

Dezembro de 2002

**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**



SRH Secretaria dos Recursos Hídricos

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

Contrato

Nº 02/ PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH 2001

Estudos de Alternativas, EIAS/RIMAS, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais, Planos de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra / Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi, e dos Projetos das Adutoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada

BARRAGEM MISSI VOLUME I - ESTUDOS BÁSICOS Tomo 4 - Geologia e Geotecnia - Textos



MONTGOMERY WATSON





MONTGOMERY WATSON



ÍNDICE



ÍNDICE

Páginas

| | |
|--|-----------|
| ÍNDICE | 1 |
| 1. INTRODUÇÃO | 3 |
| 2. GEOLOGIA | 6 |
| 2.1. <i>Estudos Geológicos Realizados</i> | 7 |
| 2.2. <i>Geologia Regional</i> | 8 |
| 2.3. <i>Geologia Local</i> | 14 |
| 2.4. <i>Levantamento Geológico de Superfície</i> | 15 |
| 3. INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO | 22 |
| 3.1 <i>Sondagens Realizadas</i> | 23 |
| 3.2 <i>Sondagens a Percussão</i> | 23 |
| 3.3 <i>Sondagens Mistas</i> | 26 |
| 3.4 <i>Ensaaios de Campo</i> | 27 |
| 3.5 <i>Comentários</i> | 29 |
| 4. INVESTIGAÇÃO DO SANGRADOURO | 32 |
| 4.1. <i>Sondagens Realizadas</i> | 33 |
| 4.2. <i>Comentários</i> | 39 |
| 5. ESTUDOS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS | 41 |
| 5.1. <i>Jazidas de Solo</i> | 42 |
| 5.2. <i>Areal</i> | 51 |
| 5.3. <i>Pedreira</i> | 52 |
| 5.4. <i>Comentários</i> | 54 |
| 6. ANEXOS | 58 |



MONTGOMERY WATSON



1. INTRODUÇÃO



1. INTRODUÇÃO

O consórcio **Montgomery- Watson/ Engesoft** (Consórcio) e a **Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará** (SRH-CE) celebraram o contrato nº 02/PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH 2001, que tem como objetivo o Estudo de Alternativas, Eias/ Rimas, Levantamentos Cadastrais, Planos de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra/ Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi, e dos Projetos das Aduadoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada.

A ordem de serviço foi emitida em 05 de março de 2001 e imediatamente as equipes do Consórcio iniciaram as atividades previstas no cronograma aprovado.

O presente relatório, denominado **Tomo 4 - Geologia e Geotecnia - Textos**, é parte integrante do **Volume 1- Estudos Básicos** e diz respeito à **Barragem Missi**, a qual tem por finalidade a criação de um reservatório no riacho do mesmo nome, tributário pela margem direita do rio Aracatiaçu, integrante das bacias litorâneas, para o abastecimento da população da sede municipal de Amontada, Ceará. No mapa da figura 1.1 é apresentado, no âmbito do estado, o local selecionado para localizar o barramento.

O Tomo 4 apresenta um relato de todas as atividades desenvolvidas nos Estudos Básicos relativas à geologia regional, aos estudos e levantamentos da geologia do local do barramento, do sangradouro e da bacia hidráulica, às prospeções mecânicas de subsuperfície no barramento e sangradouro, aos ensaios “in situ” realizados nestas prospeções, além das investigações nas áreas de materiais construtivos e os ensaios laboratoriais realizados a partir de amostras representativas extraídas destes. Desenhos complementares ao relato são, também, apresentados neste tomo porém, os boletins individuais das sondagens mecânicas e manuais, as planilhas de ensaios de campo e as fichas dos ensaios laboratoriais estão organizadas no Tomo 4-A – Estudos Geotécnicos - Anexos.



Fonte: Atlas do Ceará - IPLANCE.

FIGURA - 1.1
MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BARRAGEM



MONTGOMERY WATSON



2.GEOLOGIA



2. GEOLOGIA

2.1. ESTUDOS GEOLÓGICOS REALIZADOS

A bacia hidrográfica do Açude Missi está situada na microregião geográfica de Itapipoca, no Estado do Ceará, numa área em que predominam as rochas do embasamento cristalino.

Os estudos geológicos foram realizados visando fornecer dados litológicos e estruturais relacionados às feições geológicas, tendo-se adotado as seguintes etapas de trabalho:

- Levantamento bibliográfico dos principais trabalhos geológicos desenvolvidos na região;
- Interpretação de fotografias aerofotogramétricas em escala 1:15.000;
- Mapeamento geológico do eixo barrável e sangradouro 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;
- Mapeamento geológico da bacia hidráulica através de reconhecimento dos locais possíveis de acesso por veículo de passeio;
- Elaboração de mapa geológico do eixo da barragem e sangradouro em escala 1:1.500;
- Elaboração de mapa geológico da bacia hidráulica em escala 1:10.000.

Para orientação dos perfis de caminhamentos e localização e indicação dos pontos básicos para o estudo em epígrafe, foram utilizados aparelhos de GPS de mão e bússola, tendo como base cartográfica as plantas topográficas previamente elaboradas.



2.2. GEOLOGIA REGIONAL

A descrição da geologia regional para este trabalho teve como fonte de pesquisa o Mapa Geológico do Estado do Ceará, elaborado em 1983, pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) em convênio com o Governo do Estado do Ceará, em escala 1:500.000 e o Projeto Fortaleza, executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais através do convênio DNPM/CPRM, em 1981, tendo sido consideradas as terminologias adotadas pelo Projeto Fortaleza.

A rede hidrográfica é comandada pela Rio Aracatiaçu, que deságua no mar. O Rio Missi, escolhido para a formação da barragem é afluente do Rio Aracatiaçu, que também deságua no litoral. São rios intermitentes onde predomina o padrão de drenagem dendrítica.

Quatro feições morfológicas estão presentes. A primeira compreende a faixa litorânea caracterizada pelas dunas, dispostas em cordões paralelos à costa. Entre o relevo litorâneo e as serras altas do interior, desenvolve-se a Segunda feição, representada pelos tabuleiros cenozóicos, ocupando uma faixa de largura entre 30 a 50Km ao longo da costa, formando uma superfície aplainada, suavemente inclinada para o mar. Essas coberturas pertencem aos sedimentos do Grupo Barreiras Indiviso de idade terciário-quadernária. A terceira feição corresponde a um extenso pediplano de rochas cristalinas pré-cambrianas, constituindo um conjunto profundamente arrasado, com cotas em torno de 60m. Sobresaindo desse relevo monótono tem-se a feição representada pelos maciços montanhosos esculpidos em rochas cristalinas, destacando-se próximo à cidade de Itapipoca as Serras São Domingos e Sítio Verde.

A geologia da área é representada em grande parte pelas rochas cristalinas pré-cambrianas, ocorrendo os sedimentos cenozóicos na porção ao norte de Amontada, próximo ao litoral.

As rochas cristalinas pré-cambrianas foram agrupadas em quatro unidades litoestratigráficas individualizadas segundo os critérios estruturais e sendo



consideradas as associações litológicas, estratigraficamente indiferenciadas, visto que os elementos estruturais relacionados aos eventos geológicos foram mascarados pela tectônica superimposta desenvolvida em vários ciclos de reativação. Passa-se a descrever a seguir as unidades mapeadas:

- **Complexo Caicó:** é a unidade dominante, sendo constituída de gnaisses variados, incluindo lentes de quartzito, metarcósio, anfíbolito e calcário cristalino. Além de migmatitos com estruturas planares bem desenvolvidas (metatexitos) e com estruturas homogeneizadas (diatexitos). O “trend” estrutural está orientado segundo NE-SW, tendo como características na região de domínio dos gnaisses as feições retilíneas. A ausência de foliação é característica no domínio dos diatexitos.
- **Rochas Plutônicas Granulares:** esta unidade representa todas as rochas granulares formadas em baixo da superfície terrestre, representada por granitóides, gabróides e sienitos posicionados concordantes com o “trend” regional. Os granitóides estão representados por um corpo a noroeste de Itapipoca, com coloração rósea, granulação grosseira e contatos transicionais. Os gabróides ocorrem em corpos geralmente com forma ovóide, apresentando contatos transicionais, eventualmente bruscos, bordejados por rochas foliadas e apresentando composição predominantemente diorítica, ocorrendo em um corpo situado à oeste de Amontada.
- **Complexo Tamboril-Santa-Quitéria:** Apresenta uma morfologia uniformemente elevada e tem contatos transicionais para com as rochas cristalinas circunjacentes. Compreende litologias altamente migmatizadas, apresentando uma zonação da periferia para o núcleo, começando com gnaisses e migmatitos homogeneizados, com culminações granitóides nas porções mais centrais da unidade. Estratigraficamente trata-se de um domo gnaiss-granito, também chamado de domo migmatítico. Está orientado segundo o “trend” da estruturação regional. Os corpos



granitóides pertencentes às porções centrais deste domo são, petrograficamente, constituídos por granitos granodioritos de grã média a grossa equigranulares ou porfiróides.

- **Diques Ácidos:** são agrupados nesta unidade todas as rochas filoneanas de caráter petrográfico ácido e hiperácido, como granitos filoneanos, pegmatitos e veios quartzosos e de sílica cripto-cristalina. Essas rochas geralmente não são mapeáveis em escala regional e ocorrem preenchendo fraturas com direções NW, NE ou N-S.

Da era Cenozóica, estão presentes as unidades mais recentes, estratigraficamente falando, divididas da seguinte forma:

- **Grupo Barreiras Indiviso:** de idade tércio-quadernária ocorre formando extensos tabuleiros, fazendo contatos nítidos com as rochas cristalinas e constituindo uma seqüência sedimentar representada por conglomerados, arenitos e siltitos de cores variegadas com intercalações de argila e cascalhos.
- **Sedimentos Litorâneos:** esta unidade é formada por cordões areníticos de idade recente, representados por arenitos flúvio-marinhos e sedimentos inconsolidados de origem eólica, que constituem as dunas, desenvolvendo-se paralelamente à linha de costa, capeando a seqüência sedimentar do Grupo Barreiras, podendo ser subdivididas, de acordo com suas características genéticas, morfológicas e faciológicas, em dunas móveis e paleodunas; as primeiras constituídas de sedimentos inconsolidados, formadores de dunas de praia, estando intimamente condicionados ao desenvolvimento da geomorfologia litorânea; as segundas, representadas pelas dunas antigas, rebaixadas quase ao nível dos tabuleiros costeiros, pelo constante retrabalhamento dos ventos, constituídas litologicamente por areias de grã fina a média, raramente siltosas, quartzosas e/ou quartzo-feldspáticas, com grãos arredondados e foscos, bem selecionados,

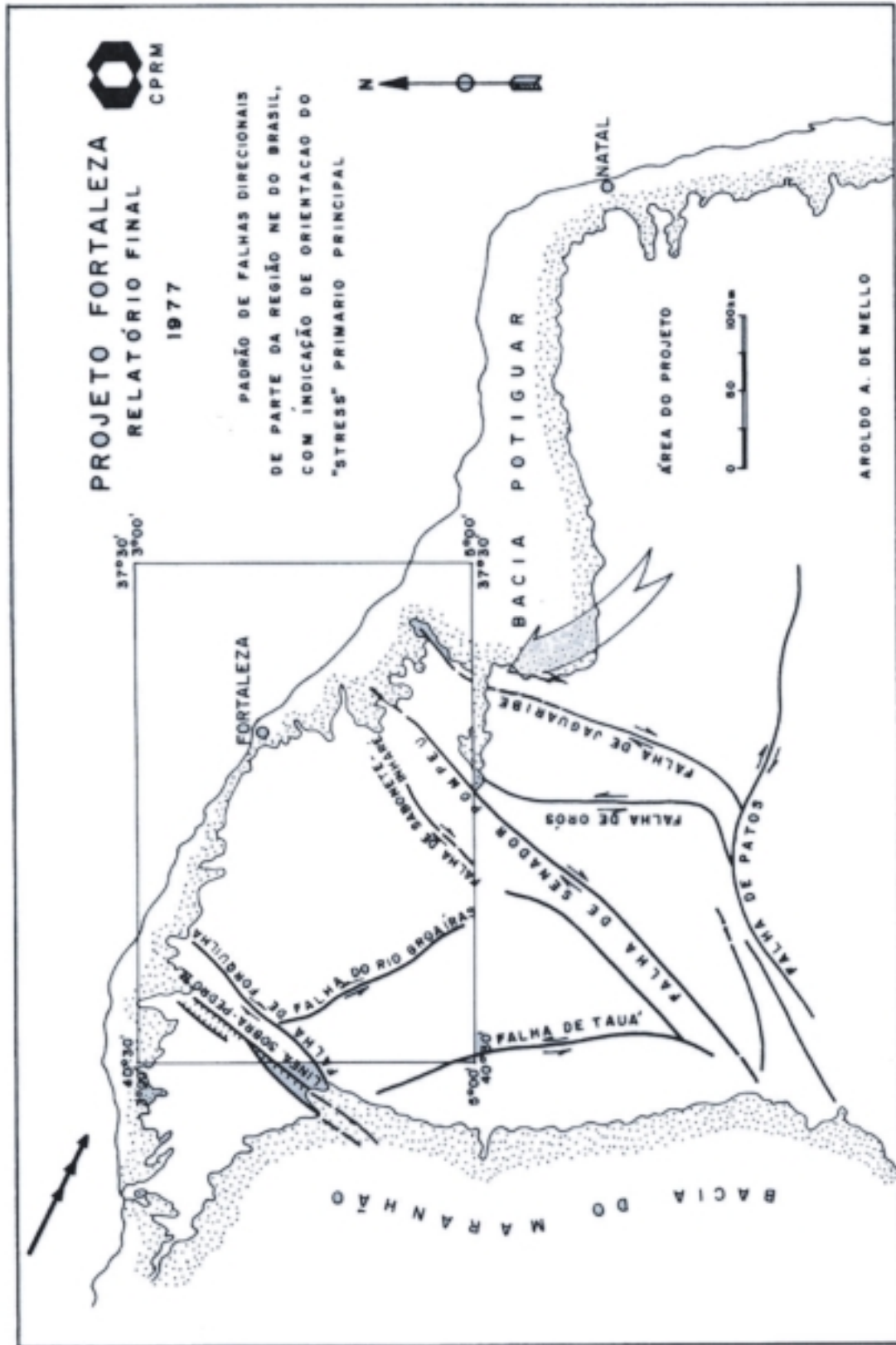


de coloração variando de cinza-claro a alaranjado no topo e avermelhado na base.

- **Aluviões:** são formações recentes, de idade quaternária, constituídas de depósitos fluviais ou lagunares, compondo-se de sedimentos arenosos inconsolidados. Ocorrem principalmente nos leitos e margens dos principais rios e riachos da região, destacando-se os rios Acaraú, Aracati-Mirim, Aracatiaçu, Cruxati e Missi.

O elemento estrutural marcante na região onde está inserida a nossa área de interesse é a falha de Forquilha, que apresenta uma direção NE-SW e rejeito dextrógiro. Sua extensão é de aproximadamente 130Km, passando por Groaíras, Forquilha e adentrando na calha do rio Cruxati, onde é coberta pelas aluviões e pelos sedimentos terciário-quaternários existentes na porção setentrional da região. Na área que fica entre Amontada e Miraima ocorre uma faixa intensamente cataclástica, aparecendo cataclasitos, milonitos e uma massa quartzosa de recristalização. À nordeste de Amontada, até o leito do rio Cruxati, observa-se apenas um cataclasito desenvolvido sobre uma litologia gnáissica, finamente laminada, com desenvolvimento de fenoblastos ocelares de feldspato de até 1cm. Outro falhamento que se notabiliza na região é a falha Humberto Monte, transcorrente de direção NE-SW, de movimento sinistral, possivelmente associada à falha de Forquilha e ao lineamento Sobral-Pedro II, uma vez que está entre ambas, devendo ser um movimento resultante desses dois. Os falhamentos transcorrentes além de separarem a área em blocos mais ou menos independentes, provocam seqüências de dobramentos em sinformes e antiformes, abertos ou apertados, para as rochas do Complexo Caicó. Na Figura Nº 2.1 tem-se uma representação esquemática do sistema de falhamentos que ocorre na região.

