

**BARRAGEM JATOBÁ**

**MÓDULO II – ESTUDOS BÁSICOS, ANTEPROJETOS E AVALIAÇÕES**

**VOLUME I – ESTUDOS BÁSICOS**

**TOMO 4 – ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS**

**EDITADO EM MARÇO 2006**

**ÍNDICE**

## ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>APRESENTAÇÃO .....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>                                       | <b>9</b>  |
| <b>2 – GEOLOGIA .....</b>   | <b>11</b> |
| 2.1 – GEOLOGIA REGIONAL .....                                     | 11        |
| 2.2 – GEOLOGIA LOCAL .....  | 13        |
| <b>3 – GEOTECNIA .....</b>  | <b>20</b> |
| 3.1 – GENERALIDADES .....   | 20        |
| 3.2 – DESCRIÇÃO DAS SONDAGENS EXECUTADAS .....                    | 20        |
| <b>3.2.1 – Sondagens a Pá e Picareta .....</b>                    | <b>20</b> |
| <b>3.2.2 – Sondagens a Percussão .....</b>                        | <b>21</b> |
| <b>3.2.3 – Sondagens Mistas .....</b>                             | <b>22</b> |
| 3.3 – ENSAIOS IN SITU .....                                       | 24        |
| <b>3.3.1 – Ensaios de Permeabilidade Com Carga Constante.....</b> | <b>24</b> |
| <b>3.3.2 – Ensaios de Perda d'Água Específica .....</b>           | <b>25</b> |
| 3.4 – PESQUISA DE JAZIDAS.....                                    | 26        |
| <b>3.4.1 – Generalidades .....</b>                                | <b>26</b> |
| <b>3.4.2 – Jazidas de Solo (Empréstimos 1, 2, 3, 4 e 5).....</b>  | <b>26</b> |
| <b>3.4.3 – Jazidas de Areia (AREAL 1).....</b>                    | <b>29</b> |
| <b>3.4.4 – Pedreira (P1) .....</b>                                | <b>29</b> |
| 3.5 - ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....                                 | 30        |
| 3.6 – ESTUDO COMPLEMENTAR .....                                   | 31        |

