <i>I-2-GE-13-23-00</i> | <i>SEÇÕES TRANSVERSAIS TRECHO VERTEDOURO - SEÇÕES DE 2+5 A 4+15m</i> |
| <i>I-2-GE-14-23-00</i> | <i>SEÇÕES TRANSVERSAIS TRECHO OMBREIRA DIREITA - SEÇÕES DE 4+15m A 7</i> |
| <i>I-2-GE-15-23-00</i> | <i>DRENAGEM INTERNA NA BARRAGEM E JUNTAS PERFIL LONGITUDINAL , SEÇÃO TRANSVERSAL E DETALHES</i> |
| <i>I-2-GE-16-23-00</i> | <i>ESQUEMA DE MONTAGEM DAS JUNTAS</i> |

| | |
|-------------------------|--|
| | <i>DETALHES CONSTRUTIVOS</i> |
| <i>I-2-GE-17-23-00</i> | <i>TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO PLANTA, PERFIL LONGITUDINAL E SEÇÃO-AA</i> |
| <i>I-2-GE-18-23-00</i> | <i>TRATAMENTO DE FUNDAÇÃO EM ROCHA DETALHES</i> |
| <i>I-2-GE-19-23-000</i> | <i>INSTRUMENTAÇÃO</i> |
| <i>I-2-GE-20-23-000</i> | <i>GALERIA DE DRENAGEM PLANTA BAIXA, SEÇÃO LONGITUDINAL</i> |
| <i>I-2-GE-21-23-000</i> | <i>GALERIA DE DRENAGEM DETALHES</i> |
| <i>I-2-GE-22-23-000</i> | <i>TOMADA D'ÁGUA SEÇÃO LONGITUDINAL E DETALHES</i> |
| <i>I-2-GE-23-23-000</i> | <i>TOMADA D'ÁGUA DETALHES DE MONTANTE ECASA DE COMANDO DA COMPORTA</i> |

3 SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS

Dentre os estudos básicos de maior importância para o projeto da barragem, destacam-se os de Topografia, Geologia, Geotecnia e Hidrologia.

Cada um desses temas foi objeto de um relatório específico na Etapa A2, denominada: **“Estudos Básicos e Concepção Geral do Projeto da Barragem Germinal”**, contendo descrições detalhadas dos estudos desenvolvidos.

No presente Relatório foram destacados apenas os tópicos mais relevantes da Topografia, Geologia e Geotecnia. Apresenta-se também neste item os estudos hidrológicos finais elaborados após a realização do levantamento planialtimétrico da bacia hidráulica, e também uma abordagem sobre curva-chave e o Assoreamento da Barragem Germinal.

3.1 ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Os trabalhos de topografia constaram dos levantamentos topográficos do eixo barrável, do vertedouro, das áreas das jazidas da bacia hidráulica.

Estes levantamentos estão detalhados no relatório da Etapa A2: **“Estudos Básicos e Concepção Geral do Projeto da Barragem Germinal” - Volume I – Tomo 1 – Levantamentos Topográficos.**

Realizou-se um levantamento planialtimétrico da bacia hidráulica da Barragem Germinal. Este levantamento encontra-se no Tomo 2 da Etapa B3.

3.1.1 EIXO BARRÁVEL E VERTEDOURO

O levantamento do eixo barrável foi executado com uma abrangência numa faixa de domínio de 40 metros à montante e 40 metros à jusante do referido eixo. Foram levantadas seções transversais ao eixo, com pontos cotados a cada 10 metros, de acordo com a faixa de domínio recomendada.

Esses levantamentos permitiram a confecção dos desenhos, da seção do boqueirão com escala vertical 1:200 e horizontal 1:2.000, e planta com curvas de nível a cada metro na escala 1:2.000. Estes desenhos estão apresentados no tomo 2 desta Etapa B3.

3.1.2 BACIA HIDRÁULICA

No tomo 1, volume I da Etapa A2 foi apresentado o levantamento planialtimétrico da bacia hidráulica da barragem utilizou como base a carta do IDACE com apoio de levantamentos de campo, com o uso de teodolito e imagem do satélite WorldView-2 em órbita desde Novembro de 2009. Esse satélite supre demandas antes atendidas somente a partir de escalas obtidas por vôos fotogramétricos.

Nesta etapa foi realizado o levantamento planialtimétrico da bacia hidráulica da Barragem Germinal por topografia convencional. No tomo 2 desta Etapa B3 é mostrado o novo levantamento topográfico.

3.1.3 JAZIDAS

Com a utilização de um GPS foram realizadas as locações das áreas de ocorrências de materiais que poderão ser utilizados na construção da barragem. Tendo em vista a concepção do projeto da barragem em CCR, foram estudadas jazidas de material pétreo e de areia. As localizações das jazidas estão apresentadas **na Etapa A2 – Volume I – Tomo 4**, em escala apropriada, com a planta baixa das áreas dos empréstimos e um desenho geral mostrando todas as ocorrências de materiais, de forma a possibilitar a definição das distâncias de transporte.

3.2 ESTUDOS GEOLÓGICOS

3.2.1 GEOMORFOLOGIA

A área em questão constitui um dos mais expressivos compartimentos do relevo elevado do Ceará. Tendo como embasamento um manto lítico do Pré-Cambriano, os relevos residuais são resultantes dos processos erosivos ocorridos na era Cenozóica (há quase 70 milhões de anos).

A região é caracterizada por um tectonismo intenso. Geologicamente, é formada por rochas do embasamento cristalino, do período geológico mais antigo da terra, apresenta instabilidade nas encostas, face aos declives acentuados, variando entre 45 e 70%.

Possui uma geomorfologia singular, caracterizada, notadamente por movimentações dos tipos meio-laranjas e pães-de-açúcar que se apresentam por toda a área desses chamados brejos de altitude.

São consideradas como regiões de exceção climática no contexto que simboliza o restante da Macro Região que a circunda, se constituindo verdadeira montanha isolada com altitudes variando entre 600 e 1.200 metros, circundada por um piédmont de superfícies aplainadas, chamada de sertão.

A geomorfologia do maciço de Baturité se iguala em movimentação às concentrações encontradas no Sul e Sudeste do Brasil, em que os relevos se apresentam como meio-laranjas e pães-de-açúcar.

Meio-laranjas - são constituídos por encostas com morfologia arredondada, variando entre 30,00 e 50,00 m de altura, entremeados por vales mais ou menos planos, chamados pela SEMACE de nível de pedimentação, que separam as encostas em até quilômetros de largura. O clima úmido se constitui traço singular dessas áreas.

Pães-de-açúcar - São elevações singulares que se apresentam com dissecação periférica dentro do maciço montanhoso, com elevações entre 100,00 e 200,00 metros de altura envoltas por um clima tropical sub-úmido. Situam-se, normalmente, no entrono de meio-laranjas, se constituindo volumes rochosos pouco divididos do embasamento cristalino.

Estes domos estão inseridos, normalmente, na Unidade Canindé, identificada até o norte do maciço de Baturité.

A Geomorfologia está detalhada no relatório da Etapa A2: **“Estudos Básicos e Concepção Geral do Projeto da Barragem Germinal” - Volume I – Tomo 4 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.**

3.2.2 GEOLOGIA REGIONAL

A geologia regional aonde será inserida o Projeto Executivo da Barragem Germinal, situada na parte centro-ocidental do maciço, pertence ao embasamento do Pré-cambriano, dita Província Borborema, ao mesmo tempo em que a margem equatorial brasileira pertence ao Cretáceo.

A Província Borborema, atualmente, vem sendo entendida como uma complexa faixa de colisão, produto da movimentação convergente de placas, envolvendo possíveis processos de amalgamação e agregação de microplacas e terrenos, consolidados ao final do evento Brasileiro.

O modelo gravimétrico de dois perfis na Faixa Seridó mostrou que o campo gravimétrico residual pode ser explicado a partir dos corpos geológicos aflorantes ou sub-aflorantes, restritos à parte superior da crosta.

Os gnaisses com fácies de anfíbolito da idade Paleoproterozóica, podem estar inseridas nas Unidades Canindé e Independência. Apresentam-se quase sempre intercaladas por afloramentos quartzíticos aonde surgem os micaxistos, mármores e intrusões leucograníticas.

A Geologia Regional está detalhada no relatório da Etapa A2: **“Estudos Básicos e Concepção Geral do Projeto da Barragem Germinal” - Volume I – Tomo 4 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.**

3.2.3 GEOLOGIA LOCAL

A constituição geológica do local do barramento escolhido para a implantação da Barragem Germinal apresenta um conjunto de segmentos cristalinos, com idades pálido a neoproterozóicas ainda muito mal definidas tanto do ponto de vista cartográfico, quanto pela caracterização litoquímica, geocronológica e de ambiência tectônica.

Do ponto de vista estrutural, a rocha predominante, cristalina, apresenta excelente suporte para estruturas do tipo do barramento sugerido.

As tensões requeridas pela barragem, sua carga hidráulica estão bem aquém daquelas oferecidas pelo manto lítico, quando devidamente são.

A Geologia Regional está detalhada no relatório da Etapa A2: **“Estudos Básicos e Concepção Geral do Projeto da Barragem Germinal” - Volume I – Tomo 4 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.**

3.3 ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Os estudos geotécnicos realizados compreenderam um total de 08 sondagens percussivas (SP), 27 sondagens mistas (percussivas/ rotativas- SR), 20 ensaios de perda d’água e também ensaios de granulometria e coleta de amostra para os estudos das jazidas (areal e pedreira).

3.3.1 1ª CAMPANHA DE SONDAgens

Na Primeira campanha de sondagens o programa de estudos geotécnicos para a definição da fundação da Barragem Germinal constou de:

- a) 08 sondagens do tipo percussivas, ditas SP;
- b) 18 sondagens mistas (percussivas/rotativas), ditas SR.
- c) 20 (vinte) ensaios de perda d’água nos furos.

As sondagens foram distribuídas por sobre a área de influência da estrutura a ser construída, de modo a se ter uma perfeita identificação da estrutura geotécnica da base da barragem.

As sondagens rotativas foram importantes para a comprovação do que se encontraria em pontos não alcançados pelas sondagens percussivas, em que os níveis de penetração da sonda apresentam em termos, uma coerência com os furos rotativos realizados.

As sondagens rotativas revelaram uma coerência entre os pacotes de gnaiss alterado e fraturado, encontrado em ambas as margens do boqueirão estudado.

A rocha são encontrada no leito do rio, em que poderia se supor uma lixiviação do material alterado e encontrado nas ombreiras, necessita de maiores detalhes face ao resultado dos ensaios de perda d’água verificado nas sondagens no leito do rio.

Os resultados dos ensaios de perda d’água não denotam grandes perdas, carecendo-se, contudo de maiores identificações para se levantar a razão para

que em horizontes em que houve a recuperação da rocha a níveis tomados como bons a excelentes, ainda assim, as perdas se revelaram acima do esperado.

Um levantamento total dos resultados oriundos dos estudos geotécnicos desenvolvidos e analisado indica que a barragem poderá ser implantada no boqueirão escolhido.

As sondagens relativas à primeira campanha de sondagens e os ensaios de perda d'água estão detalhadas no relatório da Etapa A2: **“Estudos Básicos e Concepção Geral do Projeto da Barragem Germinal” - Volume I – Tomo 4 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.**

3.3.2 JAZIDAS

Foram estudadas 3 locais de jazidas, sendo duas de areal e uma de pedreira. Para o areal foram feitas análises de granulometria e classificação expedita. Já para a pedreira foram coletadas amostras para determinação do desgaste “Los Angeles”. A localização de cada jazida, assim como, os resultados dos estudos estão apresentados **na Etapa A2 – Volume I – Tomo 4.**

3.3.3 2ª CAMPANHA DE SONDAgens

As sondagens realizadas numa primeira etapa, dentro do planejamento apresentado à SEINFRA apresentaram resultados em que a rocha se apresentou, de um modo geral, bastante fraturada, com baixos índices de recuperação, conforme Relatório já apresentado.

Por recomendação da Fiscalização da SEINFRA foi programada uma segunda etapa de sondagens, cujos boletins e devida análise é objeto deste tópico.

A segunda Campanha de Sondagem constou de:

2ª Campanha de Sondagens:

- a) 09 novas sondagens rotativas, ditas SR;
- b) 03 aprofundamentos de sondagens rotativas;

Os boletins das sondagens complementares são apresentados em anexo.

3.3.3.1 SONDAGENS COMPLEMENTARES:

Sondagem SR-A:

Situada a 20,00 m a montante do eixo da barragem projetada, no alinhamento da Est. 1+10, atingiu o nível -10,17 m.

O perfil sondado se apresenta com rocha muito fraturada, com recuperação abaixo dos 10% até o nível -8,67m, quando então apresenta recuperação de até 67% denotando um gnaisse pouco alterado, mas, ainda, com vestígios de intemperismo, traduzido pela coloração dos agregados finos encontrados.

Sondagem SR-B

Situado no eixo do barramento, na Est. 1+10. Sondado até -10,00 m.

A rocha se apresenta com baixa recuperação até os -8,00 m, quando então oferece melhores qualidades demonstradas pelos testemunhos obtidos de um gnaisse pouco alterado.

Sondagem SR-C

Situada a 20,00 a jusante do eixo do barramento, no alinhamento da transversal ao eixo, na Est. 1+0, sondagem até -16,40 m.

A rocha se apresenta extremamente fraturada, sem recuperação até os -8,00 m.

O gnaisse descrito entre as cotas -8,00 m e -16,50 m é tido como pouco alterado, contudo muito fraturado em condições de não fornecer recuperação superior a 20%.

Sondagem SR-D

Sondagem situada a 20,00 m a jusante do eixo da barragem, alinhada com a Est. 2+10. Sondagem realizada até -7,00 m.

A partir da cota -4,00 m a rocha se apresenta como medianamente fraturada, com boa recuperação, superior a 60%.

Sondagem SR-E

Situada sobre o eixo do barramento, na Est. 2+10. A sondagem se aprofundou até a cota 7,37 m.

Apresentou boa recuperação a partir da cota -4,00 m. O gnaisse se apresenta como pouco alterado, contudo fraturado, apesar da recuperação atingir mais que 50%. A real qualidade do gnaisse só seria possível com indicações do RQD da rocha, embora, no caso da fundação da barragem, o melhor indicativo para a definição do horizonte final seja a abertura da cava da fundação com a visualização da rocha e os ensaios de perda d'água durante a etapa de consolidação da rocha.

Sondagem SR-F

Sondagem situada a 20,00 a montante do eixo pela Est. 2+10. Profundidade atingida: -8,63 m.

A rocha apresenta boa recuperação a partir de -3,00 m, com índice superior a 50%. Como na sondagem anterior, o gnaisse está pouco alterado, ainda assim, muito fraturado.

Sondagem SR-G

Situada a 20,00 m a jusante do eixo da barragem, Está sobre uma transversal ao eixo na Est. 4+10. Atingiu a profundidade de -5,00 m.

O perfil apresenta uma rocha do tipo gnaisse, com recuperação aceitável, superior a 85%, a partir da cota -3,00 m. O gnaisse está pouco alterado com vestígios de intemperização.

Sondagem SR-H

Situada sobre o eixo da barragem na Est. 4+10. A sondagem atingiu a cota -14,15 m.

Do modo discordante, mas não anormal pela aleatoriedade como costuma se apresentar a rocha em boqueirões do tipo em “V” como o estudado, a rocha não ofereceu recuperação. As recuperações, poucas, não ultrapassam os 15%.

Tudo leva a indicar uma zona de movimentação intensa sob o aspecto geológico, pressupondo-se a formação de um “talus” que deve merecer a devida atenção quando da construção da fundação da barragem.

Com uma carga hidráulica de cerca de 13,00 m, um tratamento devido corrigirá a pouca resistência atual, oferecida pelo material de fundação existente.

Sondagem SR-I

Está situada a 20,00 m a montante da Est. 4+10, do eixo do barramento. Executada até -3,00 m de profundidade.

O gnaiss oferece boa recuperação, superior a 70%, a partir de -0,65 m.

Sondagem SR-J

Executada a 20,00 m a jusante do eixo do barramento, à altura da Est. 3+0. Aprofundada até -9,00m

Sem qualquer recuperação até -6,00 m. A partir desta cota a rocha oferece uma recuperação de cerca de 70%. O gnaiss pouco alterado, medianamente fraturado oferece boas condições para a fundação da barragem.

Sondagem SR- K

Situada a 20,00 m a montante da Est. 3+0, efetuada até -6,00m

Apresenta um nível de boa resistência entre as cotas -2,00 m e -3,00m. Abaixo, a recuperação diminui dos 70% encontrados na faixa superior, caindo para 15% de recuperação. O gnaiss muito fraturado deve estar bastante intemperizado, denotado pelo sedimento de coloração cinza,

Sondagem L:

Está locada na Est. 3+0,00, mesma situação da sondagem SR-11.

Atingiu o nível -5,00 m, com uma passagem com recuperação acima dos 60% entre os níveis 1,50 e 3,00, quando foi detetado um gnaiss muito fraturado, o que é uma incongruência! Deve tratar-se de um gnaiss fraturado com amostras

de rocha bem identificadas. E a prova é que a seguir, após os 3,50 m a recuperação torna-se muito pequena.

3.3.4 ANÁLISE DAS SONDAGENS DAS DUAS CAMPANHAS

Com base nas sondagens efetuadas nas duas etapas executadas na área a fundação da Barragem Germinal, procura-se traduzir um comportamento que se identifique como similar, entre as sondagens próximas, de modo a verificar a confiabilidade dos serviços de geotecnia realizados.

➤ **SR-13 e SR-B**

SR-13: Sondagem situada à cota 350,00 da ombreira esquerda. Estaca 1,00+0,00.

O pacote lítico intemperizado se repete nesta seção, apresentando recuperação a partir de -4,00.

As observações feitas para a sondagem SR-12 devem prevalecer nesta Estaca.

SR-B: Situado no eixo do barramento, na Est. 1+10. Sondado até -10,00 m.

A rocha se apresenta com baixa recuperação até os -8,00 m, quando então oferece melhores qualidades demonstradas pelos testemunhos obtidos de um gnaisse pouco alterado.

Análise: As duas sondagens, próximas, apresentam os mesmos resultados, com a rocha apresentando recuperação a partir da cota -4,00 m, com uma variação de cotas dos perfis, entre as duas sondagens, de cerca de 2,50 m. É perfeitamente aceitável esta variação numa fundação em que a rocha se apresenta pouco alterada, mas bastante fraturada, como é o caso do gnaisse estudado.

➤ **SR-02 e SR-D**

SR-02: Sondagem localizada na Estaca 3+0,00, a jusante do eixo da barragem e à margem esquerda do rio.

Nesta sondagem, observa-se uma camada de gnaisse alterada, encimada por siltes pouco argilosos, conseqüência do intemperismo do mesmo gnaisse.

Há que se prever, inicialmente escavações, na área da fundação da barragem, a profundidades de até 6,00 m, pelo menos. A sondagem SR-11 a ser comentada, confirma a existência dessa camada intemperizada de cerca de 5,00 m de espessura. Pode indicar a presença de um “talus” a ser examinado quando das escavações, quando deverão ser emitidas instruções técnicas para se conciliar as condições locais a um tratamento adequado, de modo a se dar a devida solução à área estudada.

SR-D: Sondagem situada a 20,00 m a jusante do eixo da barragem, alinhada com a Est. 2+10. Sondagem realizada até -7,00 m.

A partir da cota -4,00 m a rocha se apresenta como medianamente fraturada, com boa recuperação, superior a 60%.

Análise: É notável a semelhança entre os dois perfis. A recuperação se inicia em torno da cota -4,00 m, apresentando o mesmo índice de recuperação, em torno de 40%.

➤ **SR-12 e SR-E**

SR-12: Sondagem na Estaca 2,00+0,00, situada na ombreira esquerda, afastada do leito do rio em cerca de 40,00 m, na cota 340,00.

Como nas sondagens SR-2, SR-11 e SR-16, a fundação se apresenta com competência a partir dos 5,00 m abaixo do terreno natural.

Os limites das escavações só deverão ser definidos, após estas concluídas, com ensaios de perda d água a fim de se verificar o grau de tratamento a ser adotado, bem como as caldas a serem injetadas, e as devidas pressões de injeção, compatíveis, estas, com a estrutura na área, bem como com o grau de intemperismo do gnaisse a ser encontrado e devidamente analisado.

SR-E: Situada sobre o eixo do barramento, na Est. 2+10. A sondagem se aprofundou até a cota 7,37 m.

Apresentou boa recuperação a partir da cota -4,00 m. O gnaisse se apresenta como pouco alterado, contudo fraturado, apesar da recuperação atingir mais que 50%. A real qualidade do gnaisse só seria possível com indicações do RQD da rocha, embora, no caso da fundação da barragem, o melhor indicativo para a

definição do horizonte final seja a abertura da cava da fundação com a visualização da rocha e os ensaios de perda d'água durante a etapa de consolidação da rocha.

Análise: Existe bastante semelhança entre as duas sondagens. Os perfis apresentam um mesmo comportamento, inclusive em níveis de recuperação oferecendo maiores detalhes de variação na sondagem SR-12. Quanto a comportamento geotécnico para fins de tratamento da fundação, podem ser equivalentes.

➤ **SR-17 e SR-F**

SR-17: Sondagem situada a 20,00 m a montante do eixo da barragem, correspondente à Estaca 3,00+10,00, à cota 329,50.

Como na sondagem SR-10, a rocha se apresenta competente, a partir de -4,00m, não se constituindo problema para a fundação do barramento.

SR-F: Sondagem situada a 20,00 a montante do eixo pela Est. 2+10. Profundidade atingida: -8,53 m.

A rocha apresenta boa recuperação a partir de -3,00 m, com índice superior a 50%. Como na sondagem anterior, o gnaissé está pouco alterado, ainda assim, muito fraturado.

Análise: Os níveis de recuperação do gnaissé se apresentam com diferenças normais para alterações aleatórias do comportamento geotécnico, com variação de cerca de 1,00m.

As características do gnaissé são as mesmas, isto é: pouco alterado, muito fraturado, mas, com recuperações idênticas superiores a 50%.

➤ **SR-9 e SR-H**

SR-9: A perda d'água observada nesta sondagem era esperada face ao perfil geotécnico observado.

A absorção final, mantendo-se constante, após a redução da carga efetiva, nos dois horizontes ensaiados, indica que o material constituído de gnaissé alterado e

fraturado foi lavado pela água, mantendo-se a mesma permeabilidade, mesmo à cargas menores.

A permeabilidade medida, em cerca de 10^{-6} m/s está adequada para o que se pode tomar como um saprolito decorrente das ações físicas e químicas impostas ao gnaisse da fundação.

O resultado, no seu todo, no ponto, indica que com um tratamento adequado e com caldas de cimento apropriadas, facilmente se obterá a impermeabilização desejada para a área.

SR-H: Situada sobre o eixo da barragem na Est. 4+10. A sondagem atingiu a cota -14,79 m.

De modo discordante, mas não anormal pela aleatoriedade como costuma se apresentar a rocha em boqueirões do tipo em “V” como o estudado, a rocha não ofereceu recuperação. As recuperações, poucas, não ultrapassam os 15%.