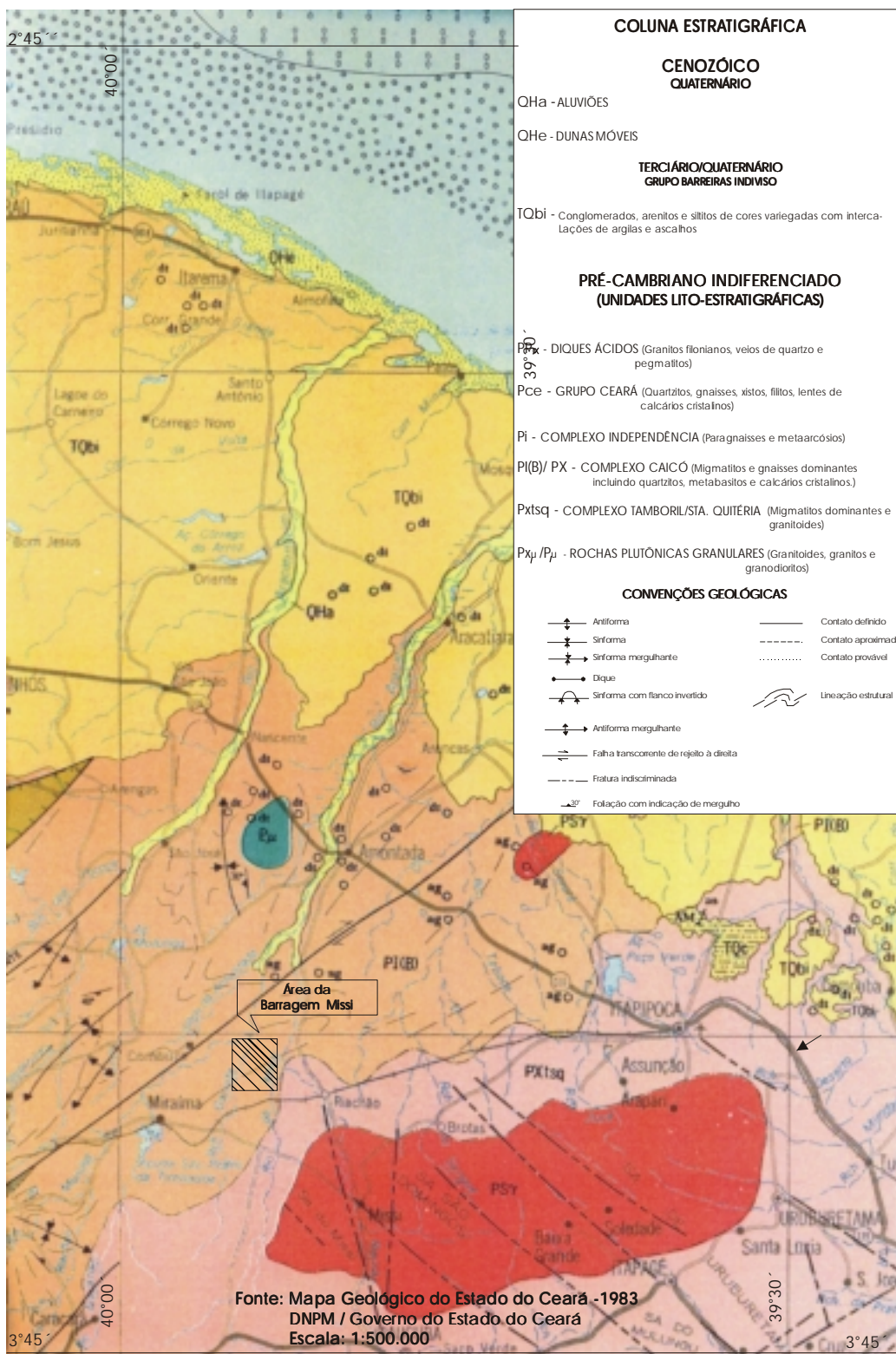
Na Figura Nº 2.2 é mostrada a geologia regional da área compreendida entre as seguintes coordenadas geográficas: Meridianos – 39º 30' a 40º 00' de longitude oeste e Paralelos 2º 45' a 3º 45' de latitude sul, compilada do Mapa Geológico do Estado do Ceará, em escala 1:500.000, elaborado em 1983.



Figuras 2.1 - Esquema de Falhamentos



GEOLOGIA REGIONAL



Figuras 2.2 - Geologia Regional



2.3. GEOLOGIA LOCAL

A área estudada fica localizada no Município de Miraima, próximo à Fazenda Conceição.

Predominam no local as rochas cristalinas do Pré-Cambriano, classificadas no Complexo Caicó, muitas vezes recortadas pôr veios de quartzo e rochas pegmatíticas que formam os diques ácidos filoneanos. Na área ocupada pela bacia hidráulica foram visualizadas rochas gnáissicas, quartzíticas, xistosas e graníticas. O alinhamento do eixo da barragem se dá mais ou menos segundo E-W. À jusante do eixo locado há um predomínio dos gnaisses e migmatitos, sendo mais comuns os biotita-gnaisses, de cor cinza-clara, granulação fina a grossa, apresentando finas listras até espessas bandas félsicas intercaladas com máficas, tendo como minerais essenciais feldspato, quartzo e biotita, em alguns locais se comportando como um gnaisse a duas micas, podendo conter moscovita ou sericita. Ocorrem encaixados nesses gnaisses, lentes anfibolíticas, quartzíticas e de calcários cristalinos. Em alguns locais a rocha apresentou estruturas do tipo dobrada, flebítica e estromática, que evidenciam o processo de migmatização. À montante do barramento, em torno de 6Km para o sul, há alternâncias de quartzitos, micaxistos e gnaisses e, em alguns afloramentos ocorrem rochas milonitizadas. Os quartzitos e micaxistos ocorrem muitas vezes associados ficando difícil a individualização litológica a nível de superfície. O quartzito apresenta-se como uma rocha leucocrática de grã fina, bem laminada, foliada, constituída essencialmente de quartzo, feldspato e moscovita. As rochas xistosas são de cor cinza-escura, granulação fina a grossa, tendo como minerais essenciais quartzo, feldspato (plagioclásio), biotita e moscovita e, muitas vezes com presença de sericita, que ocorre como um mineral de alteração. A área situada na porção sul da bacia hidráulica se caracteriza pelo domínio das rochas graníticas. Ocorrem muitas vezes em forma de blocos, com coloração cinza-clara a cinza-escura, textura conspícua, algumas vezes orientada, granulação fina a média, algumas vezes porfiróides. Os veios de quartzo e pegmatito ocorrem frequentemente encaixados nessas rochas. Margeando o Rio Missi e alguns de seus



contribuintes se formam as aluviões, algumas vezes formando faixas com larguras superiores a 600m.

A foliação média da rochas descritas, que ocupam a área formada pela bacia hidráulica é orientada segundo NE-SW, concordante com a estruturação regional, com mergulhos entre 40° a 60° predominantemente para SE.

A drenagem local ocorre conforme o modelo regional, ou seja, mantém o padrão dendrítico, que é condicionado à litologia das rochas cristalinas.

Quanto ao aspecto estrutural a área em estudo está inserida numa zona de muita complexidade, comandada pela falha de Forquilha que passa a uma distância aproximada de 4Km à NE do eixo da barragem, sendo responsável pôr uma série de eventos de movimentações e reativações tectônicas, evidenciadas pela diversidade litoestratigráfica.

2.4. LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE

O levantamento geológico de superfície realizado ao longo do eixo topográfico locado, e na área de ocupação da bacia hidráulica, teve como principal objetivo a identificação e classificação dos tipos litológicos ocorrentes, visando a definição dos traçados dos contatos litológicos e não necessariamente geológicos, já que via de regra, no âmbito regional, todas essas litologias pertencem a uma associação metamórfica que compõe o complexo cristalino de idade Pré-Cambriana.

Ao longo do eixo foram identificadas as seguintes litologias:

- Da estaca **-13 a -7**: O terreno plano e suavemente ondulado é recoberto por um solo de cor cinza-clara com vários fragmentos e alguns pequenos afloramentos a nível de solo de quartzito de cor cinza-clara com tons rosados e avermelhados, leucocrática, grã fina a média, muito micácea, com minerais bem orientados, intensamente fraturada. A partir de 60 a 70m à jusante há o domínio das rochas gnáissicas. O afloramento de gnaiss nessa área apresenta uma rocha de cor cinza, com bandeamento



onde alternam-se camadas máficas e félsicas, grã fina a média, com foliação bem definida, segundo $N64^{\circ}Az/60^{\circ}SE$, contendo essencialmente biotita, feldspato e quartzo, com fenocristais de feldspato potássico indicando movimento de transcorrência.

- Da estaca **-7 a -5**: Há uma predominância do gnaiss, recortado em vários locais por veios de pegmatito. O contato com o quartzito se dá longitudinalmente ao eixo da barragem, segundo NE-SW, concordante com a foliação.
- Entre as estacas **-1 a 3** o eixo da barragem é cortado por uma faixa formada por um alinhamento quase que contínuo de afloramentos de pegmatito, caracterizando um dique encaixado nas rochas circunjacentes, desenvolvendo-se longitudinalmente de montante para jusante, ou vice-versa, pôr praticamente toda a extensão do eixo locado.
- Da estaca **5 a 9**: Ocorre uma área recoberta por solo arenoso com muitos fragmentos de quartzito e com grandes concentrações de seixos de quartzo e sílica cripto-cristalina. Essa área se estende a partir de 30m à montante do eixo até 90m à jusante, confinada superficialmente entre ocorrências de gnaiss, biotita-xisto e o veio de pegmatito. À montante, no trecho compreendido entre as estacas 2 a 9, distando do eixo entre 135m a 75m, respectivamente, ocorre uma lente de calcário cristalino, com característica dolomítica, de cor branco-leitosa, com estrutura maciça, textura granular a sacaroidal, granulação fina a média, algumas vezes mostrando aspecto de mármore. Esta ocorrência está encaixada em uma lente de anfibolito, que por sua vez se encaixa entre o gnaiss e o quartzito, cortando o eixo entre as estacas 11 e 13, cujas características são descritas mais à frente.
- Da estaca **9 a 11**: Ocorre nesta faixa uma predominância de rocha xistosa (biotita-xisto) superficialmente rodeada pelas demais litologias,



aparecendo entre a lente anfibolítica à montante e o dique de pegmatito à jusante.

- Da estaca **11 a 13**: tem-se a continuidade da lente de anfibolito descrita anteriormente, que se estende no sentido longitudinal, cortando o eixo da barragem segundo NE-SW, caracterizando-se por uma mancha formada por solo argiloso com muitas rachaduras (gretas) com ocasionais pequenos afloramentos em forma de blocos soltos alinhados, apresentando uma rocha de cor cinza esverdeada, deixando dúvidas na classificação entre anfibolito e gabro. A faixa se estende longitudinalmente ao eixo locado numa extensão aproximada de 450m entre montante e jusante.
- Da estaca **13 a 32+10m**: A topografia do terreno se eleva a partir da estaca 16, com a formação de uma crista onde ocorrem superficialmente vários afloramentos e fragmentos de quartzito, com uma largura entre bordas de aproximadamente 120m, 60m para montante e 60m para jusante, fazendo contato à montante com a lente de anfibolito e a aluvião do rio Missi e à jusante com as mesmas litologias citadas, além do gnaisse. A foliação nesse trecho, tanto no gnaisse como no quartzito se dá segundo NE-SW com mergulho acentuado (entre 60° a 70°) para SE.
- Da estaca **32+10m a 52**: Essa faixa é formada pelas aluviões do rio Missi, com extensos terraços de topografia plana, constituídos de solo com granulometria fina, de composição silto-areno-argilosa, de cor cinza-clara, recortados pelos braços formados pelas calhas do rio, onde ocorrem areias de granulometria fina a média, com pedregulhos e cascalhos e vários afloramentos de rochas xistosas e gnáissicas, principalmente no leito que se desenvolve à jusante do eixo, entre as estacas 34 e 42, onde foram mapeados afloramentos de biotita-xisto (Foto N°01), mostrando diversos dobramentos e entre as estacas 43 e 45, onde ocorrem afloramentos de pegmatito (Foto N°02), formando diques com direções N114°Az e N170°Az.



Foto N°01 – Afloramento de biotita-xisto na margem esquerda do rio Missi, na estaca 34 a 40m à jusante do eixo. A rocha é intensamente fraturada e muito dobrada, com foliação segundo N60° e muitas variações de mergulho, indo de 60° a vertical.



Foto N°02 - Dique de pegmatito no leito do rio Missi, na estaca 44 a 95m à jusante do eixo, com direção N114°Az.



- Da estaca **52 a 153**: predomina superficialmente em toda essa extensão o quartzito que se desenvolve através de uma elevação formando uma crista com as mesmas características já descritas, onde são comuns áreas com recobrimento de fragmentos de rocha quartzítica espalhados e soltos, mostrando intenso grau de fraturamento. Entre as estacas 52 e 54 ocorre um grande afloramento de quartzito (Foto N°03) mostrando nitidamente o acamamento, cuja atitude medida é $N66^{\circ}AZ/40^{\circ}SE$. A uma distância média de 100m para jusante, com relação ao eixo, tem-se o contato com o gnaisse, que em alguns locais mostra-se milonitizado, com atitude $N80^{\circ}Az/38^{\circ}SE$, e é recortado por veios de quartzo, sílica cripto-cristalina e pegmatito com direção normalmente concordante com a foliação. No local escolhido para o sangradouro, entre as estacas 82 e 89, a rocha superficialmente é o quartzito, intensamente fraturado, com poucos afloramentos, sendo que à montante há uma lagoa com solo de cor cinza-escuro, de composição argilo-arenosa, recoberto por seixos e blocos de quartzo e sílica. Devido à quase ausência de afloramentos nessa área, poucas informações se tem a respeito de atitude de foliação ou acamamento. Na estaca 94, a 50m à montante foi medido em um pequeno afloramento de quartzito a atitude $N60^{\circ}Az/50^{\circ}SE$, ou seja direção segundo NE-SW obliquamente ao eixo locado.
- A partir de 500 direções de fraturas medidas nas rochas aflorantes na barragem e no sangradouro, foi elaborado o Diagrama de Roseta para definição da direção preferencial média percentual, que conforme mostra a Figura N° 2.3, se dá segundo $N110^{\circ}Az$ a $N120^{\circ}Az$, representando um percentual de 32% do total medido e entre $N170^{\circ}Az$ a $N180^{\circ}Az$, representando 24,6%. O mergulho se dá preferencialmente vertical, apresentado também variações entre 40° a 80° para NE.



Foto N°03 – Afloramento de quartzito na estaca 52-eixo.

Os diques pegmatíticos de maior expressão, mapeados na área apresentam uma direção preferencial média N60° Az, ou seja segundo NE-SW, concordante com a foliação regional, condicionada pela zona de cisalhamento dúctil (ZCD) de Forquilha. Através dos resultados estatísticos obtidos no diagrama de roseta verifica-se que a direção preferencial indicada para os fraturamentos pode representar um padrão posterior, com direções variando de oblíquas a perpendicular em relação a foliação regional, podendo estar relacionada a uma fase de reativação da ZCD.

