



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 JOÃO GUERRA VOLUME I - ESTUDOS BÁSICOS Tomo 4 - Geologia e Geotecnia - Textos



MONTGOMERY WATSON





MONTGOMERY WATSON



Engesoft

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
2.2. <i>Geologia Local</i> -----	12
2.3. <i>Levantamento Geológico de Superfície</i> -----	17
3. INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO -----	24
3.1. <i>Sondagens a Percussão</i> -----	25
3.2. <i>Sondagens Mistas</i> -----	28
3.3. <i>Ensaio de Campo</i> -----	29
3.4. <i>Comentários</i> -----	30
4. INVESTIGAÇÃO DO SANGRADOURO -----	33
4.1. <i>Sondagens Realizadas</i> -----	34
4.2. <i>Comentários</i> -----	36
5. ESTUDOS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS -----	38
5.1. <i>Jazida de Solos</i> -----	39
5.2. <i>Areal</i> -----	48
5.3. <i>Pedreira</i> -----	49
5.4. <i>Comentários</i> -----	49
6. ANEXOS -----	53



MONTGOMERY WATSON



1. INTRODUÇÃO



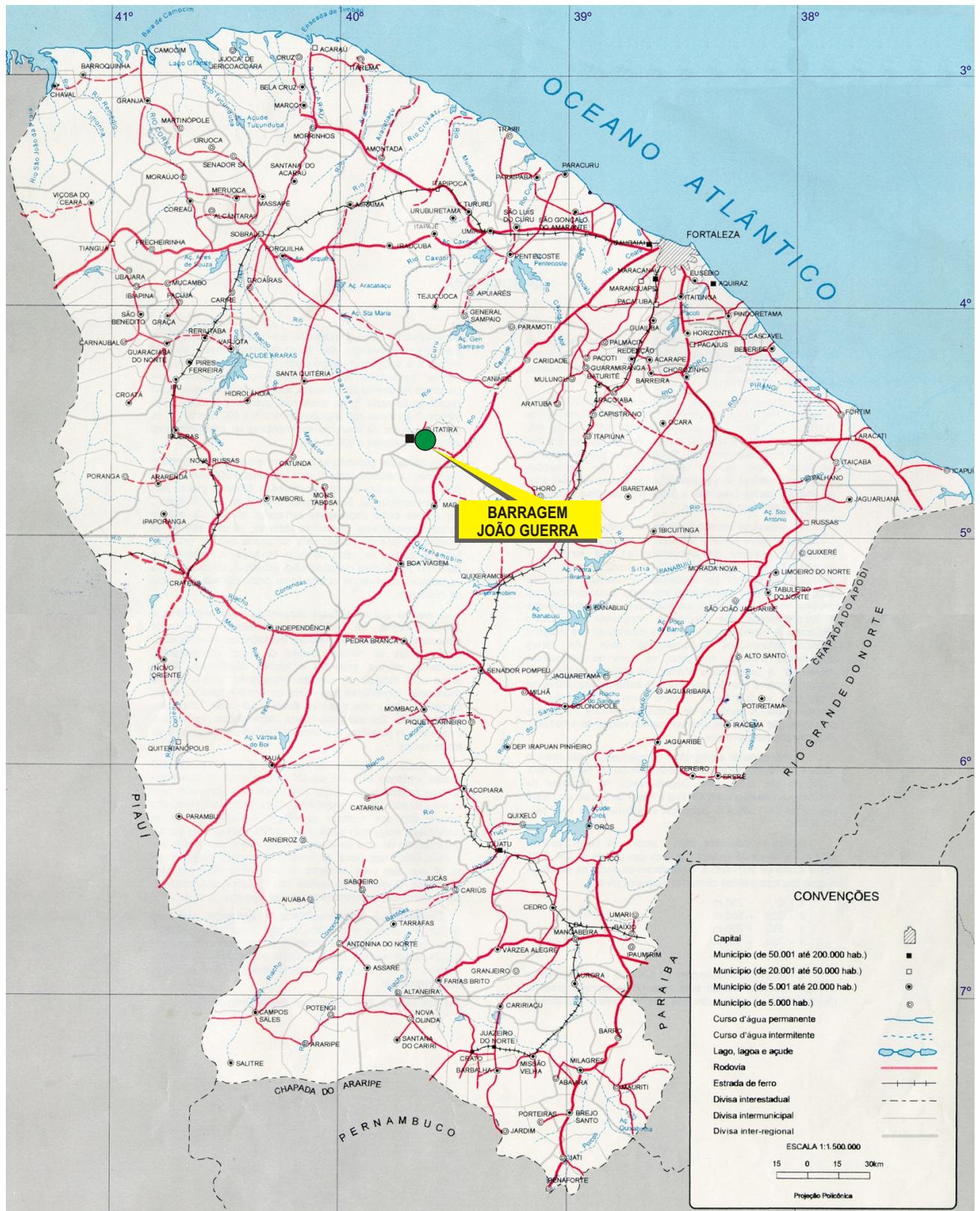
1. INTRODUÇÃO

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 Adutoras 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 João Guerra**, a qual tem por finalidade a criação de um reservatório no rio Treme, integrante da bacia do Jaguaribe, no município de Itatira, 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 João Guerra está situada na microregião geográfica da Bacia do Banabuiú 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 do eixo do sangradouro através de caminhamentos ao longo dos eixos topográficos locados 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 em escala 1:1.000;
- Elaboração de mapa geológico do eixo do sangradouro em escala 1:1.000;
- 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.