Tudo leva a indicar uma zona de movimentação intensa sob o aspecto geológico, pressupondo-se a formação de um “talus” que deve merecer a devida atenção quando da construção da fundação da barragem.

Com uma carga hidráulica de cerca de 13,00 m, um tratamento devido corrigirá a pouca resistência atual, oferecida pelo material de fundação existente.

Análise: A duas sondagens se apresentam como zona de permeabilidade a ser controlada pelo tratamento da fundação. O perfil encontrado para a recuperação da rocha se repete de modo idêntico denotando a confirmação dos resultados da primeira campanha geotécnica.

Sondagem SR-2 e SR-J

SR-2: Sondagem localizada jusante do eixo da barragem no mesmo alinhamento da Estaca 3, à margem esquerda do rio.

Nesta sondagem, observa-se uma camada de gnaisse alterada, encimada por siltes pouco argilosos, conseqüência do intemperismo do mesmo gnaisse.

Há que se prever, inicialmente escavações, na área da fundação da barragem, a profundidades de até 6,00 m, pelo menos. A sondagem SR-11 a ser comentada, confirma a existência dessa camada intemperizada de cerca de 5,00 m de espessura. Pode indicar a presença de um “talus” a ser examinado quando das escavações, quando deverão ser emitidas instruções técnicas para se conciliar as condições locais a um tratamento adequado, de modo a se dar a devida solução à área estudada.

SR-J: Executada a 20,00 m a jusante do eixo do barramento, à altura da Est. 3+0, no local da SR-2, aprofundada até -9,00m.

Sem qualquer recuperação até -6,00 m. A partir desta cota a rocha oferece uma recuperação de cerca de 70%. O gnaisse pouco alterado, medianamente fraturado oferece boas condições para a fundação da barragem.

Análise: O perfil torna-se mais apurado quando da sondagem da segunda etapa. Aqui a recuperação aparece, embora com pouca monta. Ainda assim, a escavação no local não divergerà quando do plano de escavação da fundação.

Sondagem SR-16 e SR-K

SR-16: Sondagem situada a 20,00 m para montante do eixo estudado. Está na cota 332,50.

Esta sondagem se reveste de importância quando se analisa o perfil da sondagem SR-11. Aqui, como na sondagem citada, a rocha se apresenta com intenso fraturamento e intemperismo, os mesmos já verificados.

A sua importância está no fato de se tomar os ensaios realizados como coerentes e em conseqüência, como importantes para a definição das escavações da fundação da barragem e do tratamento a ser reafirmado quando do desenvolvimento do Gerenciamento da Obra.

Sondagem SR- K

Situada a 20,00 m a montante da Est. 3+0, efetuada até -6,00m. Mesmo local da sondagem SR-16, com aprofundamento do furo.

Apresenta um nível de boa resistência entre as cotas -2,00 m e -3,00m. Abaixo, a recuperação diminui dos 70% encontrados na faixa superior, caindo a recuperação. O gnaisse muito fraturado deve estar bastante intemperizado, denotado pelo sedimento de coloração cinza,

Análise: A qualidade do material encontrado nas amostras não diverge, embora as recuperações se apresentem de melhor qualidade na sondagem da segunda etapa. Ainda assim o gnaisse é muito fraturado, podendo a maior recuperação ser decorrente da coleta de maiores blocos do gnaisse. É importante notar que somente as escavações irão definir os níveis mínimos exigíveis para a fundação da barragem. Até mesmo bons RQD não são elementos que definam tais níveis de escavação.

Sondagem SR-11 e SR-L

SR-11- Sondagem na Estaca 3,00+0,00, a cerca de 20,00 do rio, na cota 332,50.

A partir de -5,00 m, a rocha já possui as características geotécnicas para as condições de carga da barragem.

Não apresenta maiores problemas para fundação da estrutura.

Sondagem L:

Está locada na Est. 3+0,00, mesma situação da sondagem SR-11.

Atingiu o nível -5,00 m, com uma passagem com recuperação acima dos 60% entre os níveis 1,50 e 3,00, quando foi detetado um gnaisse são, muito fraturado, o que se torna uma incongruência! Deve tratar-se de um gnaisse fraturado com amostras de rocha bem identificadas. E a prova é que a seguir, após os 3,50 m a recuperação torna-se muito pequena.

Análise: O que se apresenta na sondagem da segunda etapa, SR-L como boa recuperação a -2,00 m já se concluiria a partir da sondagem da primeira etapa

SR-11 que se trata de uma resistência falsa, perfeitamente concluível na SR-11 quando as fraturas do gnaissé possam ter interferido numa falsa recuperação.

De qualquer modo, as duas sondagens não modificarão o critério adotado para a escavação da fundação.

3.3.5 CONCLUSÕES:

Os estudos geotécnicos desenvolvidos na área da fundação da barragem Germinal podem ser considerados de alta credibilidade.

A coincidência dos perfis realizados apresenta grande semelhança quando comparados em relação à proximidade de suas localizações.

O tipo de rocha é o mesmo para toda a área.

O tratamento adequado para a fundação, escavados a níveis considerados normais para o tipo de barramento, resultará em permeabilização adequada à estrutura.

Os níveis de tratamento profundo, a localização adequada dos furos de consolidação, a interpretação correta dos ensaios de perda d'água para se adotar as caldas corretas para o tratamento, injeções de contacto, tudo isto aliado a uma rede de drenagem do maciço e da fundação darão as devidas condições para a construção do barramento com a devida segurança.

3.4 ESTUDOS HIDROLÓGICOS FINAIS

No Volume I – Tomo 3 : Estudos Hidrológicos da Etapa A2 “**Estudos Básicos e Concepção Geral do Projeto da Barragem Germinal**” da Fase A, apresentou-se o estudo hidrológico da Barragem Germinal considerando a aerofotogrametria fornecida pelo IDACE (Instituto de Desenvolvimento Agrário do Ceará).

Realizou-se o levantamento planialtimétrico da bacia hidráulica da Barragem Germinal por topografia convencional. Devido a este fato apresenta-se a seguir a hidrologia final da Barragem Germinal, do município de Palmácia no estado do Ceará.

3.4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

As principais características da bacia hidrográfica do Rio Pacoti até o local do barramento estão mostradas a seguir:

Área da bacia hidrográfica: 94,00 km²

Perímetro da bacia hidrográfica: 46,00 km

Serão descritos a seguir os elementos físicos que apresentam importância na formação do regime de escoamento das águas superficiais .

3.4.1.1 ÍNDICE DE FORMA DA BACIA

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

Existem vários índices utilizados para determinar a forma das bacias e no presente estudo serão calculados o Coeficiente de Compacidade ou Índice de Gravelius e o Fator de Forma .

3.4.1.1.1 Coeficiente de Compacidade (K_c)

O coeficiente de compacidade K_c , é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a da bacia.

$$K_c = \frac{P}{2\pi r}$$

Sendo :

$$r = \left(\frac{A}{\pi} \right)^{1/2}$$

Para : $A = 94,00 \text{ Km}^2$ e $P = 46,00 \text{ Km}$, tem-se :

$$r = \left(\frac{94,00}{\pi} \right)^{1/2} = 5,47 \text{ km}$$

$$K_c = \frac{46,00}{2\pi \times 5,47} = 1,34$$

3.4.1.1.2 Fator de Forma (Kf)

O fator de forma (Kf) é a relação entre a largura média (L) da bacia e o comprimento do seu talvegue principal (Lt) .

$$K_f = \frac{L}{L_t}$$

Sendo:

$$L = \frac{A}{L_t}, \text{ tem-se:}$$

$$K_f = \frac{A}{L_t^2}$$

Sendo $A = 94,00 \text{ Km}^2$ e $L_t = 23,00 \text{ km}$,tem-se :

$$K_f = \frac{94,00}{23,00^2} = 0,18$$

Como K_c é um valor não próximo de 1, o que significa uma bacia não circular e K_f é um valor baixo, podemos concluir que a bacia é pouco sujeita a incidência de grandes cheias.

3.4.2 ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

Os estudos pluviométricos, na Bacia do Rio Pacoti, visam basicamente:

- A caracterização do regime pluviométrico a níveis anual e mensal, bem como o estudo das chuvas intensas que será visto isoladamente adiante;
- Determinação dos elementos necessários aos estudos subsequentes de deflúvios e cheias.

Foi pesquisado o seguinte posto para a bacia do Rio Pacoti, na Barragem Germinal, conforme a Tabela 1 a seguir:

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DA REDE PLUVIOMÉTRICA

| POSTOS PLUVIOMÉTRICOS | MUNICÍPIO | CÓD. IDENTIF. | LAT. | LONG | ALT. | PLUVIOM. MÉDIA (mm) |
|-----------------------|-------------|---------------|--------|--------|------|---------------------|
| Posto Pacoti | Pacoti - CE | 438036 | 09°13' | 38°55' | 800m | 1.437,66 mm |

O posto observado está localizado próximo ao sítio do barramento e apresenta uma precipitação média anual sobre a bacia da ordem de 1.437,66mm.

3.4.3 ESTUDOS DAS CHUVAS INTENSAS

O estudo do regime de precipitações intensas tem como objetivo principal fornecer elementos para o cálculo da cheia de projeto a ser utilizado no dimensionamento do vertedouro.

Um ponto analisado diz respeito à duração do episódio de cheia a adotar no dimensionamento do sangradouro. As chuvas de menor duração devem apresentar maior intensidade, entretanto, se essas chuvas ocorrem isoladamente em uma condição em que a superfície do solo não está saturada, o coeficiente de escoamento da bacia é mais baixo, e, portanto, a vazão gerada não obrigatoriamente será a crítica.

Por outro lado, a ocorrência de um trem de precipitações distribuído em uma condição crítica, com respeito à formação de vazão, na maioria dos casos, provoca a condição de

máxima sangria no vertedouro. O efeito maior da primeira chuva é o de saturar o solo provocando um maior coeficiente de escoamento superficial da bacia quando da ocorrência do segundo episódio de chuva.

Dessa maneira, optou-se por fazer um estudo de precipitação intensa de duração igual ao tempo de concentração da bacia, objetivando determinar as condições críticas.

3.4.3.1 METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia empregada na determinação das precipitações intensas foi a das ISOZONAS, desenvolvida pelo Prof. Torga Torrico. Essa metodologia consiste, basicamente, em utilizar estudos estatísticos de uma série de chuvas diárias para, através de um processo de desagregação e regionalização, estimar as precipitações de menores durações (1h, 6min, etc.).

Os cálculos foram efetuados obedecendo a seguinte seqüência:

- Seleção do posto pluviométrico;
- Compilação dos dados de máximas chuvas diárias;
- Estudo probabilístico das precipitações diárias;
- Conversão da chuva pontual para a chuva em toda a bacia.
- Cálculo da chuva virtual de 24 horas de duração (P24h);
- Determinação da ISOZONA correspondente à região do projeto;
- Determinação da chuva pontual de 1 hora de duração para os períodos de retorno de 100, 500, 1.000 e 10.000 anos.

A seguir, os dados e os resultados da aplicação dessa metodologia:

3.4.3.2 DADOS

Para o estudo das chuvas intensas na região do projeto, foram utilizados os dados de chuvas diárias máximas anuais para o Posto Pluviométrico Pacoti, número 438036,

instalado em 1914, cujas coordenadas geográficas são latitude 09°13'S e longitude 38°55'W. É um posto que conta com 67 anos de observação, entre 1914 e 2008, conforme tabela a seguir 2.

Os dados foram obtidos junto a Agência Nacional de Águas, através da internet (www.ana.gov.com.br) sendo o posto selecionado como representativo da bacia, cuja série está apresentada na tabela 2 a seguir.

TABELA 2 - CHUVAS DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS - POSTO PACOTI (CÓD: 438036)

| ANO | PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS |
|------|-------------------------------|
| 1914 | 43,50 |
| 1915 | 30,60 |
| 1916 | 80,20 |
| 1917 | 72,60 |
| 1918 | 79,10 |
| 1919 | 43,70 |
| 1920 | 92,30 |
| 1921 | 75,30 |
| 1922 | 48,50 |
| 1923 | 59,00 |
| 1924 | 87,40 |
| 1925 | 65,80 |
| 1926 | 62,80 |
| 1927 | 72,00 |
| 1928 | 56,50 |
| 1929 | 79,10 |
| 1930 | 51,00 |
| 1939 | 84,00 |
| 1940 | 89,00 |
| 1941 | 85,10 |
| 1942 | 78,00 |
| 1943 | 68,00 |
| 1944 | 80,20 |
| 1946 | 129,00 |
| 1963 | 41,60 |
| 1965 | 67,20 |

| ANO | PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS |
|------|-------------------------------|
| 1966 | 69,80 |
| 1968 | 64,80 |
| 1969 | 75,60 |
| 1970 | 66,40 |
| 1971 | 58,60 |
| 1972 | 37,00 |
| 1973 | 85,30 |
| 1974 | 90,00 |
| 1975 | 69,00 |
| 1976 | 62,20 |
| 1977 | 98,00 |
| 1978 | 68,00 |
| 1979 | 49,00 |
| 1980 | 133,00 |
| 1981 | 65,00 |
| 1982 | 56,00 |
| 1983 | 61,00 |
| 1984 | 75,00 |
| 1985 | 81,00 |
| 1986 | 76,00 |
| 1987 | 91,00 |
| 1988 | 213,00 |
| 1989 | 148,10 |
| 1990 | 41,00 |
| 1991 | 65,50 |
| 1992 | 50,00 |
| 1993 | 81,00 |
| 1995 | 81,70 |
| 1996 | 69,00 |
| 1997 | 46,00 |
| 1998 | 71,00 |
| 1999 | 142,00 |
| 2000 | 89,00 |
| 2001 | 98,00 |
| 2002 | 75,00 |
| 2003 | 75,00 |
| 2004 | 60,00 |

| ANO | PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS |
|-------------------------|-------------------------------|
| 2005 | 72,00 |
| 2006 | 71,00 |
| 2007 | 53,00 |
| 2008 | 61,00 |
| Média: | 74,86 |
| Desvio Padrão: | 28,21 |
| Número de Dados: | 67 |

3.4.3.3 AJUSTES DAS PRECIPITAÇÕES

Para o ajuste das precipitações máximas diárias anuais foi utilizada a lei de distribuição Tipo I de Fisher-Tippet, conhecida também como distribuição de Gumbel.

Os parâmetros estatísticos constam nas tabelas 3 e 4, a seguir:

TABELA 3 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS: VARIÁVEL REDUZIDA (Y), PROBABILIDADES (P) E PERÍODO DE RETORNO (TR)

| PERÍODO DE RETORNO (TR) | PROBABILIDADE $(1 - P) = \frac{1}{T_r}$ | PROBABILIDADE (P) | VARIÁVEL REDUZIDA (Y) |
|-------------------------|---|-------------------|-----------------------|
| 100 | 0,01 | 0,99 | 4,600 |
| 500 | 0,002 | 0,998 | 6,214 |
| 1.000 | 0,001 | 0,999 | 6,907 |
| 10.000 | 0,0001 | 0,9999 | 9,210 |

TABELA 4 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS: MÉDIA DA VARIÁVEL REDUZIDA (\bar{y}_n) E DESVIO PADRÃO (S_N) EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE DADOS (N)

| NÚMERO DE DADOS (N) | MÉDIA DA VARIÁVEL REDUZIDA (\bar{y}_n) | DESVIO PADRÃO DA VARIÁVEL REDUZIDA (S_N) |
|---------------------|--|--|
| 20 | 0,52 | 1,06 |

| | | |
|----------|------|------|
| 30 | 0,54 | 1,11 |
| 40 | 0,54 | 1,14 |
| 50 | 0,55 | 1,16 |
| 60 | 0,55 | 1,17 |
| 70 | 0,55 | 1,19 |
| 80 | 0,56 | 1,19 |
| 90 | 0,56 | 1,20 |
| 100 | 0,56 | 1,21 |
| 150 | 0,56 | 1,23 |
| 200 | 0,57 | 1,24 |
| ∞ | 0,57 | 1,28 |

Para $n = 67$; $\bar{y}_n = 0,55$; $S_n = 1,84$

Os ajustes das precipitações de períodos de retorno de 100, 500, 1.000 e 10.000 anos, foram calculados através da expressão:

$$Y = \left(\frac{S_n}{S_x} \right) (X - X_f), \text{ onde:}$$

Y = Variável reduzida;

S_n = Desvio padrão da variável reduzida, em função do número de dados;

S_x = Desvio Padrão da amostra;

X = Valor da precipitação ajustada;

X_f = Moda dos valores extremos, dados por:

$$X_f = \bar{X} - S_x \left(\frac{\bar{y}_n}{S_n} \right), \text{ sendo:}$$

\bar{y}_n = média da variável reduzida, em função do número de dados (n).

Assim, sendo dados:

- Média da amostra (\bar{x}): 74,86mm
- Desvio padrão da amostra (S_x): 28,21mm
- Número de dados da amostra (n): 67
- Média da variável reduzida (\bar{y}_n): 0,55
- Desvio padrão da variável reduzida (S_n): 1,184.

A Média dos Valores Extremos (X_f) será: 61,75.

Foi feita a análise estatística da série de precipitações máximas diárias para o Posto Pacoti, apresentada na tabela 5, a seguir:

TABELA 5 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA SÉRIE DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS (POSTO PACOTI)

| PERÍODO DE RETORNO (T_R) | PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA (mm) |
|---------------------------------|------------------------------------|
| 100 | 171,36 |
| 500 | 209,82 |
| 1.000 | 226,33 |
| 10.000 | 281,21 |

3.4.3.4 CHUVA DE PROJETO

Para se obter a chuva de projeto, reduziu-se o valor pontual para conhecer a precipitação sobre a bacia.

Para isto utilizou-se a equação a seguir, que relaciona um fator de precipitação à área da bacia.

$$P_a = P_o (1 - W \log A/A_o) , \text{ onde :}$$

P_a = Precipitação média sobre a bacia;

P_o = Precipitação no centro de gravidade da bacia;

W = Coeficiente regional, tomada igual 0,22;

A = Área de toda bacia hidrográfica, em km^2 ;

A_o = Área base na qual $P_a = P_o$;

Dados:

$W = 0,22$

$A = 94,00 \text{ km}^2$;

$A_o = 25,00 \text{ km}^2$;

Tem-se:
$$\frac{P_a}{P_o} = 1 - W \text{Log} \left(\frac{A}{A_o} \right)$$

$P_a / P_o = 0,87$

No caso em estudo, o fator de conversão encontrado foi de 0,87.

Os resultados estão apresentados na tabela 6 a seguir:

TABELA 6 - CONVERSÃO DA CHUVA PONTUAL EM CHUVA DISTRIBUÍDA NA BACIA HIDROGRÁFICA

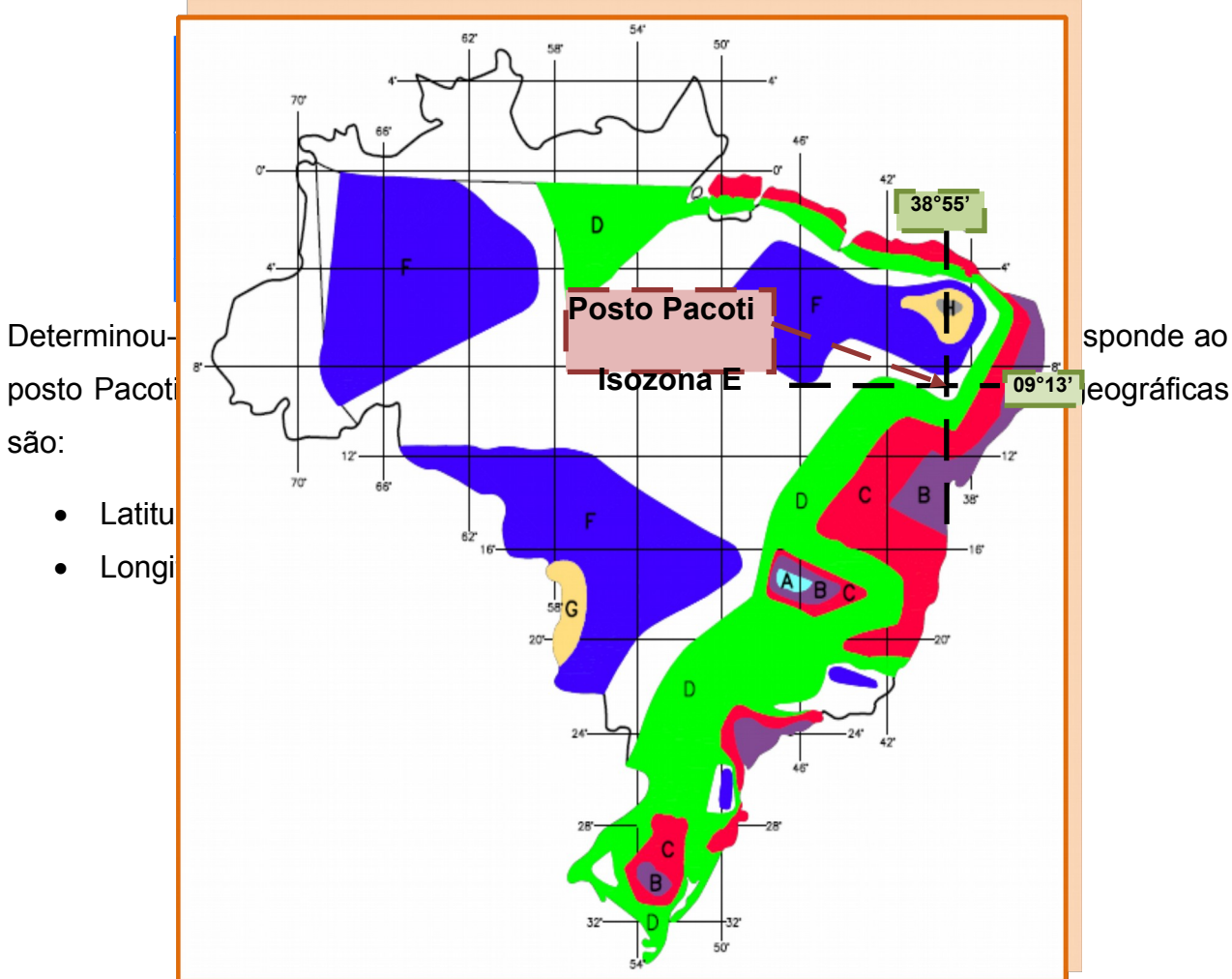
| PERÍODO DE RETORNO (TR) | CHUVA DISTRIBUÍDA NA BACIA (P_a) |
|----------------------------|---|
| 100 | 149,68 |
| 500 | 183,27 |
| 1.000 | 197,69 |
| 10.000 | 245,62 |

3.4.3.5 CÁLCULO DA CHUVA VIRTUAL DE 24 HORAS DE DURAÇÃO (P24H)

Conhecidos os valores de chuva reduzida para 1 dia de duração, para períodos de retorno de 100, 500, 1.000 e 10.000 anos (tabela 6), aplicou-se à metodologia das isozonas, descrita a seguir:

Converteram-se as chuvas de um dia em chuvas virtuais de 24 horas de duração (P24h), multiplicando-se as precipitações diárias pelo fator 1,10, que correlaciona às precipitações nas estações pluviométricas com as isozonas, conforme tabela 7:

TABELA 7 - CHUVA REAL DE 1 DIA PARA VIRTUAL DE 24 HORAS



Determinou-se o posto Pacoti em função das coordenadas geográficas:

- Latitudinal
- Longitudinal

Posto Pacoti responde ao posto Pacoti em função das coordenadas geográficas.

| | | TEMPO DE RECORRÊNCIA EM ANOS | | | | | | | | | | | |
|------|--|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------------------|------|
| ZONA | | 1 HORA /24 HORAS CHUVA | | | | | | | | | | 6min. /24h CHUVA | |
| | | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 50 | 100 | 1000 | 10000 | 5-80 | 100 |
| A | | 36.2 | 35.8 | 35.6 | 35.5 | 35.4 | 35.3 | 35.0 | 34.7 | 33.6 | 32.5 | 7.9 | 6.3 |
| B | | 38.1 | 37.8 | 37.5 | 37.4 | 37.3 | 37.2 | 36.9 | 36.6 | 35.4 | 34.3 | 8.4 | 7.5 |
| C | | 40.1 | 39.7 | 39.5 | 39.3 | 39.2 | 39.1 | 38.8 | 38.4 | 37.2 | 36.2 | 9.8 | 8.8 |
| D | | 42.0 | 41.6 | 41.4 | 41.2 | 41.1 | 41.0 | 40.7 | 40.3 | 39.0 | 37.8 | 11.2 | 10.0 |
| E | | 44.0 | 43.6 | 43.3 | 43.2 | 43.0 | 42.9 | 42.6 | 42.2 | 40.9 | 39.6 | 12.6 | 11.2 |
| F | | 46.0 | 45.5 | 45.3 | 45.1 | 49.9 | 44.8 | 44.5 | 44.1 | 42.7 | 41.3 | 13.9 | 12.4 |
| G | | 47.9 | 47.4 | 47.2 | 47.0 | 46.8 | 46.7 | 46.4 | 45.9 | 44.3 | 43.1 | 18.4 | 13.7 |
| H | | 49.9 | 49.4 | 49.1 | 48.9 | 48.6 | 46.6 | 46.3 | 47.8 | 46.3 | 44.8 | 18.7 | 14.9 |

Fonte: Desenvolvida pelo Prof. Taborga Torrico.