São apresentados em anexo o mapa geológico do local da barragem e sangradouro, contendo as unidades litológicas identificadas e os principais afloramentos de rocha que foram mapeados, bem como o mapa geológico contendo as unidades litológicas na área da bacia hidráulica.

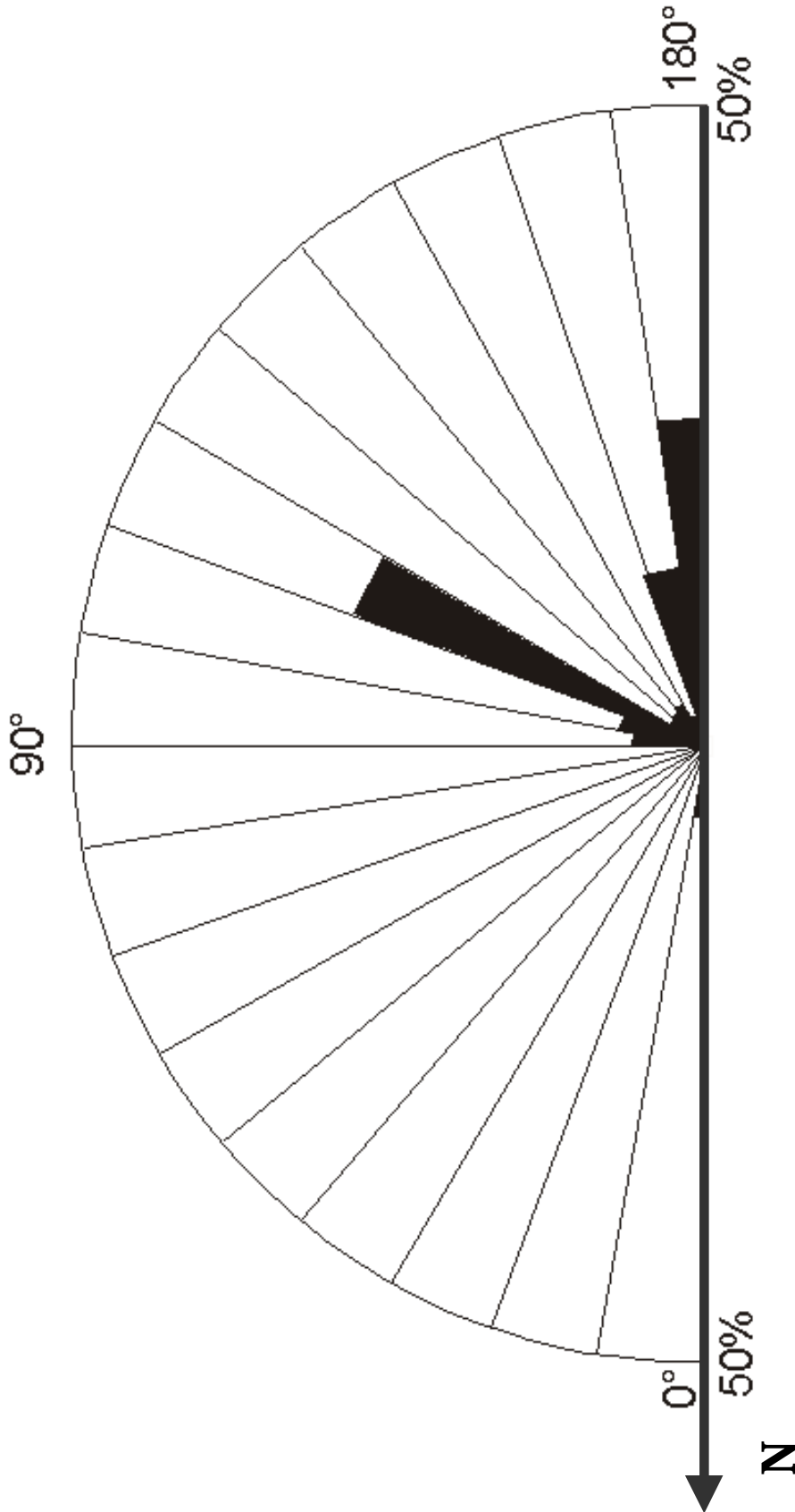


Figura. N°2.3 - Diagrama de Roseta para 500 medidas de direções de fraturas.



MONTGOMERY WATSON



3. INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO



3. INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO

3.1 SONDAgens REALIZADAS

As investigações geotécnicas realizadas no local da barragem objetivaram a identificação e compreensão das características e peculiaridades do solo de fundação e do substrato rochoso deste sítio, visando a concepção de um maciço tecnicamente adequado e seguro além, de economicamente viável.

Para concretização deste objetivo foram realizadas 19 prospeções mecânicas, sendo 12 sondagens à percussão e 7 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa), nas posições indicadas na figura nº3.1.

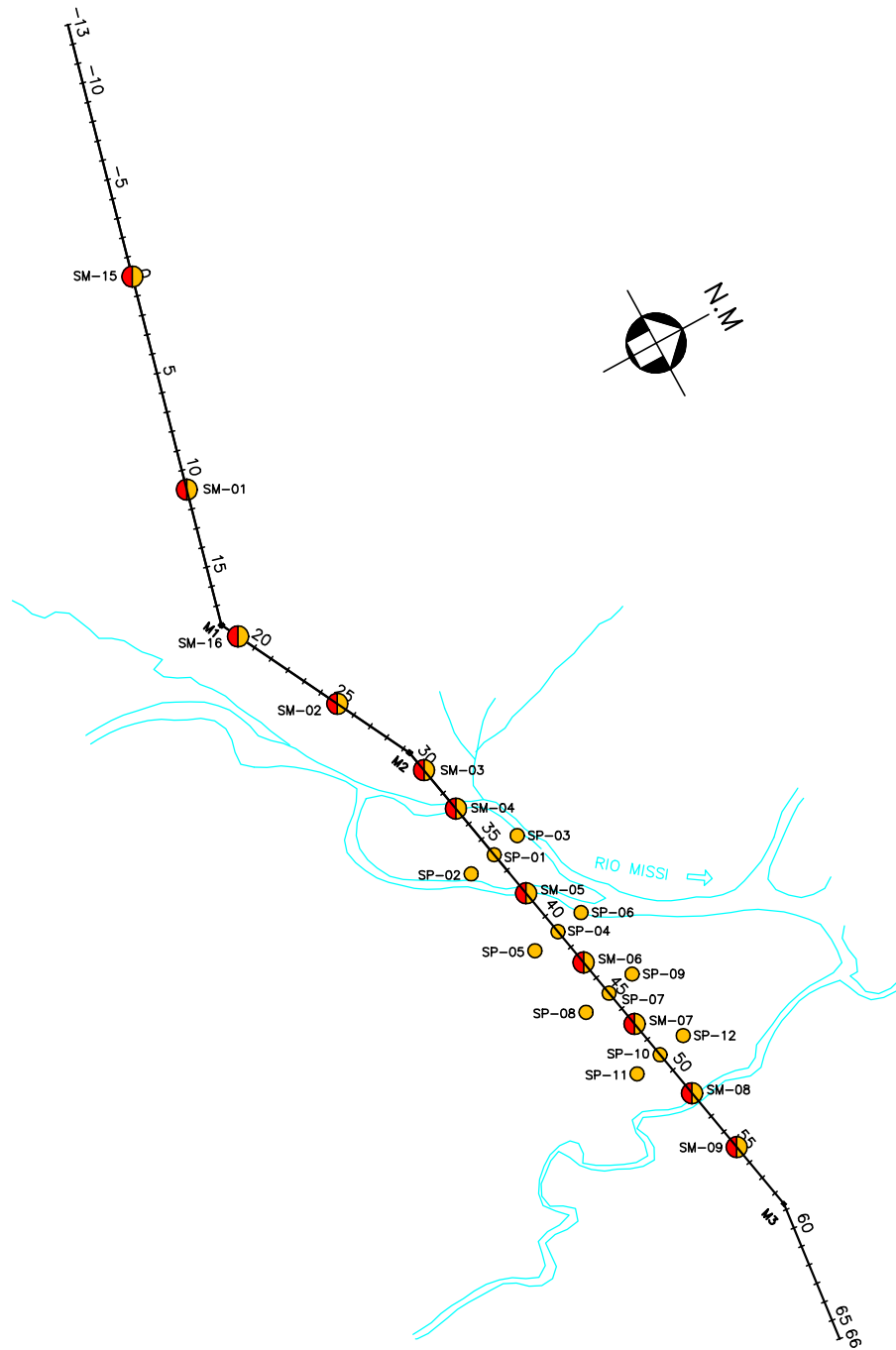
Com o intuito de avaliar a permeabilidade dos solos da fundação e obter informações qualitativas sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso, foram realizado ensaios de campo em todos os furos das sondagens mistas do eixo. No trecho em solo, estas testes consistiram de ensaios de infiltração de carga e vazão constante e de carga variável (Lefranc) e, no trecho perfurado com sonda rotativa, de ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon). Os resultados destas sondagens e ensaios de campo são apresentados nos desenhos do Tomo 4 A, sob forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo.

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

3.2 SONDAgens A PERCUSSÃO

Nas sondagens a percussão foram empregados dois processos para avanço do furo, iniciando-se com um trado concha de 4" e prosseguindo-se até alcançar o nível d'água ou tornar-se inoperante diante da consistência ou compacidade do material encontrado. A partir destas condições o furo foi revestido e passou-se então ao processo de perfuração com circulação de água, usando-se o trépano de lavagem como ferramenta de escavação e a remoção do material escavado através da água de lavagem. Ao ser encontrado material resistente ao avanço pelo processo de circulação de água o furo foi interrompido.

INVESTIGAÇÃO NO BARRAMENTO



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM MISSI

ESCALA:

1:7.500

DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

3.1



Para a extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2" e 1 3/8" de diâmetros externo e interno, respectivamente, o qual foi cravado no terreno por meio de golpes de um martelo de 65kg, com altura de queda de 75cm. Durante a cravação do amostrador foram registrados os números de golpes necessários para fazer tal ferramenta penetrar cada 15cm no terreno, até uma penetração total de 45cm. A soma dos golpes das duas últimas parcelas de 15cm, ou seja, dos 30cm finais de cravação, está apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens, no Tomo 4-A Estudos Geotécnicos - Anexos. Esta soma de golpes é denominada de "Standard Penetration Test (SPT)".

Na Tabela Nº 3.1, a seguir, são relacionadas as sondagens percussivas, suas referências plani-altimétricas, as extensões investigadas, o menor valor de SPT registrado ao longo da sondagem e sua correspondente compacidade ou consistência.

| Tabela Nº3.1: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Missi | | | | | | | |
|--|------------------------|-------------------|-----------|----------|------------------|------------|------------------------------------|
| Sondagem Percussiva | | | | | | | |
| Nº | Estaca | Coordenadas (UTM) | | Cota (m) | Extensão Sondada | SPT Mínimo | Compacidade ou Consistência Mínima |
| | | Este (X) | Norte (Y) | | | | |
| SP-1 | 36 (eixo) | 404.476 | 9.616.201 | 42,646 | 4,06 | 2 | Fofa |
| SP-2 | 36 (30m para montante) | 404.482 | 9.616.172 | 41,298 | 4,23 | 3 | Fofa |
| SP-3 | 36 (30m para jusante) | 404.471 | 9.616.231 | 42,900 | 4,00 | 3 | Fofa |
| SP-04 | 41 (eixo) | 404.575 | 9.616.220 | 43,291 | 6,03 | 3 | Fofa |
| SP-5 | 41 (30m para montante) | 404.575 | 9.616.220 | 43,145 | 4,70 | 3 | Fofa |
| SP-06 | 41 (30m para jusante) | 404.569 | 9.616.250 | 41,047 | 4,03 | 3 | Fofa |
| SP-7 | 45 (eixo) | 404.653 | 9.616.236 | 42,981 | 5,83 | 7 | Pouco compacta |
| SP-8 | 45 (30m para montante) | 404.659 | 9.616.206 | 42,990 | 6,45 | 7 | Pouco compacta |
| SP-9 | 45 (30m para jusante) | 404.647 | 9.616.265 | 42,626 | 4,34 | 3 | Fofa |
| SP-10 | 49 (eixo) | 404.732 | 9.616.251 | 42,392 | 5,96 | 7 | Pouco compacta |
| SP-11 | 49 (30m para montante) | 404.737 | 9.616.222 | 42,270 | 5,60 | 5 | Pouco compacta |

**Tabela Nº3.1: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Missi
Sondagem Percussiva**

| Nº | Estaca | Coordenadas (UTM) | | Cota (m) | Extensão Sondada | SPT Mínimo | Compacidade ou Consistência Mínima |
|-------|-----------------------|-------------------|-----------|----------|------------------|------------|------------------------------------|
| | | Este (X) | Norte (Y) | | | | |
| SP-12 | 49 (30m para jusante) | 404.726 | 9.616.281 | 42,728 | 6,07 | 7 | Pouco compacta |

As sondagens a percussão na área do barramento totalizaram 61,30 m.

3.3 SONDAGENS MISTAS

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas por meio de rotação. O processo de execução do trecho percussivo foi semelhante ao descrito no subitem 3.1- Sondagem Percussiva. Os trechos de sondagem rotativa foram executados com coroa NX de diamante acoplada a um barrilete duplo. A sonda utilizada foi a MARCH-850. Para cada operação do barrilete foram registradas a percentagem de recuperação e o número de peças, dados que estão indicados nos perfis de sondagens.

Na Tabela Nº 3.2, a seguir, são relacionadas as sondagens mistas, informadas suas referências plani-altimétricas, as extensões investigadas por processo percussivo e rotativo, e a descrição da rocha predominante.

**Tabela Nº3.2: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Missi
Sondagem Mista**

| Nº | Estaca | Coordenadas (UTM) | | Cota (m) | Extensão (m) | | SPT Mínimo | Rocha Predominante |
|------|--------------|-------------------|-----------|----------|--------------|----------|------------|--|
| | | Este (X) | Norte (Y) | | Percussão | Rotativa | | |
| SM-1 | 11 (eixo) | 404.008 | 9.616.106 | 51,360 | 3,65 | 9,85 | 5 | Biotita Sericita Xisto , fortem. Xistosa e Biotita Gnaisse, dura |
| SM-2 | 25 (eixo) | 404.268 | 9.616.136 | 59,279 | 3,0 | 9,50 | 7 | Biotita Sericita Xisto , macia a mod. dura, gran fina, fort. xistosa |
| SM-3 | 30+10 (eixo) | 404.368 | 9.616.180 | 49,150 | 6,00 | 9,00 | 21/15 | Biotita Sericita Xisto , muito macia, gran fina, fortem. xistosa |

**Tabela N°3.2: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Missi Sondagem Mista**

| N° | Estaca | Coordenadas (UTM) | | Cota (m) | Extensão (m) | | SPT Mínimo | Rocha Predominante |
|------|--------------|-------------------|-----------|----------|--------------|----------|------------|---|
| | | Este (X) | Norte (Y) | | Percussão | Rotativa | | |
| SM-4 | 33 (eixo) | 404.417 | 9616.190 | 40,571 | 3,06 | 14,94 | 3 | Biotita Sericita Xisto , macia a dura, gran. fina, xistosa |
| SM-5 | 38+10 (eixo) | 404.525 | 9.616.211 | 41,200 | 4,76 | 14,19 | 2 | Biotita Sericita Xisto , macia a muito dura, gran. fina, xistosa |
| SM-6 | 43 (eixo) | 404.614 | 9.616.228 | 42,659 | 4,95 | 16,05 | 8 | Biotita Sericita Xisto , moder. a muito dura, gran. fina, xistosa |
| SM-7 | 47 (eixo) | 404.692 | 9.616.243 | 42,889 | 6,08 | 8,92 | 10 | Biotita Sericita Xisto , dura. a muito dura, gran. fina, xistosa |
| SM-8 | 51+10 (eixo) | 404.781 | 9.616.261 | 41,605 | 7,00 | 13,50 | 7 | Biotita Sericita Xisto , macia a moder. a dura, gran. fina, xistosa |
| SM-9 | 55 (eixo) | 404.849 | 9.616.274 | 48,570 | 5,05 | 14,95 | 8 | Biotita Sericita Xisto , macia a moder. a dura, gran. fina, xistosa |

Portanto, na região do maciço do barramento foram executadas 7 sondagens mistas, totalizando 154,45 metros, dos quais 43,55 m com emprego de sonda percussiva e 110,90 m com sonda rotativa.

