

MÓDULO III PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM MARANGUAPE I

VOLUME 1 – ESTUDOS BÁSICOS

TOMO 5 – ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
00	Mai/02	1ª Apresentação – Edição Final	CON	TAD	NKT	NKT
01	Jun/02	Edição Final	CON	TAD	NKT	NKT

ÍNDICE

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	5
1 - INTRODUÇÃO	8
2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO	10
3 - ESTUDOS GEOLÓGICOS	13
3.1 - GEOMORFOLOGIA	14
3.2 - GEOLOGIA REGIONAL - BACIA HIDROGRÁFICA	15
3.2.1 - Caracterização Estrutural	18
3.2.2 - Metamorfismo	18
3.3 - GEOLOGIA DO EIXO BARRÁVEL	18
3.3.1 - Estudos Geológicos e Geotécnicos Preliminares	20
4 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS	21
4.1 - BARRAGEM E SANGRADOURO	22
4.1.1 - Sondagens à Percussão	22
4.1.2 - Sondagens Mistas	23
4.1.3 - Ensaios de Permeabilidade " <i>in situ</i> " com Carga Constante (Le Franc)	23
4.1.4 - Ensaios de Perda D' Água (Lugeon)	23
4.2 - ESTUDOS DOS MATERIAIS	25
4.2.1 - Permeabilidade com Carga Variável	27
4.2.2 - Permeabilidade com Carga Constante	27
4.2.3 - Cisalhamento Direto Lento	28
5 - COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE AS INVESTIGAÇÕES	29
5.1 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	30
5.2 - FUNDAÇÕES	31
5.2.1 - Ombreira Esquerda	31
5.2.2 - Calha do Rio	32
5.2.3 - Local definido para a construção da Barragem	36
5.3 - ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS ESTUDADAS	40
6 - ANEXOS	44
6.1 - SONDAGENS	
6.1.1 - Ensaio de Infiltração (Le Franc)	
6.1.2 - Ensaio de Perda D' Água (Lugeon)	

6.2 - ENSAIOS DOS MATERIAS

6.2.1 - Jazida - 01

6.2.2 - Jazida - 02

6.2.3 - Areal 01

6.2.4 - Pedreira 01

6.2.5 - Jazida 01 - Boletins de Caracterização

6.2.6 - Jazida 02 - Boletins de Caracterização

7 - PLANTAS

CROQUI DA JAZIDA 01

CROQUI DA JAZIDA 02

CROQUI DO AREAL 01

CROQUI DA PEDREIRA 01

PLANTA DE LOCAÇÃO DAS SONDAGENS

PERFIL GEOTÉCNICO DO SUBSOLO

MAPA GEOLÓGICO DA BARRAGEM E SANGRADOURO

MAPA GEOLÓGICO DA BACIA HIDRÁULICA

PERFIL DA GEOLOGIA LOCAL

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

Os serviços executados pelo Consórcio JP ENGENHARIA – AGUASOLOS – ESC/TE, no âmbito do Contrato nº 005/PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH/2001, assinado em 22/03/2001 com a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), tem como objeto a Elaboração dos Estudos de Viabilidades Técnicas, Ambientais e Econômicas, EIA's-RIMA's, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais e Planos de Reassentamentos de Populações, Manuais de Operação e Manutenção e Avaliação Financeira e Econômica, referentes às Barragens GAMELEIRA, TRAIRI, JENIPAPEIRO, MARANGUAPE I e MARANGUAPE II e Aduadoras de ITAPIPOCA, TRAIRI, IPAUMIRIM/BAIXIO/UMARI e MARANGUAPE/SAPUPARA/URUCARÁ/LADEIRA GRANDE, 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 Módulos, Volumes e Tomos. As partes e tomos que compõem o acervo do contrato são os apresentados na seqüência:

Módulo I – Estudos de Alternativas de Localização das Barragens e Aduadoras

VOLUME I – Estudo de Alternativas e Opções para a Localização dos Eixos Barráveis e Aduadoras

Módulo II – Estudos dos Impactos Ambientais

VOLUME I – Estudos dos Impactos Ambientais - EIA

VOLUME II – Relatório dos Estudos dos Impactos Ambientais - RIMA

Módulo III – Projeto Executivo das Barragens

VOLUME I – Estudos Básicos

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Estudos Hidrológicos

Tomo 3 – Estudos Cartográficos

Tomo 4 – Estudos Topográficos

Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

VOLUME II – Anteprojeto

Tomo 1 – Relatório de Concepção Geral

Tomo 2 – Plantas

VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo

Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Especificações Técnicas

Tomo 4 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 5 – Síntese

Tomo 6 – Plantas

Módulo IV – Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento

VOLUME I – Levantamento Cadastral

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Laudos Individuais de Avaliação

VOLUME II – Plano de Reassentamento

Tomo 1 – Diagnóstico Socioeconômico

Tomo 2 – Detalhamento do Plano de Reassentamento

Módulo V – Projeto Executivo das Adutoras

VOLUME I – Estudos Básicos - Levantamentos Topográficos e 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

Tomo 5 – Plantas

Módulo VI – Elaboração dos Manuais de Operação e Manutenção

VOLUME 1 – Manuais de Operação e Manutenção

Módulo VII – Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

VOLUME 1 – Relatório de Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

O presente relatório é nomeado como *Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos da Barragem Maranguape I*, e é parte integrante do *Módulo III*.

1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

O presente relatório, refere-se ao Módulo III – Projeto Executivo da Barragem, Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos da Barragem Maranguape I, tendo como objetivo, definir as características da fundação da barragem, bem como dos materiais terrosos, arenosos e pétreos a serem utilizados na sua construção.

Os estudos geológicos foram realizados através de bibliografias correlatas à área em questão, utilizando-se uma escala regional, para uma visão mais ampla das características geológicas da região. Em seguida, os estudos foram realizados em escala localizada, possibilitando uma melhor definição das litologias e suas respectivas estruturas, nos locais de implantação das obras.

Os estudos geológicos de superfície constaram de um mapeamento detalhado do sítio barrável, executado através de caminhamentos ao longo do eixo topográfico locado e nas seções transversais a cada 20m, abrangendo uma faixa de 300m, sendo 150m para montante e 150m para jusante.

Os estudos geotécnicos constaram de investigações da subsuperfície realizadas através de sondagens a pá e picareta, percussivas, rotativas e mistas, executadas ao longo do eixo barrável e sangradouro e de ensaios de permeabilidade com carga constante (Le Franc) e ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon). Foram pesquisadas as áreas de empréstimos, com a caracterização dos materiais terrosos, granulares e pétreos a serem utilizados na construção da barragem.

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

Localizado na Região Metropolitana de Fortaleza, o município de Maranguape foi criado em 1851 pela lei 553, estando geograficamente definido pelas coordenadas 03°53'27" de latitude Sul e 38°41'08" de longitude Oeste, com uma extensão territorial de 672 km². Limita-se ao Norte com Caucaia e Maracanaú, ao Sul com Palmácia e Caridade, a Leste com Pacatuba e Guaiuba e a Oeste com Pentecoste. O acesso a Fortaleza se faz pela CE-065.

O eixo barrável Maranguape I está localizado em um afluente do riacho Tangureira, aproximadamente, 6,00 km ao Sul da sede do município de Maranguape. O acesso ao local da barragem Maranguape I, é feito partindo-se da cidade de Maranguape em direção ao Sul pela CE-065 e, a 2,5 km no local denominado Gereraú, bem próximo a rodovia, dobra-se à direita e a 800,00 m encontra-se o boqueirão barrável.

Figura 2.1 - Mapa de localização

Arquivo Autocad

3 - ESTUDOS GEOLÓGICOS

3 - ESTUDOS GEOLÓGICOS

O presente relatório trata da execução e consolidação dos mapeamentos geológicos, em escala regional, compreendendo a área da bacia hidráulica e em escala local, compreendendo a área do eixo do barramento, local de implantação da Barragem Maranguape I, tendo como objetivo, o reconhecimento da geologia da bacia hidráulica e a definição das características da fundação da barragem.

Os estudos geológicos foram realizados através de bibliografias correlatas à área em questão, utilizando-se uma escala regional, para uma visão mais ampla das características geológicas da região. Executou-se uma fotointerpretação de fotografias aéreas em escala de 1:15.000.

Em seguida, os estudos foram realizados em escala localizada, possibilitando uma melhor definição das litologias e suas respectivas estruturas, que constaram de um mapeamento detalhado do eixo barrável e sangradouro, executado através de caminhamentos ao longo do eixo, no sentido margem esquerda para margem direita e nas seções transversais a cada 20 metros, abrangendo uma faixa de 200 metros, sendo 100 metros para cada lado. Foram utilizados como instrumentos de trabalho, bússola, martelo geológico, lupa, trena e caderneta de campo para anotações. Foram ainda, coletadas algumas amostras de rocha nos afloramentos observados na margem direita, para dirimir eventuais dúvidas.

O mapeamento da bacia hidráulica foi realizado mediante o reconhecimento de áreas possíveis de acesso, através de carro de passeio.