Os processos de esculturação do relevo, que culminam com o atual modelo da região, evoluíram principalmente em função das variações litológicas e estruturais, face aos diferentes ciclos geomorfológicos. Esse relevo está inserido em um pediplano de rochas Pré-Cambrianas que abrange uma vasta região, consistindo de um conjunto profundamente arrasado, cuja monotonia de formas suavemente onduladas é interrompida por forte rutura de declive com morros e serrotes residuais, formados por migmatitos e granitóides mais resistentes. A declividade dos talwegues é pequena, formando vales abertos, algumas vezes com extensas planícies de inundação, separados 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.

Foram mapeadas em escala regional seis unidade litoestratigáficas pertencentes ao Pré-Cambriano, diferenciadas e agrupadas com base nas características litológicas, portanto, indiferenciadas estratigraficamente, sem que seja estabelecida sua sucessão espacial e temporal, conforme descritas a seguir:

- **Complexo Caicó:** ocupa praticamente a totalidade da área. A unidade é definida litologicamente por uma sequência constituída de gnaisses variados, que inclui lentes de metarcósios, anfíbolitos, quartzitos e calcários cristalinos subordinados, além de migmatitos com estruturas diversas, desde as mais foliadas, próprias dos gnaisses até as mais homogêneas, como a dos anatexitos. As fácies gnáissicas mais comuns são biotita-gnaisses e hornblenda-biotita-gnaisses, muitas vezes ricas



em biotita e em alguns locais enriquecidas com moscovita. Na região de Itataia, próximo a Itatira, essa sequência é composta por uma unidade basal migmatítica, seguida de um delgado e descontínuo pacote quartzítico, sotoposto a gnaisses e calcários cristalinos (mármore). Ocorrem com frequência na região, migmatitos de estruturas dobradas, gnaisses migmatizados, ricos em granada e corpos pegmatóides subconcordantes. Desenvolve-se próximo aos falhamentos uma intensa feldspatização, com migmatitos de estrutura oftálmica. Os quartzitos são sobrejacentes aos migmatitos e formam um pacote pouco espesso, de algumas dezenas de metros, aflorando em alguns locais, formando as cristas da Serra do Céu e Mata Fome. Os anfibolitos são rochas esverdeadas, formando pequenas lentes quando encaixadas nos migmatitos e lentes maiores quando encaixadas em gnaisses. A sequência carbonática compreende um conjunto de litologias congênicas que gradam desde mármore puros, de textura sacaroidal até termos mais impuros, ricos em piroxênio, anfibólio e flogopita. Contrastando com o padrão linear que domina na área, ocorre a sudoeste de Itatira uma feição morfotectônica peculiar, de formato semi-circular, formando um sistema radial de fraturamento associado a falhas indiscriminadas de pequeno rejeito. Esta estrutura é margeada por um cordão de calcário cristalino (mármore). Na parte central desta estrutura dômica afloram rochas gnáissicas injetadas por corpos filoneanos de composição granítica, com textura pegmatítica e aplítica. Alguns autores defendem a hipótese de que esta estrutura foi gerada a partir de um corpo plutônico não aflorante de composição granítica, representado na área apenas por apófise (digitação de uma massa intrusiva penetrando na rocha encaixante), diques e cúpulas (alguns já epissienitizados), cortando as rochas gnáissicas carbonáticas da sequência metassedimentar.

- **Rochas Plutônicas Granulares:** essa unidade inclui as rochas com características texturais, petrográficas e estruturais semelhantes às rochas formadas na profundidade. São divididas em granitóides e



gabróides. No grupo dos granitóides estão incluídos os granitos, que mostram textura equigranular, ocasionalmente porfiróide. No grupo dos gabróides, a rocha apresenta uma morfologia plana e uma forte orientação textural, devido a sua intimidade com litologias gnáissicas. São de granulometria média a grossa, textura granular orientada, podendo eventualmente apresentar alguma litologia da família do gabro. Seus contatos com as rochas circunjacentes são transicionais.

- **Complexo Tamboril/Santa Quitéria:** essa unidade compreende litologias como gnaisses migmatíticos (com estruturas flebítica, estromática e oftálmica), migmatitos (com estrutura “schlieren”, nebulitos e anatexitos, dominantes) e granitóides variados. Os contatos com as rochas do Complexo Caicó podem ser transicionais, tectônicos ou eventualmente bruscos. Nos contatos transicionais ocorre quase sempre uma faixa marginal onde se observa a mudança de rochas amplamente foliadas para aquelas mais migmatizadas, características da unidade ora enfocada. A fácies dominante dessa unidade corresponde aos migmatitos homogeneizados, que são leucocráticos, de cor cinza a rósea, granulação fina a grossa, e constituídos essencialmente de quartzo, feldspato (plagioclásio e microclina), biotita, moscovita, hornblenda e granada subordinada.
- **Complexo Independência:** Essa unidade é formada por uma associação litológica onde estão incluídas sequências de biotita-gnaisses, gnaisses leucocráticos, hornblenda-biotita-gnaisses granadíferos, além de quartzitos e gnaisses migmatíticos. Na ocorrência próxima à localidade de Águas Belas, ao sul de Lagoa do Mato e Itatira, a unidade é constituída de paragnaisses com intercalações de lentes anfibolíticas e de calcários cristalinos, mostrando foliação orientada segundo o “trend” da estruturação regional, apresentando uma morfologia suavemente ondulada.