FIGURA 2 - ISOZONAS DO BRASIL

Conforme a figura 2, o posto Pacoti está localizado na isozona E.

Na tabela da figura 2, fixou-se, para a isozona de projeto e para os tempos de recorrência previstos, as percentagens para 1 hora.

A determinação das precipitações intensas pontuais de 1 hora de duração para os períodos de retorno de 100, 500, 1.000 e 10.000 anos foram obtidas multiplicando-se a

chuva de 24 horas (P24h) pela relação R, entre as chuvas de 24 horas e de 1 hora de duração.

Os valores de R foram extraídos da tabela da figura 2, correspondente a isozona E. Os valores obtidos constam na tabela 8, a seguir:

TABELA 8 - ALTURAS DE CHUVAS DE DURAÇÃO DE 1H (UMA HORA)

| PERÍODO DE RETORNO (TR) (ANOS) | VALORES DE R NA ISOZONA E | (P24H) VIRTUAL (mm) | (P1H) (mm) |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------|------------|
| 100 | 0,422 | 164,64 | 69,48 |
| 500 | 0,416 | 201,59 | 83,91 |
| 1.000 | 0,409 | 217,46 | 88,94 |
| 10.000 | 0,396 | 270,18 | 106,99 |

A determinação das precipitações intensas para durações entre 1 e 24 horas é obtida plotando-se em papel de probabilidades, os valores para 1 e 24 horas e ligando-os por uma reta.

Para qualquer tempo de duração contido entre 1 hora e 24 horas, lê-se a altura de chuva correspondente, conforme figura 3, a seguir:

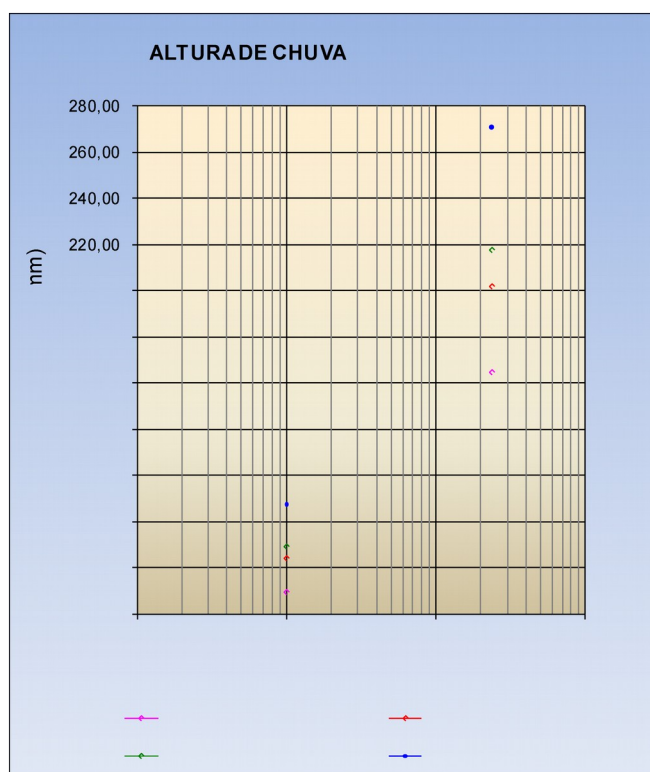


FIGURA 3 - ALTURA DE CHUVA X TEMPO DE DURAÇÃO

3.4.4 ESTUDOS DAS CHEIAS DE PROJETO

3.4.4.1 METODOLOGIA

O estudo da cheia de projeto é de fundamental importância para o dimensionamento do vertedouro de uma barragem, quanto ao aspecto econômico e de segurança. Em obras de porte, como as de grandes aproveitamentos hidroelétricos, em que o rompimento da barragem pode ocasionar uma verdadeira catástrofe, os vertedouros são dimensionados de forma que a probabilidade de ruína seja praticamente inexistente; nessa situação usa-se o critério da cheia máxima provável. Um critério alternativo, também usado em grandes barragens, é escolher uma cheia de período de retorno de 10.000 anos. No caso em que a ruptura da barragem não chega a ser catastrófica, é comum que se adote cheias de período de retorno variando de 100 a 1.000 anos, de acordo com o tamanho da obra. No presente estudo os cálculos foram feitos para as cheias de períodos de retorno de 100, 500, 1.000 e 10.000 anos.

A determinação das cheias neste projeto foi feita através do Método do Hidrograma Unitário Triangular (H U T) do Soil Conservation Service (S C S). Esse hidrograma foi determinado para uma precipitação unitária de um milímetro de altura, ocorrendo sobre toda a bacia durante uma duração igual a um quinto do tempo de concentração.

O excesso de precipitação para o cálculo do hidrograma total, foi calculado através do Método “Curve Number” do (S C S). As etapas do cálculo estão descritas a seguir.

3.4.4.2 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Foi estimado através da fórmula do “Califórnia Highways and Public Roads”.

$$T_c = 57 (L^3 / H)^{0,385} , \text{ onde :}$$

T_c = Tempo de concentração da bacia em minutos ;

L = Comprimento do talvegue em Km ;

H = Máximo desnível da bacia medido ao longo de L em m .

De acordo com Aerofotogrametria do local do Barramento, obteve-se :

$L = 23,00$ km e $H = 620,00$ m, logo:

$$T_c = 57 \times (23,0^3 / 620,0)^{0,385} = 179,31 \text{ min} \cong 3 \text{ horas}$$

3.4.4.3 HIDROGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR PARA DURAÇÃO $D = 1/5 T_c$

O Hidrograma Unitário Triangular (H U T) tem a forma mostrada na figura 4. O seu cálculo é feito como se segue:

t_r = duração do excesso de chuva

$$t_r = 1/5 T_c = (1/5) \times 3,0 = 0,60 \text{ horas}$$

t_p = tempo até a vazão de pico

$$t_p = 0,6T_c + 0,5t_r = 0,6 \times 3,0 + 0,5 \times 0,60 = 2,10 \text{ horas}$$

T_b = tempo de base do hidrograma

$$T_b = 2,67t_p = 2,67 \times 2,10 = 5,61 \text{ horas}$$

q_p = vazão de pico do HUT

$q_p = (2 \times P_e \times A_b) / T_b$, onde :

P_e =excesso de precipitação = 0,001 m

A_b = área da bacia hidrográfica = 94.000.000,00 m²

$q_p = (2 \times 0,001 \times 94.000.000) / (5,61 \times 3.600) = 9,31 \text{ m}^3 / \text{s}$

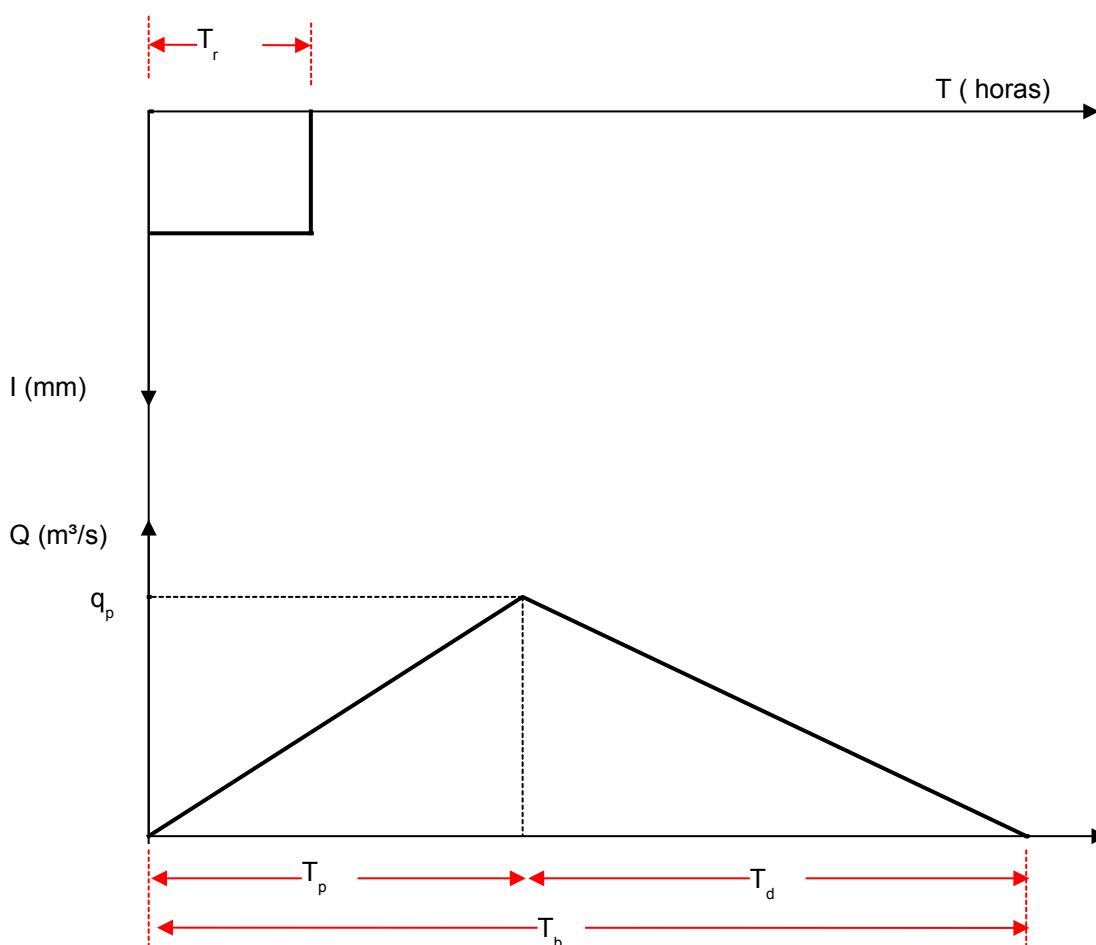


FIGURA 4 - DIAGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR

3.4.4.4 EXCESSO DE PRECIPITAÇÃO

O cálculo do excesso de precipitação foi feito através do método “Curve Number” do SCS. A fórmula utilizada foi a seguinte :

$$P_e = (P - 5.080 / N + 50,80)^2 / (P + 20.320 / N - 203,20) , \text{ onde :}$$

P_e = excesso de precipitação em mm

P = precipitação total em mm

$N = 70$ (número de deflúvio que define o complexo solo x vegetação, tabelado em Design of Small Dams).

A tabela 9 mostra os valores das precipitações totais na área para chuva de 3 horas de duração e diversos períodos de retorno (P_{3h}) e as precipitações efetivas (P_e) calculadas através da fórmula anterior .

TABELA 9 - PRECIPITAÇÕES TOTAIS (P_{3h}) E EFETIVAS (P_e) em mm

| TR (ANOS) | P_{3h} (mm) | P_e (mm) |
|--------------|------------------|---------------|
| 100 | 102,00 | 34,04 |
| 500 | 124,00 | 49,51 |
| 1.000 | 133,00 | 56,21 |
| 10.000 | 163,00 | 79,75 |

3.4.4.5 HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE

O hidrograma total afluente foi calculado em duas etapas:

a) Calculou-se o hidrograma para uma chuva de duração igual ao tempo de concentração da bacia e uma altura de chuva efetiva de 5 mm.

b) Calculou-se o hidrograma para as chuvas de períodos de retorno de 100, 500, 1.000 e 10.000 anos, multiplicando-se as ordenadas do hidrograma obtido na etapa anterior pela relação $P_e(T)/5$, onde $P_e(T)$ é a precipitação excedente correspondente ao período de retorno T .

Os valores obtidos constam na tabela 10, e estão plotados na figura 5:

TABELA 10 - HIDROGRAMAS DAS CHEIAS

| HIDROGRAMA DAS CHEIAS | | | | | |
|-----------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| TEMPO (HORAS) | HIDROGRAMA UNITÁRIO | TR=100anos | TR=500anos | TR=1000anos | TR=10000anos |
| | | (P _e =34,04mm) | (P _e =49,51mm) | (P _e =56,21mm) | (P _e =79,75mm) |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,50 | 2,22 | 15,10 | 21,96 | 24,93 | 35,37 |
| 1,00 | 6,21 | 42,27 | 61,48 | 69,81 | 99,04 |
| 1,50 | 11,97 | 81,53 | 118,57 | 134,63 | 191,01 |
| 2,00 | 19,51 | 132,86 | 193,23 | 219,40 | 311,28 |
| 2,50 | 25,99 | 176,96 | 257,37 | 292,22 | 414,60 |
| 3,00 | 31,41 | 213,82 | 310,99 | 353,10 | 500,97 |
| 3,50 | 33,99 | 231,38 | 336,52 | 382,09 | 542,11 |
| 4,00 | 33,73 | 229,63 | 333,97 | 379,20 | 538,00 |
| 4,50 | 30,63 | 208,56 | 303,33 | 344,41 | 488,64 |
| 5,00 | 23,99 | 163,36 | 237,59 | 269,77 | 382,74 |
| 5,50 | 17,36 | 118,16 | 171,85 | 195,12 | 276,83 |
| 6,00 | 11,76 | 80,06 | 116,44 | 132,21 | 187,58 |
| 6,50 | 7,23 | 49,20 | 71,55 | 81,24 | 115,27 |
| 7,00 | 3,76 | 25,57 | 37,18 | 42,22 | 59,90 |
| 7,50 | 1,35 | 9,17 | 13,33 | 15,14 | 21,48 |
| 8,00 | 0,02 | 0,13 | 0,18 | 0,21 | 0,30 |
| 8,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

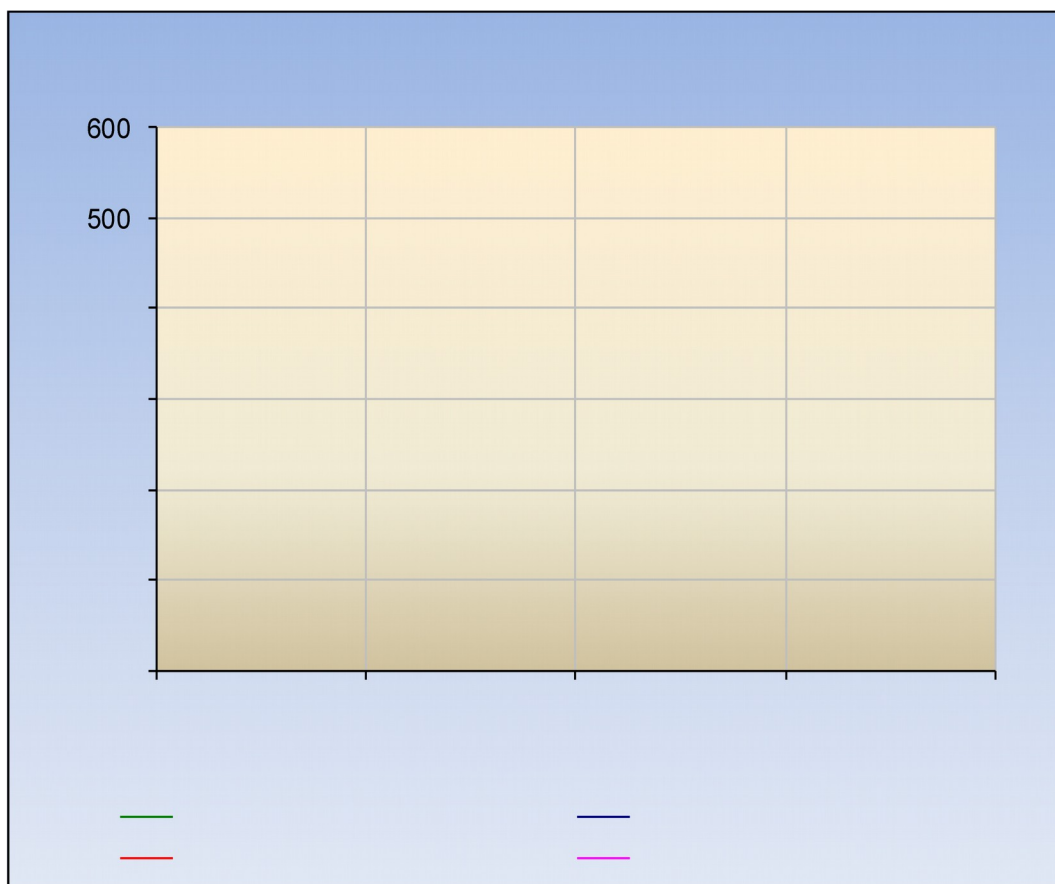


FIGURA 5 - VAZÕES AFLUENTES

A tabela 11 a seguir mostra as descargas máximas afluentes, para cada período de retorno:

TABELA 11 - DESCARGAS MÁXIMAS AFLUENTES

| PERÍODO DE RETORNO T_r (anos) | DESCARGA MÁXIMA AFLUENTE |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 100 | 231,38 m ³ /s |
| 500 | 336,52 m ³ /s |
| 1.000 | 382,09 m ³ /s |
| 10.000 | 542,11 m ³ /s |

3.4.5 VOLUME AFLUENTE NA BACIA DO RIO PACOTI

O rendimento pluvial da bacia pode ser determinado através da seguinte equação, indicada para alturas de chuvas superiores a 1.000mm/ano:

$$R\% = 0,285 - 1,13H + 3,52H^2 - 1,19H^3$$

Onde:

H = precipitação média anual em m (1,437m)

Então:

$$R\% = 0,285 - 1,13 \times 1,437 + 3,52 \times 1,437^2 - 1,19 \times 1,437^3$$

$$R\% = 2,4$$

O rendimento superficial da bacia (R%) calculado é de 2,4%.

3.4.5.1 VOLUME MÉDIO AFLUENTE ANUAL

Segundo a indicação do Engenheiro Francisco Aguiar, o volume médio afluente anual para precipitações superiores a 1.000mm, é obtido através da seguinte expressão:

$$V_a = R\%HUA$$

Onde:

R% = rendimento pluvial (2,4%)

U = coeficiente de correção, que depende do tipo da bacia, considerada ligeiramente acidentada, com depressões evaporativas (1,3)

H = precipitação média anual em m (1,437m)

A = área da bacia hidrográfica = 94.000.000m²

Então:

$$V_a = 0,024 \times 1,3 \times 94.000.000 \cong 4.214.500,00\text{m}^3$$

O volume afluente calculado pelo método de Aguiar é de 4.214.500,00m³.

3.4.5.2 VOLUME DE ACUMULAÇÃO DO RESERVATÓRIO

O diagrama Cota x Área x Volume e o valor do volume médio afluente anual calculado constituem os parâmetros básicos para a determinação da capacidade de acumulação do reservatório.

Se a topografia do local barrado permitir, pode-se adotar um volume de acumulação igual a 2 ou 3 vezes o volume médio afluente anual calculado.

Assim, determina-se a capacidade do reservatório, definindo sua cota de armazenamento máximo, através do diagrama Cota x Área x Volume apresentado na Figura 6 e Tabela 12 a seguir.

TABELA 12 - QUADRO COTA X ÁREA X VOLUME

| BARRAGEM GERMINAL | | |
|-------------------------------|----------|--------------|
| Município de Palmácia - CE | | |
| DIAGRAMA COTA x ÁREA x VOLUME | | |
| COTA | ÁREA | VOLUME ACUM. |
| 330 | 155,77 | 77,89 |
| 331 | 678,76 | 495,15 |
| 332 | 1850,65 | 1.759,86 |
| 333 | 3809,34 | 4.589,85 |
| 334 | 7180,79 | 10.084,92 |
| 335 | 13046,84 | 20.198,73 |
| 336 | 22819,61 | 38.131,96 |
| 337 | 30601,90 | 64.842,71 |
| 338 | 37981,14 | 99.134,23 |
| 339 | 44543,80 | 140.396,70 |
| 340 | 51840,65 | 188.588,93 |
| 341 | 60038,13 | 244.528,32 |
| 342 | 67899,81 | 308.497,29 |
| 343 | 75681,95 | 380.288,17 |

| BARRAGEM GERMINAL | | |
|-------------------------------|------------------|---------------------|
| Município de Palmácia - CE | | |
| DIAGRAMA COTA x ÁREA x VOLUME | | |
| COTA | ÁREA | VOLUME ACUM. |
| 344 | 84112,27 | 460.185,28 |
| 345 | 95979,42 | 550.231,12 |
| 346 | 100989,55 | 648.715,61 |
| 347 | 122745,05 | 760.582,90 |
| 348 | 138219,95 | 891.065,40 |
| 349 | 154730,79 | 1.037.540,77 |
| 350 | 166332,13 | 1.198.072,23 |
| 351 | 186043,03 | 1.374.259,81 |
| 352 | 203086,07 | 1.568.824,36 |
| 353 | 221836,14 | 1.781.285,47 |
| 354 | 244447,37 | 2.014.427,22 |
| 355 | 269211,11 | 2.271.256,46 |
| 356 | 297341,77 | 2.554.532,90 |
| 357 | 332142,25 | 2.869.274,91 |

A partir do diagrama obtido e da topografia do boqueirão, adotou-se a cota **354,00** para a soleira vertente, correspondendo a um volume máximo de acumulação de cerca de 2.014.427,22 m³, cerca de 0,5 vezes o volume afluente anual (4.214.500,00m³).