Neste relatório constam ainda, planta e perfil geológico na escala de 1:2.000, eixo e planta da bacia hidráulica na escala de 1:5.000, além de uma documentação fotográfica, focalizando diversos trechos do eixo da barragem.

3.1 - GEOMORFOLOGIA

Quatro feições morfológicas caracterizam o relevo, em escala regional da área da bacia hidráulica da barragem Maranguape I: o relevo litorâneo, a superfície aplainada das coberturas cenozóicas, o extenso pediplano de rochas cristalinas e os maciços montanhosos cristalinos.

A faixa litorânea é caracterizada por cordões de dunas que se movem de NE para SW, sob a ação dos ventos dominantes de leste e noroeste. Possuem tonalidades avermelhadas, contrastando com os tons esbranquiçados das dunas movediças.

Entre o relevo litorâneo e as serras altas do interior interpõem-se os primeiros níveis elevados, formados pelos **terrenos cenozóicos de cobertura**. Ocupam uma faixa de largura variável ao longo da costa, formando uma ampla superfície aplainada, suavemente inclinada para o mar, conhecida como tabuleiros.

O **pediplano de rochas pré-cambrianas** abrange uma vasta região e consiste de um conjunto profundamente arrasado, cujas altitudes crescem progressivamente para o interior. A monotonia de formas levemente onduladas, é interrompida por forte rutura de declive com os morros e serrotes residuais, formados por migmatitos e granitóides mais resistentes.

Tanto na região do pediplano como nos terrenos cenozóicos, a declividade dos talwegues é pequena, próxima do perfil de equilíbrio. Os vales são abertos, com extensas planícies de inundação, separadas por divisores d'água baixos e abaulados. Os cursos d'água são lentos, com pequena capacidade de carga, embora possam ocorrer enchentes violentas durante os períodos de elevadas médias pluviométricas.

A feição morfológica mais característica e que mais se destaca na área do projeto da barragem Maranguape I são os acidentes topográficos relacionados aos **maciços montanhosos cristalinos**, esculpidos em rochas graníticas.

3.2 - GEOLOGIA REGIONAL - BACIA HIDROGRÁFICA

O esboço geológico regional compreende basicamente um complexo de rochas pertencentes ao Pré-Cambriano não diferenciado PCX, que incluem rochas do tipo PI(B), do Proterozóico Inferior. Baseando-se em critérios estritamente litoestratigráficos, foram distinguidas as seguintes unidades pré-cambrianas: complexos Caicó e Tamboril/Santa Quitéria, Complexo Independência e Grupo Ceará e finalmente os diques ácidos.

Esta unidade apresenta como tipo litológico predominante, os migmatitos e gnaisses diversos, com ocorrência maior na parte central da bacia. A área exibe, nos relevos elevados, corpos de granitóides de composição granítica a granodiorítica, e granitos diversificados, de textura grosseira e porfiróides, que datam do Proterozóico Inferior onde indicados (Ymi), com ocorrência na parte leste e sudeste da bacia hidráulica.

Toda seqüência variegada, constituída de clásticos finos a grosseiros que ocorrem na costa, infraquentes às dunas, foi denominada de Grupo Barreiras Indiviso (TQBi). Estes depósitos sedimentares ocorrem por toda a faixa costeira. Individualiza-se como uma região de tabuleiros planos, localmente ondulada com depressões suaves, sendo truncada por falésias e pelos vales dos rios. Todo este pacote sedimentar repousa discordantemente sobre o embasamento cristalino em discordância erosiva angular. É capeada na linha da costa pelo cordão litorâneo de dunas, através de discordância e, no interior, passa transicionalmente para as coberturas Colúvio-eluviais indiferenciadas.

Nas áreas onde estão expostas as rochas cristalinas, principalmente na faixa de contato com os sedimentos costeiros, ocorrem tabuleiros constituídos por

sedimentos de natureza colúvio-eluvial (TQc). Tais sedimentos foram individualizados como uma unidade com características próprias e bem definidas. Estes capeamentos foram definidos como produtos da alteração de rochas cristalinas transformados em sedimentos areno-silto-argilosos inconsolidados, de idade terció-quadernária. Na região de Maranguape, constatou-se uma passagem gradativa para estas coberturas, dando um solo avermelhado com matriz areno-siltosa-ferruginosa contendo fragmentos angulosos de quartzo, pouco espesso, que evolui para um material mais alaranjado, homogêneo e visivelmente mais estável.

Os sedimentos litorâneos definem-se pelo agrupamento dos cordões areníticos de idade recente, representados pelos arenitos flúvio-marinhos, com os sedimentos inconsolidados de origem eólica representados pelas dunas.

Os sedimentos aluviais do holoceno (Qa) são representados por todos os depósitos fluviais ou lagunares recentes. Compreendem as faixas alongadas, estreitas e sinuosas depositadas nas calhas dos rios. Litologicamente são representadas pelas argilas, areias argilosas, areias quartzosas, areias puras e cascalhos.

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

- **Unidade sem Denominação – PCX, que incluem rochas do tipo PI(B)**

É constituída por uma associação complexa de migmatitos e gnaisses diversos, encerrando jazimentos subordinados de corpos metacalcários, anfíbolitos, rochas calciosilicáticas, quartzitos e rochas graníticas a dioríticas. Zonas de intensa migmatização com núcleos granitóides e migmatitos homogêneos dominantes onde individualizados – Ymi.

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

Os migmatitos diversos exibem estruturas flebíticas, estromática, oftálmica, “schlieren” e homofônica; envolvem granitóides geralmente porfiroblásticos. Apresentam coloração cinza-clara a rósea, granulação média e grosseira, textura equigranular, pórfiro-granular, estrutura granítica (isotrópica), constituída essencialmente por quartzo, feldspato plagioclásio e biotita, às vezes muscovita, como mineral acessório.

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

O granito exhibe coloração cinza-clara, granulação média a grosseira e textura granular. É constituído essencialmente por quartzo, feldspatos (plagioclásio e ortoclásio) e biotita.

- **Grupo Barreiras Indiviso – TQb - TQbi**

Litologicamente, se caracteriza por arenitos argilosos de coloração variegada (tons avermelhados, amarelados e esverdeados), matriz argilo-caulínica, com cimento argiloso, ferruginoso e, algumas vezes silicoso. A granulação apresenta-se de fina à média, com leitos conglomeráticos e nódulos lateríticos na base. Apresentam estratificação cruzada e discreta estratificação plano-paralela/fluvial.

- **Coberturas Colúvio-Eluviais – TQc / QHa**

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

- **As Aluviões – Qa**

São representadas por todos os depósitos fluviais ou lagunares recentes. Constituem uma unidade importante, tanto do ponto de vista geológico quanto econômico. Compreendem as faixas alongadas, estreitas e sinuosas das calhas dos rios. Litologicamente, as aluviões estão representadas pelas argilas, areias argilosas, areias puras e cascalhos. As argilas são abundantes e se encontram com freqüência em todas as calhas dos rios. Geralmente são argilas dentríticas, de boa plasticidade, de cores muito variadas, quase sempre brancas, amarelas, alaranjados e vários tons de cinza.

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

3.2.1 - Caracterização Estrutural

A bacia hidrográfica do açude Maranguape I, sofre um controle estrutural ao longo dos seus eixos de drenagem, através de zonas de falhas indiscriminadas (segundo carta geológica da CPRM – Projeto Radam Brasil), com direção preferencial NE/SW.

Outra feição estrutural, peculiar dos plutões concordantes é reconhecida, na área do projeto, nos terrenos altamente metamorfoseados do Complexo Tamboril/Santa Quitéria. A estrutura é de domo gnaisse-granito, formando dois corpos rochosos, alongados e concordantes com o “trend” da estruturação regional. Nestes corpos observa-se uma forte lineação marginal que forma a região transicional entre o domo e as rochas circundantes, cujos elementos planares vão sendo diluídos da periferia para o núcleo. Nas porções centrais destes corpos, são encontradas rochas graníticas, no *lato sensu*, cuja formação é derivada da culminação dos processos anatéticos. Estes corpos graníticos apresentam-se homogeneizados, orientados segundo a foliação regional, com uma forte lineação mineral.

Pequenos traços de fraturas, distribuídos com maior intensidade na direção NW/SW denunciam o controle da drenagem. Algumas deflexões abruptas ao longo dos eixos de 1ª ordem e 2ª ordem da drenagem, sugerem zonas de pequenas lineações que caracterizam o complexo litológico dos gnaisses diversos e migmatitos.

3.2.2 - Metamorfismo

A grande variedade de rochas que constituem a Unidade sem Denominação (PX) é resultante do metamorfismo regional e está caracterizada por assembléias minerais diversas, que possibilitaram sugerir as condições genéticas da seqüência. As assembléias minerais ocorrem dentro de uma faixa ampla de temperatura e pressão, dentro do metamorfismo regional, e não são suficientemente seguros para determinar condições específicas de metamorfismos. Caracteriza-se pela presença constante de migmatização, que em certos casos leva a mesma a uma homogeneização total, originando núcleos granitoides.