- **Grupo Ceará:** esta unidade a sudoeste de Itatira, próximo à localidade de Águas Belas. É constituída de uma sequência ectinítica, começando com um quartzito basal, geralmente formando cristas alongadas, sobrepondo-se xistos granadíferos e gnaisses. No topo da sequência, geralmente ocupando os eixos das sinclinais, ocorre horizonte carbonático.
- **Diques Ácidos:** esta unidade não mapeável em escala regional, reúne rochas filoneanas como granitos, pegmatitos, veios de quartzo e sílica cripto-cristalina. Estes corpos tabulares ocorrem geralmente preenchendo fraturas, concordantes ou não com a estruturação regional.

Constituindo as unidade do Cenozóico estão presentes os diques básicos pós-cretáceos e as aluviões, do Quaternário:

- **Diques Básicos:** são representados por diques de diabásio, com direção aproximada E-W.
- **Aluviões:** representam os sedimentos arenosos inconsolidados depositados no leito e nas margens dos principais rios e riachos.

Ocorre ainda na região, no município de Santa Quitéria, mas já bem próximo de Lagoa do Mato, um elemento de destaque, que é a “Jazida Fósforo-Uranífera de Itataia”, que está inserida no contexto do Complexo Caicó, e compõe-se de um espesso pacote constituído de silimanita-granada-biotita-gnaisses, com ou sem anfibólio e calcários cristalinos (mármore). Este pacote apresenta-se dobrado e falhado de maneira complexa, e exhibe inúmeros corpos filoneanos já bastante transformados por fenômenos metassomáticos. A jazida se caracteriza pela originalidade do fenômeno mineralizante que a constitui, com associação de urânio e fósforo em teores bastante elevados. O colanfanito é a rocha hospedeira do urânio; trata-se de uma rocha de coloração acastanhada, constituída essencialmente por colofana (80%) e preenchendo fraturas, fissuras e cavidades de dissolução e/ou substituindo o feldspato das rochas hospedeiras. Ocorre



principalmente sob a forma de “stockwork”, preferencialmente ligada à sequência carbonática.

No que tange à condição estrutural pode-se afirmar que a região possui uma grande complexidade estrutural, abrangendo a faixa de dobramentos Caririanos de idade Pré-Cambriana. Esta complexidade tem causado entre os estudiosos, várias divergências de ordem conceituais, evolutivas e terminológicas. Regionalmente observa-se um embasamento metassomático e uma faixa linearmente dobrada. O embasamento metassomático é representado por um complexo antigo, de domínio ensiálico, o qual foi submetido a constantes e prolongados processos de migmatização e granitização, constituindo a infraestrutura da região dobrada. As falhas transcorrentes do Rio Groaíras e Sabonete-Inharé (sinistras ou levóginas) e o empurrão da Serra do Céu, constituem elementos tectônicos importantes. As duas primeiras formam um par cisalhante, fazendo um ângulo entre si. A falha do Rio Groaíras possui direção segundo NW-SE, com rejeito à esquerda e se estende por mais de 150Km. Na Fig. 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 – 39° 30’ a 40° 00’ de longitude oeste e Paralelos 4° 00’ a 5° 00’ de latitude sul, compilada do Mapa Geológico do Estado do Ceará, em escala 1:500.000, elaborado em 1983.

2.2. GEOLOGIA LOCAL

A área estudada fica no município de Itatira, próximo à localidade de Lagoa do Mato, no Estado do Ceará.

A geologia local representa basicamente a sequência litológica que forma o complexo de rochas cristalinas pré-cambrianas classificadas principalmente no Complexo Caicó, muitas vezes recortada por veios de quartzo e rochas pegmatíticas que formam os diques ácidos. Há uma predominância das rochas gnaissicas, que apresentam foliação bem desenvolvida e muitas mostram



estruturas migmatizadas. Na porção leste da área de ocupação da bacia hidráulica há ocorrências predominantes de rochas graníticas, caracterizando a presença de rochas plutônicas granulares. Nessa área de ocorrência granítica se forma uma elevação com cota superior a 450m, apresentando na face virada para SE uma escarpa vertical que pode sugerir um plano de falha (Foto N° 01).