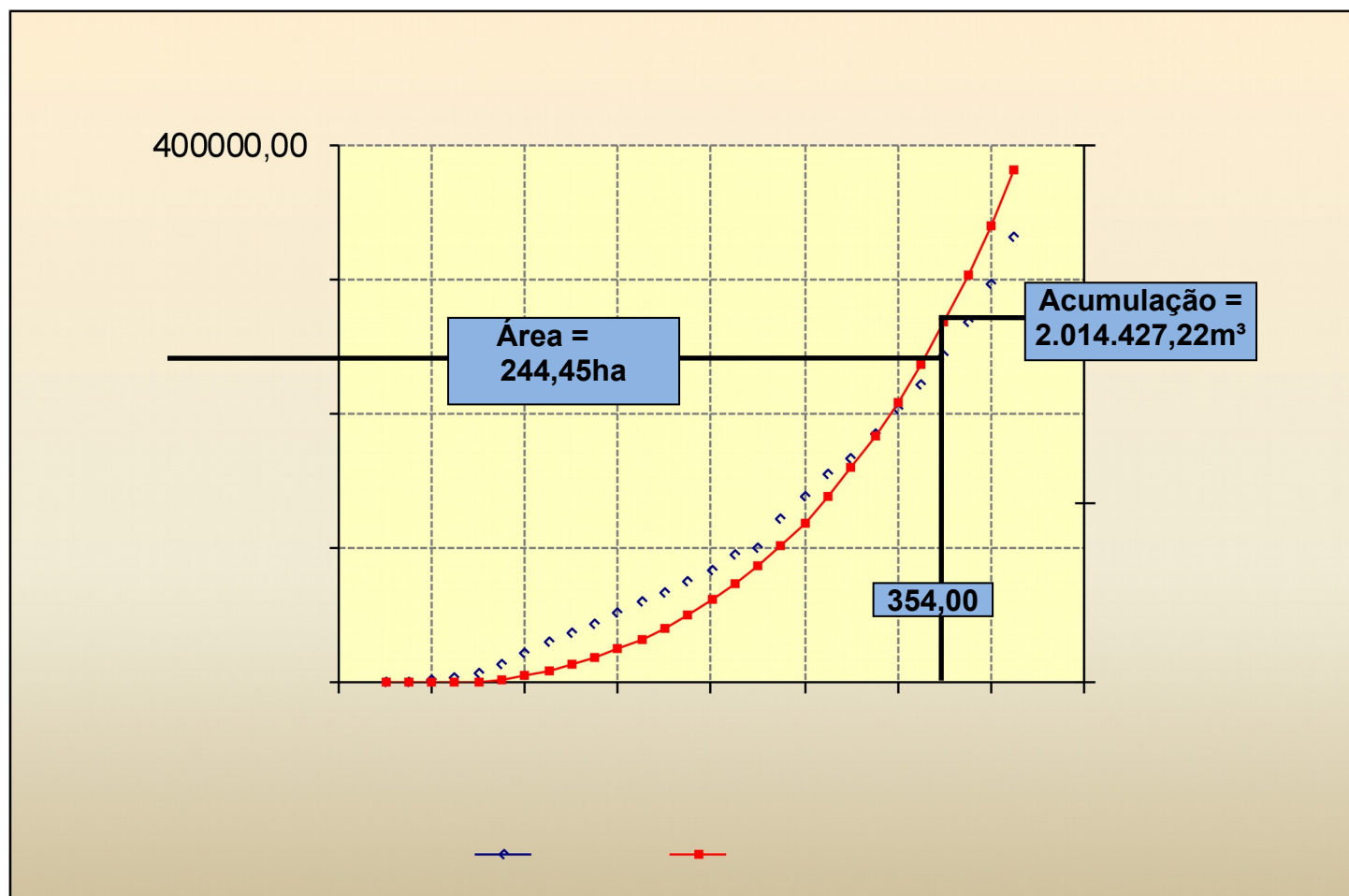


FIGURA 6 - DIAGRAMA COTA X ÁREA X VOLUME



3.4.6 DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO DO RESERVATÓRIO

3.4.6.1 METODOLOGIA

O dimensionamento hidrológico da Barragem Germinal foi determinado com base no método de Campos, 1987.

O referido método apresenta um modelo gráfico aplicado a reservatórios de águas superficiais situadas em regiões semi-áridas e sujeitas a altas taxas de evaporação. Tem como suporte teórico a Teoria Estocástica dos Reservatórios ou Teoria do Armazenamento de Moran. Segundo o autor, esse método apresenta como novidade na teoria a introdução de uma matriz de evaporação por levar em conta as perdas devido a esse fenômeno.

O modelo gráfico contempla as seguintes variáveis: capacidade do reservatório, volume anual regularizado e probabilidade de esvaziamento da reserva. As variáveis de entrada do modelo são: volume afluente médio anual, coeficiente de variação dos deflúvios anuais, lâmina de evaporação e um fator que representa a forma da bacia hidráulica.

3.4.6.2 LÂMINA DE EVAPORAÇÃO

Devido à falta de dados de evaporação do espelho d'água foram obtidos os valores de evapotranspiração através do site da Embrapa, para a Estação de Guaramiranga - Lat 4,29°S e Long - 39°W, conforme se apresentam na tabela 13 a seguir:

TABELA 13 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO - POSTO GUARAMIRANGA

| MESES | EVAPOTRANSPIRAÇÃO (mm) |
|-----------|-----------------------------|
| JANEIRO | 84,00 |
| FEVEREIRO | 76,00 |
| MARÇO | 83,00 |
| ABRIL | 80,00 |
| MAIO | 79,00 |

| MESES | EVAPOTRANSPIRAÇÃO (mm) |
|--------------------|-----------------------------|
| JUNHO | 71,00 |
| JULHO | 71,00 |
| AGOSTO | 67,00 |
| SETEMBRO | 75,00 |
| OUTUBRO | 82,00 |
| NOVEMBRO | 80,00 |
| DEZEMBRO | 85,00 |
| TOTAL ANUAL | 933,00 |

Analisando-se a tabela 13, observa-se que:

- A lâmina média anual evaporada é de 933,00mm.
- A lâmina evaporada durante a estação seca é de 490 mm.

3.4.6.3 FATOR DE FORMA DA BACIA (α)

O fator de forma da bacia hidráulica é calculado através da seguinte equação:

$V = \alpha \times h^3$, onde:

V = volume acumulado até a altura d'água h

h = altura da lâmina d'água

α = fator de forma da bacia hidráulica

O valor do fator de forma da bacia hidráulica da Barragem Germinal (α) pode ser obtido aproximadamente pela equação:

$\alpha = (\sum V_i) / (\sum h_i^3)$, onde :

V_i e h_i representam os pares de valores Altura d'Água versus Volume, apresentados na tabela 14:

TABELA 14 - ALTURA D'ÁGUA X VOLUME

| COTA | ALTURAS (hi) | (hi) ³ | VOLUME (m ³) |
|-------------------|--------------|-------------------|--------------------------|
| 330 | 0,00 | - | 77,89 |
| 331 | 1,00 | 1,00 | 495,15 |
| 332 | 2,00 | 8,00 | 1.759,86 |
| 333 | 3,00 | 27,00 | 4.589,85 |
| 334 | 4,00 | 64,00 | 10.084,92 |
| 335 | 5,00 | 125,00 | 20.198,73 |
| 336 | 6,00 | 216,00 | 38.131,96 |
| 337 | 7,00 | 343,00 | 64.842,71 |
| 338 | 8,00 | 512,00 | 99.134,23 |
| 339 | 9,00 | 729,00 | 140.396,70 |
| 340 | 10,00 | 1.000,00 | 188.588,93 |
| 341 | 11,00 | 1.331,00 | 244.528,32 |
| 342 | 12,00 | 1.728,00 | 308.497,29 |
| 343 | 13,00 | 2.197,00 | 380.288,17 |
| 344 | 14,00 | 2.744,00 | 460.185,28 |
| 345 | 15,00 | 3.375,00 | 550.231,12 |
| 346 | 16,00 | 4.096,00 | 648.715,61 |
| 347 | 17,00 | 4.913,00 | 760.582,90 |
| 348 | 18,00 | 5.832,00 | 891.065,40 |
| 349 | 19,00 | 6.859,00 | 1.037.540,77 |
| 350 | 20,00 | 8.000,00 | 1.198.072,23 |
| 351 | 21,00 | 9.261,00 | 1.374.259,81 |
| 352 | 22,00 | 10.648,00 | 1.568.824,36 |
| 353 | 23,00 | 12.167,00 | 1.781.285,47 |
| 354 | 24,00 | 13.824,00 | 2.014.427,22 |
| SOMATÓRIOS | | 90.000,00 | 13.786.804,84 |

Para a Barragem Germinal, considerando-se os pares de valores da tabela 14 somente até a cota do sangradouro (cota 354,00), obteve-se $\alpha = 153,19$

$$\alpha = \frac{\sum_{H=354,00}^{V=330} V_i}{\sum_{H=354,00}^{H=330,00} H_i^3} = \frac{13.786.804,84}{90.000,00} = 153,19.$$

3.4.6.4 FATOR ADIMENSIONAL DE EVAPORAÇÃO (F_e)

$$F_e = \frac{3\alpha^{1/3} E_v}{\mu^{1/3}}, \text{ onde:}$$

E_v = lâmina evaporada durante a estação seca = 490mm

μ = volume afluente anual = 4.214.500,00m³

α = 153,19

Logo:

$$F_e = \frac{3x(153,19)^{1/3} x0,490}{(4.214.500,00)^{1/3}} = 0,05$$

3.4.6.5 RELAÇÃO VOLUME REGULARIZADO X CAPACIDADE DE RESERVA

De posse dos parâmetros obtidos, calculou-se, usando a metodologia do Professor Nilson Campos, através da determinação no Diagrama Triangular de Regularização, a relação entre o volume regularizado e a capacidade do reservatório, com 90% de garantia.

- F_e= fator de evaporação = 0,05;
- C_v = coeficiente de variação dos valores dos deflúvios anuais= 0,30;
- V_a = volume afluente médio anual 4.214.500,00 m³;

Outro parâmetro necessário para o uso do DTR é o fator F_k, dado por:

$$F_k = \frac{V_{\text{acumulado}}}{V_{\text{afluente}}}, \text{ onde:}$$

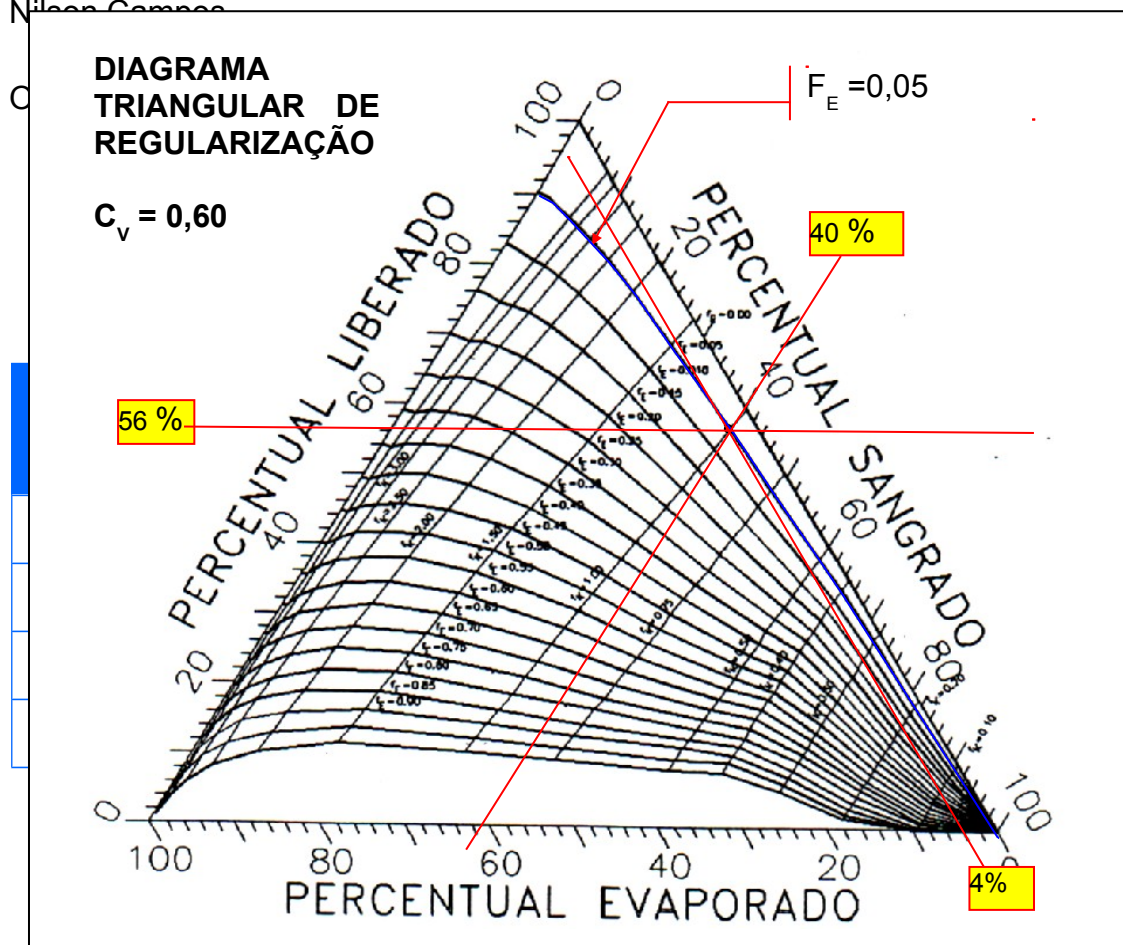
$V_{\text{acumulado}}$ = Volume acumulado na cota considerada;

V_{afluente} = Volume afluente anual calculado.

No DTR (figura 7), a partir do par de valores: (F_E ; F_k), traçam-se por este ponto, paralelas aos lados do triângulo obtendo-se os percentuais dos volumes acumulados em cada cota, para os volumes liberados, sangrados e evaporados.

Embora o coeficiente de variação dos deflúvios da bacia da Barragem Germinal tenha sido calculado em 0,30, o Diagrama Triangular de Regularização usado nos cálculos foi o de $C_v = 0,60$, o mais próximo apresentado no trabalho do Prof^o

Nilson Campos



EXEMPLO DA FIGURA ACIMA:
 Sendo: $C_v = 0,60$
 $F_E = 0,05$
 $F_k = 1,00$
 Tem-se:
 Percentual Liberado: 56% do Volume afluente;
 Percentual Sangrado: 40% do volume afluente;
 Percentual Evaporado: 4% do volume afluente.

FIGURA 7 - DIAGRAMA TRIANGULAR DE REGULARIZAÇÃO

A partir dos dados da tabela 15, determinam-se as relações entre a capacidade do reservatório e o volume regularizado, conforme tabela 16, a seguir:

TABELA 16 - RELAÇÃO ENTRE A CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO E O VOLUME ANUAL REGULARIZADO

| COTA | VOLUMES ACUMULADOS (m³) | VOLUMES REGULARIZADOS 90% (m³) | VOLUMES SANGRADOS (m³) | VOLUMES EVAPORADOS (m³) | VAZÕES REGULARIZADAS 90% (m³/s/ano) |
|---------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 354,00 | 2.014.427,22 | 1.559.365,00 | 2.570.845,00 | 84.290,00 | 0,049 |
| 355,00 | 2.271.256,46 | 1.685.800,00 | 2.444.410,00 | 84.290,00 | 0,053 |
| 356,00 | 2.554.532,90 | 1.770.090,00 | 2.317.975,00 | 126.435,00 | 0,056 |
| 357,00 | 2.869.274,91 | 1.896.525,00 | 2.149.395,00 | 168.580,00 | 0,060 |

Portanto, para a alternativa estudada com o sangradouro na cota 354,00, acumulando 2.014.427,22 m³, a vazão regularizada anualmente é de 0,049m³/s, o que corresponde a cerca de 1.545.264,00 m³ por ano, cerca de 77% da capacidade do reservatório.

3.4.7 ESTUDO DE PROPAGAÇÃO DE ENCHENTES

Alterando-se a vazão de entrada de um reservatório de acumulação, a vazão de saída é instantaneamente alterada do mesmo valor. O nível d'água tende a manter-se horizontal e o acréscimo de vazão na entrada é traduzido em uma elevação da superfície líquida.

Conhecendo-se a hidrógrafa da vazão afluente, a relação entre a altura d'água e o volume do reservatório, e sabendo-se que a vazão efluente é dada pela lei dos vertedouros: $Q_e = C_0 L h^{3/2}$, pode-se determinar a hidrógrafa efluente.

3.4.7.1 METODOLOGIA

Um método para avaliar o processo de propagação de onda de cheia em reservatórios foi desenvolvido por L.G.Puls, do Army Corps of Engineers, EUA. De forma sucinta, a metodologia utilizada no cálculo, é descrita a seguir:

Considere a equação da continuidade:

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

I = vazão de entrada

O = vazão de saída

$\frac{dS}{dt}$ = variação no volume do reservatório no intervalo de tempo Δt

A equação 1 pode ser expressa em forma finita como:

$$S_2 - S_1 = \left(\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} \right) \Delta t$$

$$\frac{2S_2}{\Delta t} - \frac{2S_1}{\Delta t} = (I_1 + I_2) - (O_1 + O_2)$$

$$\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2 = \left(\frac{2S_1}{\Delta t} - O_1 \right) + (I_1 + I_2) \quad (\text{equação 2})$$

Os índices 1 e 2 se referem aos valores do início e final do intervalo de tempo Δt . O intervalo de tempo Δt é chamado de período de routing.

A solução da equação 2 requer uma curva de Routing, mostrando $\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2$ versus O. Todos os termos do lado esquerdo da equação 2 são conhecidos e o valor de $\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2$ pode ser calculado. O valor correspondente de O_2 pode ser obtido da curva de routing. O cálculo é então repetido para períodos de routing sucessivos.

3.4.7.2 DADOS

a) Lei dos vertedouros: $Q_e = C_0 L h^{3/2}$;

b) Relação entre a lâmina de sangria e o volume de acumulação do reservatório, figura 8:

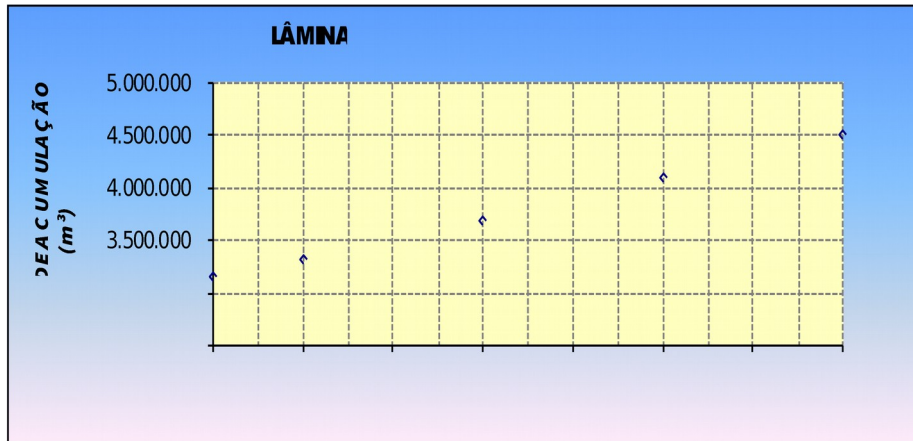


FIGURA 8 - RELAÇÃO LÂMNA DE SANGRIA X VOLUME DE ACUMULAÇÃO

c) Largura do sangradouro = 50,00m

d) Intervalo de tempo: 1 hora = 3.600s

e) Coeficiente de descarga: $2,18 \text{ m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$ (parede delgada - Perfil Creager), conforme o gráfico da figura 9 a seguir, orientado pelo Bureau of Reclamation, em função da altura do vertedouro (p) e a lâmina máxima de sangria (H_0).

Verifica-se na figura 9 que, para valores de $p/H_0 >$ ou igual a 3,00, C_0 assume o valor de $3,95\text{ft}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$ ou $C_0 = 2,18\text{m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$.

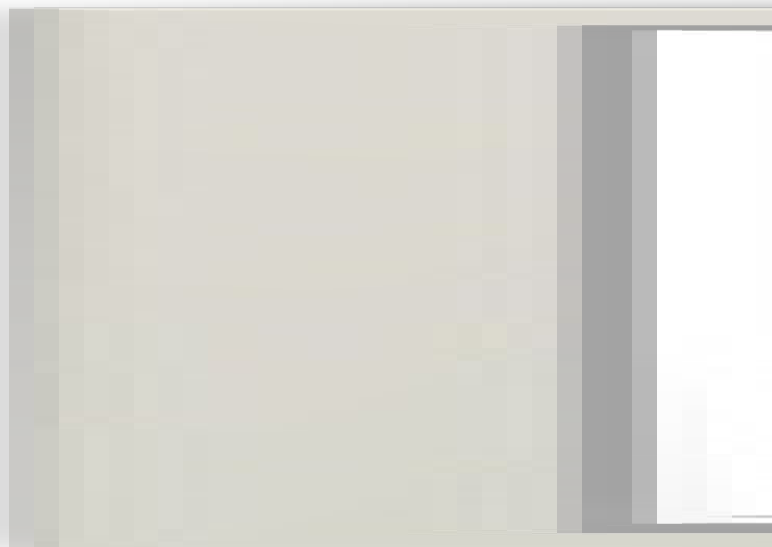


FIGURA 9 - COEFICIENTE DE DESCARGA C_0

3.4.7.2.1 Determinação da Hidrógrafa Efluente

Para determinação da hidrógrafa da vazão efluente utiliza-se o seguinte procedimento:

a) Determinação do gráfico $\frac{2S}{\Delta t} + O \times O$

Sendo:

$$O = C L(\Delta H)^{3/2}$$

O = vazão de sangria;

ΔH = altura da lâmina acima da cota de sangria

S = volume de acréscimo correspondente a ΔH

A partir do volume de acréscimo correspondente a ΔH , calcula-se $\frac{2S}{\Delta t} + O$,

conforme tabela 17 a seguir:

TABELA 17 - DETERMINAÇÃO DO GRÁFICO $\frac{2S}{\Delta t} + O \times O$

| COTA | VOLUME DE ACUMULAÇÃO (m³) | LÂMINA DE SANGRIA (m) | VOLUME DE SANGRIA S (m³) | VAZÃO DE SANGRIA O (m³) | $\frac{2S}{\Delta t} + O$ (m³) |
|--------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 354,00 | 2.014.427,22 | - | 0,00 | 0,00 | - |
| 355,00 | 2.271.256,46 | 1,00 | 256.829,24 | 109,00 | 251,68 |
| 356,00 | 2.554.532,90 | 2,00 | 540.105,68 | 308,30 | 608,36 |

| | | | | | |
|--------|--------------|------|------------|--------|----------|
| 357,00 | 2.869.274,91 | 3,00 | 854.847,69 | 566,38 | 1.041,30 |
|--------|--------------|------|------------|--------|----------|

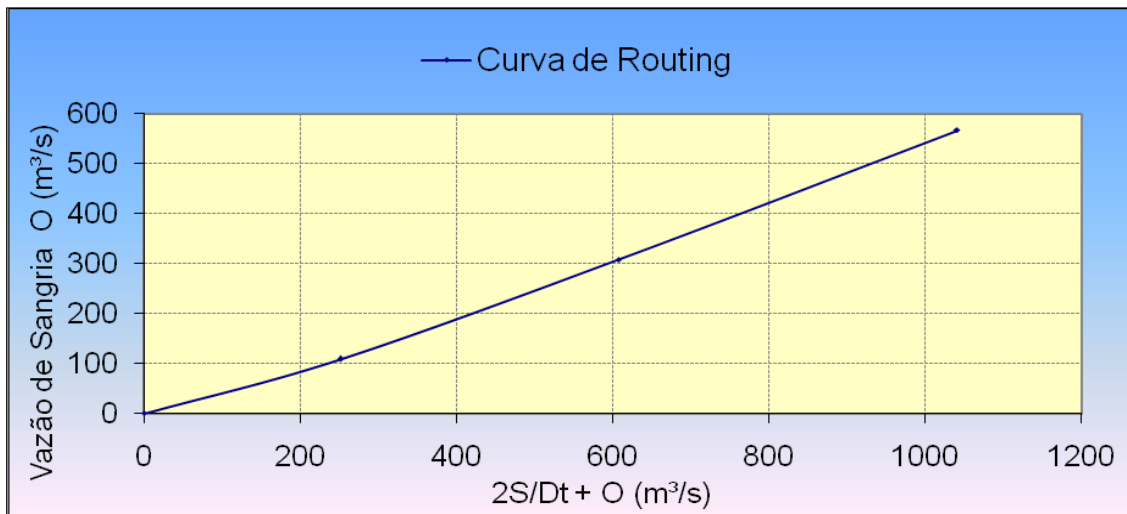


FIGURA 10 - CURVA DE ROUTING

A curva gerada em função de $\frac{2S}{\Delta t} + O \times O$ é do tipo: $O = a \left(\frac{2S}{\Delta t} + O \right)^b$.