**ANEXOS:**

**ANEXO A – ENSAIOS DE LABORATÓRIO**

**ANEXO B – SONDAGENS**

**ANEXO C – DESENHOS**

**ANEXO D – MAPA E PERFIL GEOLÓGICO DO EIXO E SANGRADOURO**

**APRESENTAÇÃO**

## **APRESENTAÇÃO**

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

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

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

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

**Módulo II: Estudos Básicos, Anteprojetos e Avaliações**

**VOLUME I: Estudos Básicos**

TOMO 1 – Relatório Geral - Textos

TOMO 2 – Estudos Hidrológicos

TOMO 3 – Estudos Cartográficos

**TOMO 4 – Estudos Geológicos e Geotécnicos**

TOMO 5 – Estudos Pedológicos

VOLUME II: Anteprojetos

TOMO 1 – Relatório de Concepção Geral

TOMO 1A – Desenhos e Plantas

TOMO 1B – Memória de Cálculo

VOLUME III: Avaliações Financeiras e Econômicas

TOMO 1 – Relatório de Avaliações Financeira e Econômica

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

VOLUME I: EIA

VOLUME II: RIMA

TOMO 1 – Relatório Preliminar dos Estudos Ambientais

TOMO 2 – Relatório Final EIA/RIMA

Módulo IV: Detalhamento do Projeto Executivo das Barragens

VOLUME I: Detalhamento do Projeto Executivo

TOMO 1 – Memorial Descritivo do Projeto

TOMO 2 – Desenhos do Projeto

TOMO 3 – Memória de Cálculo

TOMO 4 – Especificações Técnicas

TOMO 5 – Quantitativos e Orçamentos

TOMO 6 – Síntese

Módulo V: Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento

VOLUME I: Levantamento Cadastral

TOMO 1 – Relatório Geral

TOMO 2 – Laudos Individuais de Avaliação

TOMO 3 – Levantamentos Topográficos

VOLUME II: Plano de Reassentamento

TOMO 1 – Relatório Final de Reassentamento

Módulo VI: Projeto Executivo das Adutoras

VOLUME I: Estudos Básicos

TOMO 1 – Levantamentos Topográficos

TOMO 2 – Investigações Geotécnicas

VOLUME II: Anteprojeto

VOLUME III: Detalhamento do Projeto Executivo

TOMO 1 – Memorial Descritivo

TOMO 2 – Memória de Cálculo

TOMO 3 – Quantitativos e Orçamentos

TOMO 4 – Especificações Técnicas e Normas de Medições

Módulo VII: Elaboração dos Manuais de Operação e Manutenção

VOLUME I: Manuais de Operação e Manutenção

O presente relatório que trata da **Barragem Jatobá**, aqui nomeado como Volume I – Estudos Básicos, Tomo 4 – Estudos Geológicos e Geotécnicos, é parte integrante do Módulo II – Estudos Básicos, Anteprojetos e Avaliações.



## 1 – INTRODUÇÃO

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

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

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

É interessante ressaltar que, quando da execução das investigações geotécnicas, houve extração de amostras deformadas de solo do eixo barrável e das jazidas, de modo a se proceder às análises de laboratório indispensáveis à caracterização dos materiais existentes na região.

Todos os procedimentos utilizados seguiram as normas preconizadas pela ABNT.



## 2 – GEOLOGIA

### 2.1 – GEOLOGIA REGIONAL

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

da Ibiapaba esse padrão tem comportamento diferenciado, apresentando uma drenagem com padrão subparalelo.

É apresentado a seguir (Figura 2.1.1) o esboço geológico regional, abrangendo a bacia hidráulica.

## 2.2 – GEOLOGIA LOCAL

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

Os gnaisses têm na sua composição mineralógica a predominância de biotita, quartzo e feldspato, exibindo tonalidades cinza-claro a cinza médio e cinza-escuro. A estrutura normalmente mostra uma intercalação de bandas escuras, enriquecidas em máficos, com bandas claras, quartzo-feldspáticas.

A granulação é principalmente equigranular média, podendo variar para equigranular fina. Os gnaisses situados próximos às zonas de falhas exibem comumente porfiroblastos estirados de feldspatos, caracterizando os gnaisses facoidais. Ocorrem ainda granada-biotita-gnaisses, que são semelhantes à biotita gnaisses, destacando-se, neste caso, a presença de porfiroblastos de granada rósea, maior percentagem de máficos e, conseqüentemente, tonalidades mais escuras.

Há também a presença dos migmatitos, podendo ser homogêneos e heterogêneos. Os migmatitos homogêneos caracterizam-se pela presença de estruturas do tipo nebulítica, anatexítica e schlieren, com volume dominante de neossoma sobre o paleossoma.

É possível, em alguns casos observar-se a passagem para rochas graníticas para migmatitos heterogêneos em questão de poucos metros. Em afloramentos essas rochas revelam a dominância das tonalidades rósea e cinza-claro, com granulação variando de inequigranular média a grossa, às vezes tendendo a porfiroblástica.

A textura mostra-se com algumas lineações. Os migmatitos heterogêneos, com estruturas planares visíveis, também foram identificados na área e, da mesma forma que os migmatitos homogêneos, estes não ocupam áreas com limites definidos, havendo uma passagem gradacional para migmatitos homogêneos ou gnaisses, ao longo de um mesmo afloramento.

**Figura 2.1.1**



Foto 1 – Afloramento de gnaiss-migmatítico – estaca 50 a 56- eixo (OD)

Nas ombreiras, as coberturas de solo sobre essas rochas formam um manto de intemperismo que raramente ultrapassa a profundidade de 1,50m, constituído por duas camadas distintas: a camada mais superficial é de solo mais maduro de granulometria areno-argilosa, coloração avermelhada ou amarelada, que não conserva nenhuma aparência da rocha original e possui características de excelentes qualidades para construção de barragens de terra homogênea; a camada mais profunda, adjacente ao topo da rocha, em média com 0,50m de espessura é um solo residual jovem ou saprolito, composto essencialmente de quartzo, mica e feldspato, classificado como silte arenoso micáceo.

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



Foto 2 – Blocos soltos de arenito grosseiro, cinza escuro – localizados no eixo barrável, margem esquerda.



Foto 3 – Marco 1 da OE – Solo silto-argilo arenoso – estaca 0 – eixo



Foto 4 –Solo silto-argilo arenoso com cobertura de blocos rolados de gnaiss-migmatítico - estaca 13 a 26 – margem direita

Nas margens do riacho Jatobá ocorrem os sedimentos aluvionares que formam terraços formados pela deposição de areias finas, siltes e argilas de coloração escura, com matéria orgânica em decomposição.