GEOLOGIA REGIONAL

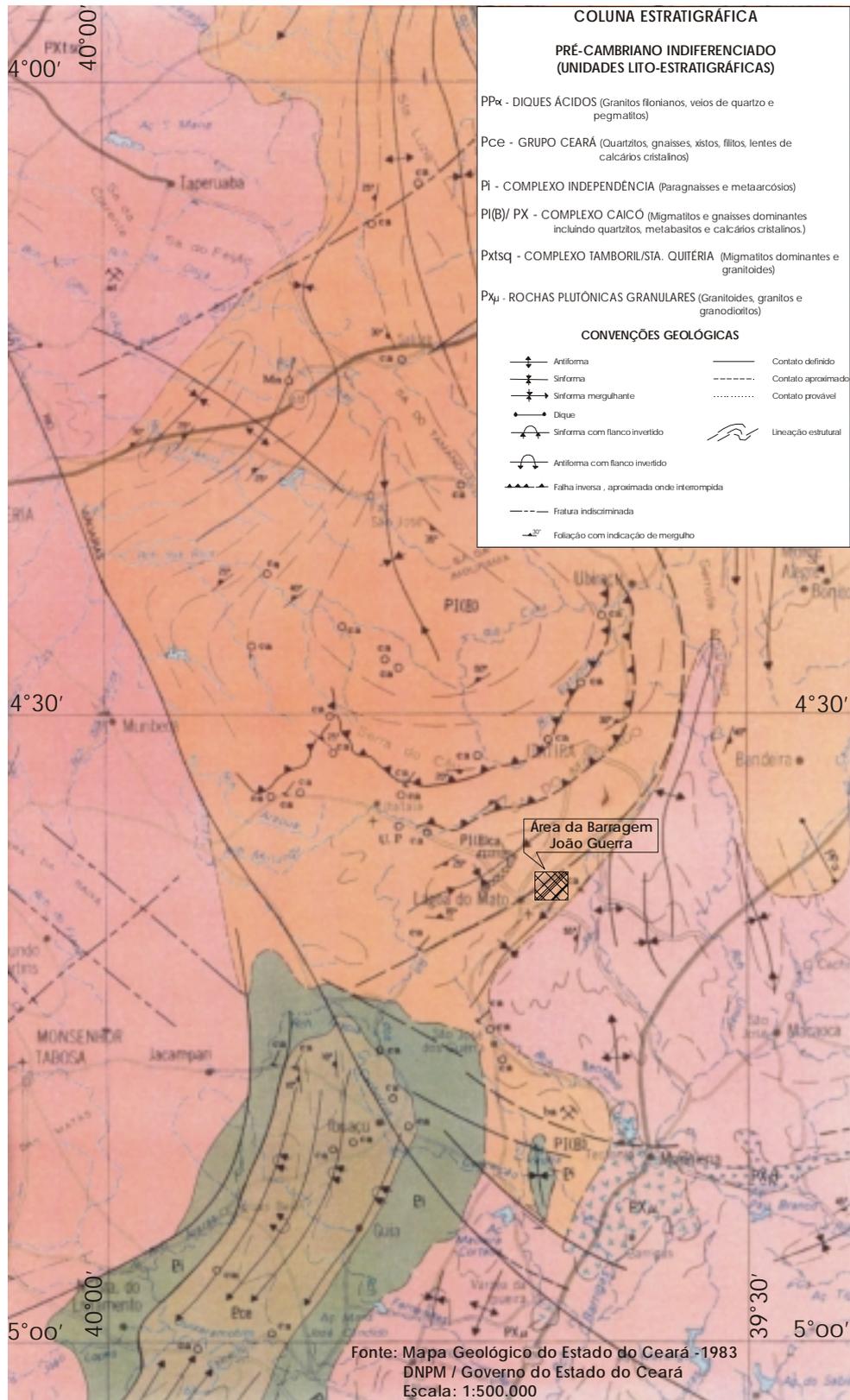


Figura N° 2.2 – Geologia Regional



Pelo lado oeste da área de ocupação da bacia hidráulica foram visualizadas inúmeras ocorrências de biotita-xisto, formando na maioria das vezes afloramentos a nível superficial de solo, ocorrendo de forma alternada com gnaisses e muitas vezes associadas a quartzito, granito, anfibolito e rochas milonitizadas.

A presença do calcário cristalino foi percebida em duas ocorrências situadas à montante, próximas do eixo da barragem. A rocha apresenta cor clara, com cristais brilhosos bem definidos, maciça, com aspecto dolomítico. Os calcários e dolomitos são rochas carbonáticas compostas por mais de 50% de minerais carbonáticos (calcita ou dolomita, respectivamente), podendo entretanto possuir 80% a 100% desses minerais. Um fator tranquilizador quanto à preocupação com estanqueidade é que o calcário cristalino ou dolomítico é relativamente mais duro e insolúvel do que os calcários.

No eixo da barragem, em toda a faixa que vai desde a margem direita do rio até a ombreira direita, há uma predominância das rochas gnáissicas migmatíticas, recortadas em uma faixa intermediária por uma extensa mancha de solo de alteração de anfibolito (Foto N° 01), contendo de forma dispersa alguns pontos aflorantes. No lado esquerdo da barragem, com relação ao leito do rio, ocorrem de forma dominante biotita-xistos e quartzitos. O local do sangradouro situa-se em uma área onde há um domínio total dos gnaisses e migmatitos.

Os depósitos aluvionares ocorrem principalmente nos leitos e margens dos rios São Joaquim e Santa Rosa, e são formados por areias de cor clara, e granulometria média a grossa nos leitos, e siltes areno-argilosos nos terraços que se formam nas margens, sendo que no cruzamento com o eixo da barragem ocorrem com uma largura bastante modesta.

O padrão de drenagem segue o comportamento geral visto de forma regional, ou seja, mostrando o modelo dendrítico que é condicionado pela estruturação das rochas cristalinas pré-cambrianas, em que os rios e riachos seguem os sistemas ortogonais de fraturamentos das rochas.