Chamando: $\frac{2S}{\Delta t} + O = Q$, tem-se:

$$O = a Q^b$$

Pode-se dizer que:

$$\log O = \log a + b \log Q$$

b.1) Determinação dos coeficientes a e b:

Chamando, para facilitar os cálculos:

$$Y = \log O$$

$$A = \log a$$

$$B = b$$

$X = \log Q$, tem-se:

$$B = \frac{\Sigma x.y - \frac{\Sigma x.\Sigma y}{N}}{\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{N}} \quad (\text{equação 3})$$

$$A = \bar{y} - B \bar{x} \quad (\text{equação 4})$$

onde :

$$\bar{y} = \frac{\Sigma y}{N} \quad \text{e} \quad \bar{x} = \frac{\Sigma x}{N}$$

N - número de dados

O número de dados é determinado pelo volume máximo de sangria, que corresponde aproximadamente ao volume afluente anual. Nesta hipótese, os dados serão considerados até a cota 357, como explicado anteriormente, correspondendo a um número de dados igual a 4. (Ver Tabela 18).

TABELA 18 - DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DA CURVA DE ROUTING

| COTA | VAZÃO DE SANGRIA O (m³) | $\frac{2S}{\Delta t} + O$ (m³) | Y = log O | X = log $(\frac{2S}{\Delta t} + O)$ | x.y | x² |
|-------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------|-------------------------------------|--------|--------|
| 354,00 | 0,00 | - | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 355,00 | 109,00 | 251,68 | 2,037 | 2,401 | 4,892 | 5,764 |
| 356,00 | 308,30 | 608,36 | 2,489 | 2,784 | 6,930 | 7,752 |
| 357,00 | 566,38 | 1.041,30 | 2,753 | 3,018 | 8,308 | 9,106 |
| SOMATÓRIOS | | | 7,280 | 8,203 | 20,129 | 22,621 |

Substituindo os valores dos somatórios nas equações 3 e 4, tem-se:

$$B = 0,8966$$

$$A = -0,0188$$

Sendo:

$$b = B = 0,8966$$

$$\log a = A = -0,0188$$

$$a = 10^A = 10^{-0,0188}$$

$$a = 0,9576$$

Portanto, a equação de routing será:

$$O = 0,8966 \left(\frac{2S}{\Delta t} + O \right)^{0,9576}$$

Os cálculos das vazões, para cada intervalo de tempo Δt , podem ser computados num quadro, cujas colunas podem ser expressas como se seguem:

- Coluna 1: intervalo de tempo Δt de vazão observada;
- Coluna 2: vazão afluente observada no tempo Δt (hidrograma calculado);
- Coluna 3, linha_(i+1) : (Coluna 4, linha_i) - 2x(Coluna 5, linha_i);
- Coluna 4, linha_i : (Coluna 2, linha_(i+1)) + (Coluna 2, linha_i) + (Coluna 3, linha_i);
- Coluna 5, linha_i : $O_i = 0,8966(\text{Coluna 4, linha } i)^{0,9576}$

As tabelas 19, 20, 21 e 22, a seguir, apresentam o cálculo das vazões efluentes, para período de retorno igual a 100, 500, 1.000 e 10.000 anos, respectivamente.

TABELA 19 - DESCARGAS EFLUENTES PARA TR = 100 ANOS

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
|----------------------|--|--|--|---|
| TEMPO t (Horas) | VAZÃO DE ENTRADA I (m ³ /s) | $\frac{2S_1}{\Delta t} + O_1$ (m ³ /s) | $\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2$ (m ³ /s) | VAZÃO DE SAÍDA(m ³ /s) $O=a(\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2)^b$ |
| 0,0 | - | - | 15,10 | 10,92 |
| 0,5 | 15,10 | (6,74) | 50,63 | 32,31 |
| 1,0 | 42,27 | (14,00) | 109,80 | 64,69 |
| 1,5 | 81,53 | (19,59) | 194,79 | 108,17 |
| 2,0 | 132,86 | (21,55) | 288,27 | 153,72 |
| 2,5 | 176,96 | (19,18) | 371,60 | 193,03 |
| 3,0 | 213,82 | (14,46) | 430,75 | 220,36 |
| 3,5 | 231,38 | (9,98) | 451,03 | 229,64 |
| 4,0 | 229,63 | (8,26) | 429,93 | 219,99 |
| 4,5 | 208,56 | (10,05) | 361,88 | 188,49 |
| 5,0 | 163,36 | (15,11) | 266,41 | 143,23 |
| 5,5 | 118,16 | (20,05) | 178,17 | 99,86 |
| 6,0 | 80,06 | (21,54) | 107,72 | 63,59 |
| 6,5 | 49,20 | (19,47) | 55,29 | 34,97 |
| 7,0 | 25,57 | (14,65) | 20,08 | 14,10 |
| 7,5 | 9,17 | (8,12) | 1,17 | 1,10 |
| 8,0 | 0,13 | (1,03) | (0,91) | - |

TABELA 20 - DESCARGAS EFLUENTES PARA TR = 500 ANOS


| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
|--|---|---|---|--|
| TEMPO  (Horas) | VAZÃO DE ENTRADA I (m³/s) TR=500 anos | $\frac{2S_1}{\Delta t} + O_1$ (m³/s) | $\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2$ (m³/s) | VAZÃO DE SAÍDA(m³/s) $O=a(\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2)^b$ |
| 0 | - | - | 21,96 | 15,28 |
| 0,5 | 21,96 | (8,60) | 74,84 | 45,88 |
| 1 | 61,48 | (16,92) | 163,14 | 92,27 |
| 1,5 | 118,57 | (21,40) | 290,40 | 154,74 |
| 2 | 193,23 | (19,08) | 431,51 | 220,71 |
| 2,5 | 257,37 | (9,92) | 558,44 | 278,12 |
| 3 | 310,99 | 2,19 | 649,70 | 318,55 |
| 3,5 | 336,52 | 12,59 | 683,09 | 333,19 |
| 4 | 333,97 | 16,70 | 654,01 | 320,45 |
| 4,5 | 303,33 | 13,11 | 554,04 | 276,16 |
| 5 | 237,59 | 1,72 | 411,16 | 211,36 |
| 5,5 | 171,85 | (11,55) | 276,74 | 148,20 |
| 6 | 116,44 | (19,66) | 168,34 | 94,90 |
| 6,5 | 71,55 | (21,46) | 87,27 | 52,66 |
| 7 | 37,18 | (18,04) | 32,48 | 21,70 |
| 7,5 | 13,33 | (10,93) | 2,59 | 2,25 |
| 8 | 0,18 | (1,90) | (1,72) | - |

TABELA 21 - DESCARGAS EFLUENTES PARA TR = 1.000 ANOS

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
|----------------------|--|--|--|--|
| TEMPO t (Horas) | VAZÃO DE ENTRADA I (m ³ /s) TR=1.000 anos | $\frac{2S_1}{\Delta t} + O_1$ (m ³ /s) | $\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2$ (m ³ /s) | VAZÃO DE SAÍDA (m ³ /s) $O = a \left(\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2 \right)^b$ |
| 0 | - | - | 24,93 | 17,12 |
| 0,5 | 24,93 | (9,31) | 85,43 | 51,66 |
| 1 | 69,81 | (17,89) | 186,55 | 104,06 |
| 1,5 | 134,63 | (21,56) | 332,46 | 174,70 |
| 2 | 219,40 | (16,93) | 494,69 | 249,48 |
| 2,5 | 292,22 | (4,27) | 641,05 | 314,75 |
| 3 | 353,10 | 11,55 | 746,75 | 360,91 |
| 3,5 | 382,09 | 24,93 | 786,22 | 377,97 |
| 4 | 379,20 | 30,29 | 753,90 | 364,00 |
| 4,5 | 344,41 | 25,89 | 640,07 | 314,32 |
| 5 | 269,77 | 11,44 | 476,32 | 241,16 |
| 5,5 | 195,12 | (6,00) | 321,34 | 169,45 |
| 6 | 132,21 | (17,55) | 195,90 | 108,72 |
| 6,5 | 81,24 | (21,54) | 101,92 | 60,52 |
| 7 | 42,22 | (19,11) | 38,25 | 25,13 |
| 7,5 | 15,14 | (12,01) | 3,33 | 2,82 |
| 8 | 0,21 | (2,30) | (2,09) | - |

TABELA 22 - DESCARGAS EFLUENTES PARA TR = 10.000 ANOS

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
|----------------------|---|--|--|--|
| TEMPO t (Horas) | VAZÃO DE ENTRADA I (m ³ /s) TR=10.000 anos | $\frac{2S_1}{\Delta t} + O_1$ (m ³ /s) | $\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2$ (m ³ /s) | VAZÃO DE SAÍDA (m ³ /s) $O = a \left(\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2 \right)^b$ |
| 0 | - | - | 35,37 | 23,43 |
| 0,5 | 35,37 | (11,49) | 122,93 | 71,59 |
| 1 | 99,04 | (20,25) | 269,80 | 144,86 |
| 1,5 | 191,01 | (19,93) | 482,36 | 243,90 |
| 2 | 311,28 | (5,44) | 720,43 | 349,48 |
| 2,5 | 414,60 | 21,47 | 937,04 | 442,37 |
| 3 | 500,97 | 52,29 | 1.095,37 | 508,84 |
| 3,5 | 542,11 | 77,68 | 1.157,78 | 534,77 |
| 4 | 538,00 | 88,25 | 1.114,89 | 516,97 |
| 4,5 | 488,64 | 80,95 | 952,34 | 448,84 |
| 5 | 382,74 | 54,65 | 714,22 | 346,78 |
| 5,5 | 276,83 | 20,66 | 485,08 | 245,13 |
| 6 | 187,58 | (5,18) | 297,66 | 158,21 |
| 6,5 | 115,27 | (18,75) | 156,41 | 88,85 |
| 7 | 59,90 | (21,29) | 60,09 | 37,68 |
| 7,5 | 21,48 | (15,27) | 6,50 | 5,13 |
| 8 | 0,30 | (3,76) | (3,46) | - |

De acordo com as descargas efluentes, tempos que para um período de retorno igual a 1.000 anos, a descarga máxima é de aproximadamente 378,00m³/s.

A lâmina máxima será então:

$$Q = C_0 L H^{3/2}$$

$$H = \left(\frac{Q}{C_0 L} \right)^{2/3} = \left(\frac{378,00}{2,18 \times 50,00} \right)^{2/3} = 2,30m$$

3.4.7.3 CONCLUSÃO DA HIDROLOGIA

A Tabela 23 a seguir, apresenta o resumo do dimensionamento.

TABELA 23 - QUADRO RESUMO DO RESERVATÓRIO

| BARRAGEM GERMINAL - Município de Pacoti - CE | | | | |
|---|---------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|
| LARGURA DO SANGRADOURO = 50,00m | TR= 100 ANOS | TR= 500 ANOS | TR= 1.000 ANOS | TR= 10.000 ANOS |
| COTA DA SOLEIRA: 354,00 | | | | |
| VAZÃO AFLUENTE (m³/s) | 231,38 | 336,52 | 382,09 | 542,11 |
| VAZÃO EFLUENTE (m³/s) | 229,64 | 313,19 | 378,00 | 535,00 |
| LÂMINA MÁXIMA (m) | 1,65 | 2,10 | 2,30 | 2,89 |
| VAZÃO REGULARIZADA | 0,049 m³/s/ano | | | |

Com base nos resultados obtidos, serão tomados para o dimensionamento do vertedouro, os valores correspondentes ao período de retorno de 1.000 anos:

- Volume Afluente: $\cong 4.214.500,00 \text{ m}^3$
- Descarga Máxima Afluente: $Q_a = 382,09 \text{ m}^3/\text{s}$
- Cota da soleira: 354,00
- Acumulação Máxima: $= 2.014.427,22 \text{ m}^3$
- Largura do Sangradouro: 50,00 m
- Descarga Máxima Milenar Efluente: $Q_{1.000} = 378,00 \text{ m}^3/\text{s}$
- Lâmina Máxima Adotada: 2,30 m
- Folga Adotada: 0,70 m

3.5 CURVA CHAVE

O monitoramento de recursos hídricos em zonas urbanas se constitui uma técnica importante para buscar soluções para um melhor gerenciamento de bacias hidrográficas urbanas.

Há necessidade de se ter um bom conhecimento dos componentes do ciclo hidrológico e da relação rainfall – runoff, chuvas – vazões para se realizar um planejamento adequado.

Devem ser instalados equipamentos para determinar a vazão, próximo ao exutório da bacia bem como uma estação hidrometeorológica para aprofundar o conhecimento das conseqüências causadas pela alteração do meio natural e auxiliar nas observações a serem realizadas.

A quantificação precisa da entrada e saída de água na bacia hidrográfica é muito importante. A entrada pode ser obtida pela instalação de um número adequado de pluviômetros espacialmente distribuídos na bacia. Já a saída de água da bacia é determinada em estações fluviométricas equipadas com vertedores padronizados e aferidos em laboratório, que permitem a obtenção de valores da relação cota-vazão do curso d'água. Quando isso não é possível, recomenda-se fazer a calibragem de um vertedor já instalado próximo ao exutório da bacia, por intermédio de medições de velocidade da água e a área da seção molhada do vertedor para diferentes cotas fluviométricas.

Os pontos de determinação de velocidade de escoamento da água no arroio são definidos de acordo com a profundidade do rio.

O método mais difundido para determinação das velocidades para cálculo de vazão é o uso do molinete fluviométrico.

A relação cota-vazão da curva chave do vertedor deve ser gerada para todo o intervalo de definição da calibragem. Como, em alguns casos, as medições são insuficientes, a curva, muitas vezes, deve ser extrapolada.

A altura da lâmina de água varia com a velocidade. A grande dificuldade na medição de velocidades deve-se ao fato dessa grandeza ser essencialmente

variável de ponto para ponto da seção e ao longo do tempo. Deve levar-se em conta também que as velocidades da água em uma seção transversal de canal decrescem da superfície para o fundo e do centro para as margens.

Partir desses elementos pode tratar-se o que se denomina de Curva-Chave.

Deve-se considerar que a curva chave de um curso d'água pode sofrer alterações com o tempo, dependendo do material do leito, visto que a curva representa a relação entre a vazão e a cota do escoamento levando em conta as características hidráulicas e geométricas da seção transversal deste curso.

O hidrograma gerado a partir da curva chave demonstra as mudanças da vazão no tempo e permite separar o escoamento superficial e o escoamento de base. Desta forma, identifica-se a disponibilidade e as potencialidades hídricas de uma determinada bacia hidrográfica.

3.5.1 DETERMINAÇÃO DA ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

Para determinar a área da seção da estação fluviométrica, determina-se a distância de uma margem a outra. Divide-se a distância total de 9 m, em trechos de 30 cm. O espaçamento pode ser determinado em trechos de 1 m.

A cada intervalo serão estabelecidas linhas verticais que se estenderão da parte superior até o fundo da seção do rio em estudo.

No total serão definidas linhas verticais de uma margem a outra.

Na determinação das linhas verticais e suas respectivas distâncias para o cálculo da área da seção serão utilizados um prumo de pedreiro para a determinação exata do ponto no fundo da seção e uma trena de 5 m para a determinação das distâncias.

Os dados coletados a campo serão digitados para aplicação em *softwares* específicos.

A determinação da área da seção do rio será realizada com o *Software AutoCad*, sistema computacional bastante utilizado pela engenharia, geologia e arquitetura. O

software permitirá a digitalização do perfil da estação fluviométrica e o cálculo das subáreas em função dos incrementos da altura da lâmina d'água.

Dentro do corpo da calha serão divididas as alturas em frações de 0,05 m e no restante do perfil 0,03 m. No total serão fornecidas subáreas que, somadas, forneceram a área total da seção em estudo.

3.5.2 DETERMINAÇÃO DA ALTURA DA LÂMINA DE ÁGUA

A altura da lâmina de água do rio será determinada por meio de uma régua, posicionada verticalmente, ao longo do boqueirão em estudo.

Procurar-se-á, normalmente o que se chama de poço tranquilizador, de modo que se façam medidas das vazões em áreas baixas, com pequenos fluxos do rio.

3.5.3 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DA VAZÃO DE ÁGUA

Para definir os dados de velocidade do fluxo de água na calha, utiliza-se o Molinete que funciona por meio da geração de um campo magnético que será produzido na água. Os íons presentes na água (concentração conhecida) movem-se com a mesma velocidade e alteram o campo magnético que foi gerado. Tal mudança é medida, indicando indiretamente a velocidade com que as partículas eletromagnéticas passaram pelo campo.

Determina-se a velocidade média da água em situação de baixa, média e alta vazão.

Para realizar as medidas com baixa vazão selecionaram-se períodos de estiagem, aproximadamente 15 dias sem precipitação. Já as determinações das velocidades com médias e altas vazões realizam-se em dias com precipitações intensas.

3.5.4 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO EM PERÍODOS DE CHEIA

Para a determinação da vazão com média e alta altura da lâmina de água, utilizam-se os valores da altura da lâmina de água e da velocidade, aplicando-os na equação da continuidade [1].

$$Q = A \times V [1]$$

sendo:

Q = vazão em m³/s;

A = área da seção transversal molhada em m²;

V = velocidade da água em m/s.

3.5.5 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO EM PERÍODOS DE ESTIAGEM

Para a determinação da vazão em períodos com baixa altura de lâmina de água (menor que 0,26 m), é recomendável utilizar-se um molinete eletromagnético. Usa-se, normalmente, um vertedor triangular de parede delgada com ângulo de 90°, construído em chapa de aço.

Os valores obtidos podem ser utilizados na equação [2] para a determinação da vazão

$$Q = 1,42 \times h_2,$$

3.5.6 A CURVA CHAVE E A BARRAGEM DE GERMINAL

Na definição de um projeto de uma barragem, os elementos chaves para a determinação de um projeto de uma barragem, no setor da Hidrologia, são: Descarga Máxima Esperada; Volume Afluente Esperado a fim de se determinar o volume racional para a acumulação da barragem e o a descarga regularizada, função da disponibilidade hídrica da bacia e da acumulação a ser definida para a barragem, esta independente de uma série de fatores que não a Curva Chave.

Fazendo-se uma análise racional do projeto de uma barragem não se encontra elementos a serem subsidiados por uma Curva Chave para definirem os reais parâmetros do dimensionamento dessa barragem.

Assim sendo, a menos que seja uma exigência do Órgão promotor do projeto da barragem, não se encontra subsídios que se subordinem o dimensionamento da mesma à Curva Chave exigida nos Termos de Referência do projeto em pauta.

Contudo, a Projetista, atendendo às recomendações da Fiscalização atenderá à recomendação emanada nos Termos de Referência promovendo os estudos para a determinação da curva chave do rio no local escolhido para o barramento.

Considerando-se o rio periódico e havendo a necessidade de medições sucessivas numa seção a ser determinada para a se definir a velocidade média das águas na seção do rio, a ser devidamente escolhida, há que se prorrogar o prazo para a conclusão do Projeto Executivo em, pelo menos, duas estações hidrológicas.

A projetista se põe à disposição da Fiscalização a fim de atender às recomendações contidas nos Termos de Referência do Edital.

3.6 ASSOREAMENTO DA BARRAGEM GERMINAL

A construção de uma barragem e a conseqüente formação do seu reservatório tendem a modificar as condições naturais de um curso d'água.

A redução da velocidade de escoamento das águas do curso d'água muda o aspecto sedimentológico do rio, gerando uma redução das velocidades da corrente e provocando a deposição gradual dos sedimentos carreados pelo curso d'água, ocasionando, em conseqüência, o assoreamento do rio, diminuindo gradativamente a capacidade de armazenamento do reservatório, podendo vir a inviabilizar a operação do aproveitamento, além de ocasionar problemas ambientais de diversas naturezas.

Os danos ambientais e econômicos devido à acumulação de sedimentos nos reservatórios podem se tornar graves e de extrema dificuldade de remediar, particularmente em regiões áridas e semi-áridas

O estudo e avaliação do volume de sedimento a se formar pela interrupção de um rio, com a construção de uma barragem, é um processo difícil de ser determinado, pois ele depende de uma série de fatores tais como a natureza do solo, o sistema de floresta, o tipo de rocha predominante, a intensidade das chuvas, etc. Todos estes fenômenos físicos são de fundamental importância na acumulação do volume de sedimentos a se formarem durante a vida da barragem.

Com base na distribuição dos parâmetros acima citados, ao longo da bacia hidrográfica, a longo termo, o volume de sedimentos acumulado a cada ano em

ton/km²/ano pode ser avaliado, uma vez se tenha o histórico dos mesmos de modo a se associá-los para um resultado que se encontre sem grandes distorções.