3.3 - GEOLOGIA DO EIXO BARRÁVEL

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

A geologia do sítio da Barragem, principalmente em seu eixo, apresenta uma situação geológica característica da região, pois a área situa-se sobre rochas

cristalinas do tipo graníticas. Na área que corresponde à ombreira esquerda, verificou-se um capeamento de solo residual de espessura considerável, da ordem de 2 a 8 metros, constituído de silte-arenoso, de coloração amarela e cinza variegada, com seixos rolados e pedregulhos. Esta situação é observada principalmente no trecho entre as estacas 0 e 11 (eixo da barragem) e em direção ao local de implantação do sangradouro, onde os afloramentos rochosos são inexistentes.

Na área que corresponde à ombreira direita, verificou-se um capeamento de solo de pequena espessura, podendo chegar a mais de 1,0 metro, constituído de silte arenoso, de coloração creme, amarela e cinza variegada, com muitos seixos rolados. Esta situação é observada principalmente no trecho a partir da estaca 18 (eixo da barragem). Os afloramentos rochosos foram evidenciados nesta ombreira, a partir da estaca 34 (eixo) e nas seções transversais, principalmente à jusante do eixo.

No trecho correspondente as estacas 00,00=10+17,20 a 3A+0,00 e 9A+0,00 a 25A+14,29 observou-se um capeamento de solo residual, constituído por silte arenoso, pouco argiloso, de coloração creme e cinza, apresentando seixos rolados e pedregulhos. Mais precisamente, nas estacas 17A+0,00 e 20A+0,00 evidenciou-se a ocorrência de blocos soltos e embicados de rocha granítica, de coloração ora avermelhada e ora variando de cinza clara a escuro, apresentando-se porfiróide.

Logo abaixo da camada de solo residual encontra-se a rocha granítica, pouca a medianamente alterada em superfície, apresentando coloração cinza claro e escuro, por vezes avermelhada, com granulação variando de média a grossa. Apresentam pórfiroblastos de feldspatos, de coloração rósea. É constituída essencialmente por quartzo, feldspatos (plagioclásio e ortoclásio) e biotita.

Estas ocorrências rochosas apresentam características resistentes aos processos de decomposição e recobrem praticamente toda a extensão, a partir da estaca 34+10,00, com grandes afloramentos rochosos mais à montante a cerca de 200 metros, às margens do rio.

Na parte baixa do vale, nas margens do rio Bragantino, entre as estacas 18+0,00 a 32+8,00 estão restritos os sedimentos colúvio-aluviais representativos no local do sítio barrável, sob a forma de solos areno-silto-argilosos com pedregulhos, micáceos, medianamente compacta a compacta, cinza e amarela, do período Terciário e estendem-se por toda a extensão do rio, desenvolvendo planícies aluviais (várzeas), de topografia plana e suave, sujeitas a inundações. Trata-se de sedimentos imaturos, inconsolidados, provenientes da alteração das rochas cristalinas transformadas em sedimentos areno-silto-argilosos (TQc).

Em particular, na calha principal do rio, entre as estacas 25+11,50 a 25+14,00 e no trecho entre as estacas 3A+0,00 a 9A+0,00 estão os depósitos de aluviões

recentes, do período Quaternário (Qha), em forma de pequenos bancos de areias, bem graduadas, de cor creme e com granulometria de média a grossa, com pedregulho, medianamente compacta, além de sedimentos silto-argilosos de coloração cinza escuro. Ocorrem também pequenos afloramentos graníticos, de coloração cinza escura, em forma de blocos e matacões dispersos, medianamente a muito alterada.

A campanha de sondagens executada, identificou na estaca 25, rochas do tipo biotita-gnaïsse, muito alterada nos primeiros metros, passando a sã em maiores profundidades, quando apresenta-se moderadamente dura a dura. Mostra uma estrutura xistosa, um granulado fino, foliado com muita concentração de biotita.

Na sondagem SM-15, localizada na estaca 20+0,00m, classificou-se a rocha extraída como sendo um gabro, dura, de coloração cinza escura, textura meio granulado e estrutura maciça. Em geral assumem a forma de diques, sem controle tectônico definido, cuja unidade pertence a rochas plutônicas granulares (PEgb).

3.3.1 - Estudos Geológicos e Geotécnicos Preliminares

Os estudos geológicos e geotécnicos preliminares, quando da visita ao sítio do barramento, foram desenvolvidos ao nível de reconhecimento, baseados na Carta Geológica do Estado do Ceará – DNPM, confeccionada na escala de 1:500.000 e através dos estudos do Projeto RADAMBRASIL. Foram considerados também nesta etapa, todos os estudos geológicos e geotécnicos atualmente existentes e os que foram executados anteriormente, os quais forneceram subsídios para uma melhor definição das características geológicas.

4 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS

4 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Os estudos geotécnicos constaram de investigações de subsuperfície, através de sondagens à pá e picareta, percussivas, rotativas e mistas. Constaram ainda de ensaios de infiltração (Le Franc) e perda d'água (Lugeon), como também a caracterização dos materiais terrosos, granulares e pétreos a serem utilizados na construção da barragem.

A locação das sondagens, bem como os perfis individuais das sondagens realizadas e seus respectivos ensaios, serão apresentados no Capítulo 6 – Anexos e no Capítulo 7 – Plantas.

Nestas investigações procurou-se identificar as características do pacote aluvionar, quanto ao aspecto hidráulico e de suporte, através das sondagens à percussão e ensaios de infiltração, caracterizar a camada de solo e/ou alteração de rocha, as características das rochas gnaissicas sob o aspecto geomecânico e de transmissibilidade hidráulica através das sondagens rotativas e ensaios de perda d'água.

As áreas de empréstimos dos materiais terrosos e granulares foram pesquisadas através de poços de inspeção.

4.1 - BARRAGEM E SANGRADOURO

4.1.1 - Sondagens à Percussão

O objetivo principal desta sondagem foi a definição da espessura dos depósitos aluvionares sobre o embasamento rochoso e das resistências das camadas de solo através do “SPT” (STANDARD PENETRATION TEST), realizado a cada metro sondado.

Todas as sondagens à percussão foram executadas com diâmetro 21/2” polegadas e o critério de paralisação da perfuração foi em função da lavagem por tempo (menos de 5cm de penetração para cada dez minutos de lavagem).

Foram executadas 14 (quatorze) sondagens à percussão, perfazendo um total de 76,59m perfurados. No Quadro 4.1 a seguir, é apresentado o resumo das sondagens, com suas respectivas profundidades, amarração, estaqueamento e o número de ensaios de infiltração do tipo “Le Franc” executados. Os perfis individuais dessas sondagens e o resultado dos ensaios são apresentados no Capítulo 6 - Anexos.

4.1.2 - Sondagens Mistas

Foram executadas 17 (dezessete) sondagens mistas, perfazendo um total de 268,70 metros. No Quadro 4.1 a seguir, é apresentado o resumo das sondagens com suas respectivas profundidades, amarração, estaqueamento e o número de ensaios “Le Franc” e de perda d’água “Lugeon”. No Capítulo 6 – Anexo são apresentados os perfis individuais das sondagens e o resultado dos ensaios.

Os trechos de sondagens rotativas foram executados com coroa NX (diâmetro externo 75,3mm e interno 54,7mm) acoplada a um barrilete duplo giratório com caixa de mola. A sonda utilizada foi uma MACH 920 da Maquesonda de avanço manual. Para cada operação do barrilete foram registradas a percentagem de recuperação e o número de peças - dados que podem ser visualizados nos perfis de sondagens.

As sondagens mistas foram iniciadas pelo método de sondagem a percussão e prosseguidas por sondagens rotativas. A metodologia empregada é a mesma para sondagens a percussão e rotativas.

Baseado nos resultados das sondagens, foi elaborada uma planta com o Perfil Longitudinal do Subsolo que está apresentada em anexo. Lembramos que este perfil representa evidentemente apenas uma indicação do provável desenvolvimento das camadas do subsolo, pois foi feito somente na vertical e foi elaborado para uma melhor visualização da natureza geral da área em estudo.

4.1.3 - Ensaios de Permeabilidade “*in situ*” com Carga Constante (Le Franc)

Neste tipo de ensaio, mantém-se constante a vazão de água no furo até que as condições de fluxo se estabilizem e a coluna d’água no furo, se torne constante. Com estas condições, é possível medir a vazão e a carga. Os ensaios podem ser executados abaixo e/ou acima do nível d’água.

Foram realizados 49 ensaios de permeabilidade “*in situ*” com carga constante e os resultados destes podem ser observados no Capítulo 6 – Anexos.

4.1.4 - Ensaios de Perda D’ Água (Lugeon)

Os ensaios de perda d’água sob pressão (Lugeon), em furos de sondagens 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 da 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; o 2º e 4º estágios sob uma pressão intermediária, e o 3º estágio sob uma pressão máxima.

Foram realizados 19 ensaios de perda d’água, e os resultados estão apresentados no Capítulo 6 – Anexos.