Foto 5 – Solo silto-argilo arenoso (terraço aluvionar) – estaca 26 – eixo

Na calha do riacho são encontrados areias de granulometria fina e média a grossa com pedregulhos e minerais micáceos provenientes da decomposição das rochas do embasamento cristalino.



Foto 6 – Calha do riacho Jatobá – eixo – estaca 42+10,00

Na área destinada ao sangradouro, não foram encontrados afloramentos rochosos. O solo é representado por um silte areno-argiloso de coloração cinza claro a escuro, recoberto com seixos rolados de migmatitos e quartzo.

O mapa geológico do eixo e sangradouro e perfil geológico do eixo estão apresentados no ANEXO C - DESENHOS.



### **3 – GEOTECNIA**

#### **3.1 – GENERALIDADES**

A presente investigação geotécnica teve como principal objetivo efetuar uma criteriosa inspeção no subsolo local, de forma a conhecer melhor as características da área, bem como dos materiais provenientes das jazidas a serem exploradas.

#### **3.2 – DESCRIÇÃO DAS SONDAGENS EXECUTADAS**

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

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

Todas as sondagens mencionadas acima seguiram as normas da ABNT.

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

Os itens a seguir descrevem, de forma sucinta, os processos executivos das sondagens.

Os perfis individuais de sondagem estão no Anexo B - Sondagens. As localizações das sondagens em planta são representadas no desenho N° 03/05 e o Perfil Geológico-Geotécnico representado no desenho N° 04/05, no Anexo C.

##### **3.2.1 – Sondagens a Pá e Picareta**

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

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

No quadro 3.1 são mostrados os dados gerais das sondagens.

QUADRO 3.1

**SONDAGEM A PÁ E PICARETA**

| SONDAGEM | LOCALIZAÇÃO ESTACA | PROFUNDIDADE (m) | DIMENSÕES     | INCLINAÇÃO |
|----------|--------------------|------------------|---------------|------------|
| SPP – 01 | 22 + 00 m          | AFLORAMENTO      | 1,0 m x 1,0 m | Vertical   |
| SPP – 02 | 25 + 00 m          | AFLORAMENTO      | 1,0 m x 1,0 m | Vertical   |

**3.2.2 – Sondagens a Percussão**

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

O critério de paralisação das sondagens foi o de lavagem por tempo (menos de 5cm de penetração para 10 minutos de lavagem), ou a profundidade de projeto, no caso dos furos de percussão simples. Todas as sondagens foram realizadas com diâmetro de 2  $\frac{1}{2}$ ” (duas e meia polegadas).

O quadro 3.2 mostra os dados técnicos gerais das sondagens realizadas.

QUADRO 3.2

**SONDAGEM A PERCUSSÃO**

| SONDAGEM | LOCALIZAÇÃO ESTACA        | PROFUNDIDADE(m) | DIMENSÕES          | INCLINAÇÃO |
|----------|---------------------------|-----------------|--------------------|------------|
| SP – 01  | 20 + 00 m                 | 2,24            | 2x $\frac{1}{2}$ “ | Vertical   |
| SP – 04  | 28 + 00 m                 | 5,89            | 2x $\frac{1}{2}$ “ | Vertical   |
| SP – 05  | 31 + 00 m                 | 3,14            | 2x $\frac{1}{2}$ “ | Vertical   |
| SP – 06  | 34 + 00 m                 | 5,21            | 2x $\frac{1}{2}$ “ | Vertical   |
| SP – 07  | 37 + 00 m (mont–35,00m)   | 4,38            | 2x $\frac{1}{2}$ “ | Vertical   |
| SP – 08  | 37 + 00 m (jusant–35,00m) | 9,08            | 2x $\frac{1}{2}$ “ | Vertical   |
| SP – 09  | 41 + 12 m (mont–38,00m)   | 1,09            | 2x $\frac{1}{2}$ “ | Vertical   |
| SP – 10  | 41 + 12 m (jusant–38,00m) | 7,38            | 2x $\frac{1}{2}$ “ | Vertical   |
| SP – 11  | 45 + 00 m (mont–40,00m)   | 1,12            | 2x $\frac{1}{2}$ “ | Vertical   |
| SP – 12  | 45 + 00 m (jusant–40,00m) | 7,12            | 2x $\frac{1}{2}$ “ | Vertical   |