A disparidade é tamanha, nos resultados determinados que chegam de 10.000 t/km²/ano a valores menores que 50 t/km²/ano.

Somente através de estudos sedimentológicos podem ser indicados com aproximada precisão os volumes de sedimento a se acumularem ao longo da vida dos barramentos.

Estudos batimétricos poderão indicar parâmetros que poderão ser adotados para bacia com geomorfologia, geologia e hidrologia similares.

Com esses dados será possível se fazer uma avaliação aproximada dos volumes de sedimentos que se formarão na bacia hidráulica ao longo da vida do barramento, podendo ser, inclusive, indicado por pessoal especializado, tipos de cobertura vegetal que possam reduzir o volume de sedimento carregado para a bacia hidráulica pelas precipitações.

Como curiosidade, apresenta-se o Quadro a seguir, mostrando a grande disparidade dos volumes de sedimento nos grandes rios da terra;

TABELA 24 - DESCARGA MÉDIA DE SEDIMENTOS EM 10⁶ TON/ANO

| | | | |
|---|---------------------|-----------|------|
| 1 | Ganges, Bramaphutra | India | 1670 |
| 2 | Yang-Tse-Kiang | China | 1080 |
| 3 | Amazonas | Brasil | 900 |
| 4 | Yangtse | China | 478 |
| 5 | Irrawady | Burma | 285 |
| 6 | Magdalena | Colombia | 220 |
| 7 | Mississipe | E.Unidos | 210 |
| 8 | Orinoco | Venezuela | 210 |

O Dr. S. Alam, do Departamento de Águas da Índia, em Delhi, disse apropriadamente, durante uma sua conferência que: "Geology, slope, climate, drainage density, and patterns of human disturbance all affect sediment yield, and no single parameter or simple combination of parameters explain the wide variability in global yields."

Conforme o exposto, os processos da sedimentação podem ser complexos. Os sedimentos transportados pelo sistema fluvial ao chegar ao lago formado pela barragem são depositados devido à redução de velocidade da água no reservatório. Os sedimentos se acumularem no lago, reduzem a capacidade de armazenamento da barragem. Enquanto ocorre uma contínua deposição de sedimento, há uma distribuição dos mesmos cuja forma é influenciada pela operação e também pela ocorrência de grandes enchentes responsáveis por carregamento de muito sedimento, estando sempre depositados no terço superior do lago e parte carregado ao longo do rio até uma nova deposição ao pé do maciço. Este depósito acumulado nos primeiros anos de funcionamento da barragem.

3.6.1 A LOCALIZAÇÃO DE SEDIMENTO NAS BACIAS HIDRÁULICAS

Geralmente, as formações de bancos sedimentares ficam localizadas na parte mais a montante das bacias hidráulicas, decorrente da diminuição da corrente dos rios ao encontrar o lago.

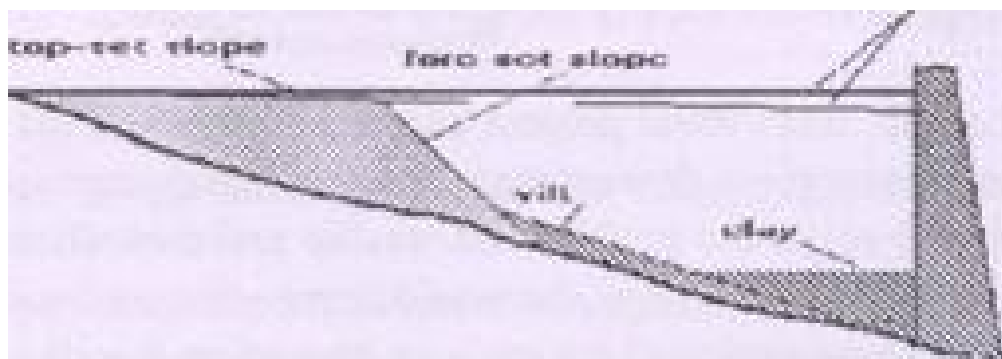


FIGURA 11 - BANCOS SEDIMENTARES

O projeto da barragem deverá tomar como importante o volume e consequente elevação do sedimento no pé do maciço, de modo que a barragem tenha uma vida útil, não inferior a 150 anos.

Pela complexidade do cálculo exato, há que se dispor no sistema de tomada d'água da barragem um dispositivo que possa carrear, parcialmente, o volume de sedimento que se acumulará ao longo dos anos, junto ao maciço da barragem.

3.6.2 ASSOREAMENTO EM BARRAGENS NO BRASIL

A sedimentologia no Brasil tem merecido especial atenção nos barramentos construídos, notadamente em virtude dos sistemas elétricos do país, predominantemente hidráulicos.

Estudos desenvolvidos pelo Banco Mundial mostraram que a vida útil média dos reservatórios existentes em todos os países no Mundo decresceu de 100 para 22 anos, significando cerca de 6 bilhões de dólares anuais o custo para promover a remoção dos volumes provenientes de assoreamento.

Dado importante conclui que a perda média anual de volume dos reservatórios devido ao depósito de sedimentos era de 1%, evidente que variável em função dos parâmetros já apresentados de grande complexidade e de valores aleatório de extrema faixa de variabilidade.

Essa taxa pode corresponder a perdas de capacidade de armazenamento de $2.000 \times 10^6 \text{ m}^3$ por ano o que corresponde a um volume maior do que muitos dos médios reservatórios existentes no Brasil.

Por outro lado constata-se um fato de enorme valia e de grande precaução: a erosão no país tem aumentado com o crescimento da população e do uso do solo.

O Brasil já possui muitos reservatórios totais ou mesmo parcialmente assoreados. O assoreamento visível normalmente é a menor parte do depósito, podendo-se dizer que é a ponta do iceberg. Por falta de levantamentos sistemáticos e de sua divulgação, não se conhece a situação dos reservatórios do país.

3.6.3 DEPOSIÇÃO DOS SEDIMENTOS NA BARRAGEM

O curso d'água, ao entrar no reservatório alarga as seções transversais do rio, ao mesmo tempo em que velocidades da corrente decrescem, criando condições favoráveis à deposição dos sedimentos.

Segundo um jogo entre o peso das partículas e a velocidade do curso d'água, as partículas maiores e mais pesadas precipitam na entrada do lago, enquanto o sedimento mais fino se desloca ao longo do curso d'água, agora dentro do lago se adentrando até o pé do barramento.

Com a formação dos depósitos de sedimentos, notadamente na entrada do lago e junto à barragem, a capacidade de acumulação útil do barramento diminui. Esta distribuição é função da morfologia da bacia, do tipo de cheia do rio, e de diversos fatores, causando, ainda aqui, mais aleatoriedade para a determinação exata do volume útil da barragem com o passar dos anos.

Ao se depositarem, os sedimentos se estendem para montante e para jusante, de modo não uniformemente dentro do lago. A deposição de montante é chamada de **depósito do remanso** (*backwater deposit*). As deposições de dentro do reservatório são chamadas de **delta** (*delta*), **depósito de margem** (*overbank*) e **depósito do leito** (*bottom-set deposit*). O delta se forma com sedimentos grossos, enquanto os depósitos do interior, com sedimentos mais finos (Mahmood, 1987).

As cheias geram outro tipo de deposição, ocorrendo ao longo do curso d'água e do reservatório, chamados de **depósito de várzea** ou **depósito de planície de inundação**, que são constituídos por sedimentos de granulometria variada, dependendo da cheia.

3.6.4 CURVA DE BRUNE

Brune construiu uma curva mediana e duas envoltórias que procura relacionar a capacidade de retenção de sedimentos num lago com a sua capacidade de afluência, em estudos realizados em três barramentos.

Curva de Brune (dados de médios e grandes reservatórios existentes):

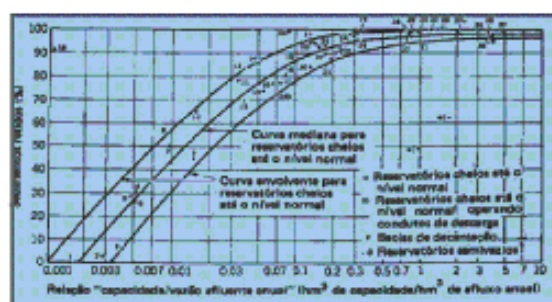


FIGURA 12 - CURVA DE BRUNE

A curva apresentada tenta, em barramentos experimentados correlacionar a quantidade de sedimento que se acumula na bacia hidráulica, com a quantidade carregada, em função do tamanho da bacia hidráulica.

3.6.5 MEDIDAS PREVENTIVAS

As medidas preventivas para controle da produção de sedimentos na bacia hidrográfica passam necessariamente por ações governamentais, destacando-se entre outras as seguintes:

- Controle de desmatamentos,
- Reflorestamento de áreas, onde possível,
- Proibição de queimadas,
- Construção de estradas com controle efetivo da drenagem durante e após a construção,
- Controle do manejo da agricultura e das áreas de pastagens, incluindo o incentivo de práticas adequadas de conservação do solo, quais sejam:

3.6.6 CONCLUSÕES APLICÁVEIS À BARRAGEM GERMINAL.

Os parâmetros aplicáveis para a barragem Germinal são os seguintes:

- a) Barragem de pequeno porte;
- b) Declividade média do rio, alta, com velocidade superior a 0,50 m/s;
- c) Mata parcialmente eliminada;
- d) Solo de pequena profundidade;
- e) Rocha predominante do tipo gnaisse/granito.

Com base na análise que se possa obter dos dados acima descritos, estima-se que a barragem Germinal receberá um afluxo de sedimentos nos três primeiros anos, com afluência de 150 t m³/ano, tendendo a decrescer até uma estabilização dentro de decênios.

Para minimizar os efeitos de redução do volume útil, bem como a obstrução dos condutos projetados para a descarga no rio, deverá ser construída uma tomada d'água provida de um descarregador de fundo, de modo que, durante as primeiras chuvas da estação invernal, seja possível dar uma máxima descarga compatível com a estrutura hidromecânica, provocando o carregamento do sedimento existente na área de influência da tomada d'água.

Com esta providência ficará assegurada o perfeito funcionamento do sistema hidromecânico, tornando o rio perene a jusante do barramento.

A base inferior do tubo da tomada d'água estará na cota 334,75 que corresponde, segundo os valores encontrados na curva cota x áreas x volumes, a um volume acumulável de 20.000,00 m³.

Tomando-se uma taxa de acumulação de sedimento anual de cerca de 150,00 t/ano e considerado a massa específica de sedimento iguala 2,00 t/m³, o volume acumulado ao final de 1 ano será de 75.000,00 m³.

O volume de sedimento que se acumulará no pé do barramento deverá ser da ordem de 30% do volume total de entrada, uma vez se considere que o volume de fino do sedimento, passando na peneira #4,00 da Série Tyler, chegue aos 30% do total estimado.

Assim, ao final de 3 anos, seriam acumulados na base da bacia hidráulica, 210.000,00 m³, que corresponderia à cota 340,00.

Evidente que todos estes cálculos são hipóteses considerados os parâmetros físicos da barragem Germinal.

As descargas d'água através da tomada d'água minimizará, por certo, os efeitos de uma interrupção do curso d'água, a jusante do barramento.

A geomorfologia da bacia hidráulica se apresenta com movimentação apreciável, denotando que o escoamento na bacia se dá com velocidades média da água superior a 0,50 m/s.

A cobertura vegetal aliada a litologia da bacia, de um modo geral é favorável a pequeno carregamento de sedimentos decorrentes de intemperismos da rocha que predomina na bacia hidráulica.

Estes aspectos físicos dão a esperança de pequeno carregamento de material sólido para a parte próxima ao barramento, notadamente a partir do enchimento do lago.

A tomada d'água foi projetada em dimensões voltadas para a limpeza da área imediatamente a montante da barragem, de modo a se ter um maior volume de água aproveitável ao mesmo tempo em que se fará com as descargas de estio a renovação da qualidade da água acumulada.

Estudos mais detalhados do tipo e quantidade de sedimentos só serão tecnicamente possível com uma avaliação a ser executada com sedimentímetros ou sedimentógrafos ao longo de vários anos, quando então serão possível se assegurar a variação do volume útil d água acumulada ao longo da vida da barragem.

No caso da barragem Germinal, não deverá haver maiores problemas de assoreamento decorrente do intemperismo da rocha predominante, um gnaisse protegido, em grande parte, por uma cobertura vegetal de médio porte.

4 DESCRIÇÃO DO PROJETO

4.1 BARRAGEM

A Barragem Germinal (Figura 13) localizada entre as estacas G+15,00m a 7, foi projetada do tipo gravidade em Concreto Compactado a Rolo (CCR), com altura máxima de 27,45m a partir do terreno natural, com trechos insubmersíveis, apresentando paramento de montante vertical, com uma geratriz a jusante de

0,80:1,0 (H:V), escalonada em espelhos de 60 cm, correspondendo a 2 (duas) camadas de CCR, de 30 cm, compactadas.

A Barragem Germinal tem uma extensão 95m (exceto sangradouro), tendo seu o coroamento na cota 357,00m e a soleira na cota 354,00m. A cota máxima de sangria é a 356,30, ou seja, lâmina máxima de sangria igual a 2,30m. A folga da barragem é de 0,70m.

No projeto, foi adotada uma largura de 6,00m para o coroamento da barragem, para torná-la homogênea em toda a sua extensão.

O talude de montante da barragem foi adotado em vertical. O talude de jusante da barragem segue a diretriz com declividade 0,80(H): 1,0(V), sendo escalonado em degraus de 0,60m de espelho, correspondendo a duas camadas de 0,30m, com patamares de 0,48m.

Para o alívio de possíveis subpressões e inspeção do maciço, o sistema de drenagem interna da barragem será constituído por uma galeria com um sistema de furos a partir de seu piso e com objetivo de inspecionar do maciço.

A galeria percorrerá longitudinalmente a barragem desde a estaca 2 até a estaca 5. A cota do piso da galeria é igual a 331,00m, foi determinada em função do perfil topográfico.

Nos trechos das ombreiras, entre as cotas 346,00m até a cota 338,00m, a drenagem será feita através de uma caixa de brita contínua, direcionando as águas colhidas para a calha da galeria. Na ombreira esquerda, a caixa de brita começa na estaca 1+4,00m e se estende até a galeria, à estaca 2. Na ombreira direita a caixa de brita percorre a barragem da estaca 5 até a estaca 5+16,00m.

A galeria contará com dois acessos, nas estacas 5 e 2, para inspeção do maciço e encaminhamento das águas drenadas para o leito do rio.

O seu dimensionamento está baseado nas características dos concretos a serem adotados para a construção do maciço, cujos parâmetros estarão contidos nas Especificações Técnicas.

4.2 VERTEDOURO

O vertedouro (figura 13) da Barragem Germinal será do tipo Creager, e esta localizada entre as estacas 2+5m e 4+15m (trecho central da Barragem), e foi dimensionado um perfil, cujo paramento de montante e crista vertente, estão projetadas segundo recomendações do U.S.B.R.

A largura do sangradouro é de 50,00 m e sua vazão máxima de sangria igual a 378,00m³/s (tr=1.000 anos) o que equivale a uma lâmina de sangria igual a 2,30m.

O talude de jusante foi projetado em degraus, seguindo a geratriz calculada pelas recomendações do Bureau. No tomo 3 da Etapa B3 são apresentados os dimensionamentos desses degraus.

Foi projetada uma bacia de dissipação do tipo “piscina”, estudada em laboratório por Forster e Skrinde, utilizada na barragem de Monksville, nos EUA. e de Upper Stillwater, do US. Bureau of Reclamation, além de barragens projetadas e construídas no Nordeste brasileiro. A bacia de dissipação da Barragem germinal tem 9,00 de comprimento. No tomo 3 da Etapa B3 esta apresentado o dimensionamento completo da bacia de dissipação .

4.3 TOMADA D'ÁGUA

O dimensionamento da tomada d'água (figura 13) da Barragem Germinal teve como parâmetro principal a vazão a ser regularizada (0,049m³/s) calculada nos estudos hidrológicos apresentado, tomando-se o período mais crítico, ou seja, o

reservatório com a sua cota mínima de água, para os prolongados períodos de estio.

A tomada d'água para a Barragem Germinal está situada na ombreira esquerda, na estaca 2+3,00m no eixo da barragem, composta por uma tubulação de 500mm de diâmetro perpendicular ao eixo do maciço. A tubulação terá um comprimento aproximado de cerca de 29,00m.

Sua localização foi determinada em função das características locais de topografia e geotecnia. Sua implantação se dará assente sobre uma base de concreto de regularização.

A tubulação possui, na entrada, uma grade de proteção, seguida mais para jusante de uma comporta acionada por meio de dispositivo hidromecânico.

O controle das vazões é feito através de uma válvula do tipo Howell-Bunger de diâmetro igual a 500mm, colocada na extremidade de jusante, a fim de permitir uma descarga dissipada na área a jusante do maciço da barragem. Uma casa de comando abrigará o dispositivo de acionamento da válvula.

Convém ressaltar que o dimensionamento da galeria da tomada d'água está além do mínimo necessário, segundo cálculos usuais. Contudo, por recomendação da Fiscalização, o dimensionamento está voltado, também para se atender a periódicas descargas para descargas de sedimentos que eventualmente se acumulem no entorno da tomada d'água.

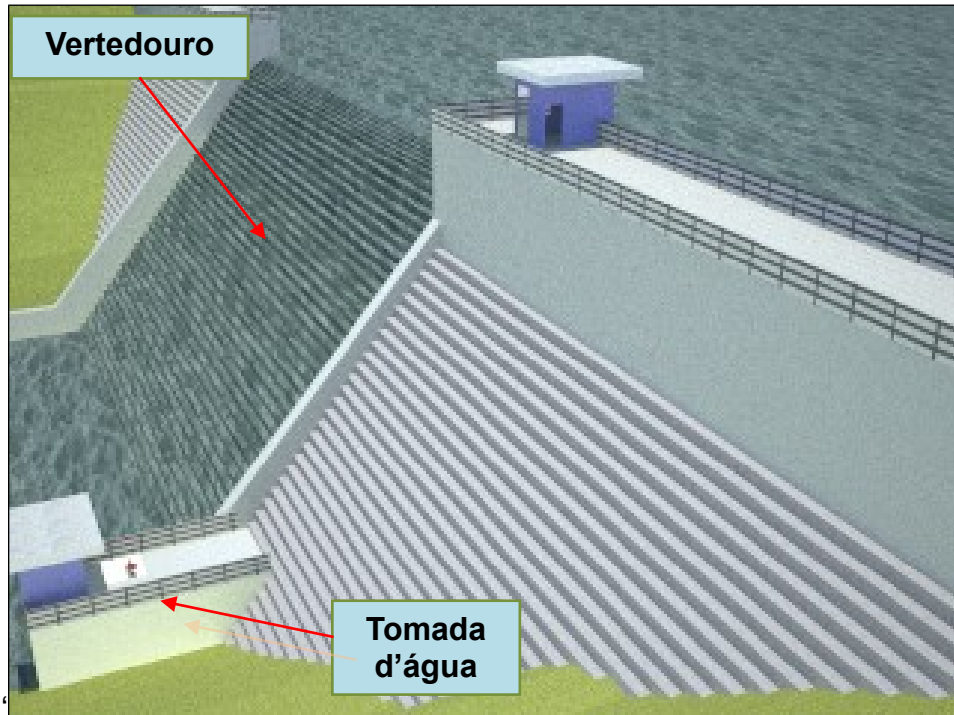


FIGURA 13 - BARRAGEM GERMINAL (MAQUETE)

5 INSTRUMENTAÇÃO EM BARRAGENS DE GRAVIDADE, TIPO CCR

Uma barragem de gravidade, construída com concreto compactado a rolo, CCR, como é o caso da Barragem Germinial, carece de uma operação e manutenção adequada durante sua vida útil.

No caso especial da Barragem Germinial, a montante de outras barragens já existentes, a manutenção deve merecer atenção continuada por parte do Órgão Público que virá a operá-la.

O Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, CBGB sugere uma combinação de instrumentos para medir cada patologia mais importante que deve ser monitorada em barragens de concreto:

a) escorregamento da fundação: para monitorar o escorregamento da fundação são utilizados piezômetros, pêndulos invertidos, medidores de junta e extensômetros múltiplos;

- b) obstrução do sistema de drenagem: a obstrução do sistema de drenagem pode ser detectada por piezômetros e medidores de vazão;
- c) fissuração térmica: a fissuração térmica pode ser detectada por termômetros, medidores de junta, deformímetros;
- d) fissuração por RAA: a fissuração por RAA pode ser detectada por medidores de junta ou extensômetros aplicados no maciço;
- e) fissuração por tensões estruturais: a fissuração por tensões estruturais pode ser detectada por deformímetros e tensômetros;
- f) fissuração por recalque diferencial: a fissuração por recalque diferencial pode ser detectada por extensômetros múltiplos e medidores de junta;
- g) fissuração por sismos: a fissuração por sismos pode ser detectada por sismógrafos e acelerógrafos;
- h) fissuração por recalque da fundação: a fissuração por recalque de fundação por piezômetros e extensômetros.

A execução de um bom projeto de instrumentação de uma barragem se deve ter em consideração o seguinte:

- atenção especial deve ser dada às fundações;
- deve ser verificada a existência de blocos ou estruturas iguais ou análogas, selecionando bloco representativo do grupo;
- os instrumentos e os sistemas de medição escolhidos devem ser os que interfiram, o mínimo possível, com as atividades de construção;
- a localização dos instrumentos deve aproveitar ao máximo as instalações e sistemas existentes como drenagem, galerias, poços, dutos, etc.;
- a medição de deslocamento relativo entre blocos deve estar presente em todas as juntas e medição de subpressão em blocos alternados;

- para a escolha do tipo de instrumento devem ser considerados aspectos de sensibilidade e campo de medição, confiabilidade, custo de aquisição, instalação e operação, durabilidade e resistência;
- devem ser preferidos os instrumentos de leitura direta e sistemas simples de funcionamento e manutenção já conhecidos e experimentados, disponíveis em fábricas, com assistência técnica ou que possam ser fabricados no próprio canteiro;
- em cada estrutura ou trecho, os blocos mais importantes por sua altura, localização e condições especiais devem ser escolhidos como blocos chave, onde porção massiva de tipos de instrumentação deve ser instalada.

Atualmente, existem diversos sistemas de instrumentação de barragens, podendo ser destacados:

- sistema de medição por princípio elétrico, como por exemplo o tipo Carlson (ROSSO e PIASENTIM, 1996);
- sistema de medição por corda vibrante (MUSSI et al. 1999);
- sistema de instrumentação por medição topográfica e ou geodésica (DONGJIE et al. 1999);
- sistema de instrumentação por medição direta (CBGB, 1996);
- sistema de instrumentação por fibra ótica (AUFLEGER et al. 1999).

Os sistemas de instrumentação por medição direta são baseados em leituras diretas dos fenômenos físicos, como: medição da variação de nível de água de reservatório utilizando régua marcada em determinado ponto; medição de variação na abertura de fissuras utilizando régua, micrômetro ou fissurômetro, medição da variação de nível de água em piezômetro de tubo aberto ou Casagrande, utilizando trena ou manômetro, etc.