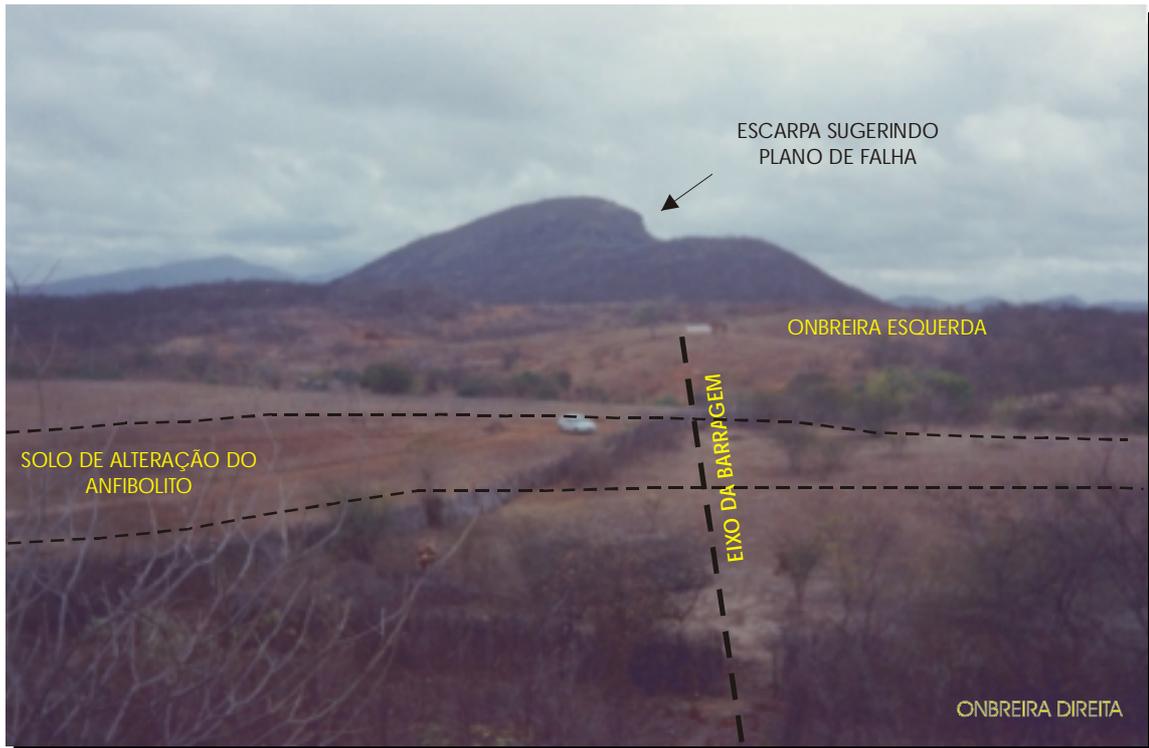


Foto N° 01 - Eixo da barragem visto da ombreira direita para esquerda, mostrando os contatos com a mancha de solo alterado do anfibolito. No plano superior vê-se a elevação granítica escarpada, sugerindo um plano de falha.

No conto geral a foliação é orientada predominantemente segundo a direção NW-SE., com mergulho sub-horizontal (em torno de 30°) para NE, ocorrendo localmente algumas variações.

2.3. LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE

O levantamento geológico de superfície realizado ao longo dos eixos topográficos locados para a barragem e o sangradouro, e ao longo da área que será ocupada pela bacia hidráulica teve como principal objetivo a identificação dos tipos litológicos ocorrentes, visando a definição dos traçados dos contatos litológicos e não necessariamente geológicos, já que via de regra, no âmbito regional, considerando em caráter mais abrangente, 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 **00 a 3 + 10,00m**: nesta área, estendendo-se para montante e para jusante, há uma grande alternância de afloramentos de quartzito e biotita-gnaissse, com predominância do quartzito, que em alguns locais também se confunde com a estrutura xistosa. Em alguns desses afloramentos foram visualizados, de forma impregnada, concentrações de um mineral muito resistente, difícil de ser quebrado com martelo, podendo ser cianita ou até mesmo silimanita. O mineral se apresenta em pequenos prismas alongados, de cor esverdeada a azulada, translúcidos, dispersos aleatoriamente na rocha, chegando a formar concentrações de cristais isolados ou agregados. A presença da cianita juntamente com preenchimentos pelíticos, evidenciados na rocha, indica um metamorfismo de média a alta pressão. A cianita é um mineral que tem na sua composição silicato de alumínio e geralmente ocorre como um mineral acessório no gnaissse e no mica-xisto, podendo aparecer também associado a veios de quartzo, associado muitas vezes com a granada. As medidas de atitude de foliação obtidas indicam um direcionamento preferencial segundo NW-SE, com mergulhos suaves para NE. Essa direção se faz praticamente perpendicular ao eixo da barragem, concordantemente com a direção de percolação.
- Da estaca **3 + 10,00m a 9+10,00m**: As ocorrências de biotita-xisto passam a predominar nessa área, principalmente para jusante e estendendo-se para montante numa faixa paralela ao eixo da barragem de 40m de largura, fazendo contato com o biotita-gnaissse. A área situada à jusante é escassa em afloramentos, apresentando uma cobertura de solo argilo-arenoso resultante da alteração da rocha, formando um relevo suavemente ondulado, recortado em alguns locais por veios de pegmatito com muito feldspato, intensamente alterado e fragmentado, preenchendo fraturas lineares discordantemente com a foliação. Nos pontos onde aflora, a rocha apresenta-se muito alterada, com planos de xistosidade bem definidos, granulação fina a grossa, muito micácea, de cor cinza, mesocrática. A área à montante dominada pelos biotita-gnaisses é praticamente toda constituída de afloramentos