QUADRO 4.1 RESUMO DAS SP's e SM's

Arquivo: Quadro4-1.xls

4.2 - ESTUDOS DOS MATERIAIS

Os estudos das ocorrências de materiais para a utilização na construção da Barragem Maranguape I tiveram início com o reconhecimento de toda a área em volta do eixo do barramento para a seleção das ocorrências aproveitáveis, considerando a qualidade e o volume dos materiais disponíveis.

Foram estudadas as seguintes ocorrências:

- Jazida 01 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a $455.000,00\text{m}^2$ e volume útil de $395.850,00\text{m}^3$, a uma distância de 100m do eixo da barragem;
- Jazida 02 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a $475.000,00\text{m}^2$ e volume útil de $370.500,00\text{m}^3$, a uma distância de aproximadamente 1,70km do eixo da barragem;
- Areal 01 - Areia de rio (Rio Maranguape) que será usada nas transições, filtros, drenos e concretos, com uma área de $16.000,00\text{m}^2$ e um volume útil de $22.400,00\text{m}^3$, localizado junto à estaca 07 do eixo da barragem;
- Pedreira 01 - Para produção de pedra para enrocamento e brita. Esta localizada aproximadamente a 1,00km de distância do eixo da barragem, com área igual a $10.000,00\text{m}^2$ e volume útil de $300.000,00\text{m}^3$.

As localizações e acessos a todas ocorrências, em relação ao eixo barrável, estão apresentadas no Capítulo 7 - Plantas, em croquis individuais específicos.

As jazidas de materiais terrosos (J 01 e J 02) foram estudadas através de sondagens a pá e picareta, executadas nos vértices de uma malha de 100m x 50m. Na Jazida 01 foram executados 83 poços, com um total de 82,25m de sondagem e na Jazida 02 foram executados 90 poços, perfazendo 78,50m de sondagem. Das jazidas foram coletadas amostras para a execução dos seguintes ensaios de laboratório: Granulometria por Peneiramento, Granulometria por Sedimentação, Limites de Consistência, Peso Específico dos Grãos, Umidade Natural e Ensaios de Compactação (Proctor-Normal). Foram realizados ainda os seguintes ensaios especiais: Permeabilidade com Carga Variável e Cisalhamento Direto Lento.

A seguir é apresentado um resumo dos ensaios geotécnicos realizados nas jazidas 01 e 02. A classificação táctil-visual e os resultados dos ensaios são apresentados no Capítulo 6 – Anexos.

Quadro 4.2 - Resumo dos Ensaios Geotécnicos Área de Empréstimo - Jazida 01

ENSAIOS	TOTAL	FUROS COLETADOS													
		02	04	08	11	15	18	21	27	30	32	35	37	44	
Granulometria por Sedimentação	07			X			X				X	X		X	
Permeabilidade (Carga Variável)	07			X			X				X	X		X	
Cisalhamento Direto	04			X							X			X	
Compactação (Proctor Normal)	21	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Limite Liquidez	21	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Limite Plasticidade	21	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Granulometria por Peneiramento	21	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Continuação

ENSAIOS	FUROS COLETADOS									
	46	48	53	58	63	75	77	80	82	
Granulometria por Sedimentação				X				X		
Permeabilidade (Carga Variável)				X				X		
Cisalhamento Direto			X							
Compactação (Proctor Normal)	X	X		X	X	X	X	X	X	
Limite Liquidez	X	X		X	X	X	X	X	X	
Limite Plasticidade	X	X		X	X	X	X	X	X	
Granulometria por Peneiramento	X	X		X	X	X	X	X	X	

Quadro 4.3 - Resumo dos Ensaios Geotécnicos Área de Empréstimo - Jazida 02

ENSAIOS	TOTAL	FUROS COLETADOS													
		01	05	09	11	16	23	29	34	36	37	41	47	54	
Granulometria por Sedimentação	08		X							X	X	X			
Permeabilidade (Carga Variável)	08		X							X	X	X			
Cisalhamento Direto	06									X	X	X			
Compactação (Proctor Normal)	22	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Limite Liquidez	22	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Limite Plasticidade	22	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Granulometria por Peneiramento	22	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Continuação

ENSAIOS	FUROS COLETADOS									
	55	61	64	68	72	75	78	82	86	90
Granulometria por Sedimentação			X	X				X	X	
Permeabilidade (Carga Variável)			X	X				X	X	
Cisalhamento Direto			X	X				X		
Compactação (Proctor Normal)	X	X		X	X	X	X	X	X	X
Limite Liquidez	X	X		X	X	X	X	X	X	X
Limite Plasticidade	X	X		X	X	X	X	X	X	X
Granulometria por Peneiramento	X	X		X	X	X	X	X	X	X

No Areal 01 foram coletadas 25 amostras, totalizando 34,00m de sondagem, para a classificação táctil-visual e para a realização, em laboratório de ensaios de Granulometria por Peneiramento e Permeabilidade com Carga Constante. Os resultados dos ensaios realizados estão apresentados no Capítulo 6 – Anexos. A seguir é apresentado um quadro com o resumo dos ensaios do Areal (Quadro 4.4).

Quadro 4.4 - Resumo dos Ensaios Geotécnicos do Areal 01

ENSAIOS	TOTAL	FUROS COLETADOS											
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Granulometria	12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Permeabilidade (Carga Constante)	07	X	X		X		X	X	X			X	

Para a Pedreira 01 foram coletadas cinco amostras para a realização do ensaio de Desgaste por Abrasão tipo “Los Angeles”. O resultado deste ensaio está apresentado no Capítulo 6 – Anexos.

4.2.1 - Permeabilidade com Carga Variável

A moldagem do corpo de prova foi realizada no próprio cilindro onde foram executados os ensaios, sendo o solo compactado na umidade ótima e massa específica seca máxima, obtida no ensaio de compactação.

O equipamento de ensaio foi drenado para retirada das bolhas de ar. Inicialmente, os corpos de prova permaneceram no mínimo 24 horas sob fluxo de água, até que este se tornasse constante, quando foi iniciado o ensaio.

Foi medido o tempo para a água descer uma determinada altura na bureta. O nível da água foi repostado ao nível inicial e a operação repetida no mínimo mais duas vezes. O coeficiente de permeabilidade foi calculado através da média dos valores.

4.2.2 - Permeabilidade com Carga Constante

A moldagem dos corpos de prova foi realizada no próprio cilindro onde foram executados os ensaios, adensando o material com água abundante, percolando o solo até ser atingido o índice de vazio previsto.

Os corpos de prova permaneceram no mínimo trinta minutos com fluxo de água constante, antes do início do ensaio.

Durante a execução do ensaio, foi medida a quantidade de água que atravessou o corpo de prova, durante um certo intervalo de tempo e a operação repetida no mínimo mais três vezes consecutivamente. O coeficiente de permeabilidade foi calculado através da média dos coeficientes obtidos em cada uma das vezes.

4.2.3 - Cisalhamento Direto Lento

Os corpos de prova foram compactados na caixa de cisalhamento, e saturados sob uma tensão vertical de $0,5 \text{ kgf/cm}^2$. Em seguida foi complementada a carga vertical de tal modo que fosse obtida a tensão normal de ruptura ($0,5$; 1 e 2 kgf/cm^2) e aguardado o tempo necessário para que ocorresse o adensamento primário.

Posteriormente, foi iniciada a fase de ruptura com uma velocidade de 10^{-2} mm/min , sendo realizadas leituras das deformações vertical, horizontal e do dinamômetro a cada 15 minutos, até que fosse caracterizada a ruptura ou a tensão de cisalhamento permanecesse constante.

5 - COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE AS INVESTIGAÇÕES

5- COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE AS INVESTIGAÇÕES

5.1 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados dos Estudos Geotécnicos podem ser visualizados no Anexo, divididos da seguinte maneira.

- Boletins de Sondagens e Ensaios no Sítio Barrável
 - Sondagens a Percussão;
 - Sondagens Mistas;
 - Ensaios de Infiltração (Le Franc);
 - Ensaios de Perda D'Água (Lugeon).
- Estudos dos Materiais
 - Boletins de Sondagens para Jazidas;
 - Quadro Resumo dos Ensaios de Laboratório;
 - Ensaios de Granulometria por Peneiramento;
 - Ensaios de Limites de Consistência;
 - Ensaios de Compactação (Proctor Normal);
 - Análise Granulométrica por Sedimentação;
 - Ensaios de Densidade “in situ”.
- Ensaios Especiais
 - Ensaios de Permeabilidade com Carga Variável;
 - Ensaios de Permeabilidade com Carga Constante;
 - Ensaios “Los Angeles”;
 - Ensaios de Cisalhamento Direto Lento.

5.2 - FUNDAÇÕES

Através da análise dos resultados das sondagens executadas no local das obras, pode-se traçar um provável perfil geotécnico da área do trecho barrável. Este desenho encontra-se em anexo.

As características da fundação da barragem podem ser visualizadas nos boletins de sondagem, nos ensaios de infiltração e perda d'água realizados, bem como no desenho referentes ao perfil geológico-geotécnico apresentado em anexo.

O eixo locado é dividido por três segmentos contínuos denominados de ombreira esquerda, calha do rio e ombreira direita.