| SONDAGEM  | LOCALIZAÇÃO ESTACA | PROFUNDIDADE(m) | DIMENSÕES | INCLINAÇÃO |
|-----------|--------------------|-----------------|-----------|------------|
| SPP – 601 | VERTEDOIRO         | 0,80            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SPP – 602 | VERTEDOIRO         | 0,90            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SP – 603  | VERTEDOIRO         | 1,15            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SPP – 604 | VERTEDOIRO         | 1,40            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SP – 605  | VERTEDOIRO         | 1,90            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SP – 606  | VERTEDOIRO         | 4,10            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SP – 607  | VERTEDOIRO         | 2,50            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SP – 608  | VERTEDOIRO         | 2,20            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SP – 609  | VERTEDOIRO         | 4,24            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SP – 610  | VERTEDOIRO         | 5,30            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SP – 611  | TOMADA D'ÁGUA      | 3,45            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SPP – 601 | VERTEDOIRO         | 0,80            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SPP – 602 | VERTEDOIRO         | 0,90            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SP – 603  | VERTEDOIRO         | 1,15            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SPP – 604 | VERTEDOIRO         | 1,40            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SP – 605  | VERTEDOIRO         | 1,90            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SP – 606  | VERTEDOIRO         | 4,10            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SP – 607  | VERTEDOIRO         | 2,50            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SP – 608  | VERTEDOIRO         | 2,20            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SP – 609  | VERTEDOIRO         | 4,24            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SP – 610  | VERTEDOIRO         | 5,30            | 2x ½ “    | Vertical   |
| SP – 611  | TOMADA D'ÁGUA      | 3,45            | 2x ½ “    | Vertical   |

### 3.2.3 – Sondagens Mistas

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

Iniciou-se os furos com sondagem percussiva no diâmetro de 2½ “(duas e meia polegadas), no qual foi definida a espessura de solos sobre o embasamento rochoso e as resistências das camadas através do “SPT”. Prosseguiu-se com sonda rotativa, na qual usava-se a sonda MACH 920 de avanço manual, acoplada a um calibrador e a um barrilete duplo caixa de mola, tipo NX para recuperação do testemunho, do qual obteve-se informações da alteração, fraturamento e estanqueidade da rocha.

O quadro 3.3. mostra os dados técnicos gerais das sondagens realizadas.

QUADRO 3.3

**SONDAGEM MISTA**

| SONDAGEM | LOCALIZAÇÃO<br>DAS ESTACA  | PROFUNDIDADE (m) |       | DIMENSÕES   | INCLINAÇÃO |
|----------|----------------------------|------------------|-------|-------------|------------|
|          |                            | SP               | SR    |             |            |
| SM – 01  | 37 + 00                    | 9,16             | 7,00  | 2 1/2” e NX | Vertical   |
| SM – 02  | 40 + 00                    | 10,10            | 8,50  | 2 1/2” e NX | Vertical   |
| SM – 03  | 41 + 12,64                 | 10,19            | 11,00 | 2 1/2” e NX | Vertical   |
| SM – 04  | 43 + 00                    | 7,09             | 8,00  | 2 1/2” e NX | Vertical   |
| SM – 05  | 45 + 00                    | 5,28             | 10,64 | 2 1/2” e NX | Vertical   |
| SM – 06  | 53 + 00                    | 1,58             | 6,60  | 2 1/2” e NX | Vertical   |
| SM – 07  | 55 + 00                    | 1,90             | 9,00  | 2 1/2” e NX | Vertical   |
| SM – 08  | 57 + 00                    | 0,00             | 7,50  | 2 1/2” e NX | Vertical   |
| SM – 09  | 57 + 00<br>(Jusant – 500m) | 0,00             | 9,00  | 2 1/2” e NX | Vertical   |
| SM – 10  | 53 + 00<br>(Jusant – 100m) | 1,89             | 10,00 | 2 1/2” e NX | Vertical   |
| SM – 501 | VERTEDOURO                 | 0,54             | 19,46 | 2 1/2” e NX | Vertical   |
| SM – 502 | VERTEDOURO                 | 1,00             | 9,00  | 2 1/2” e NX | Vertical   |
| SM – 503 | VERTEDOURO                 | 2,65             | 12,35 | 2 1/2” e NX | Vertical   |
| SM – 504 | VERTEDOURO                 | 5,11             | 4,89  | 2 1/2” e NX | Vertical   |
| SM – 505 | TOMADA D’ÁGUA              | 2,50             | 7,50  | 2 1/2” e NX | Vertical   |
| SM – 506 | TOMADA D’ÁGUA              | 5,56             | 9,44  | 2 1/2” e NX | Vertical   |
| SM – 501 | VERTEDOURO                 | 0,54             | 19,46 | 2 1/2” e NX | Vertical   |