de grande porte, ora em forma de blocos ora em forma de lajedos com alternância de bandas máficas e félsicas, com foliação bem definida, algumas vezes apresentando fenocristais de feldspato. Na estaca 9 +10,00m essas rochas fazem contato com a aluvião ou afloram formando barreiras no leito do rio São Joaquim. Ao longo do rio, mais ou menos 100m à jusante ocorrem alguns afloramentos de gnaiss e micaxisto e se percebe a presença de um dique de anfibolito encaixado no gnaiss, preenchendo uma fratura no sentido NW-SE, concordante com a foliação.

- Da estaca **9 + 10,00m a 11 + 5,00m**: A faixa de aluvião formada pelo rio no eixo da barragem não ultrapassa a largura de 40 metros de uma margem para outra. No leito do rio a areia possui granulometria fina a média, com pedregulhos e cascalhos e presença de mica; nas margens ocorre silte areno-argiloso de granulometria fina e cor cinza clara.
- Da estaca **11 + 5,00m a 15 + 10,00m**: A partir da margem direita do rio o terreno apresenta uma topografia mais suave, com ausência de afloramentos, apresentando um solo silto-arenoso de coloração amarelada, provavelmente de alteração de gnaiss.
- Da estaca **15 + 10,00m a 20 + 5,00m**: Nessa faixa o terreno mantém ainda uma topografia plana e o solo muda as características, se tornando mais argiloso com coloração mais escura (Foto N° 01), podendo ser originário de uma rocha anfibolítica ou de um mica-xisto associado a anfibolito, formando uma extensa faixa encaixada no gnaiss, se estendendo de montante para jusante perpendicularmente ao eixo da barragem. Foram localizados alguns afloramentos de anfibolito, tanto à montante como à jusante, cujas medidas de atitudes revelam uma orientação segundo NW-SE, com mergulho acentuado, entre 70° a 80° para NE. Numa área situada entre 80m a 140m para montante a topografia do terreno se eleva formando um morro com vários afloramentos dispersos de anfibolito, em forma de blocos.



- Da estaca **20 + 5,00m a 30**: Há nessa área o domínio dos gnaisses migmatíticos, com a maior parte dos afloramentos ocorrendo para jusante, principalmente quando dissecados pelas grotas. Nessa área o terreno é mais abaulado e acidentado. Entre as estacas 23 a 25, no eixo, corre um grande afloramento que se destaca na topografia (Foto N° 02), mostrando diversas estruturas de movimentação, evidenciando-se estruturas nebulíticas, shlierien e boudinage (Foto N° 03). Foi visualizado também um plano de cisalhamento onde ocorre uma sequência de dobramentos de arrasto com deslocamentos causados por fratura de movimento horizontal destal (Foto N° 04). Em outro afloramento na área ocorrem dobramentos do tipo “bainha”, que indicam três fases distintas de dobramento. As medidas de atitude de foliação mostram uma direção preferencial no sentido NW-SE, com mergulho de 20° para SW. As rochas ácidas filoneanas ocorrem principalmente nas áreas próximas às ombreiras, sendo representadas por veios de pegmatito e de quartzo, preenchendo fraturas concordantes ou não com a foliação.



Foto N° 02 – Grande afloramento de gnaiss migmatítico na ombreira direita, no eixo, entre as estacas 23 a 25.



Foto N° 03 – Estrutura de boudinage, evidenciando movimentos extensionais, relacionados a eventos de transcorrência.