3.4 ENSAIOS DE CAMPO

Nas sondagens mistas, trecho em solo, SM-3, SM-4, SM-5, SM-6, SM-7, SM-8 e SM-9 foram executados ensaios de infiltração do tipo Lefranc, para a determinação do coeficiente de permeabilidade “*in situ*” do substrato terroso. Os ensaios de permeabilidade em solos foram executados conforme as orientações para a sua execução no campo preconizadas no Boletim N° 04 (junho de 1996) pela ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. O número de ensaios e a permeabilidade máxima (cm/s) encontradas por furo são relacionadas na Tabela n°



3.3, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais e em fichas de cálculo no Tomo 4 A.

No trecho em rocha das sondagens SM-01 a SM-09 foram executados ensaios de perda de água sob pressão (Ensaio Lugeon), para a determinação quantitativa sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso. Os ensaios de perda d'água Lugeon foram executados conforme as orientações preconizadas no Boletim Nº 02 da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. O número de ensaios e a perda específica máxima encontrada por furo são relacionadas na Tabela nº 3.3, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais no Tomo 4 A.

| Tabela Nº 3.3: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Missi Ensaio de Campo | | | | | | | |
|---|---------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|--|--|---|
| Nº | Estaca | Extensão Sondada | Nº de Ensaio Lefranc | Nº de Ensaio Lugeon | Máxima Permeab. Registrada (cm/s) | Máxima Perda d'água Específica Registrada | Profundidade de máxima Permeab. / Perda D'água |
| SM-1 | 11 (eixo) | 13,50 | | 1 | | 1,3 | / 7,5 a 10,5 |
| SM-2 | 25 (eixo) | 12,50 | | 3 | | 0,39 | / 9,5 a 12,5 |
| SM-3 | 30+10 (eixo) | 15 | 5 | 3 | 1,5x10E-5 | 15,12 | 1,5 a 2,0 / 7,0 a 10,0 |
| SM-4 | 33 (eixo) | 18 | 2 | 5 | 1,1x10E-3 | 2,08 | 2,5 a 3,0 / 4,0 a 7,0 |
| SM-5 | 38+10 (eixo) | 18.95 | 2 | 5 | 10E-3 | 1,97 | 3, a 4,0 / 4,5 a 7,5 |
| SM-6 | 43 (eixo) | 21 | 5 | 5 | 1,3x10E-2 | 0,38 | 4,5 a 4,92 / 6,5 a 9,5 |
| SM-7 | 47 (eixo) | 15 | 5 | 3 | 1.5x10E-4 | 0,32 | 5,5 a 6,0 / 6,55 a 9,55 |
| SM-8 | 51+10 (eixo) | 20.5 | 6 | 4 | 2,4x10E-4 | 0,20 | 3,5 a 4,5 / 10,5 a 13,5 |
| SM-9 | 55 (eixo) | 20 | 4 | 3 | 1,4x10E-4 | 0,12 | 2,5 a 3,0 / 11,0 a 14,0 |

Perda D'água em l/min/m/atm



3.5 COMENTÁRIOS

Desta campanha de sondagem realizada no boqueirão da barragem, pode-se observar, entre outras coisas, que:

- a) Na zona da calha do rio, aproximadamente entre estacas 33 e 52 (380m de extensão), ocorre um depósito aluvionar com espessura variando de 3,0 a 7,0 m, e média próxima de 5,0 m. Este pacote aluvionar se caracteriza por ter na camada superficial de silte arenoso, com espessura média de 2,80 m, sendo que na estaca 41, a 30 m para montante do eixo, encontra-se com a maior espessura, de 4,28 m. Subjacente a este depósito ocorre um estrato de areia fina, siltosa, com pedregulhos, numa espessura de até 2,30 m, e em seguida um solo residual, classificado como um silte arenoso, micáceo, com espessura variável entre 0,50 e 3,0 m, em contato com o maciço rochoso. Sotoposto a esta camada residual ocorre a biotita-sericita-xisto contendo uma grande concentração de biotita associada à sericita, que ocorre como um mineral de alteração. Esse tipo de rocha é no substrato a litologia dominante ao longo do eixo locado, conforme indicam as sondagens, ocorrendo de maneira geral, em relação à dureza, como uma rocha muito macia a macia com baixo RQD (Rock Quality Designations), dificilmente ultrapassando a 60%, principalmente nas camadas mais próximas ao topo, melhorando a qualidade à medida que se aprofunda, chegando a condições de dureza entre moderadamente dura a dura, mas sempre mostrando um baixo RQD. As fraturas ocorrem de várias formas com relação ao mergulho, com predomínio das fraturas diagonais (45°), subverticais (60° a 75°) e verticais. Há muitas dessas fraturas preenchidas com minerais de percolação (feldspato, clotita, biotita) e em alguns casos foram visualizados preenchimentos com argila. Ocorrem ainda casos em que os planos de fratura mostram superfícies irregulares com marcas de oxidação, indicando percolação de água em consequência da abertura de algumas fraturas.



- b) O nível d'água, na região da calha do rio, foi encontrado nas profundidades limites de 1,05m (estaca 41- jusante) e 3,52 m (estaca 41- montante), no mês de maio/01.
- c) Os ensaios de penetração SPT indicaram compacidades de fofa a medianamente compacta para o pacote arenoso da fundação, sendo a região fofa restrita, em média, ao primeiro metro de profundidade, alcançando na sondagem SP- 02 o máximo de 2,0 m. Não foram encontrados materiais argilosos/siltosos de consistência preocupante em nenhum furo da campanha de sondagem.
- d) Com base nos ensaios de infiltração realizados nos furos de sondagem no aluvião da calha do rio, pode-se considerar, de forma genérica, que o depósito aluvionar possui uma permeabilidade entre $1,4 \times 10^{-4}$ e $1,5 \times 10^{-5}$, com uma única medição de 3×10^{-2} em região mais pedregulhosa no contato com o solo residual. No solo residual, silte arenoso micáceo com pedregulhos, a permeabilidade medida variou de $1,7 \times 10^{-4}$ a $4,5 \times 10^{-5}$ sendo encontrados alguns valores mais baixos no contato deste com a rocha mãe, na ordem de 10^{-2} e 10^{-3} , que porém foram interpretados como não representativos.
- e) As perdas d'água no ensaio Lugeon indicaram, de um modo geral, valores pouco significativos nas partes mais elevadas das ombreiras, no entanto na ombreira esquerda, próxima da calha do rio (estaca 30+10), foram registrada perdas consideráveis até 9 metros de profundidade. Na região da calha do rio as perdas foram bastante reduzidas, revelando alguma condutibilidade nos 3 primeiros metros do substrato rochoso. Os maiores valores de perda d'água específica registrados foram nas estacas 33 e 38+10 onde alcançaram 2,08 e 1,97 l/min/m/atm, respectivamente. Portanto, com base nestes ensaios, é de se prever que o substrato rochoso na região da calha do rio e partes altas das ombreiras não deve apresentar valores preocupantes de condutibilidade hidráulica. Na ombreira



esquerda, próxima da calha do rio, os valores obtidos sugerem atenções quanto a possíveis fluxos pelas trincas ou fraturas nos primeiros 9 metros da fundação rochosa, principalmente considerando-se que nesta extensão a rocha apresentou um freqüência igual ou superior a 20 fraturas por metro de perfuração.

- f) Analisando o perfil geotécnico percebe-se que ao longo da ombreira esquerda e da ombreira direita o manto de solo apresenta boas características de suporte, revelados nos valores dos ensaios de SPT, desde a superfície. Sendo assim, é suficiente apenas a remoção do material superficial com matéria orgânica para a fundação da barragem nestes trechos.



MONTGOMERY WATSON



4. INVESTIGAÇÃO DO SANGRADOURO



4. INVESTIGAÇÃO DO SANGRADOURO

4.1. SONDAgens REALIZADAS

Os estudos geotécnicos no local do sangradouro foram realizados com a finalidade de fazer a identificação e caracterização do subsolo, inclusive, avaliando a capacidade do material rochoso de resistir aos processos erosivos provocados pelas descargas previstas.

As investigações geotécnicas aconteceram em três momentos diferentes, tamanha foi a complexidade encontrada para definir o local e o tipo dessa obra.

Inicialmente foram executados 4 (quatro) furos de sondagem mista, na ombreira direita, entre as estaca 82 e 88, conforme a programação de sondagem apresentada a SRH-CE.

A Tabela Nº 4.1 mostra a identificação dos furos executados na primeira campanha.

| TABELA Nº 4.1: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM MISSI SANGRADOURO (PRIMEIRA CAMPANHA) | | | | | | |
|--|-----------------------|-------------------|-----------|----------|-----------|----------|
| Sondagem Nº | Estaca | Coordenadas (UTM) | | Cota (m) | Trecho | |
| | | Este (X) | Norte (Y) | | Percussão | Rotativa |
| SM-10 | 82 (eixo) | 405.384 | 9.616.318 | 53,632 | 5,00 | 6,00 |
| SM-11 | 85 (eixo) | 405.443 | 9.616.327 | 52,581 | 5,10 | 6,40 |
| SM-12 | 85 (50m para jusante) | 405.436 | 9.616.376 | 53,950 | 2,20 | 5,94 |
| SM-13 | 88 (eixo) | 405.502 | 9.616.335 | 52,970 | 2,11 | 6,91 |
| SM-17 | 75 (eixo) | 405.245 | 9.616.297 | 62,814 | 1,58 | 10,42 |

Analisando os resultados das sondagens, verificou-se que a rocha sã, com competência para receber as ações abrasivas das águas, estava a um horizonte relativamente profundo, necessitando da execução de um muro para ser atingido a soleira.



Na tentativa de obter-se um posicionamento da rocha mais elevado, haja visto que a inspeção geológica mostrava a possibilidade da existência de um dique rochoso mais a jusante do local investigado, foi feito então um furo de sondagem mista denominado SM-14, cujo resultado frustrou a expectativa. Na Tabela Nº 4.2 mostra-se a identificação do furo SM-14.

| TABELA Nº 4.2: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM MISSI SANGRADOURO (SEGUNDA CAMPANHA) | | | | | | |
|--|---------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Sondagem Nº | Estaca | Coordenadas (UTM) | | Cota (m) | Trecho | |
| | | Este (X) | Norte (Y) | | Percussão | Rotativa |
| SM-14 | 85 (100m para jusante) | 405.425 | 9.616.425 | 54,601 | 1,82 | 8,58 |

Em seguida mudou-se para a ombreira esquerda, onde a topografia favorece a implantação do sangradouro porém, com necessidade de cuidados para restituição do caudal de sangria não alcançar o maciço do barramento. Nessa ombreira foram feitos 2 (dois) furos de sondagens mistas, cujos resultados não indicaram situações geológicas mais favoráveis. Na sondagem SM-15 a rocha competente (sã, muito dura porém foliada) só foi encontrada a 6,24 m de profundidade e na SM-16 a rocha altamente intemperizada a decomposta ocorreu até o limite da sondagem (9,50 m). Na Tabela Nº 4.3 mostra-se a identificação do furo executados nesta campanha.

| TABELA Nº 4.3: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM MISSI SANGRADOURO (TERCEIRA CAMPANHA) | | | | | | |
|---|---------------|--------------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Sondagem Nº | Estaca | Coordenadas (UTM) | | Cota (m) | Trecho | |
| | | Este (X) | Norte (Y) | | Percussão | Rotativa |
| SM-15 | 0 (eixo) | 403.795 | 9.616.161 | 54,962 | 2,20 | 5,54 |
| SM-16 | 19 (eixo) | 404.162 | 9.616.081 | 61,969 | 2,00 | 7,50 |

Após consulta à SRH-CE, tentou-se fazer uma transposição da bacia, lançando as águas da barragem Missi no Rio Aracatiaçu por uma sela bem favorável topograficamente, a qual une as duas bacias, a cerca de 5 km, a montante do eixo barrado. Nesse local foi locado um eixo chamado B e executados 4 (quatro) furos de sondagens mista. Os resultados das sondagens mostraram que não seria viável economicamente a locação do sangradouro nesse local, pois rocha mais competente ocorre a profundidades de 6 a 7 m. Isto, associado a necessidade de execução de



um muro e a abertura de um canal de mais de 400m de extensão, acarretaria em custos bastante altos. Na Tabela N° 4.4 mostra-se a identificação do furo executados nesta campanha.

| TABELA N° 4.4: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM MISSI SANGRADOURO EIXO B (TRANSPOSIÇÃO DE BACIAS) | | | | | | |
|--|------------------------|-------------------|-----------|----------|-----------|----------|
| Sondagem N° | Estaca | Coordenadas (UTM) | | Cota (m) | Trecho | |
| | | Este (X) | Norte (Y) | | Percussão | Rotativa |
| SM-1B | 8B | 402.607 | 9.613.382 | 60,984 | 1,40 | 8,26 |
| SM-2B | 5B +4,50 | 402.589 | 9.613.329 | 58,772 | 0,80 | 6,20 |
| SM-3B | 2B | 402.567 | 9.613.269 | 60,527 | 0,80 | 6,20 |
| SM-4B | 5B +7,9 (40,7m Jus) | 402.551 | 9.613.346 | 58,377 | 0,90 | 8,27 |

Dessa forma, buscou-se como última tentativa, otimizar o local inicial do sangradouro na ombreira direita, fazendo o deslocamento deste mais para esquerda. Foi feito um único furo de sondagem mista. O resultado obtido nesse furo mostrou que com 12 m de profundidade obteve-se a melhor manobra em rocha moderadamente dura, com RQD zero, altamente intemperizada e foliada. Este resultado mostrou claramente que o local também não é apropriado para comportar a estrutura de sangria. Na Tabela N° 4.5 mostra a identificação do furo executado nesta campanha.

| TABELA N° 4.5: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM MISSI SANGRADOURO (OTIMIZAÇÃO) | | | | | | |
|---|-----------|-------------------|-----------|----------|-----------|----------|
| Sondagem N° | Estaca | Coordenadas (UTM) | | Cota (m) | Trecho | |
| | | Este (X) | Norte (Y) | | Percussão | Rotativa |
| SM-17 | 75 (eixo) | 405.245 | 9.616.297 | 62,814 | 1,58 | 10,42 |

Após o estudo dessas diversas alternativas para localização do sangradouro optou-se por implantar o sangradouro no local inicialmente selecionado.

Além disso, foram realizadas 14 sondagens a pá e picareta com o objetivo de verificar qual a espessura de solo, a ser removida, situada sobre o material rochoso, bem como a possibilidade de seu aproveitamento, através da inspeção em laboratório, na construção do corpo da barragem.



Nas tabelas N° 4.6 e N° 4.7 são apresentadas as sondagens mistas e a pá e picareta, respectivamente, executadas nas pesquisas do local do sangradouro e na forma de planta baixa na figura n° 4.1. Na tabela N° 4.8, é apresentado um quadro resumo dos ensaios realizados em 04 furos escolhidos do conjunto de sondagens a pá e picareta.