Os sistemas de medição topográficos ou geodésicos também derivam da medição direta dos fenômenos, porém utilizam ferramentas topográficas e geodésicas, como teodolitos e GPS, entre outros.

5.1 MONITORAMENTO EM FUNÇÃO DO TIPO DE BARRAGEM

Nestas estruturas a instrumentação monitora a subpressão de fundação ao longo do contato concreto-rocha, a temperatura do concreto e sua dissipação ao longo do tempo, deslocamentos, recalques de fundação, tendo uma atenção especial com a parte central da estrutura.

São observadas com atenção também as tensões de origem térmicas, pois estas podem atingir valores significativos, bem como as tensões no concreto em barragens com mais de 50 metros de altura. Estas barragens possuem juntas longitudinais de contração e devem ser monitoradas através de medidores elétricos de junta entre blocos para observar seus deslocamentos.

5.1.1 TIPOS DE INSTRUMENTOS

- pêndulos invertidos;
- pêndulo direto;
- pêndulo ótico;
- medidores de junta;
- termômetros;
- piezômetros;
- deformímetros;
- extensômetros no concreto;
- extensômetros na rocha.

5.1.2 INSTRUMENTAÇÃO NA ESTRUTURA

Instrumentos para as medidas de deformação, tensão, subpressão, infiltração e sismos são de grande importância para o conhecimento do comportamento da barragem e reavaliação do projeto.

Quando se vai avaliar o comportamento da estrutura e não só sua segurança estrutural, as medições necessárias para a completa interpretação dos fenômenos de uma estrutura de concreto são:

- a) deslocamento horizontal;
- b) deslocamento angular;
- c) deslocamento diferencial entre blocos;
- d) tensão no concreto;
- e) tensão na armadura;
- f) temperaturas;
- g) vazão de infiltração;
- h) inspeções visuais.
- i) Deslocamentos horizontais

Nas barragens do tipo gravidade, em CCR, como é o caso da barragem de Germinal estes deslocamentos são usualmente observados por pêndulos diretos, fixos à crista da barragem indo até o contato concreto-rocha, e por pêndulos invertidos, fixos na fundação, indo até o contato concreto-rocha.

Na figura 14 mostra-se a associação destes dois tipos de pêndulos, para a medida do deslocamento da crista da barragem até a fundação da mesma, os poços verticais, onde são instalados os pêndulos no final do período construtivo da barragem, são deixados durante a concretagem das estruturas, sendo de extrema importância sua verticalidade, para que não interfira no campo de leitura do instrumento.

5.1.2.1 PÊNULO INVERTIDO

As leituras dos deslocamentos horizontais são realizadas com o auxílio de coordenômetros óticos (ou telecordinômetros, segundo as direções montante-jusante e margem direita-esquerda).

A figura 15 mostra detalhes de um pêndulo invertido.

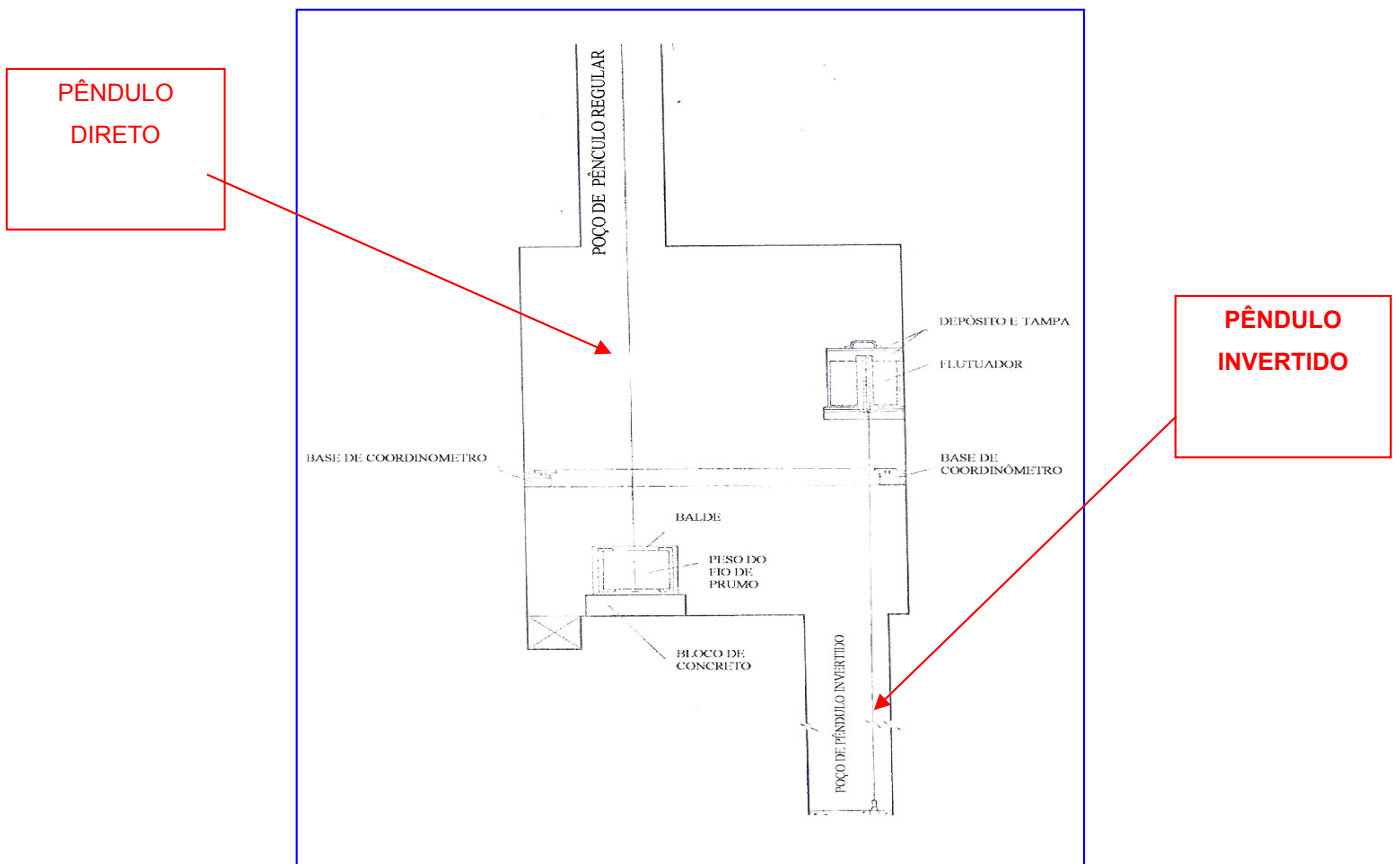


FIGURA 14 - ESQUEMA DE INSTALAÇÃO (PÊNULOS DIRETO E INVERTIDO)

As instalações dos pêndulos, direto e invertido, devem ser nos mesmos blocos, possibilitando a determinação dos deslocamentos horizontais (deslocamentos

relativos) da crista da barragem em relação ao ponto considerado fixo na fundação.

Deve-se prever nestes mesmos blocos a instalação de marcos topográficos superficiais, para associação dos deslocamentos medidos com aqueles medidos por métodos geodésicos, os quais são considerados inicialmente como deslocamentos absolutos.

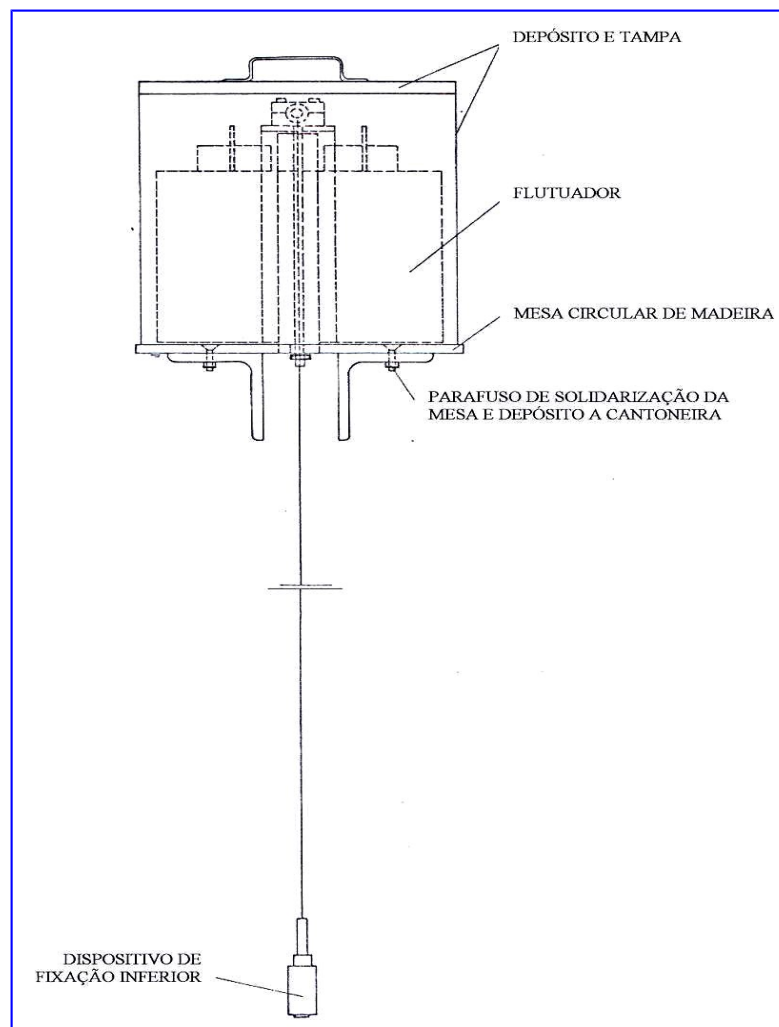


FIGURA 15 - PÊNDULO INVERTIDO

5.1.2.2 MEDIDOR TRIANGULAR DE VAZÃO

Mesmo numa barragem com instrumentação adequada para o seu monitoramento, a inspeção visual é uma ferramenta muito importante para garantir a segurança da mesma. As inspeções podem ser de Rotina (informais), Periódica (formais) e Especiais (Excepcionais).

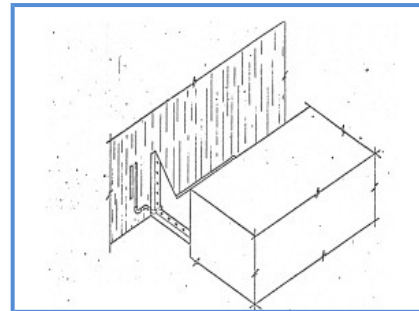
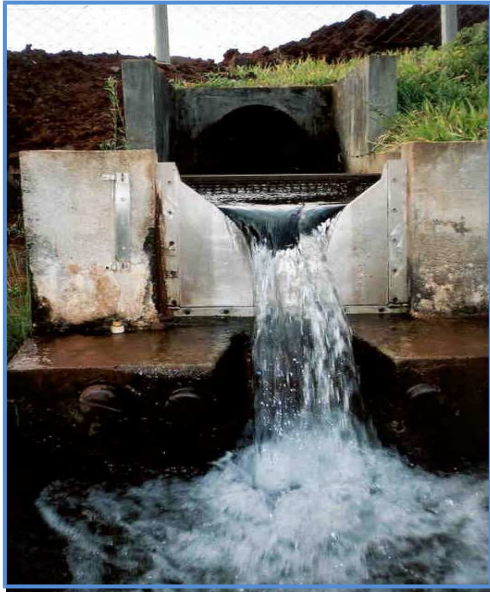


FIGURA 16 - MEDIDOR TRIANGULAR

A inspeção visual de rotina tem um papel relevante no controle de segurança de uma barragem. Estas inspeções são feitas pela mesma equipe que faz a leitura nos instrumentos. Ela é feita durante as campanhas de leituras, pois esta equipe já está sensibilizada com comportamento da barragem, podendo fornecer informações relevantes de imediato.

As inspeções Periódicas são realizadas em datas específicas, em função da fase da obra sob supervisão de um técnico especialista.

As inspeções Especiais ocorrem quando algum evento ou anomalia repentinos colocam em risco a segurança da barragem. A equipe de inspeção é acompanhada por um técnico pode haver a necessidade de acompanhamento de um especialista.

5.1.2.3 PIEZÔMETROS

Entre todos instrumentos, o de mais fácil construção, instalação e leitura está o piezômetro do tipo Casagrande.

Pode ser instalado dentro da galeria de drenagem, na bacia de dissipação, funcionando em coordenação com o sistema de drenos da barragem.

A manutenção é de fácil execução, fornecendo dados imediatos que se devidamente registrados oferecem meio de perfeito monitoramento da estrutura, notadamente quanto ao surgimento de pressões indesejáveis.

Os piezômetros podem ser instalados durante a construção da obra, bem como após a sua conclusão.

Quando instalados de modo estratégico poderão indicar, inclusive, eventuais movimentos, sendo os mesmos detectados através de mudanças bruscas de níveis piezométricos observados durante as inspeções programadas.

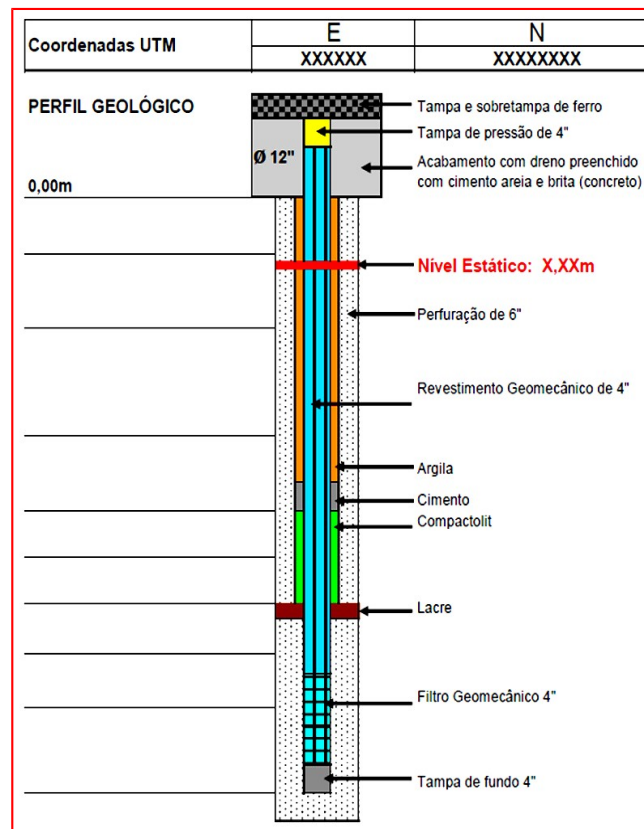


FIGURA 17 - PIEZÔMETRO

5.2 INSTRUMENTAÇÃO DA BARRAGEM GERMINAL

É por demais sabido o descaso observado na manutenção de **todas** as barragens construídas no Nordeste brasileiro, quer por descuido daqueles que as operam quer, e por maior razão, da falta de recursos para uma manutenção adequada.

Tentativas já foram feitas na instalação de uma instrumentação adequada e indispensável, em algumas barragens, notadamente no caso do DNOCS (Barragem do Brumado na Bahia) chegando-se à ingrata conclusão que tudo não passou de gastos inúteis com uma instrumentação onerosa.

Ficando a critério da SEINFRA-CE, foi projetado para a Barragem Germinal, um conjunto considerado mínimo, para o controle de operação e manutenção, constituído por 04 (quatro) piezômetros do tipo Casa Grande, 03 (três) Tassômetros situados no maciço da barragem e dois Bench-Marks em situações estratégicas de modo a permitir o controle do maciço construído, a partir de triangulação topográfica.

A instrução para a instalação e operação do Sistema fará parte das Especificações Técnicas constantes do Projeto Executivo da Barragem.

Plantas devidamente detalhadas farão parte do tomo II desta Etapa B3 do Projeto Executivo.

6 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

A seguir apresenta-se o cronograma físico-financeiro de execução das obras pertinentes à Barragem Germinal em consonância com a planilha orçamentária apresentada no Tomo 5.

INSERIR CRONOGRAMADO EXCEL

7 CANTEIRO DE OBRA

A área destinada à instalação do canteiro será a mais próxima possível do eixo do barramento, tornando-se, assim, possível ser realizada uma fiscalização e gerenciamento mais adequado a obra. O acesso ao canteiro de obras se fará através da estrada a ser construída.

A instalação do canteiro compreende a construção e manutenção dos escritórios, oficinas e respectivas máquinas e ferramentas, postos de abastecimento e lubrificação, depósito de explosivos, almoxarifado geral e de peças, e quaisquer outras instalações e serviços que venham a ser necessários para o bom andamento da obra, quais sejam:

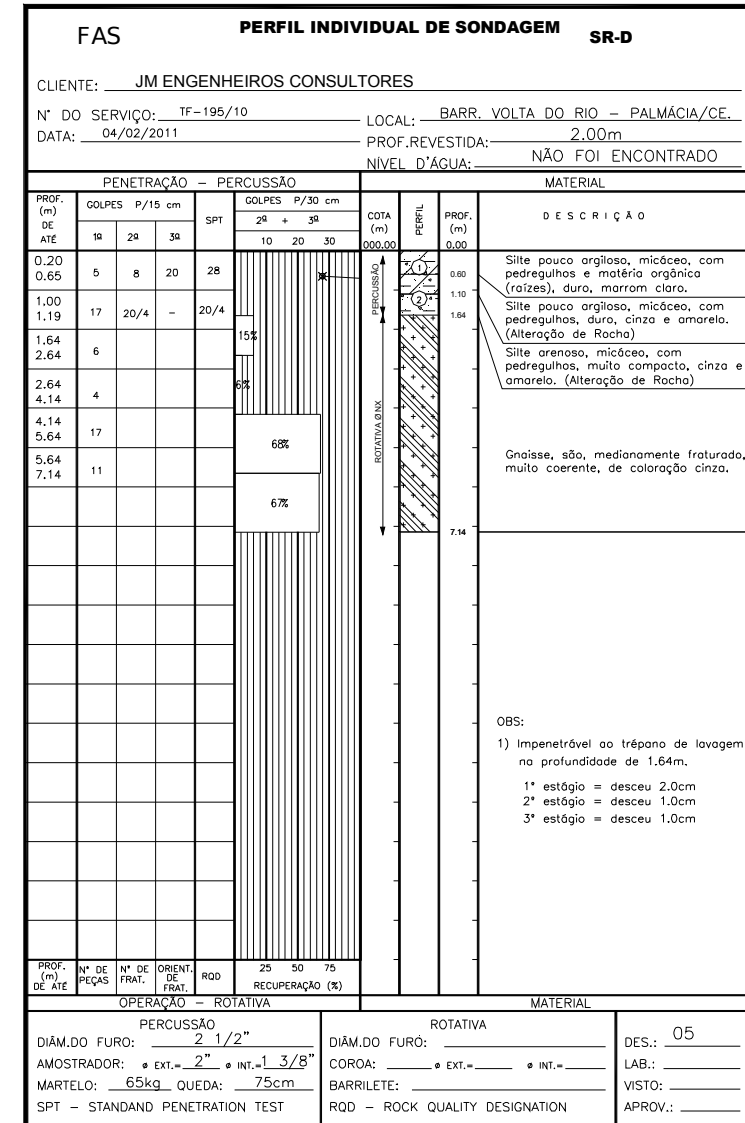
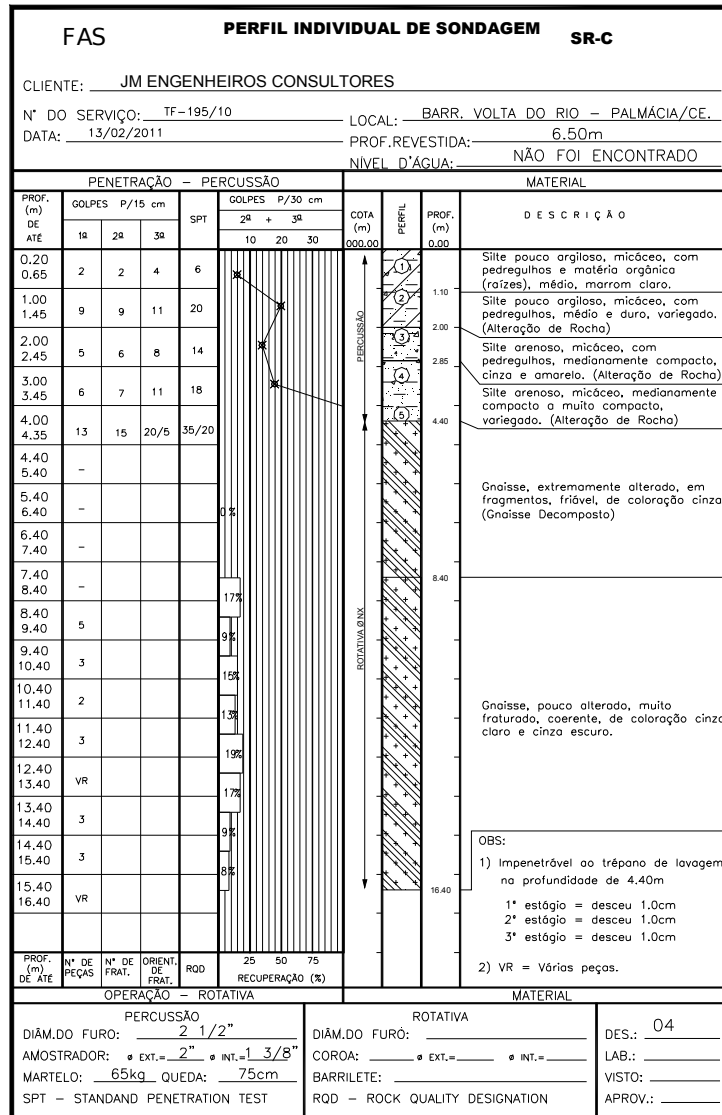
- Acampamento, compreendendo a construção e manutenção de todas as casas necessárias à moradia do pessoal da obra, refeitórios, armazéns e quaisquer outras instalações, que venham a ser necessárias ao conforto do pessoal da obra e ao bom andamento dos serviços;
- Serviços, compreendendo instalação e manutenção das redes de águas e esgotos, ar comprimido, luz e força e telefonia interna necessárias às instalações do canteiro, inclusive as ligações para as instalações do Contratante, e quaisquer outros serviços que se façam necessários;
- Estradas, compreendendo a construção e manutenção de todas as estradas e serviços do canteiro das obras, estrada de acesso ao local da barragem.
- Transporte, montagem e desmontagem de todos os equipamentos, máquinas e ferramentas, bem como a retiradas do canteiro, enfim, todas as despesas relacionadas direta ou indiretamente com a colocação, no canteiro, de todos os elementos necessários ao bom andamento dos serviços e posterior retirada da obra.