| SONDAGEM | LOCALIZAÇÃO DAS ESTACA | PROFUNDIDADE (m) |       | DIMENSÕES   | INCLINAÇÃO |
|----------|------------------------|------------------|-------|-------------|------------|
|          |                        | SP               | SR    |             |            |
| SM – 502 | VERTEDOURO             | 1,00             | 9,00  | 2 1/2" e NX | Vertical   |
| SM – 503 | VERTEDOURO             | 2,65             | 12,35 | 2 1/2" e NX | Vertical   |
| SM – 504 | VERTEDOURO             | 5,11             | 4,89  | 2 1/2" e NX | Vertical   |
| SM – 505 | TOMADA D'ÁGUA          | 2,50             | 7,50  | 2 1/2" e NX | Vertical   |
| SM – 506 | TOMADA D'ÁGUA          | 5,56             | 9,44  | 2 1/2" e NX | Vertical   |

### 3.3 – ENSAIOS IN SITU

#### 3.3.1 – Ensaio de Permeabilidade Com Carga Constante

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

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

Foram executados 35 (trinta e cinco) ensaios.

Os dados gerais destes ensaios encontram-se no quadro 3.4 e seus resultados no Anexo B - Sondagens.

QUADRO 3.4

#### ENSAIOS DE PERMEABILIDADE COM CARGA CONSTANTE

| SONDAGEM | Nº DE ENSAIOS | TRECHOS ENSAIADOS |
|----------|---------------|-------------------|
| SM – 01  | 09 (nove)     | 0,00 a 9,00       |
| SM – 02  | 05 (cinco)    | 0,00 a 5,00       |
| SM – 03  | 09 (nove)     | 1,00 a 10,00      |
| SM – 04  | 07 (sete)     | 0,00 a 7,00       |
| SM – 05  | 05 (cinco)    | 0,00 a 5,00       |

### 3.3.2 – Ensaio de Perda d'Água Específica

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

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

- 1º e 5º estágios - pressão de 0,10 Kg/cm<sup>2</sup>;
- 2º e 4º estágios - pressão intermediária =  $P_{m\acute{a}x}/2$ ;
- 3º estágio - pressão máxima =  $P_{m\acute{a}x}$ .

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

O quadro 3.5 mostra os dados técnicos gerais dos ensaios de perda d'água sob pressão.

QUADRO 3.5

#### ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA ESPECÍFICA

| SONDAGEM | Nº DE ENSAIOS | TRECHOS ENSAIADOS  |
|----------|---------------|--|
| SM – 01  | 02 (dois)     | 9,76m - 12,76m<br>13,76m - 16,76m                        |
| SM – 02  | 02 (dois)     | 12,00m - 15,00 m<br>15,00m - 18,00 m                     |
| SM – 03  | 03 (três)     | 10,00m - 13,00 m<br>13,00m - 16,00 m<br>16,00m - 19,00 m |
| SM – 04  | 01 (um)       | 8,00m – 11,00 m  |
| SM – 05  | -             | -  |

## 3.4 – PESQUISA DE JAZIDAS

### 3.4.1 – Generalidades

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

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

- J1: JAZIDA 1;
- J2: JAZIDA 2;
- J3: JAZIDA3;
- J4: JAZIDA 4;
- J5: JAZIDA 5;
- A1: AREAL;
- P1: PEDREIRA 1.

A localização das Jazidas é apresentada no desenho N° 05/05, no anexo C - Desenhos.