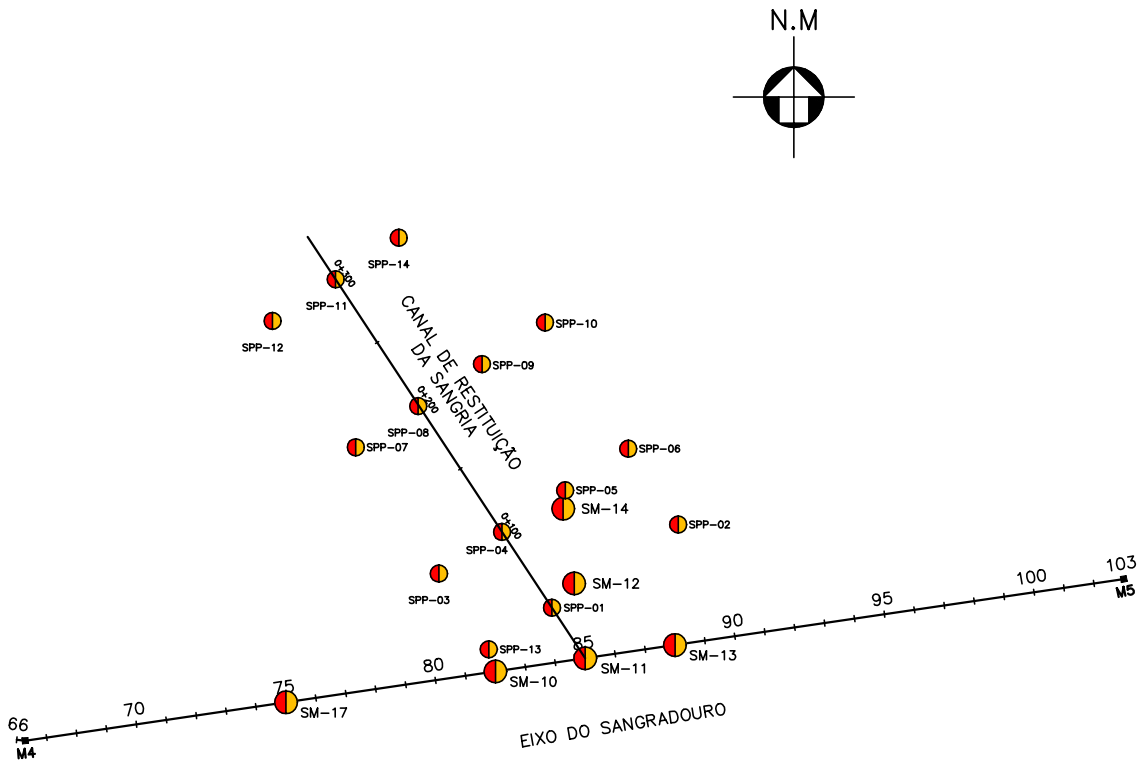
| TABELA N° 4.6: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM MISSI PESQUISAS NAS ALTERNATIVAS DE SANGRADOURO | | | | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------|-----------|----------|--------------|--------|---|----------------------------------|
| N° | Estaca | Coordenadas (UTM) | | Cota (m) | Extensão (m) | | Rocha Predominante | Grau de intemperismo |
| | | Este (X) | Norte (Y) | | Percus | Rotat. | | |
| SM-10 | 82 (eixo) | 405.384 | 9.616.318 | 53,632 | 5,00 | 6,00 | Biotita Sericita Xisto , moder. dura a dura, gran. fina, xistosa | Moderada. Intemper. |
| SM-11 | 85 (eixo) | 405.443 | 9.616.327 | 52,581 | 5,10 | 6,40 | Biotita Sericita Xisto , macia a moder. dura, gran. fina, xistosa | Moderada. Intemper. |
| SM-12 | 85 (50m para jusante) | 405.436 | 9.616.376 | 53,950 | 2,20 | 5,94 | Biotita Sericita Xisto , dura a muito dura, gran. fina, xistosa | Levemente Intemper. |
| SM-13 | 88 (eixo) | 405.502 | 9.616.335 | 52,970 | 2,11 | 6,91 | Biotita Sericita Xisto , moder. dura a dura, gran. fina, xistosa | Moderada. Intemper. |
| SM-14 | 85 (100m para jusante) | 405.425 | 9.616.425 | 54,601 | 1,82 | 8,58 | Gnaiss macia a dura, gran. Fina, foliada | Moderada. a altamente Intemper |
| SM-15 | 0 (eixo) | 403.795 | 9.616.161 | 54,962 | 2,20 | 6,04 | Gnaiss moder. dura a muito dura, gran fino , foliada | Moderada a altamente Intemper |
| SM-16 | 19 (eixo) | 404.162 | 9.616.081 | 61,969 | 2,00 | 7,50 | Quartzito macia a moder. Dura, foliada e gnaiss decomp. macia | Altamente intemper. a decomposta |
| SM-17 | 75 (eixo) | 405.245 | 9.616.297 | 62,814 | 1,58 | 10,42 | Quartzito muito macia a moder. dura, foliada | Decomposta |
| SM-1B | 8B | 402.607 | 9.613.382 | 60,984 | 1,40 | 8,26 | Gnaiss macia a dura, gran. Fina, foliada | Moderada. a altamente Intemper |
| SM-2B | 5B +4,50 | 402.589 | 9.613.329 | 58,772 | 0,80 | 6,20 | Andesito macia a dura, maciça | Moderada. Intemper |
| SM-3B | 2B | 402.567 | 9.613.269 | 60,527 | 0,89 | 6,20 | Gnaiss moder. dura a dura, gran fino , foliada | Altamente. Intemper |
| SM-4B | 5B +7,9 (40,7m Jusante) | 402.551 | 9.613.346 | 58,377 | 0,90 | 8,27 | Andesito moder. Dura, maciça e Gnaiss macia a moder.dura, folid | Altamente. Intemper |



| TABELA Nº 4.7: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM MISSI SONDAGENS A PÁ E PICARETA | | | | |
|---|----------|---------------|-----------|---------|
| Estaca (canal de sangria) | Lado | Distância (m) | Prof. (m) | Nº |
| 0 + 40,00 | eixo | 0 | 1,50 | SPP- 1 |
| 0 + 40,00 | direito | 100 | 3,60 | SPP- 2 |
| 0 + 100,00 | esquerdo | 50 | 2,60 | SPP- 3 |
| 0 + 100,00 | eixo | 0 | 2,80 | SPP- 4 |
| 0 + 100,00 | direito | 50 | 1,60 | SPP- 5 |
| 0 + 100,00 | direito | 100 | 2,60 | SPP- 6 |
| 0 + 200,00 | esquerdo | 50 | 2,80 | SPP- 7 |
| 0 + 200,00 | eixo | 0 | 2,00 | SPP- 8 |
| 0 + 200,00 | direito | 50 | 1,80 | SPP- 9 |
| 0 + 200,00 | direito | 100 | 1,40 | SPP- 10 |
| 0 + 300,00 | eixo | 0 | 3,60 | SPP- 11 |
| 0 + 300,00 | esquerdo | 50 | 1,40 | SPP- 12 |
| 0 + 40,00 | esquerdo | 50 | 1,10 | SPP- 13 |
| 0 + 300,00 | direito | 50 | 2,80 | SPP- 14 |

| TABELA Nº 4.8: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM MISSI QUADRO RESUMO - SANGRADOURO | | | | | |
|---|-------------|----------|----------|----------|----------|
| FURO | | SPP - 05 | SPP - 08 | SPP - 10 | SPP - 11 |
| PROF. (m): | | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| | | 1,60 | 2,00 | 3,00 | 1,80 |
| P A S S A | 1" | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 3/4" | 100 | 98 | 98 | 98 |
| | 1/2" | 98 | 96 | 98 | 96 |
| | 3/8" | 94 | 95 | 97 | 94 |
| | No. 4 | 91 | 94 | 96 | 92 |
| | No. 10 | 87 | 90 | 93 | 89 |
| | No. 40 | 64 | 66 | 66 | 62 |
| | No. 200 | 36 | 39 | 32 | 27 |
| | SED 0,005mm | 8 | 9 | 8 | 6 |
| LL | | 32 | 32 | 31 | 29 |
| LP | | 22 | 21 | 23 | 22 |
| IP | | 10 | 11 | 8 | 7 |
| gg (g/cm ²) | | 1,752 | 1,702 | 1,770 | 1,892 |
| h ótica (%) | | 15,7 | 18,6 | 15,5 | 13,7 |
| U.S.C. | | SC | SC | SM | SM |

INVESTIGAÇÃO NO SANGRADOURO





Os resultados dessas sondagens e ensaios de campo são apresentados nos desenhos do Tomo 4 A, sob forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo.

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas por rotativa. O processo de execução destas sondagens obedeceu ao mesmo processo descrito anteriormente, nos subitens 3.1 e 3.2, para sondagens a percussão e rotativa.

As campanhas executadas para a pesquisa do local do sangradouro totalizaram 12 sondagens mistas, com 112,72 m, sendo 26,00 m com percussão e 86,72 m com sonda rotativa.

4.2. COMENTÁRIOS

- a) Fixando o foco nas sondagens do local onde será implantado o sangradouro, SM-10, SM-11, SM-12 e SM-13, verifica-se que nas duas primeiras sondagens, ou seja, SM-10 e SM-11, foram feitos inicialmente um trecho a percussão, com profundidade de 5,00m e 5,10m, respectivamente, encontrando-se na sondagem SM-10 um capeamento de 1,05m de espessura de silte areno-argiloso micáceo com pedregulhos, vermelho e amarelo variegado. Abaixo dessa camada, vem até 5,00m, silte arenoso micáceo, com pedregulhos, cinza e amarelo variegado. A partir de 5,00m o furo foi feito com sonda rotativa até 11,00m. Foi encontrado biotita sericita xisto, com grau de intemperismo variando de levemente intemperizada a medianamente intemperizada. O RQD variou nas seis manobras de 0% a 60%.
- b) A sondagem SM-11 apresentou de 0,00m a 2,00m silte areno-argiloso micáceo, com pedregulhos, cinza e amarelo variegado. De 2,00m a 5,10m



foi encontrado silte arenoso, cinza e amarelo, caracterizando o solo residual. De 5,10m a 11,50m o furo foi feito com sonda rotativa e encontrou-se biotita sericita xisto, com grau de intemperismo medianamente intemperizado. O RQD variou de 0% a 70% nas sete manobras.

- c) A sondagem SM-12 apresentou de 0,00m a 2,00m silte arenoso micáceo, com pedregulhos e seixos de quartzo, cinza e amarelo variegado. De 2,00m a 8,14m o furo foi feito com sonda rotativa e foi encontrado biotita sericita xisto, com intercalações de veio de pegmatito muito dura. O grau de intemperismo variou de são a levemente intemperizado. O RQD variou nas seis manobras de 0% a 70%.
- d) A sondagem SM-13 apresentou de 0,00m a 0,60m silte arenoso micáceo com pedregulhos caracterizando o solo residual. De 0,60m a 1,00m foi atravessado um veio de pegmatito. De 1,00m a 2,11m foi encontrado uma rocha decomposta e a partir daí biotita sericita xisto, a qual apresentou grau de intemperismo medianamente intemperizado. O RQD variou de 0% a 70%, nas seis manobras realizadas.
- e) Com base nos resultados destas sondagens observa-se que a rocha de melhor competência para resistir à erosão, causada pelos fluxos de sangria previstos, ocorre, aproximadamente, a partir da cota 47 m.



MONTGOMERY WATSON



5. ESTUDOS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS



5. ESTUDO DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS

Os estudos das ocorrências de materiais para a utilização na construção da barragem foram iniciados por um simples reconhecimento de toda a área em volta do eixo do barramento, de modo que fossem selecionadas as ocorrências potencialmente aproveitáveis, levando-se em conta a qualidade do material e os volumes disponíveis. Como fonte de materiais para construção da barragem foram identificadas 3 jazidas de solos, 2 pedreiras, um areal, cuja situação em relação ao eixo pode ser vista na figura nº 5.1.

A jazida J-01, situada a montante do eixo, na ombreira direita, cuja distância média de transporte é cerca de 1,1 km, consta de uma área de solo residual jovem de pouca espessura, com fragmentos de rocha alterada de dimensões variadas, com finos areno argilosos, que poderá dar origem a um aterro compactado com alguma facilidade à infiltração d'água. No entanto, sua proximidade com o local do barramento sugere seu emprego, em zonas selecionadas do maciço da barragem, para maior economia do empreendimento.

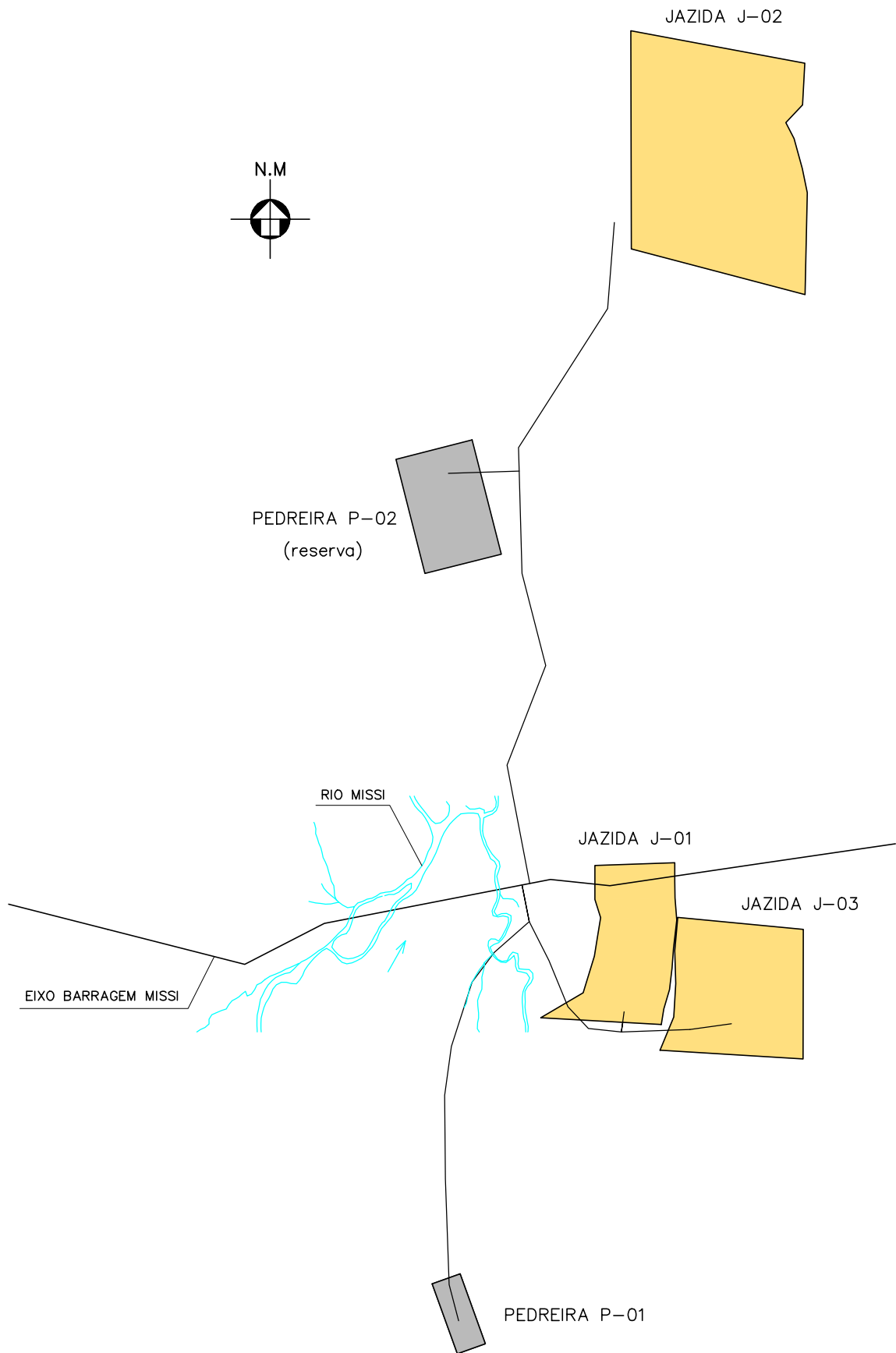
A jazida J-03 é praticamente uma continuação da jazida nº01 porém, apresenta uma menor presença de fragmentos de rocha, na dimensão de matacões ou superior. O material de um modo geral constitui-se de solos classificados como SC (USC). A jazida possui uma distância média de transporte para o eixo de cerca de 1,2 km e está, também, dentro da área da bacia hidráulica da barragem.