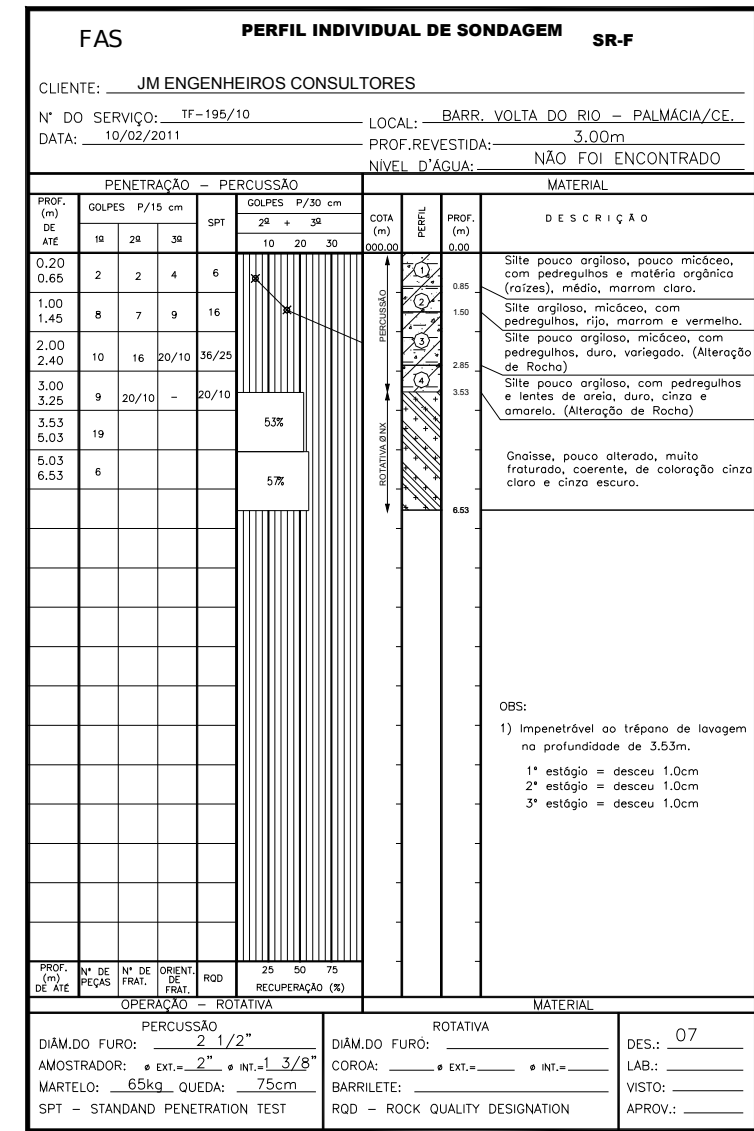
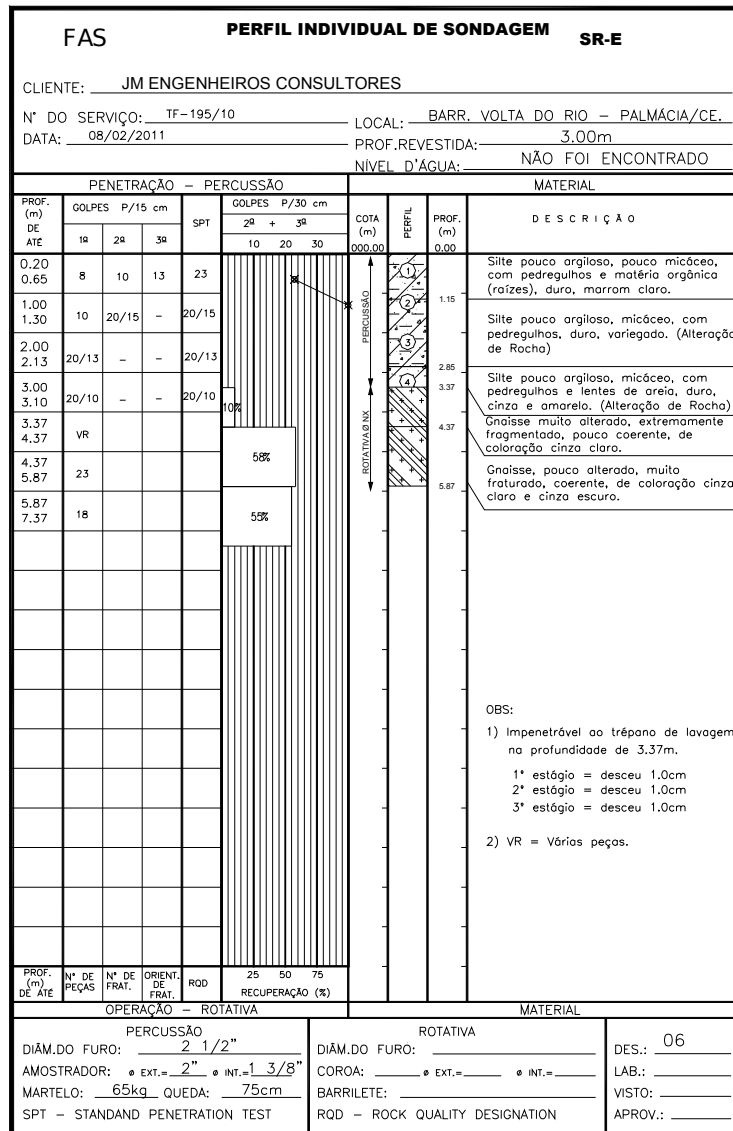
As instalações que não interessam ao Contratante deverão ser demolidas às expensas do Empreiteiro.

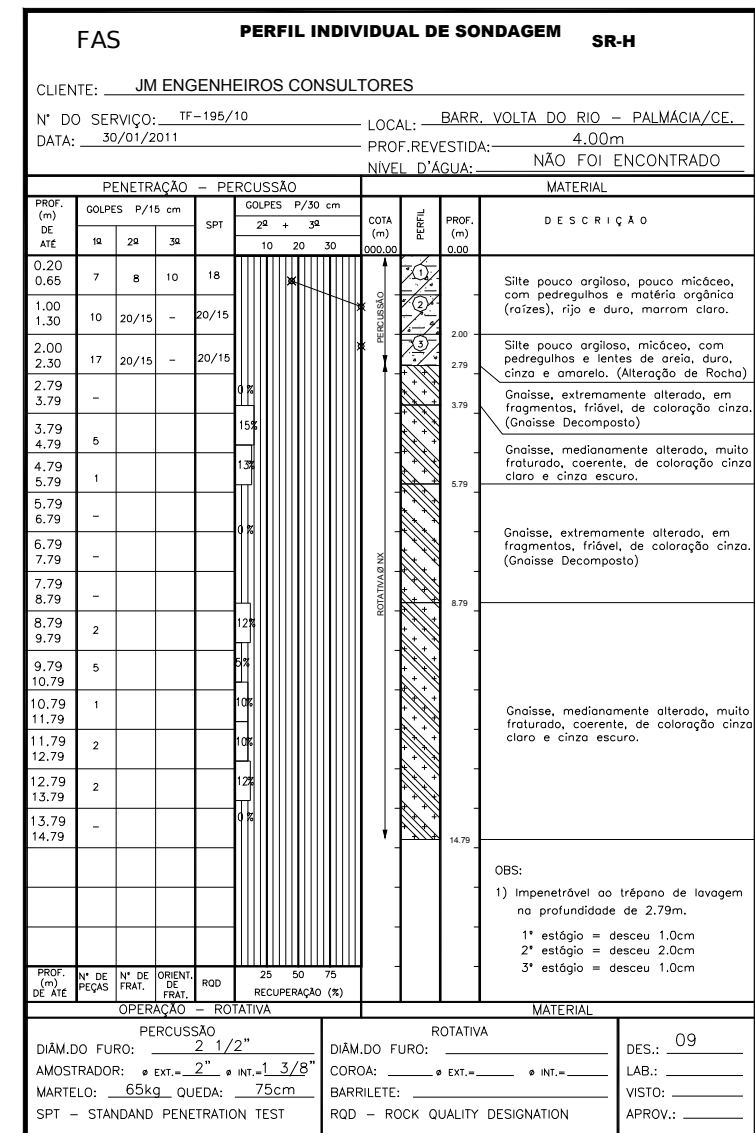
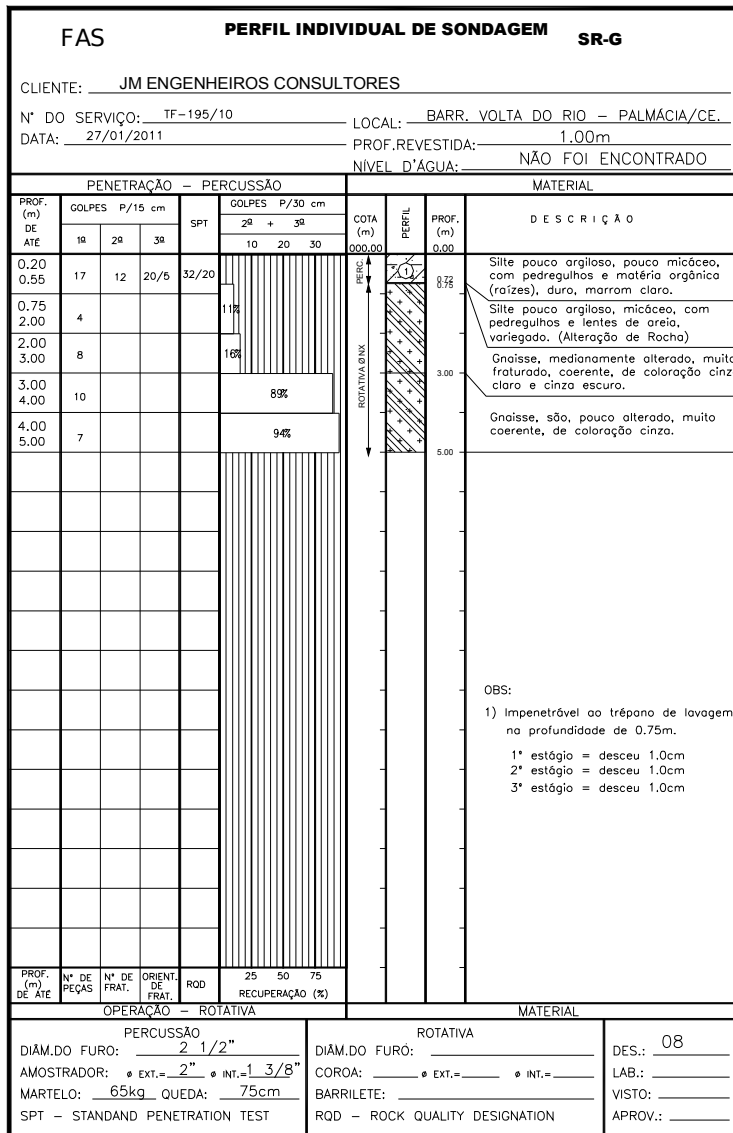
No Tomo 4 relativos às especificações técnicas serão detalhados os procedimentos técnicos relativos ao canteiro de obras.

8 ANEXO

8.1 SONDAJENS COMPLEMENTARES







| FAS PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM SR- I | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|-------------|--|--------------------------------|-----------------|----------------------------------|----|------------------|--------|----------------|--|----|
| CLIENTE: JM ENGENHEIROS CONSULTORES | | | | | | | | | | | | |
| N° DO SERVIÇO: TF-195/10 | | | LOCAL: BARR. VOLTA DO RIO - PALMÁCIA/CE. | | | | | | | | | |
| DATA: 01/02/2011 | | | PROF. REVESTIDA: 1.00m | | | NÍVEL D'ÁGUA: NÃO FOI ENCONTRADO | | | | | | |
| PENETRAÇÃO - PERCUSSÃO | | | | | | MATERIAL | | | | | | |
| PROF. (m) DE ATÉ | GOLPES P/15 cm | | | SPT | GOLPES P/30 cm | | | COTA (m) 000.00 | PERFIL | PROF. (m) 0.00 | DESCRIÇÃO | |
| | 1ª | 2ª | 3ª | | 2ª + 3ª | 10 | 20 | | | | | 30 |
| 0.20 | 8 | 9 | 15 | 24 | | | | | | 0.75 | Silte pouco argiloso, pouco micáceo, com pedregulhos e matéria orgânica (raízes), duro, marrom claro. (Alteração de Rocha) | |
| 0.65 | | | | | | | | | | | | |
| 0.75 | | | | | | | | | | | | |
| 1.75 | | | | | | | | | | | | |
| 2.75 | 8 | | | | | | | | | 2.75 | Gnaíse, pouco alterado, medianamente fraturado, coerente, de coloração cinza claro. | |
| OBS: 1) Impenetrável ao trépano de lavagem na profundidade de 0.75m 1° estágio = desceu 1.0cm 2° estágio = desceu 1.0cm 3° estágio = desceu 1.0cm | | | | | | | | | | | | |
| PROF. (m) DE ATÉ | N° DE PEÇAS | N° DE FRAT. | ORIENT. DE FRAT. | ROD | RECUPERAÇÃO (%) | | | MATERIAL | | | | |
| | | | | | 25 | 50 | 75 | | | | | |
| OPERAÇÃO - ROTATIVA | | | | | | | | MATERIAL | | | | |
| PERCUSSÃO | | | | ROTATIVA | | | | DES.: 10 | | | | |
| DIÂM.DO FURO: 2 1/2" | | | | DIÂM.DO FURO: _____ | | | | LAB.: _____ | | | | |
| AMOSTRADOR: EXT.= 2" INT.= 1 3/8" | | | | COROA: EXT.= _____ INT.= _____ | | | | BARRILETE: _____ | | | | |
| MARTELO: 65kg QUEDA: 75cm | | | | BARRILETE: _____ | | | | VISTO: _____ | | | | |
| SPT - STANDAND PENETRATION TEST | | | | ROD - ROCK QUALITY DESIGNATION | | | | APROV.: _____ | | | | |

| FAS PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM SR- J | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|--|--------------------------------|-----------------|----------------------------------|----|------------------|--------|----------------|--|----|
| CLIENTE: JM ENGENHEIROS CONSULTORES | | | | | | | | | | | | |
| N° DO SERVIÇO: TF-195/10 | | | LOCAL: BARR. VOLTA DO RIO - PALMÁCIA/CE. | | | | | | | | | |
| DATA: 09/02/2011 | | | PROF. REVESTIDA: 4.00m | | | NÍVEL D'ÁGUA: NÃO FOI ENCONTRADO | | | | | | |
| PENETRAÇÃO - PERCUSSÃO | | | | | | MATERIAL | | | | | | |
| PROF. (m) DE ATÉ | GOLPES P/15 cm | | | SPT | GOLPES P/30 cm | | | COTA (m) 000.00 | PERFIL | PROF. (m) 0.00 | DESCRIÇÃO | |
| | 1ª | 2ª | 3ª | | 2ª + 3ª | 10 | 20 | | | | | 30 |
| 0.20 | 1 | 2 | 2 | 4 | | | | | | | | |
| 0.65 | | | | | | | | | | | | |
| 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| 1.45 | 5 | 6 | 10 | 16 | | | | | | 1.20 | Silte arenoso, micáceo, fofa a medianamente compacto, marrom claro. | |
| 2.00 | | | | | | | | | | | | |
| 2.45 | 8 | 10 | 12 | 22 | | | | | | | | |
| 3.00 | | | | | | | | | | | | |
| 3.05 | 20/5 | - | - | 20/5 | | | | | | 3.40 | Silte arenoso, micáceo, medianamente compacto a muito compacto, cinza e amarelo. | |
| 4.00 | | | | | | | | | | | | |
| 4.20 | 17 | 20/5 | - | 20/5 | | | | | | 4.53 | Silte pouco argiloso, micáceo, com pedregulhos, duro, variegado. (Alteração de Rocha) | |
| 4.53 | | | | | | | | | | | | |
| 6.00 | | | | | | | | | | 6.00 | Gnaíse, extremamente alterado, em fragmentos, friável, de coloração cinza. (Gnaíse Decomposto) | |
| 6.00 | | | | | | | | | | | | |
| 7.50 | 16 | | | | | | | | | | | |
| 7.50 | | | | | | | | | | | | |
| 9.00 | 19 | | | | | | | | | 9.00 | Gnaíse, pouco alterado, medianamente fraturado, muito coerente, de coloração cinza. | |
| OBS: 1) Impenetrável ao trépano de lavagem na profundidade de 4.53m. 1° estágio = desceu 1.0cm 2° estágio = desceu 1.0cm 3° estágio = desceu 1.0cm | | | | | | | | | | | | |
| PROF. (m) DE ATÉ | N° DE PEÇAS | N° DE FRAT. | ORIENT. DE FRAT. | ROD | RECUPERAÇÃO (%) | | | MATERIAL | | | | |
| | | | | | 25 | 50 | 75 | | | | | |
| OPERAÇÃO - ROTATIVA | | | | | | | | MATERIAL | | | | |
| PERCUSSÃO | | | | ROTATIVA | | | | DES.: 11 | | | | |
| DIÂM.DO FURO: 2 1/2" | | | | DIÂM.DO FURO: _____ | | | | LAB.: _____ | | | | |
| AMOSTRADOR: EXT.= 2" INT.= 1 3/8" | | | | COROA: EXT.= _____ INT.= _____ | | | | BARRILETE: _____ | | | | |
| MARTELO: 65kg QUEDA: 75cm | | | | BARRILETE: _____ | | | | VISTO: _____ | | | | |
| SPT - STANDAND PENETRATION TEST | | | | ROD - ROCK QUALITY DESIGNATION | | | | APROV.: _____ | | | | |

| FAS PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAEM SR-K | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------------|-------|----|--|----------------|----------------------------------|----|----------------------------------|--------|-----------|---|
| CLIENTE: JM ENGENHEIROS CONSULTORES | | | | | | | | | | | |
| Nº DO SERVIÇO: TF-195/10 | | | | LOCAL: BARR. VOLTA DO RIO - PALMÁCIA/CE. | | | | | | | |
| DATA: 09/02/2011 | | | | PROF. REVESTIDA: 1.00m | | | | NÍVEL D'ÁGUA: NÃO FOI ENCONTRADO | | | |
| PENETRAÇÃO - PERCUSSÃO | | | | | | MATERIAL | | | | | |
| PROF. (m) DE ATE | GOLPES P/15 cm | | | SPT | GOLPES P/30 cm | | | COTA (m) | PERFIL | PROF. (m) | DESCRIÇÃO |
| | 1ª | 2ª | 3ª | | 2ª + 3ª | 10 | 20 | | | | |
| 0.20 | 9 | 10 | 12 | 22 | | | | 0.00 | | 0.00 | Siltite pouco argiloso, pouco micáceo, com pedregulhos e matéria orgânica (raízes), duro, marrom. |
| 1.00 | 12 | 18/15 | - | 18/15 | | | | 0.90 | | 1.50 | Siltite pouco argiloso, micáceo, com pedregulhos, duro, variegado. (Alteração de Rocha) |
| 1.50 | - | | | | | | | 1.50 | | | Gnaíse, extremamente alterado em fragmentos, frível de coloração cinza. (Gnaíse Decomposto) |
| 2.50 | - | | | | | | | 4.00 | | 4.00 | |
| 4.00 | 15 | | | | | | | 4.00 | | 4.00 | Gnaíse, pouco alterado, muito fraturado, coerente, de coloração cinza claro e cinza escuro. |
| 5.50 | | | | | | | | 5.50 | | 5.50 | |
| 5.50 | 9 | | | | | | | 5.50 | | 5.50 | |
| 7.00 | | | | | | | | 7.00 | | 7.00 | |
| OPERACÃO - ROTATIVA | | | | | | MATERIAL | | | | | |
| PERCUSSÃO | | | | | | ROTATIVA | | | | | |
| DIAM. DO FURO: 2 1/2" | | | | | | DIAM. DO FURO: _____ | | | | | |
| AMOSTRADOR: EXT. = 2" INT. = 1 3/8" | | | | | | COROA: EXT. = _____ INT. = _____ | | | | | |
| MARTELO: 65kg QUEDA: 75cm | | | | | | BARRILETE: _____ | | | | | |
| SPT - STANDARD PENETRATION TEST | | | | | | ROD - ROCK QUALITY DESIGNATION | | | | | |
| DES.: 12 | | | | | | LAB.: _____ | | | | | |
| VISTO: _____ | | | | | | APROV.: _____ | | | | | |

| FAS PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAEM SR-L | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------------|----|----|--|----------------|----------------------------------|----|----------------------------------|--------|-----------|---|
| CLIENTE: JM ENGENHEIROS CONSULTORES | | | | | | | | | | | |
| Nº DO SERVIÇO: TF-195/10 | | | | LOCAL: BARR. VOLTA DO RIO - PALMÁCIA/CE. | | | | | | | |
| DATA: 03/02/2011 | | | | PROF. REVESTIDA: 2.20m | | | | NÍVEL D'ÁGUA: NÃO FOI ENCONTRADO | | | |
| PENETRAÇÃO - PERCUSSÃO | | | | | | MATERIAL | | | | | |
| PROF. (m) DE ATE | GOLPES P/15 cm | | | SPT | GOLPES P/30 cm | | | COTA (m) | PERFIL | PROF. (m) | DESCRIÇÃO |
| | 1ª | 2ª | 3ª | | 2ª + 3ª | 10 | 20 | | | | |
| 0.20 | 2 | 3 | 3 | 6 | | | | 0.00 | | 0.00 | Siltite arenosa, micáceo, pouco compacto, marrom claro. |
| 1.00 | 8 | 8 | 13 | 21 | | | | 0.90 | | 1.50 | Siltite arenosa, micáceo, com lentes de argila, compacto e muito compacto, cinza e amarelo. |
| 1.45 | | | | | | | | 1.50 | | | Gnaíse, são, muito fraturado, muito coerente, de coloração cinza. |
| 2.00 | 20/5 | - | - | 20/5 | | | | 2.00 | | 2.00 | |
| 2.05 | | | | | | | | 2.05 | | 2.05 | |
| 2.09 | VR | | | | | | | 2.09 | | 2.09 | |
| 3.59 | | | | | | | | 3.59 | | 3.59 | |
| 5.09 | VR | | | | | | | 5.09 | | 5.09 | |
| OPERACÃO - ROTATIVA | | | | | | MATERIAL | | | | | |
| PERCUSSÃO | | | | | | ROTATIVA | | | | | |
| DIAM. DO FURO: 2 1/2" | | | | | | DIAM. DO FURO: _____ | | | | | |
| AMOSTRADOR: EXT. = 2" INT. = 1 3/8" | | | | | | COROA: EXT. = _____ INT. = _____ | | | | | |
| MARTELO: 65kg QUEDA: 75cm | | | | | | BARRILETE: _____ | | | | | |
| SPT - STANDARD PENETRATION TEST | | | | | | ROD - ROCK QUALITY DESIGNATION | | | | | |
| DES.: 13 | | | | | | LAB.: _____ | | | | | |
| VISTO: _____ | | | | | | APROV.: _____ | | | | | |

OBS:

- 1) Impenetrável ao trépano de lavagem na profundidade de 2.09m.
 - 1º estágio = desceu 1.0cm
 - 2º estágio = desceu 1.0cm
 - 3º estágio = desceu 0.0cm
- 2) VR = Várias peças.