5.2.1 - Ombreira Esquerda

A ombreira esquerda está localizada entre as estacas 25A até a estaca 14A. Nesta área foram executadas 4 (quatro) sondagens mistas, a saber: SM-A, SM-B, SM-E e SM-17.

A sondagem SM-A foi realizada na estaca 17A no eixo barrável. Foi encontrado nível d'água a uma profundidade de 0,96m. Até 0,87m de profundidade foi encontrado silte arenoso, cinza, com SPT de 20/6 golpes. No trecho entre 0,87m e 5,50m encontrou-se um solo residual, caracterizado por areia siltosa, com pedregulhos, micácea, cinza clara e cinza escura variegada, com SPT'S variando de 32 golpes a 13/3 golpes. A partir da profundidade de 5,50m até o final do furo, na profundidade de 14,50m, encontrou-se o substrato rochoso, caracterizado por granito duro muito duro, cinza e rósea, com recuperação mínima de 98%, com RQD variando de 50% a 100%, medianamente intemperizada a rocha são e com fraturas por metro variando entre 5 frat./m a 10 frat./m.

A sondagem SM-B foi realizada na estaca 23A+5,00m, deslocado 116m para jusante do eixo barrável. O nível d'água encontra-se a 0,42m de profundidade. No trecho entre 0,00 até 0,40m foi encontrado um silte argiloso com pedregulhos, com SPT de 4 golpes. No trecho entre 0,40m e 2,00m encontra-se uma areia grossa, pouco siltosa, cinza e amarela, com SPT'S variando de 4 golpes a 5 golpes. No trecho entre 2,00m e 4,80m encontra-se uma areia siltosa micácea com pedregulhos, cinza escura, com SPT'S variando de 4 golpes a 12 golpes. No trecho entre 4,80m e 6,00m encontra-se um silte argiloso, com pedregulhos micáceo, cinza escuro, com SPT'S variando de 25/15 golpes a 14/1 golpes. A partir da profundidade de 9,50m foi encontrado o substrato rochoso, caracterizado por um granito muito duro, cinza, com recuperação mínima de 98%, com RQD variando de 60% a 100%, ligeiramente intemperizada a rocha são e com fraturas por metro variando de 5 frat./m a 10 frat./m.

A sondagem SM-E foi realizada na estaca 23A+5,00m. deslocada 58m para o lado de jusante do eixo barrável. Não foi encontrado neste furo de sondagem nível d'água. Entre 0,00m e 4,00m foi encontrado um silte arenoso, micáceo, com pedregulho, cinza e amarelo, com SPT'S variando de 2 golpes a 32/20 golpes. No trecho entre 4,00m e 8,20m foi encontrado solo residual, caracterizado por silte arenoso, micáceo, cinza escuro, com SPT'S variando de 41 golpes a 15/3 golpes. A partir de 8,20m até o final do furo de sondagem, a profundidade de 14,00m é encontrado o substrato rochoso, caracterizado por gnaiss, moderadamente dura, dura a muito dura, cinza, com recuperação variando de 80% a 90%, RQD variando de 40% a 80%, medianamente intemperizada a ligeiramente intemperizada e com fraturas por metro não superiores a 5 frat./m.

A sondagem SM-17 foi realizada na estaca 24A no eixo barrável. Neste furo de sondagem não foi encontrado nível d'água. Entre as profundidades de 0,00m a 2,00m foi encontrado silte argiloso, marrom, com SPT'S variando de 25/23 golpes a 37 golpes. No trecho entre 2,00m a 7,80m foi encontrado solo residual, caracterizado por silte arenoso com pedregulhos, micáceo, cinza claro e cinza escuro variegado, com SPT'S variando de 24/13 golpes a 19/3 golpes. A partir de 7,80m até o final do furo de sondagem na profundidade de 20,00m, foi encontrado o substrato rochoso, caracterizado por granito dura muito dura, cinza, com recuperação mínima de 58%, com RQD variando de zero a 90%, ligeiramente intemperizada a rocha sã e com fraturas por metro variando de 5 frat./m a mais de 20 frat./m.

Na sondagem SM-17 no trecho em rocha foram realizados 4 (quatro) ensaios de perda d'água sobre pressão do tipo Lugeon, os quais indicaram perdas d'água nulas.

5.2.2 - Calha do Rio

A calha do rio da Barragem Maranguape I está localizada entre as estacas 13A e 34. Ao longo do trecho da calha do rio foram executadas 4 (quatro) sondagens percussivas e 3 (três) sondagens mistas, a saber: SP-01, SP-A, SP-B, SP-C, SM-02, SM-03, SM-04, SM-05, SM-C, SM-15 e SM-18.

A sondagem SP-01 foi realizada na estaca 3 do eixo barrável. Neste furo de sondagem não foi encontrado nível d'água. Entre 0,00m e 0,35m foi encontrado areia média pouco siltosa, micácea, cinza escura, com SPT de 11 golpes. Entre as profundidades de 0,35m e 2,45m foi encontrado silte arenoso, micáceo, com pedregulhos, cinza e amarela, com pedregulho e com SPT'S variando de 17 golpes a 33 golpes. A partir da profundidade de 2,45m até o final do furo, na profundidade de 9,00m, foi encontrado solo residual, caracterizado por areia siltosa, micácea, cinza e amarela, com SPT'S variando de 40 golpes a 15/3 golpes.

Nesta sondagem foram realizados 2 (dois) ensaios de infiltração tipo Le Franc, com valores de $2,26 \times 10^{-4}$ cm/s e $2,7 \times 10^{-5}$ cm/s.

A sondagem SP-A foi realizada na estaca 5A no eixo barrável. Na profundidade de 0,58 foi encontrado nível d'água. Entre 0,00m e 2,90m foi encontrada areia siltosa, micácea, com pedregulhos, cinza escura, com SPT'S variando de 1 golpe a 14 golpes. No trecho entre 2,90m e 4,80m foi encontrada argila muito argilosa, com pedregulhos cinza e amarela, com SPT'S variando de 14 golpes a 44/19 golpes. Da profundidade de 4,80m até o final do furo, na profundidade de 6,42, foi encontrado solo residual caracterizado por silte arenoso, micáceo, cinza, com SPT'S variando de 20/3 golpes a 45/6 golpes.

Na sondagem SP-A foram realizados 7 (sete) ensaios de infiltração tipo Le Franc, o qual apresentou coeficientes de permeabilidade variando de zero a $2,51 \times 10^{-7}$ cm/s.

A sondagem SP-B foi realizada na estaca 8A no eixo barrável. O nível do lençol freático foi encontrado a 1,10m de profundidade. Entre 0,00m e 0,25m foi encontrada areia siltosa, micácea, cinza escura, com SPT de 2 golpes. De 0,25 a 3,00 foi encontrada areia siltosa, com pedregulhos, cinza escura, com SPT'S variando de 5 golpes a 10 golpes. De 3,00m a 5,00m foi encontrada argila muito arenosa, micácea, com pedregulhos, cinza e amarela, com SPT'S variando de 30 golpes a 30/8 golpes. De 5,00m a 6,45m, final do furo de sondagem, encontrou-se solo residual caracterizado por silte arenoso, micáceo, cinza, com SPT'S variando de 50/18 golpes a 45/8 golpes.

Na sondagem SP-B foram realizados 6 (seis) ensaios de infiltração tipo Le Franc, os quais determinaram coeficientes de permeabilidade variando de $1,05 \times 10^{-4}$ cm/s a $2,72 \times 10^{-6}$ cm/s.

A sondagem SP-C foi realizada na estaca 10A do eixo barrável. O nível d'água foi identificado na profundidade de 1,05m. Nos 0,40m iniciais foi identificado um silte argiloso, com pedregulhos, cinza escuro, com SPT de 10 golpes. De 0,40m a 3,05m foi encontrada argila muito arenosa, com pedregulhos, cinza, com SPT'S variando de 12 golpes a 26 golpes. De 3,05m até 7,60m, final do furo de sondagem, encontrou-se solo residual, caracterizado por silte arenoso, micáceo, com pedregulhos, amarelo, com SPT'S variando de 17 golpes a 35/6 golpes.

Na sondagem SP-C foram realizados 7 (sete) ensaios de infiltração tipo Le Franc, os quais determinaram coeficientes de permeabilidade variando de $1,38 \times 10^{-5}$ cm/s a $2,11 \times 10^{-7}$ cm/s.

A sondagem SM-02 foi realizada na estaca 6+10,00m no eixo barrável. O nível d'água encontrado está na profundidade de 0,60m. Nos 0,20m iniciais foi identificado silte argiloso com pedregulhos, cinza escura, com SPT de 15 golpes. De 0,20m a

1,15m foi encontrada argila siltosa, com pedregulhos, cinza e amarela, com SPT de 49 golpes. De 1,15m até 7,00m de profundidade foi encontrado solo residual, caracterizado por silte argiloso, micáceo, com pedregulhos, cinza, com SPT'S variando de 40 golpes a 15/2 golpes. A partir de 7,00m até o final do furo na profundidade de 16,00m foi encontrado o substrato rochoso, caracterizado por granito muito duro, róseo, com recuperação mínima de 90%, com RQD variando de 50% a 100%, medianamente intemperizada a rocha sã e com fratura por metro de 5 frat./m a 15 frat./m.