Para reforçar a oferta de materiais mais impermeáveis foi estudada uma área com distância média de transporte de 2,5 km à jusante do eixo, dita jazida J-02.

5.1. JAZIDAS DE SOLO

As jazidas de solo foram estudadas através de sondagens a pá e picareta executadas nos vértices de uma malha quadrada típica de 50 m de lado, cobrindo a área a ser explorada, conforme é mostrado nas figuras nºs 5.2 a 5.4, a seguir. Os horizontes encontrados nestes furos foram identificados, classificados tátil visualmente e medidas suas espessuras, conforme apresentado nos boletins de campo no Tomo 4 A- Geologia e Geotecnia- Anexos.

LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS
DE MATERIAIS CONSTRUTIVOS



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM MISSI

ESCALA:

1:15.000

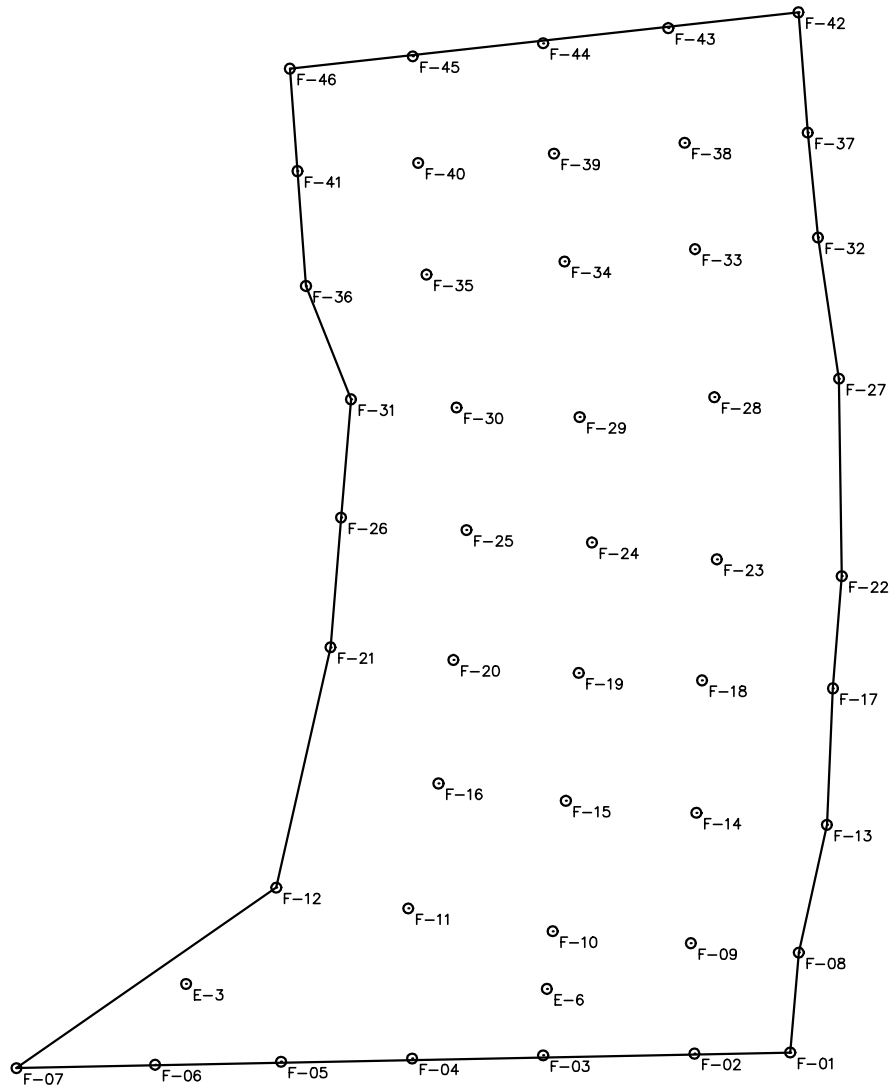
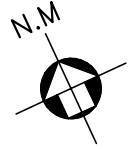
DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.1

JAZIDA-01



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM MISSI

ESCALA:

1: 3.000

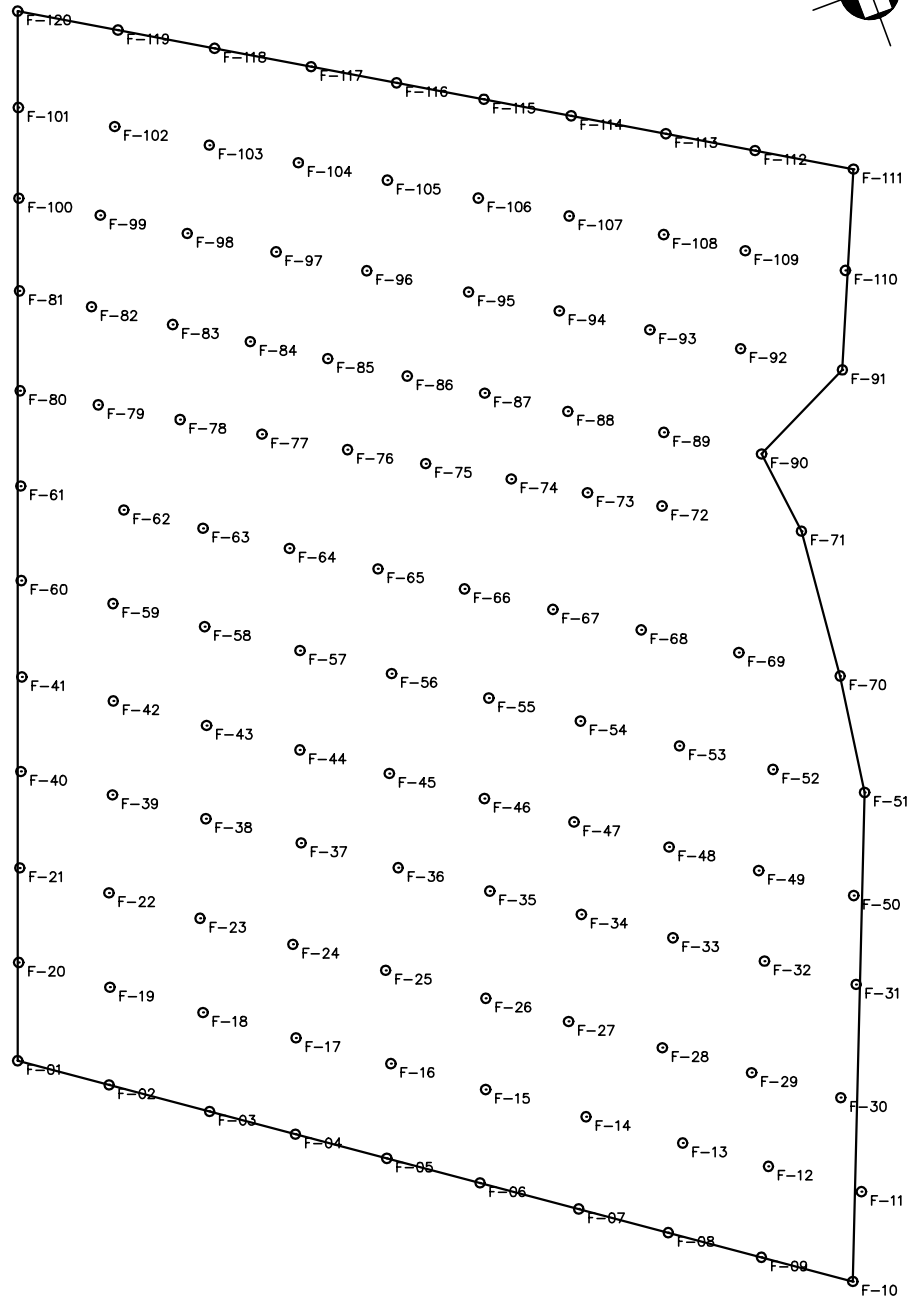
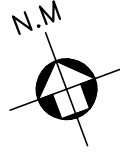
DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.2

JAZIDA-02



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM MISSI

ESCALA:

1: 4.000

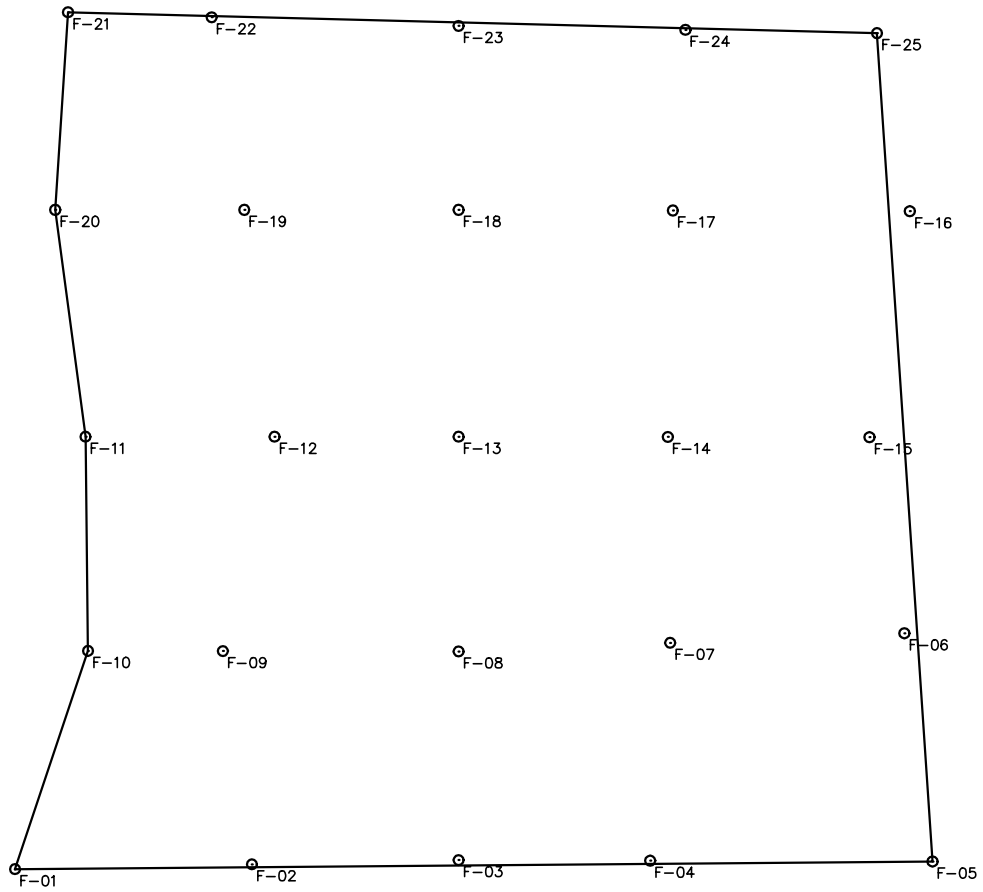
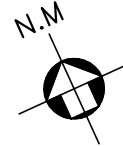
DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.3

JAZIDA-03



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM MISSI

ESCALA:

1: 3.000

DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.4



A tabela 5.1 apresenta um resumo de características gerais das jazidas estudadas.

| Tabela 5.1: Características Gerais das Jazidas | | | |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Jazida J - 01 | Jazida J - 02 | Jazida J - 03 |
| Proprietários | Francisco José | Olavo Braga | Francisco José |
| Área Estudada (m²) | 85.548 | 249.122 | 110.679 |
| Nº de poços executados | 46 | 120 | 25 |
| Espessura média do expurgo (m) | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| Espessura média de material utilizável (m) | 0,60 | 0,61 | 0,80 |
| Volume de expurgo (m³) | 8.555 | 24.912 | 11.068 |
| Volume de material utilizável (m³) | 51.329 | 151.964 | 88.543 |
| Distância ao eixo da barragem (m) | 1.121 | 2.490 | 1.244 |

A seguir, é apresentado um quadro contendo os volumes utilizáveis e expurgáveis, bem como o volume total de material disponível nas jazidas.

| Tabela 5.2: Volume de Materiais das Jazidas | | |
|--|-------------------------------|-------------------|
| Local | Volume (m³) | |
| | Utilizável | Expurgável |
| Jazida J - 01 | 51.329 | 8.555 |
| Jazida J - 02 | 151.964 | 24.912 |
| Jazida J - 03 | 88.543 | 11.068 |
| Volume Total | 291.836 | 44.535 |

Em furos representativos das jazidas foram coletadas amostras, as quais foram enviados ao laboratório e submetidas a campanha de ensaios geotécnicos, a saber:

- Granulometria por Peneiramento (DNER-ME 80-64)
- Granulometria por Sedimentação (DNER-ME 51-64)
- Limite de Liquidez (DNER-ME 44-71)
- Limite de Plasticidade (DNER-ME 82-63)
- Compactação – Proctor Normal (DNER-ME 48-64)
- Peso Específico dos Grãos. (DNER-ME 93-64)



Nas Tabelas Nº 5.3 a 5.5 são mostrados os resultados dos ensaios de laboratório.

| TABELA 5.3: Quadro Resumo dos Ensaios - Jazida J-01 | | | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Furos | 01 | 03 | 15 | 17 | 29 | 31 | 32 | 35 | 39 |
| GRANULOMETRIA | | | | | | | | | |
| 2" | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 1 1/2" | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 1" | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 3/4" | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 1/2" | 100 | 100 | 100 | 99 | 100 | 99 | 100 | 100 | 98 |
| 3/8" | 99 | 99 | 98 | 97 | 99 | 98 | 100 | 100 | 98 |
| Nº 4 | 97 | 98 | 96 | 95 | 97 | 96 | 99 | 99 | 98 |
| Nº 10 | 95 | 97 | 93 | 92 | 95 | 94 | 96 | 96 | 97 |
| Nº 40 | 88 | 92 | 87 | 87 | 89 | 91 | 81 | 78 | 95 |
| Nº 100 | 79 | 85 | 79 | 78 | 79 | 83 | 59 | 62 | 82 |
| Nº 200 | 68 | 73 | 67 | 66 | 68 | 71 | 46 | 51 | 68 |
| <0,005 | | | 32 | | | 34 | | | 34 |
| LIMITES DE ATTERBERG | | | | | | | | | |
| LL | 31,1 | 33,3 | 31,2 | 32,1 | 32,1 | 33,1 | 31,2 | 32,1 | 34,0 |
| LP | 17,7 | 17,3 | 18,2 | 20,3 | 18,5 | 17,4 | 21,0 | 19,3 | 18,4 |
| IP | 13,4 | 16,0 | 13,0 | 11,8 | 13,6 | 15,7 | 10,2 | 12,8 | 15,6 |
| CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S. | | | | | | | | | |
| U.S.C.S. | CL | CL | CL | CL | CL | CL | SC | CL | CL |
| COMPACTAÇÃO | | | | | | | | | |
| Densidade Seca - γ_s (g/cm ³) | 1,725 | 1,705 | 1,740 | 1,745 | 1,730 | 1,714 | 1,796 | 1,751 | 1,735 |
| Umidade Ótima (%) | 17,40 | 17,90 | 17,00 | 16,80 | 17,20 | 17,70 | 15,00 | 16,50 | 17,30 |
| ENSAIOS <i>IN SITU</i> | | | | | | | | | |
| Umidade Natural (%) | | 4,1 | | | | | | | 3,5 |
| Peso Específico Natural (g/cm ³) | | 1,323 | | | | | | | 1,387 |
| PERMEABILIDADE | | | | | | | | | |
| Permeabilidade (cm/s) | 8,2E-07 | | 8,3E-07 | | 8,0E-07 | | | | 7,9E-07 |