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

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

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

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

- Granulometria (com e sem sedimentação);

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

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

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

|                                     |                           |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Área total estudada.....            | 65.625,00m <sup>2</sup>   |
| Número de furos realizados .....    | 12 und.                   |
| Profundidade média dos furos .....  | 1,98 m                    |
| Volume total de material .....      | 129.938,00 m <sup>3</sup> |
| Camada média de expurgo.....        | 0,06 m                    |
| Espessura média útil.....           | 1,92 m                    |
| Volume de material utilizável ..... | 126.000,00 m <sup>3</sup> |
| Distância do eixo barrável.....     | 1,32 km                   |

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

|                                     |                           |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Área total estudada.....            | 137.500,00 m <sup>2</sup> |
| Número de furos realizados .....    | 24 und.                   |
| Profundidade média dos furos .....  | 2,25 m                    |
| Volume total de material .....      | 309.375,00 m <sup>3</sup> |
| Camada média de expurgo.....        | 0,05 m                    |
| Espessura média útil.....           | 2,20 m                    |
| Volume de material utilizável ..... | 302.500,00 m <sup>3</sup> |

Distância do eixo barrável..... 1,60 km

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

Área total estudada..... 111.250,00 m<sup>2</sup>

Número de furos realizados ..... 19 und.

Profundidade média dos furos ..... 2,07 m

Volume total de material ..... 230.288,00 m<sup>3</sup>

Camada média de expurgo..... 0,07 m

Espessura média útil..... 2,00 m

Volume de material utilizável ..... 222.500,00 m<sup>3</sup>

Distância do eixo barrável..... 0,45 km

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

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

Número de furos realizados ..... 12 und.

Profundidade média dos furos ..... 2,25 m

Volume total de material ..... 153.000,00 m<sup>3</sup>

Camada média de expurgo..... 0,05 m

Espessura média útil..... 2,50 m

Volume de material utilizável ..... 150.000,00 m<sup>3</sup>

Distância do eixo barrável..... 2,72 km

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

Área total estudada..... 120.000,00 m<sup>2</sup>

Número de furos realizados ..... 21 und.

Profundidade média dos furos ..... 1,85 m

Volume total de material ..... 222.000,00 m<sup>3</sup>

|                                     |                           |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Camada média de expurgo.....        | 0,05 m                    |
| Espessura média útil.....           | 1,80 m                    |
| Volume de material utilizável ..... | 216.000,00 m <sup>3</sup> |
| Distância do eixo barrável.....     | 2,50 km                   |

### 3.4.3 – Jazidas de Areia (AREAL 1)

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

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

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

#### DADOS GERAIS DO AREIAL

|                                   |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Distância do areial ao eixo ..... | 0,6 km;                 |
| Extensão .....                    | 3.000,00 m              |
| Largura.....                      | 10,00m                  |
| Altura a explorar .....           | 1,00m                   |
| Volume explorável .....           | 30.000,00m <sup>3</sup> |

### 3.4.4 – Pedreira (P1)

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

#### CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PEDREIRA

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

### 3.5 – ENSAIOS DE LABORATÓRIO

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

Os boletins que apresentam os resultados dos ensaios de laboratório encontram-se no Anexo A – Ensaio de Laboratório.

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

- Jazida de Solos:

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

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

Os quadros 3.6 a 3.10 apresentam os resumos gerais dos ensaios de caracterização para as jazidas J1 a J5, o quadro 3.11 os dados dos ensaios de cisalhamento direto lento, o quadro 3.12 umidade natural e o quadro 3.13 permeabilidade carga variável.

- Jazida de Areia:

Foram 10 (dez) as amostras coletadas na jazida de areia A.1 e submetidas a Análise Granulométrica por Peneiramento e Permeabilidade com Carga Constante.

O quadro 3.14 apresenta os resultados da análise granulométrica e o 3.15 resume os valores obtidos para o ensaio de Permeabilidade com Carga Constante.

- Pedreira

Nas pedreiras P.1 foram realizados 03 (três) ensaios tipo “Los Angeles”, de acordo com o apresentado no quadro 3.16 que resume os valores obtidos nos ensaios.

### 3.6 – ESTUDO COMPLEMENTAR

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

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

Os perfis individuais de sondagem estão no Anexo B - Sondagens.

#### QUADRO - SONDAGEM MISTA

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

**ANEXOS**

**ANEXO A – ENSAIOS DE LABORATÓRIO**



**SONDAGENS – ESTUDO COMPLEMENTAR**