Na sondagem SM-02 foram realizados no trecho em solo 3 (três) ensaios de infiltração tipo Le Franc, que determinaram coeficientes de permeabilidade na ordem de 10^{-6} cm/s. Nesta mesma sondagem, no trecho em rocha, foram realizados 3 (três) ensaios de perda d'água tipo Lugeon, cujos valores de perda d'água variaram de zero a 0,01 l/min/m/10 atm.

A sondagem SM-03 foi realizada na estaca 10+17,80m, no eixo barrável. O nível d'água encontrado está a 5,00m de profundidade. Nos 0,20m iniciais foi encontrada areia siltosa, micácea, cinza escura, com SPT de 11 golpes. De 0,20m a 13,00m foi identificado solo residual caracterizado por silte arenoso, micáceo, com pedregulhos, cinza, com SPT'S variando de 22/10 golpes a 10/1 golpes. A partir de 13,00m até o final do furo na profundidade de 18,50m foi encontrado o substrato rochoso, caracterizado por granito muito duro, com recuperação variando de 80% a 95%, com RQD variando de zero a 80%, ligeiramente intemperizada a rocha sã e com fraturas por metro na ordem de 5 frat./m.

No trecho de solo da sondagem SM-03 foram realizados 5 (cinco) ensaios de infiltração do tipo Le Franc, o qual indicaram coeficientes de permeabilidade entre $1,35 \times 10^{-5}$ cm/s e $4,91 \times 10^{-6}$ cm/s. No trecho em rocha, foram realizados 2 (dois) ensaios de Lugeon, os quais indicaram perda d'água nula e de 0,02 l/min/m/10 atm.

A sondagem mistas SM-04 foi executada na estaca 14A no eixo barrável. Foi encontrado nível d'água a uma profundidade de 0,25m. Entre o horizonte de 0,00m a 1,00m foi encontrada uma areia siltosa com pedregulhos, micácea, cinza e amarela, com SPT'S variando de 13 golpes a 26 golpes. No trecho entre 1,00m e 6,90 foi encontrado o solo residual, caracterizado por silte pouco argiloso, com pedregulhos, micácea, cinza e amarela, com SPT'S variando de 25/9 golpes a 30/4 golpes. A partir da profundidade de 6,90m até o final do furo, à profundidade 21,90m, encontra-se o substrato rochoso, caracterizado por um granito, duro, muito duro, cinza, com RQD mínimo de 30%, variando de medianamente intemperizada a rocha sã, com valores de fratura por metro variando de 5 frat./m a 15 frat./m.

Na sondagem SM-04 foram realizados no trecho em solo 5 (cinco) ensaios de infiltração tipo Le Franc, os quais foram encontrados valores de permeabilidade entre $1,5 \times 10^{-6}$ cm/s e $8,4 \times 10^{-7}$ cm/s. Nesta mesma sondagem, no trecho em rocha, foram realizados 5 (cinco) ensaios de perda d'água tipo Lugeon, os quais foram encontrados valores de perdas d'água variando de zero a 0,07 l/min/m/atm.

A sondagem mista SM-05 foi executada na estaca 16A no eixo barrável. Foi encontrado nesta sondagem o nível d'água a 0,20m de profundidade. Até a profundidade de 1,85m encontra-se uma areia siltosa, micácea, cinza, com SPT'S variando de 2 golpes a 5 golpes. No trecho entre 1,85m a 2,90m encontra-se um silte argiloso, cinza, com SPT'S variando de 5 golpes a 6 golpes. No trecho entre 2,90m a 5,00m encontra-se uma areia argilosa, cinza, com SPT'S variando de 6 golpes a 15 golpes. No trecho entre 5,00m a 10,50m encontra-se um silte argiloso, cinza, com SPT'S variando de 21 golpes a 36/16 golpes. A partir da profundidade de 10,50m até o final do furo, na profundidade de 24,50m, encontra-se o substrato rochoso, caracterizado por granito duro, muito duro, cinza, com recuperação mínima de 90%, com RQD variando de 40% a 100%, ligeiramente intemperizada a rocha são e com fraturas por metro variando de zero a 5 frat./m.

Na sondagem mista SM-05 foram executados no trecho em solo 7 (sete) ensaios de infiltração tipo Le Franc, os quais apresentaram valores de coeficiente de permeabilidade variando de zero a $6,14 \times 10^{-6}$ cm/s.

A sondagem SM-C foi realizada na estaca 23A+5,00m no eixo barrável. Não foi encontrado nível d'água neste furo. Até a profundidade de 2,65m foi encontrado um silte pouco argiloso, micáceo, cinza, com SPT'S variando de 65 golpes a 30/7 golpes. No trecho entre 2,65 a 11,50 foi encontrado solo residual caracterizado por uma areia siltosa, micácea, com pedregulhos, cinza clara e cinza escura variegada, com SPT'S variando de 21/14 golpes a 13/1 golpes. A partir da profundidade de 11,50m até o final do furo, na profundidade de 20,00m, foi encontrado granito macio, duro a muito duro, cinza, com recuperação variando de 82% a 98%, com RQD variando de 30% a 90%, medianamente intemperizada a rocha são e com fratura por metro variando de 10 frat./m a mais de 20 frat./m.

Na sondagem SM-C, na camada de solo foram realizados 7 (sete) ensaios de infiltração tipo Le Franc, com coeficiente de permeabilidade variando de $1,33 \times 10^{-4}$ cm/s a $7,52 \times 10^{-6}$ cm/s. No trecho entre 3,00m e 3,50m, houve perda total. Nesta mesma sondagem, no trecho em rocha, foram executados 3 (três) ensaios de perda d'água tipo Lugeon, cujos valores de perda d'água variaram entre 0,01 l/min/m/10 atm e 0,14 l/min/m/10 atm.

A sondagem SM-15 foi realizada na estaca 20 do eixo barrável. Neste furo de sondagem não foi encontrado nível d'água. Entre 0,00m e 1,40m de profundidade foi

encontrado silte argiloso, marrom, com SPT'S variando de 37 golpes a 32/35 golpes. No trecho entre 1,40m e 3,80m foi encontrada alteração de rocha. No trecho entre 3,80m e 6,80m foi encontrado ultramilonito, cinza, amarela e vermelha, variegada, com recuperação variando de 50% a 90%, com RQD nulo ou no máximo 20%, medianamente intemperizado e com fraturas por metro superiores a 20. Neste trecho, ou seja, entre a profundidade de 3,80m e 6,80m, foi realizado o ensaio de perda d'água tipo Lugeon, cujo valor encontrado de perda d'água foi de 0,01 l/min/m/10 atm. Em seguida, entre 6,80m e 7,80m foi encontrado solo residual, caracterizado por silte areno argiloso, micáceo, cinza, amarelo e vermelho, variegado, com SPT de 15/4 golpes. No trecho entre as profundidades de 7,80m e 11,80m foi encontrado solo residual caracterizado por areia fina siltosa, micácea, cinza, amarelo e vermelho, variegado, com SPT'S variando de 13/2 golpes a 31/1 golpes. No trecho entre 11,80m até o final do furo, à profundidade de 14,80, foi encontrado granito duro a muito duro, cinza escuro, com recuperação mínima de 90%, RQD variando de 40% a 80%, ligeiramente intemperizada a rocha sã e com fratura por metro variando de 10 frat./m a 11/15 frat./m.

A sondagem SM-18 foi executada na estaca 25 no eixo barrável. Não foi encontrado nível d'água neste furo de sondagem. Entre as profundidades de 0,00m a 1,20m foi encontrado silte arenoso com pedregulhos, marrom, com SPT de 34 golpes. Entre as profundidades de 1,20m e 7,00m foi encontrado solo residual caracterizado por silte arenoso com pedregulhos, micáceo, cinza claro e escuro variegado, com SPT'S variando de 40 golpes a 24/4 golpes. A partir da profundidade de 7,00m até o final do furo de sondagem foi encontrado o substrato rochoso caracterizado por biotita xisto, moderadamente dura, dura, muito dura, cinza, com recuperação variando de 70% a 92%, com RQD variando de zero a 60%, medianamente intemperizada a rocha sã, com fraturas por metro variando de 10 frat./m a mais de 20 frat./m.)

5.2.3 - Local definido para a construção da Barragem

No local definido para a construção da Barragem Maranguape I, a cerca de 200m a montante do Eixo – 3, foram executadas dez sondagens à percussão no boqueirão e cinco sondagens mistas na área do sangradouro. Cabe aqui salientar que quando se cita a localização da posição da sondagem esta está referida ao eixo final implantado e não ao eixo final de projeto, pois este último sofreu um pequeno deslocamento para montante dentro da faixa levantada na busca de se otimizar o volume do maciço.