**TABELA 5.4: Quadro Resumo dos Ensaios - Jazida J-02**

| Furos | 2 | 3 | 4 | 12 | 16 | 20 | 22 | 27 | 32 | 45 | 49 | 60 | 61 | 65 | 78 | 81 | 89 | 92 | 96 | 101 | 103 | 105 |
|--|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| GRANULOMETRIA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2" | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 1 1/2" | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 1" | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 3/4" | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 98 | 100 | 100 | 100 | 99 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 1/2" | 98 | 100 | 100 | 100 | 99 | 98 | 97 | 99 | 96 | 99 | 99 | 99 | 97 | 98 | 100 | 99 | 100 | 99 | 100 | 100 | 99 | 98 |
| 3/8" | 95 | 99 | 98 | 99 | 97 | 96 | 93 | 96 | 93 | 97 | 95 | 98 | 95 | 96 | 98 | 98 | 99 | 96 | 98 | 97 | 96 | 94 |
| Nº 4 | 93 | 97 | 95 | 97 | 94 | 94 | 89 | 92 | 88 | 93 | 91 | 95 | 91 | 93 | 94 | 95 | 94 | 93 | 96 | 94 | 92 | 90 |
| Nº 10 | 90 | 94 | 91 | 94 | 91 | 92 | 86 | 89 | 83 | 89 | 85 | 91 | 87 | 90 | 89 | 91 | 89 | 88 | 92 | 90 | 87 | 85 |
| Nº 40 | 77 | 82 | 80 | 81 | 78 | 80 | 73 | 76 | 70 | 74 | 72 | 79 | 74 | 77 | 76 | 79 | 76 | 74 | 80 | 78 | 76 | 74 |
| Nº 100 | 69 | 72 | 69 | 71 | 68 | 70 | 63 | 66 | 62 | 65 | 63 | 70 | 65 | 69 | 69 | 71 | 68 | 68 | 72 | 71 | 68 | 66 |
| Nº 200 | 64 | 66 | 63 | 66 | 62 | 65 | 58 | 61 | 58 | 59 | 56 | 63 | 58 | 61 | 63 | 66 | 62 | 63 | 67 | 65 | 60 | 58 |
| <0,005 | 34 | | 33 | 31 | 27 | | | 28 | 23 | 22 | 21 | 27 | | | | | | | | | | |
| LIMITES DE ATTERBERG | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LL | 34,1 | 35,3 | 34,3 | 35,2 | 34,3 | 35,2 | 35,3 | 34,1 | 34,1 | 34,2 | 33,0 | 34,0 | 33,2 | 33,0 | 34,0 | 35,1 | 34,2 | 34,0 | 36,1 | 35,2 | 35,1 | 34,1 |
| LP | 19,9 | 19,1 | 20,9 | 20,3 | 21,1 | 19,9 | 22,0 | 20,8 | 22,2 | 21,2 | 22,4 | 20,2 | 23,1 | 21,2 | 20,1 | 19,1 | 21,1 | 17,9 | 19,2 | 20,1 | 21,2 | 21,0 |
| IP | 14,2 | 16,2 | 13,4 | 14,9 | 13,2 | 15,3 | 13,3 | 13,3 | 11,9 | 13,0 | 10,6 | 13,8 | 10,1 | 11,8 | 13,9 | 16,0 | 13,1 | 16,1 | 16,9 | 15,1 | 13,9 | 13,1 |
| CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| U.S.C.S. | CL | CL | CL | CL | CL | CL | CL | CL | CL | CL | CL | CL | CL | CL | CL | CL | CL | CL | CL | CL | CL | CL |
| COMPACTAÇÃO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Densidade Seca - γ_s (g/cm ³) | 1,730 | 1,712 | 1,735 | 1,718 | 1,750 | 1,720 | 1,769 | 1,759 | 1,770 | 1,766 | 1,780 | 1,738 | 1,770 | 1,766 | 1,740 | 1,720 | 1,755 | 1,729 | 1,708 | 1,724 | 1,740 | 1,765 |
| Umidade Ótima (%) | 16,80 | 17,60 | 16,50 | 17,00 | 16,20 | 16,90 | 15,80 | 16,00 | 15,60 | 15,80 | 15,40 | 16,50 | 15,60 | 16,00 | 16,70 | 17,20 | 16,40 | 16,90 | 17,60 | 17,10 | 16,20 | 15,50 |
| ENSAIOS IN SITU | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Umidade Natural (%) | | 3,1 | | | | | 3,4 | | | 3,1 | | | 3,9 | | 3,9 | 4,1 | 4,1 | | | 3,5 | | 3,9 |
| Peso Específico Natural (g/cm ³) | | 1,421 | | | | | 1,422 | | | 1,470 | | | 1,463 | | 1,389 | 1,469 | 1,317 | | | 1,452 | | 1,547 |
| PERMEABILIDADE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Permeabilidade (cm/s) | 7,8E-07 | | | 7,5E-07 | | | 8,5E-07 | | | 8,3E-07 | | | 8,7E-07 | | | 7,9E-07 | | | 8,2E-07 | | | 8,6E-07 |

**TABELA 5.5: Quadro Resumo dos Ensaios - Jazida J-03**

| Furos | 01 | 08 | 14 | 18 | 21 | 25 | | | |
|--|---------|-------|---------|-------|-------|---------|--|--|--|
| GRANULOMETRIA | | | | | | | | | |
| 2" | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | | |
| 1 1/2" | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | | |
| 1" | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | | |
| 3/4" | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | | |
| 1/2" | 100 | 94 | 97 | 99 | 100 | 99 | | | |
| 3/8" | 98 | 93 | 95 | 97 | 99 | 98 | | | |
| Nº 4 | 96 | 91 | 93 | 94 | 99 | 95 | | | |
| Nº 10 | 94 | 89 | 91 | 93 | 98 | 93 | | | |
| Nº 40 | 89 | 83 | 85 | 87 | 94 | 88 | | | |
| Nº 100 | 80 | 66 | 70 | 74 | 77 | 82 | | | |
| Nº 200 | 68 | 54 | 59 | 65 | 63 | 74 | | | |
| <0,005 | | | 33 | | 36 | 41 | | | |
| LIMITES DE ATTERBERG | | | | | | | | | |
| LL | 32,1 | 33,1 | 32,1 | 32,2 | 32,3 | 33,3 | | | |
| LP | 18,5 | 21,0 | 19,9 | 19,1 | 19,0 | 18,3 | | | |
| IP | 13,6 | 12,1 | 12,2 | 13,1 | 13,3 | 15,0 | | | |
| CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S. | | | | | | | | | |
| U.S.C.S. | CL | CL | CL | CL | CL | CL | | | |
| COMPACTAÇÃO | | | | | | | | | |
| Densidade Seca - γ_s (g/cm ³) | 1,725 | 1,753 | 1,740 | 1,730 | 1,735 | 1,717 | | | |
| Umidade Ótima (%) | 17,20 | 16,30 | 16,60 | 17,00 | 16,80 | 17,50 | | | |
| ENSAIOS IN SITU | | | | | | | | | |
| Umidade Natural (%) | 3,1 | 3,5 | 3,1 | 3,9 | 3,1 | 3,1 | | | |
| Peso Específico Natural (g/cm ³) | 1,400 | 1,365 | 1,300 | 1,333 | 1,396 | 1,495 | | | |
| PERMEABILIDADE | | | | | | | | | |
| Permeabilidade (cm/s) | 6,5E-07 | | 6,8E-07 | | | 6,3E-07 | | | |

Além dos ensaios geotécnicos de laboratório anteriormente mencionados, foram realizados os seguintes ensaios especiais nas ocorrências de solo:

- Permeabilidade de Carga Variável.
- Triaxial

Como os ensaios de permeabilidade de carga variável e o triaxial não são normalizados, foram realizados por técnicas usuais.



| Tabela Nº 5.6: Valores Médios dos Ensaios Especiais das Jazidas | | | |
|---|--------------------------------------|-------------------------------|-------------|
| Jazida | Coeficiente de Permeabilidade (cm/s) | Triaxial | |
| | | Coesão (kgf/cm ²) | φ (°) |
| J-01 | 8,1x10E-7 | 0,22 | 26,3 |
| J-02 | 8,2x10E-7 | 0,05 e 0,17 | 24,2 e 26,9 |
| J-03 | 6,5x10E-7 | 0,18 | 27,3 |

5.2. AREAL

O areal foi identificado no leito do riacho Missi e estudado para a execução do filtro vertical, dreno horizontal, e concreto. A tabela 5.7 apresenta um resumo das características gerais do areal.

| Tabela 5.7: Características Gerais do Areal | |
|---|----------|
| Área Estudada (m ²) | 36238,33 |
| Nº de poços executados | 15 |
| Espessura média de material utilizável (m) | 1,15 |
| Volume de material utilizável (m ³) | 41674,08 |
| Distância ao eixo da barragem (m) | 2372,63 |

Foram coletadas amostras na área do rio selecionada como areal A-1 para a realização dos seguintes ensaios de laboratório:

- Granulometria pro Peneiramento (DNER-ME 51-64)

Na Tabela Nº 5.8 são mostrados os resultados médios dos ensaios de laboratório realizados no Areal.

| Tabela Nº 5.8: Valores Médios dos Ensaios do Areal | | | | | | | | | | |
|--|------|-----|------|-------|-------|-------|--------|-----------------------|------|-----|
| Granulometria (% que passa) | | | | | | | | D _{max} (mm) | M.F. | USC |
| 1" | 3/8" | Nº4 | Nº 8 | Nº 16 | Nº 30 | Nº 50 | Nº 100 | | | |
| 100 | 100 | 96 | 85 | 63 | 28 | 6 | 1 | 4,8 | 3,50 | SP |



Além dos ensaios geotécnicos de laboratório anteriormente mencionados, foi realizado o ensaio de permeabilidade de carga constante. Como este ensaio não se encontra normalizado, foi realizado por técnicas usuais, recomendados por literatura. O valor médio encontrado é mostrado na Tabela Nº 5.9.

| Tabela Nº 5.9 Valores Médios dos Ensaios Especiais do Areal |
|--|
| Coefficiente de Permeabilidade (cm/s) |
| 6,9x10 ⁻³ |

5.3. PEDREIRA

As pedreiras foram identificadas e estudadas para a execução das transições, rip-rap e concreto.

Duas ocorrências para pedreira foram estudadas, ficando uma situada no ponto de coordenadas UTM 404.646E e 9.615.108N, com distância média de transporte de 1,3Km à montante do eixo da barragem, chamada de P-01, e a segunda no ponto de coordenadas UTM 404.545E e 9.617.216N. Em ambas foram realizadas campanhas de sondagem rotativa, mostrando boas qualidades mecânicas da rocha (gnaisse migmatítico), com elevados índices de RQD. Porém o diferencial entre as duas foi a espessura da camada de solo de recobrimento superficial. Na primeira foi detectada uma espessura média inferior a 2,00m, e na segunda a espessura média foi de 3,00m, tendo um caso em que foi detectado espessura de 6,73m. Por isso, descartou-se a possibilidade de utilização da pedreira P-02.

A tabela 5.10 apresenta um resumo de características gerais pedreira P-01.

| Tabela 5.10: Características Gerais da Pedreira P-01 | |
|---|----------------------|
| Proprietários | Francisco Magno Neto |
| Área Estudada (m²) | 14.223 |
| Nº de poços executados | 03 |
| Espessura média de decapagem (m) | 0,87 |
| Espessura média de material utilizável (m) | 5,77 |
| Volume de decapagem (m³) | 12.326 |
| Volume de material utilizável (m³) | 82.019 |
| Distância ao eixo da barragem (m) | 1.315 |



Foto N°04 – Afloramento de gnaiss no local indicado para pedreira à montante do eixo da barragem (pedreira n° 1).



Foto N°05 – Afloramento de gnaiss no local estudado para pedreira à jusante do eixo da barragem (pedreira n°2).

A partir da constatação da inviabilidade de exploração da pedreira n° 02 pesquisou-se outra ocorrência, identificando-se a 1,2 km para montante do eixo, uma área de rocha gnaiss migmatito (foto n° 04), apresentando estruturas dobradas e estromáticas, com filiação N°Az/70° NW, ocorrendo em afloramentos espalhando por uma extensa área, geralmente no nível da superfície ou em forma de blocos. No



local foram realizadas 3 sondagens mistas que são apresentadas na tabela 5.9,a seguir:

| Tabela Nº 5.11: Investigação Geotécnica Da Barragem Missi - Pedreira P-01 | | | |
|--|---------------|-------------------|-----------------|
| Sondagem Nº | Estaca | Trecho | |
| | | Percussiva | Rotativa |
| FPM-01 | P-01 | 1,70 | 6,00 |
| FPM-02 | P-01 | 1,00 | 7,00 |
| FPM-03 | P-01 | 0,90 | 6,90 |

Selecionada a área da pedreira P-01 como fonte apropriada de obtenção de material pétreo, coletou-se amostras para a realização do ensaio de desgaste por Abrasão “Los Angeles” (DNER-ME 65-64). Na Tabela Nº 5.10 é apresentado o valor médio do ensaio. Na figura nº 5.5, é apresentada a planta individual da pedreira.