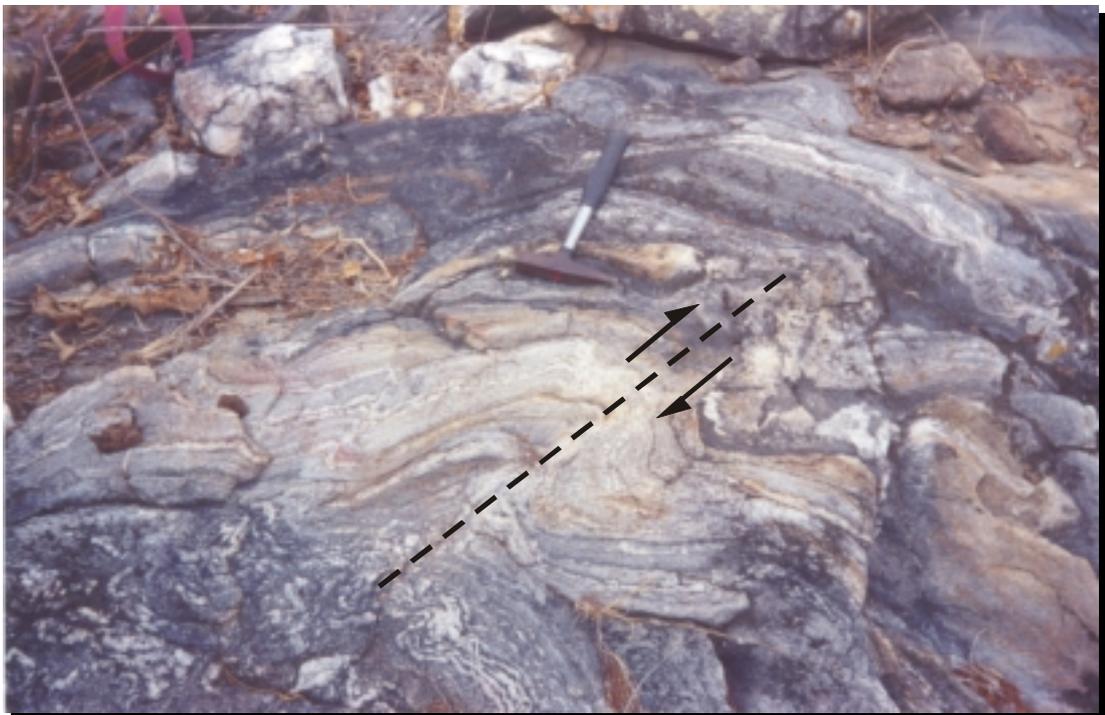


Foto N°04 - Plano de cisalhamento (N48° Az) com pequenos dobramentos de arrasto com deslocamentos causados por falhamento transcorrente, de movimento dextral.



O eixo do sangradouro, que fica localizado em uma área afastada do eixo da barragem, situa-se num contexto de rochas gnáissicas migmatíticas, apresentando via de regra um aspecto são, com boas qualidades mecânicas. As medidas de atitudes de foliação mostram uma direção preferencial segundo NE-SW, com mergulhos que variam de 15° a 50° para NW, indicando que a foliação da rocha se comporta obliquamente em relação ao eixo do sangradouro.

Estruturalmente, na área escolhida para o barramento, nenhuma ocorrência de maior porte foi identificada. No local do sangradouro foi visualizada uma fratura cortando transversalmente o eixo entre as estacas 8 e 9, discordantemente com a foliação. A linearidade do talvegue da grota que se desenvolve ao longo do canal de sangria também sugere a existência de uma fratura ou falha.

A partir de 318 direções de fraturas medidas nas rochas aflorantes, em toda área, incluindo barragem e sangradouro, foi elaborado o Diagrama de Roseta para definição da direção preferencial média percentual, que conforme mostra a Figura nº 2.3, se dá segundo NW-SE, concentrando-se principalmente entre N90°Az a N100°Az, representando um percentual de 17,3% do total medido e entre N120°Az a N130°Az, representando 12,6%. O mergulho se dá preferencialmente subvertical (60° a 80°) para SW.

São apresentados no item Anexo, deste relatório, os mapas geológicos da barragem e sangradouro (Figura nº 2.4), contendo as unidade litológicas identificadas e os principais afloramentos de rocha que foram mapeados, bem como o mapa geológico contendo as unidades litológicas da bacia hidráulica (Figura nº 2.5).