Na sondagem SP-501, executada na estaca 4, com cota da boca do furo 91,602 m foi encontrado entre 0,00 m e 1,80 m uma areia siltosa, pouco compacta, com SPT variando de 11 a 18 golpes. De 1,80 m a 2,45, final do furo foi encontrado um silte argiloso, micáceo, medianamente compacto, cinza, caracterizado por um solo residual, com SPT de 23 golpes. Neste furo não foi identificado nível d'água.

Na sondagem SP-502, realizada na estaca 7, com cota de boca de furo de 87,448 m, foi encontrado de 0,00 a 1,00 m uma areia siltosa compacta, com SPT de 5 golpes. De 1,00 m a 2,30 m foi encontrado um silte argiloso, com pedregulhos, rijo, cinza escuro, com SPT variando de 9 a 11 golpes. De 2,30 m a 11,46 m, final do furo, foi encontrado um silte arenoso, micáceo, com pedregulhos, compacto e muito compacto, cinza e amarelo, caracterizado por solo residual, com SPT variando de 23 a 90 golpes. Foi encontrado nível d'água na profundidade de 2,30 m.

O furo SP-503 foi executado na estaca 9, na cota 93,596 m. De 0,00 m a 0,75 m foi encontrado uma argila siltosa, rija, marrom, com SPT de 16 golpes. De 0,75 m até 8,75 m final do furo, foi encontrado silte arenoso, micáceo, com pedregulhos, compacto, cinza, caracterizado por um solo residual, com resistência a penetração SPT variando de 29 a 54 golpes. Não foi identificado nível d'água neste furo.

Pelas sondagens geotécnicas executadas neste trecho entre as estacas 20 a 11, a barragem deverá ser assente após a escavação de 1,0 m de profundidade. O cut-off da barragem deverá estar engastado no solo residual.

A sondagem SP-504 programada para a estaca 15 não foi executada por ter sido encontrado afloramento de rocha neste local.

O furo SP-505 foi executado na estaca 17, na cota 84,058 m. De 0,00 m a 0,80 m foi encontrado um silte arenoso fofo, cinza, com SPT de 3 golpes. De 0,80 m a 1,70 m foi encontrado uma areia siltosa, micáceo, com pedregulhos, fofo, cinza, com SPT de 4 golpes. De 1,70 m a 4,30 m foi encontrado uma argila siltosa, mole, amarela, com SPT variando de 3 a 5 golpes. De 4,30 m a 4,45 m, foi encontrado um silte arenoso, micáceo, compacto, cinza, caracterizado por solo residual, com SPT de 36 golpes. Não foi identificado nível d'água neste furo.

A sondagem SP-506 foi executada na estaca 19, na cota 91,181 m. De 0,00 m a 0,70 m foi encontrado uma argila arenosa, mole, cinza escura, com SPT de 4 golpes. De 0,70 m a 5,45 m foi encontrado uma areia argilosa com pedregulhos, medianamente compacta e compacta, amarela, caracterizada por solo residual, com SPT variando de 8 a 20 golpes. Neste furo não foi identificado nível d'água.

A sondagem SP-507 foi executada na estaca 21, na cota 91,695 m. De 0,00 m a 3,80 m foi encontrado um silte arenoso, com pedregulhos, medianamente compacto e compacto, cinza, com SPT variando de 26 a 33 golpes. De 3,80 m a 6,80 m foi encontrado uma areia argilosa com pedregulhos, muito compacta, caracterizado por solo residual, com SPT variando de 23 a 43 golpes. Não foi identificado nível d'água neste furo.

A sondagem SP-508 foi executada na estaca 25, na cota 91,571. De 0,00 m a 6,00 m foi encontrado um silte arenoso, micáceo, com pedregulhos, fofa a medianamente compacto, cinza, caracterizado por solo residual, com SPT variando de 3 a 12 golpes. Não foi encontrado nível d'água neste furo.

A sondagem SP-509 foi executada na estaca 11+14,35 do eixo levantado a 25,0 m para montante com a cota da boca do furo igual a 112,00 m. De 0,00 m a 0,40 m foi encontrado areia fina argilosa, medianamente compacta, marrom clara. O SPT desta camada foi de 16 golpes. De 0,40 m a 2,89 m foi encontrado areia fina siltosa micácea muito compacta cinza clara (solo de alteração de rocha). O SPT desta camada foi de 45/23 golpes.

A sondagem SP-510 foi executada na estaca 11+19,84 m a 31,00 m para jusante com a cota da boca do furo igual a 108,00 m. De 0,00 m a 0,65 m foi encontrado areia fina pouco siltosa com pedregulhos e fragmentos de quartzo e feldspato compacto cinza e amarelo variegada caracterizando o solo residual. O SPT dessa camada foi de 33 golpes. De 0,65 m a 3,83 m foi encontrado areia fina pouco siltosa com pedregulhos e fragmentos de quartzo e feldspato, compacta cinza e amarela variegada caracterizando a rocha alterada. Os SPT'S desta camada foram de 25/12, 25/7 e 25/4 golpes.

Examinando os perfis das sondagens percussivas executados nos dois boqueirões, auxiliar e principal, verifica-se que na barragem da esquerda o maciço deve ser assente após a retirada de 1,0 m de material natural de off-set a off-set. Já na barragem direita no local do rio foi observado nas sondagens SP-505 e SP-506 a existência de solos moles. Portanto, entre as estacas 1D a 3D e 7D a 15D a escavação obrigatória será de 1,0 m e entre as estacas 3D a 7D a escavação obrigatória será de 4,0 m.

A sondagem SM-402 foi executada na estaca 3S. De 0,00 m a 0,60 m foi encontrado uma argila arenosa, rija, marrom, com SPT de 12 golpes. De 0,60 m a 3,00 m foi encontrado um silte arenoso, com pedregulhos, micáceo, compacto a muito compacto, cinza e amarelo, caracterizado por solo residual, com SPT variando de 37 a 54 golpes. De 3,00 m a 8,00 m foi encontrado um micaxisto, com veios de feldspato, muito macia, cinza escura, com recuperação baixa, inferior a 20%, RQD nulo, rocha decomposta e com fraturas superiores a 20 fraturas por metro. De 8,00 m a 14,00 m foi encontrado um granito, cinza e amarelo, com recuperação variando entre 10% a 40%, com RQD variando de zero a 30%, altamente intemperizada a medianamente intemperizada, apresentando 10 fraturas por metro. Não foi encontrado nível d'água neste furo.

A sondagem SM-403 foi realizada na estaca 2S na cota 121,403 m. De 0,00 m a 0,80 m foi encontrado uma areia siltosa, fofa, marrom, com SPT de 14 golpes. De

0,80 m a 3,06 m foi encontrado um silte arenoso, com pedregulhos, micáceo, compacto a muito, cinza, caracterizado por solo residual, com SPT variando de 38 a 30/6 golpes. De 3,06 m a 6,00 m foi encontrado uma biotita-gnaiss, preta e cinza, com recuperação variando de zero a 18%, RQD nulo, com grau de intemperismo variando de rocha decomposta a altamente intemperizada. De 6,00 m a 12,00 m, foi encontrado granito, branco e cinza, com recuperação variando de 2% a 81%, conforme avanço do furo, com RQD variando de zero a 80%, conforme avanço do furo, medianamente intemperizada a ligeiramente intemperizada, com 5 fraturas por metro. Não foi encontrado nível d'água neste furo.

A sondagem SM-404 foi executada na estaca 1 do eixo levantado exatamente no eixo. A cota da boca do furo foi 115,540 m. O furo foi executado com 12,0 m de profundidade. De 0,00 m a 3,0 m o furo foi feito pelo processo percussivo e foi detectada uma formação litológica com a seguinte descrição: areia fina a média pouco argilosa com pedregulhos de quartzo e fragmentos de feldspato caracterizando a alteração da rocha. Os SPT'S medidos foram de 45 e 49/25 golpes. De 3,0 m a 12,0 m o processo foi por sonda rotativa, foi encontrado gnaiss migmatítico a gnaiss muito macia, a recuperação variou de 10% a 20% e o RQD foi nulo em seis das setes manobras e 10% em uma manobra.

A sondagem SM-405 foi executada com 12,00 m de profundidade, até 1,0 m de profundidade o processo foi percussivo encontrando-se areia fina a média pouco argilosa com pedregulhos de quartzo e fragmentos de feldspato caracterizando a alteração de rocha. Da profundidade de 1,0 m a 12,0 m o furo foi executado com sonda rotativa. De 1,0 m a 5,0 m foi encontrado gnaiss muito macia cuja recuperação foi de 20%, o RQD foi nulo e a rocha é decomposta. De 5,0 m a 6,50 m a recuperação foi de 8%, o RQD foi nulo e a rocha é medianamente intemperizada. De 6,50 m a 12,0 m a recuperação foi de 3%, o RQD foi nulo e a rocha é ligeiramente intemperizada.