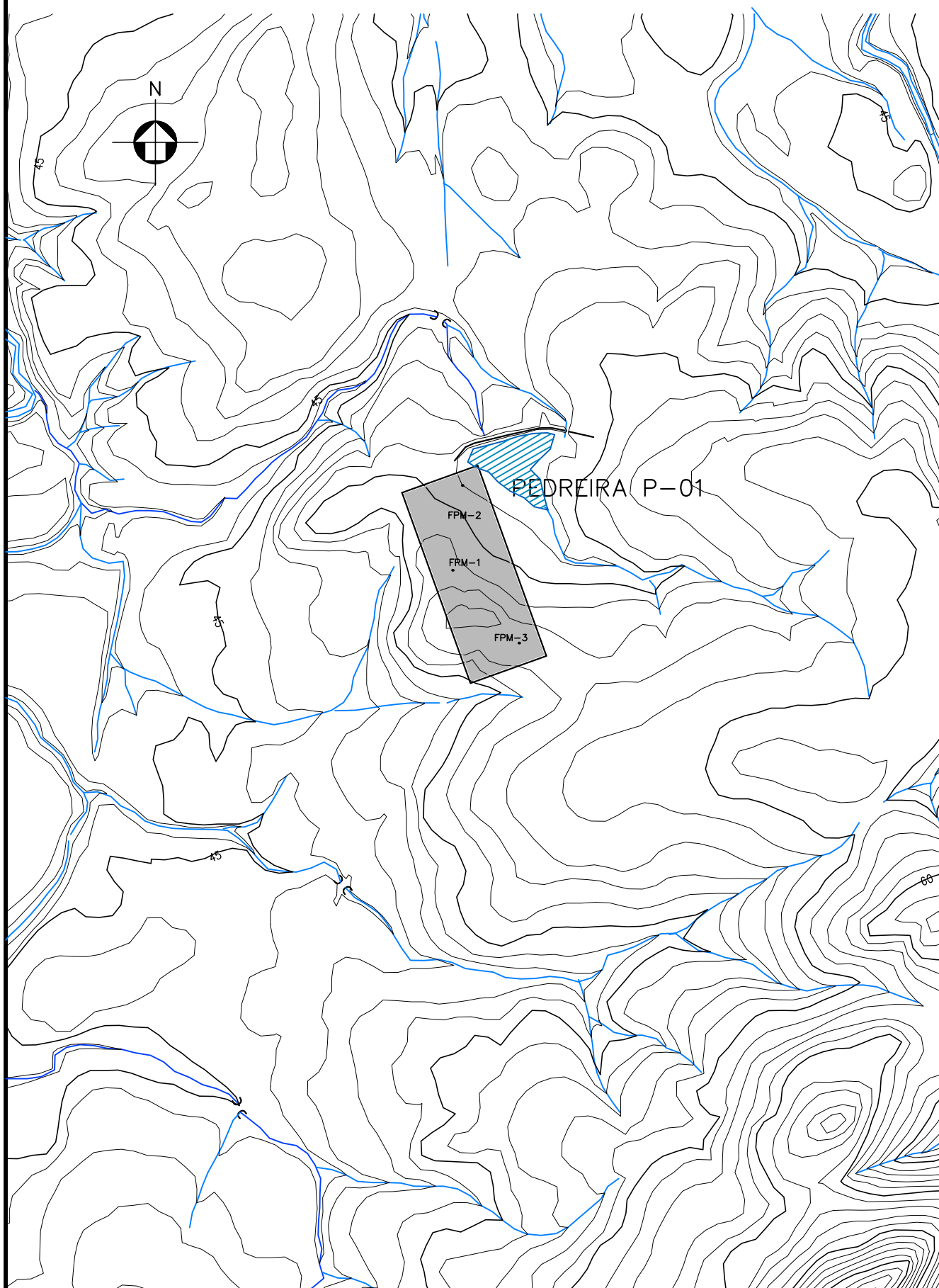
| Tabela Nº 5.12 Valores Médios dos Ensaios da Pedreira |
|--|
| Abrasão Los Angeles (%) |
| 31 |

Os ensaios de laboratório da pedreira P-01 são apresentados no Tomo 4 A.

5.4. COMENTÁRIOS

a) Os exames dos ensaios de caracterização realizados (granulometria e limites de Atterberg) nas ocorrências de materiais terrosos, jazidas J-01, J-02 e J-03, permitiram enquadrar os materiais estudados nos grupos CL (argila com baixa plasticidade) da “Classificação Unificada USC”.

LOCALIZAÇÃO DA PEDREIRA



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM MISSI

ESCALA:

1:5.000

DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.5



O enquadramento dos solos na “Classificação Unificada USC” possibilita estimar suas características no que concerne a sua utilização na construção de barragens de terra. Segundo Sherard¹, os solos dos tipos CL apresentam as seguintes características:

Solo CL

- Média a fraca resistência à erosão.
- Alta a média resistência ao cisalhamento.
- Impermeável.
- Regular trabalhabilidade.

As propriedades acima citadas são esperáveis para obras em que seja feito o controle de umidade e densidade durante a construção. Para orientação deste controle são apresentados na Tabela N° 5.10 os valores médios da massa específica seca máxima ($\gamma_{sm\acute{a}x}$) e a umidade ótica (h_{ot}), obtidas nos ensaios de compactação das jazidas.

| Tabela N° 5.13: Ensaios de Laboratório de Compactação | | | |
|--|---------------|-------------|-------------|
| Discriminação | Jazida | | |
| | J-01 | J-02 | J-03 |
| Densidade | 1,738 | 1,744 | 1,733 |
| Umidade | 16,9 | 16,4 | 16,9 |

b) Os solos das jazidas J-01 e J-03 por possuírem um percentual; significativo de fragmentos de rocha quartzítica, em diversas dimensões, devem ser indicados para zonas mais permeáveis do maciço, como por exemplo o espaldar de jusante. Os fragmentos com dimensões maiores

¹ Sherard, J. L. et ali – Earth Rock Dams, John Wiley and Sons, Inc., 1963



que a espessura da camada indicada para a confecção do aterro, devem ser excluídos.

c) Os solos da jazida J-02 apresentam características geotécnicas que favorecem o uso destes em qualquer zona do maciço da barragem. No entanto a jazida, por apresentar uma maior distância de transporte, deve ser usada apenas em zonas mais impermeáveis do maciço.

d) O material pétreo necessário para as proteções dos taludes do maciço, transições e enrocamento de pé tem como fonte de obtenção prioritária a escavação do substrato rochoso no sangradouro, que apresenta formações rochosas apropriadas para tais fins. Como complementação desta fonte indicou-se a pedreira P-01, constituída de gnaisse são muito duro.

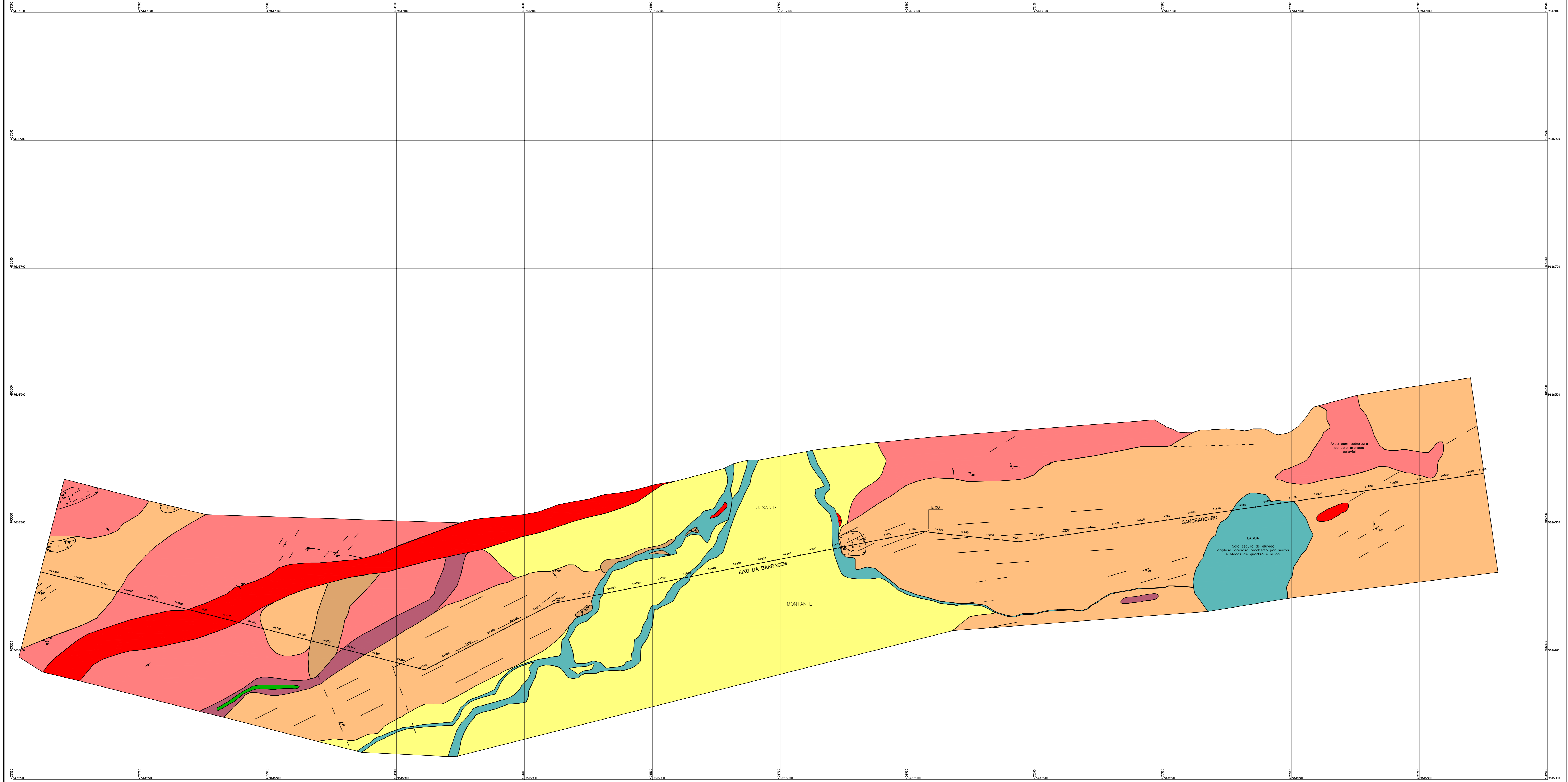
e) Os bancos de areia do riacho Missi, com permeabilidade média de 7×10^{-3} , são apropriados como fonte de suprimento de agregado miúdo para os concretos e para elemento drenante/ filtrante do sistema de drenagem interna do maciço



MONTGOMERY WATSON



6. ANEXOS



LEGENDA

- Coluna estratigráfica
CENOZÓICO
- ALUVIÃO
- PRÉ-CAMBRIANO INDIVISO
- ANFIBOLITO
 - GRANITO
 - CALCÁRIO CRISTALINO
 - MICA XISTO ASSOCIADO A QUARTZITO
 - QUARTZITO ASSOCIADO A MICA-XISTO
 - GNAISSE
 - PEGMATITO

Convenções

- Açude
- Rio
- Canal
- CE

Convenções geológicas

- Contato litológico
- Atitude de foliação
- Atitude de fraturas
- Atitude de fratura vertical
- Fraturas
- Afloramento de rocha
- Trço de foliação

LEGENDA :

NOTAS :

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

REVISÕES

| Nº | NATUREZA DA REVISÃO | DATA | APROVO |
|----|---------------------|------|--------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH - PROGERIRH

PROJETO EXECUTIVO DAS BARRAGENS JOÃO GUERRA, UMARI, RIACHO DA SERRA, CEARÁ E MISSI E DAS ADUTORAS DE MADALENA, LAGOA DO MATO, ALTO SANTO E AMONTADA.

ESTUDOS BÁSICOS DA BARRAGEM MISSI

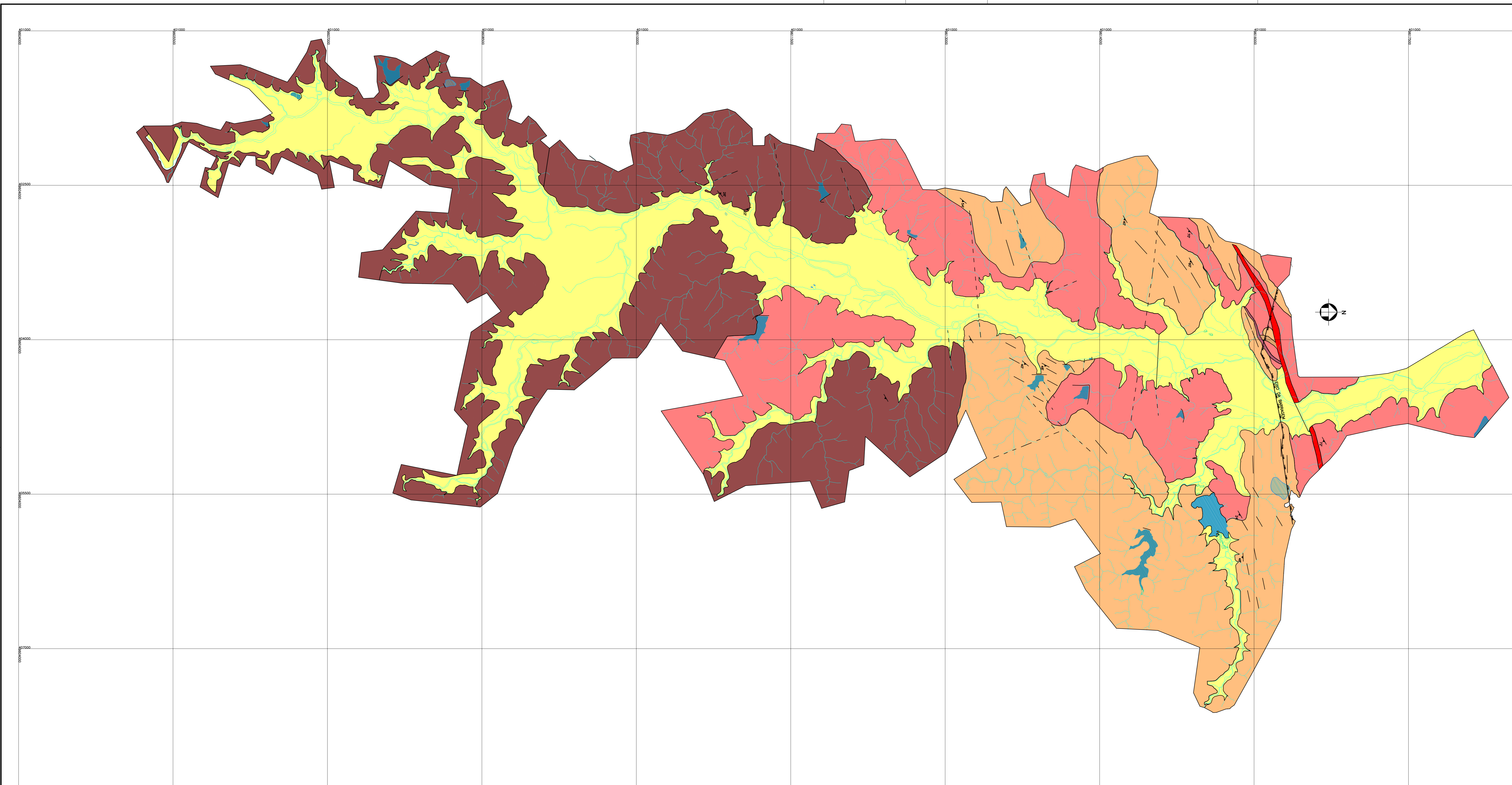
Projeto : Missi_Figura_2-4.dwg

Visto : Data de Emissão : JAN./2002

Verificado : Escala : 1:2500

Aprova : Nº do Desenho : FIGURA_2-4

MONTGOMERY WATSON EngSoft



LEGENDA

- Coluna estratigráfica
- CENOZOICO
QUATERNÁRIO
- ALUVÃO
- PRÉ-CAMBRIANO INDIVISO
- ANFIBOLITO
 - GRANITO
 - PEGMATITO
 - MICA XISTO ASSOCIADO A QUARTZITO
 - QUARTZITO ASSOCIADO A MICA-XISTO
 - GNAISSE

Convenções

- Açude
- Rio
- Carrizal
- Caminhos
- CE

Convenções geológicas

- Contato litológico
- Atitude de foliação
- Fratura
- Afloramento de rocha
- Traço de foliação

LEGENDA : NOTAS :

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

| REVISÕES | | | |
|----------|---------------------|------|--------|
| Nº | NATUREZA DA REVISÃO | DATA | APROVO |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH – PROGERIRH

PROJETO EXECUTIVO DAS BARRAGENS JOÃO GUERRA, UMARI, RIACHO DA SERRA, CEARÁ E MISSI E DAS ADUTORAS DE MADALENA, LAGOA DO MATO, ALTO SANTO E AMONTADA.

ESTUDOS BÁSICOS DA BARRAGEM MISSI

| | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Projeto : Missi_Figura_2-5.dwg | Escala : 1:15000 |
| Verificado : MONTGOMERY WATSON | Nº do Desenho : FIGURA_2-5 |

Consórcio



MONTGOMERY WATSON