A sondagem SM-406 localizada 126,0 m a jusante da estaca 1+10,0 m do eixo locado, com a cota da boca do furo igual a 85,0 m, foi executada, também, até a profundidade de 12,0 m. De 0,00 m a 8,0 m o furo foi executado pelo processo percussivo. De 0,00 m a 1,00 m foi encontrado argila pouco arenosa, pouco micácea, mole e de cor marrom. O SPT desta camada foi de 5 golpes. De 1,00 m a 2,00 m foi encontrado argila siltosa micácea com pedregulhos de quartzo, média e cinza escuro. Os SPT'S desta camada foram de 7 e 10 golpes. De 2,0 m a 8,0 m foi encontrado argila siltosa, muito micácea com pedregulhos de quartzo rija a dura, cinza escura, caracterizando o solo de alteração de rocha. Os SPT'S dessa camada foram de 16, 12, 12, 20 e 44 golpes. De 8,0 m a 12,0 m o furo foi prosseguido por sonda rotativa. De 8,0 m a 9,0 m foi encontrado gnaiss com veios de pegmatitos, a recuperação foi de 10%, o RQD foi nulo, a rocha está em estado de medianamente intemperizado e foi

encontrado 10 fraturas por metro. De 9,0 m a 12,0 m a recuperação foi de 4%, o RQD foi nulo, a rocha está em estado decomposto e apresenta cinco fraturas por metro.

Examinado os perfis individuais das sondagens verifica-se que o maciço rochoso está em estado bastante alterado o que não permite a implantação de um sangradouro simplesmente escavado em rocha ou mesmo formado de um perfil Creager descarregando livremente no material da escavação. É necessário que seja previsto uma estrutura de concreto para conduzir as águas até o nível do rio.

Pelas sondagens realizadas na área do sangradouro, pode-se observar a competência da rocha para a implantação de uma soleira espessa na Barragem Maranguape I.

5.3 - ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS ESTUDADAS

Para a construção da Barragem Maranguape I foram estudadas duas jazidas de solo areno argiloso J-01 e J-02, um areal A-01 e uma pedreira.

Nos materiais das jazidas foram executados os seguintes ensaios:

- Granulometria (por peneiramento);
- Granulometria (por sedimentação);
- Limite de Liquidez;
- Limite de Plasticidade;
- Compactação;
- Permeabilidade com Carga Variável;
- Cisalhamento Direto Lento.

Nas jazidas J-01 e J-02 foram coletadas respectivamente 21 e 22 amostras para realização dos ensaios.

No areal A-01, foram coletadas doze amostras sobre as quais foram realizados os ensaios de:

- Granulometria (por peneiramento);
- Permeabilidade com carga variável.

Na pedreira P-01 coletou-se cinco amostras para realização de ensaios de Desgaste por Abrasão tipo “Los Angeles”.

Examinando os resultados dos ensaios realizados nas amostras da Jazida J-01 pode se dizer o seguinte:

- Os solos da Jazida J-01 tem valores médios de:
 - LL=33%;
 - IP=10%;
 - $h_{ótima}=12,11\%$;
 - $\gamma_{s \text{ Max}}=1,874\text{tf/m}^3$.
- O enquadramento dos solos da jazida J-01 na Classificação Unificada USC indica que eles são de dois tipos SM (silte arenoso) e SC (argila arenosa). Os solos desses grupos, têm segundo Sherard* as seguintes características:

SOLOS SM

- Variam de impermeável a semi-impermeável;
- Tem média resistência ao piping;
- Tem alta resistência ao cisalhamento;
- Apresentam de boa a muito boa trabalhabilidade;

SOLOS SC

- São impermeáveis;
 - Tem alta resistência ao piping;
 - Tem de alta a média resistência ao cisalhamento;
 - Tem boa trabalhabilidade.
- Os ensaios de permeabilidade a carga variável mostraram que os solos da jazida J-01, quando compactados próximo da umidade ótima tem permeabilidade média de $K = 1,2 \times 10^{-6}\text{cm/s}$;
 - Examinando os resultados dos ensaios de cisalhamento direto lento, pode se adotar os seguintes parâmetros efetivos para os solos dessa jazida $C'=17\text{ kPa}$ e $\phi'=33,6^\circ$;

- No campo, a densidade natural da jazida J-01 foi verificada em doze pontos, obtendo-se os seguintes valores médios:

- $h_{in\ situ}=4,2\%$
- $\gamma_{in\ situ}=1,493\text{ tf/m}^3$

Examinando os resultados dos ensaios da jazida J-02 pode se dizer o seguinte:

- Os solos da jazida J-02 têm valores médios de limite de liquidez, índice de plasticidade, umidade ótima e massa específica aparente seca máxima dados por:
 - $LL=35\%$;
 - $IP=11\%$;
 - $h_{ótima}=13,4\%$
 - $\gamma_s\ máx=1,859\text{ tf/m}^3$
- O enquadramento dos solos da jazida J-02 na Classificação Unificada USC mostra que eles são de dois tipos SC (argila arenosa) e SM (silte arenoso).

Segundo SHERARD os solos do tipo SC e SM, quando compactados próximo da umidade ótima, apresentam as seguintes propriedades:

SOLOS SM

- Variam de impermeável a semi-impermeável;
- Tem média resistência ao piping;
- Tem alta resistência ao cisalhamento;
- Apresentam de boa a muito boa trabalhabilidade.

SOLOS SC

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

- Os ensaios de permeabilidade com carga variável mostraram que os solos da jazida J-02, quando compactados próximo da umidade ótima, tem permeabilidade média de $K = 7,8 \times 10^{-7}$ cm/s.
- No campo, a densidade natural foi verificada em quatro pontos, apresentando os seguintes valores médios:
 - $h_{in situ} = 4,80\%$
 - $\gamma_{in situ} = 1,547$ tf/m³
- Examinando os resultados dos ensaios de cisalhamento direto lento, pode se adotar os seguintes parâmetros efetivos de resistência do solo $C' = 17$ kPa e $\phi' = 32,3^\circ$.

No Areal A-01 foram realizados ensaios de permeabilidade e de granulometria. Examinando esses ensaios pode-se fazer as seguintes observações:

- A permeabilidade média da areia é de $6,9 \times 10^{-3}$ cm/s. Areias com essa permeabilidade são adequadas para utilização como filtro no sistema de drenagem interna da barragem;
- As amostras coletadas apresentaram diâmetro máximo dos grãos de 9,5mm;
- O módulo de finura médio (MF) = 3,18. As areias com módulo de finura neste valor são classificadas como média;
- A percentagem passando na peneira nº 200 é menor que 1% o que caracteriza uma areia limpa isenta de material pulverulento.

Na pedra P-01, foram coletadas cinco amostras de rocha que foram submetidas ao ensaio de Desgaste por Abrasão tipo “Los Angeles”. Os resultados encontrados foram os seguintes:

- Amostra-1 – 35%;
- Amostra-2 – 31%;
- Amostra-3 – 33%;
- Amostra-4 – 31%;
- Amostra-5 – 29%.

Pedreiras com “Los Angeles” dessa ordem são consideradas adequadas para fornecer produtos de britagens para a barragem.

6.1 - SONDAGENS

6.1.1 - Ensaio de Infiltração (Le Franc)

6.1.2 - Ensaio de Perda D'Água (Lugeon)

6.2 - ENSAIOS DOS MATERIAS

6.2.1 - Jazida - 01

6.2.1.1 - Quadro Resumo

6.2.1.2 - Boletim de Campo

6.2.1.3 - Granulometria por Sedimentação

6.2.1.4 - Permeabilidade com Carga Variável

6.2.1.5 - Ensaio de Cisalhamento

6.2.1.6 - Ensaio de Densidade “*In Situ*”

Método do Frasco de Areia

6.2.2 - Jazida - 02

6.2.2.1 - Quadro Resumo

6.2.2.2 - Boletim de Campo

6.2.2.3 - Granulometria por Sedimentação

6.2.2.4 - Ensaio de Permeabilidade com Carga Variável

6.2.2.5 - Ensaio de Cisalhamento

6.2.2.6 - Ensaio de Densidade “*In Situ*”

Método do Frasco de Areia

6.2.3 - Areal 01

6.2.3.1 - Boletim de Campo

6.2.3.2 - Ensaio de Granulometria

6.2.3.3 - Ensaio de Permeabilidade Com Carga Constante

6.2.4 - Pedreira 01

- Ensaio Los Angeles

6.2.5 - Jazida 01 - Boletins de Caracterização

- Granulometria por Peneiramento
 - Limites de Consistência
 - Compactação

6.2.6 - Jazida 02 - Boletins de Caracterização

- - Granulometria por Peneiramento
- Limites de Consistência
- Compactação

7 - PLANTAS

Relação das Plantas

Item	Plantas	Número
01	Croqui da Jazida 01	I-5-01/09-000
02	Croqui da Jazida 02	I-5-02/09-000
03	Croqui do Areal 01	I-5-03/09-000
04	Croqui da Pedreira 01	I-5-04/09-000
05	Planta de Locação das Sondagens	I-5-05/09-000
06	Planta de Locação das Sondagens	I-5-05A/09-000
07	Perfil Geotécnico do Subsolo	I-5-06/09-000
08	Mapa Geológico da Barragem e Sangradouro	I-5-07/09-000
09	Mapa Geológico da Bacia Hidráulica	I-5-08/09-000
10	Perfil da Geologia Local	I-5-09/09-000