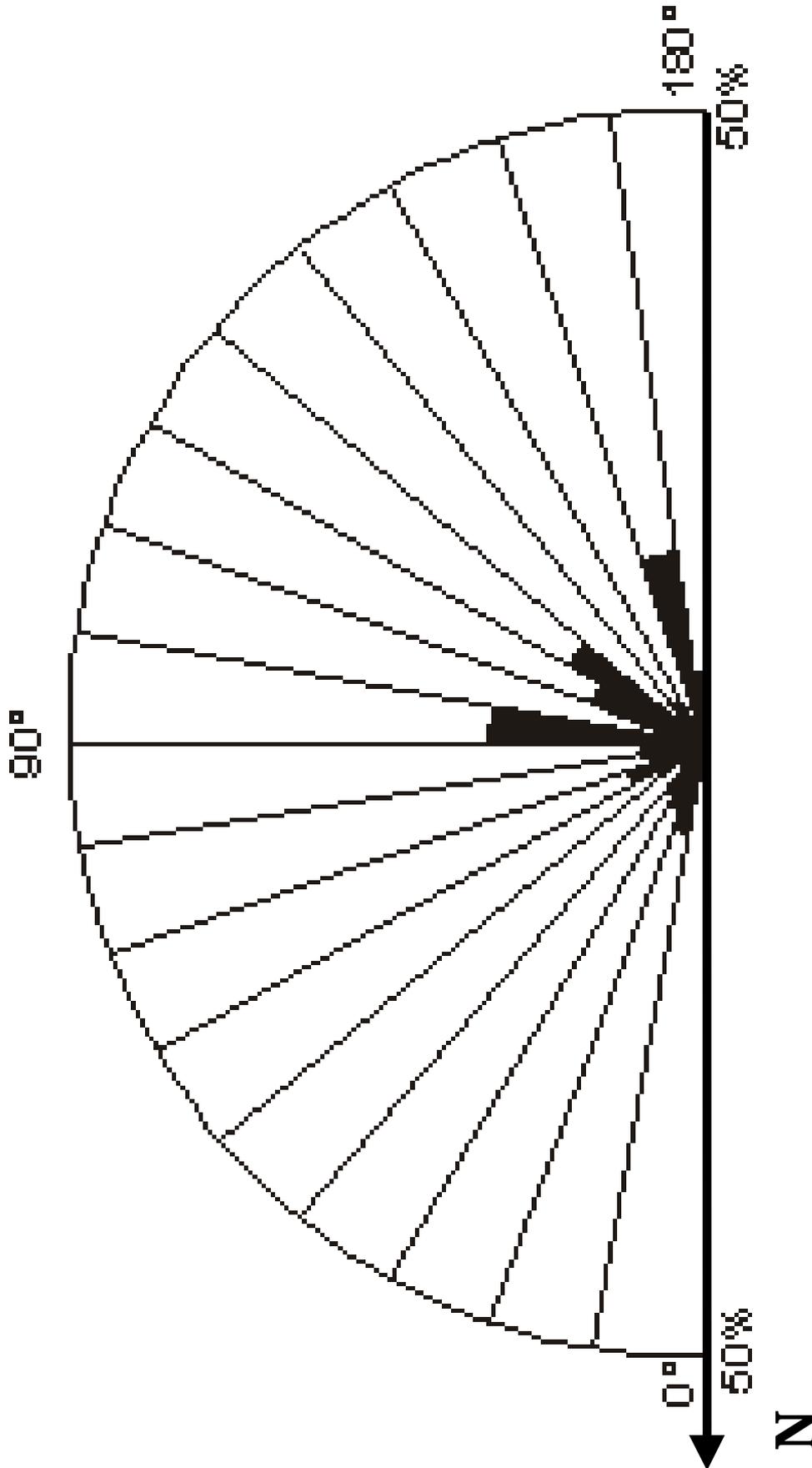


Figura nº 2.3 - Diagrama de Roseta para 318 medidas de direções de



MONTGOMERY WATSON



3. INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO



3. INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO

3.1 SONDAGENS REALIZADAS

As investigações geotécnicas realizadas no local do maciço 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 17 prospeções mecânicas, sendo 8 sondagens à percussão e 9 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa), nas posições indicadas na figura nº 3.1 , apresentada a seguir.

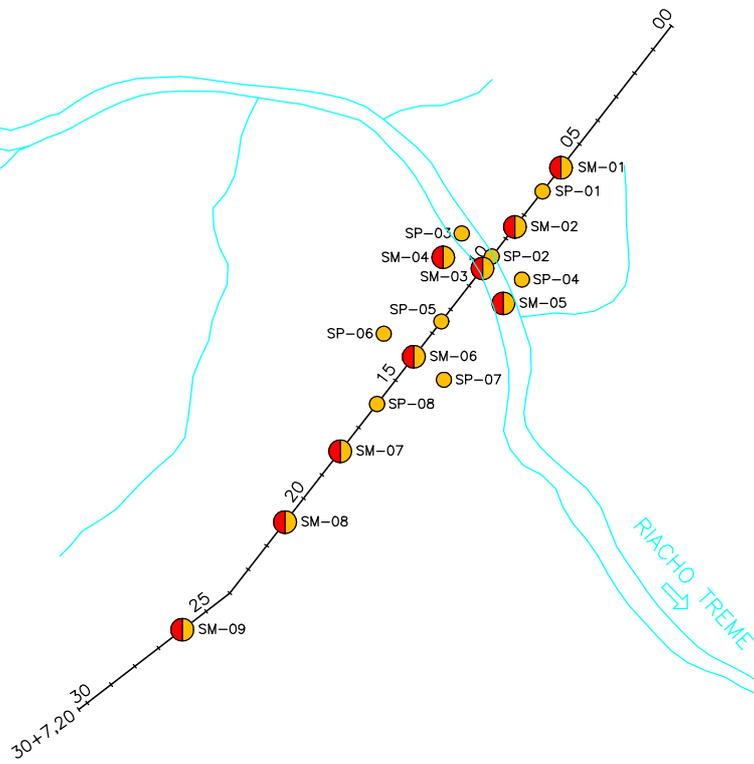
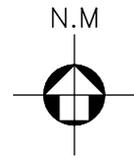
Com o intuito de avaliar a permeabilidade dos solos da fundação e obter informações qualitativas sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso, foram realizados ensaios de campo em todos os furos das sondagens mistas do eixo. No trecho em solo, estes testes consistiram de ensaios 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 JOÃO GUERRA

ESCALA:

1:5.000

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 N° 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 compactidade ou consistência.

Tabela N °3.1: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem João Guerra							
Sondagem Percussiva							
N°	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada	SPT Mínimo	Compactidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
SP-1	7 (eixo)	428.561	9.484.831	373,67	3,27	5	Pouco compacta
SP-2	9+15 (eixo)	428.527	9.484.787	363,01	3,85	1	Fofa
SP-3	9+15 (25m para montante)	428.507	9.484.803	362,17	5,75	1	Fofa
SP-4	9+15 (25 m para jusante)	428.547	9.484.772	363,21	1,73	2	Fofa
SP-5	12+10,00 (eixo)	428.494	9.484.745	364,23	6,20	3	Fofa
SP-6	14 (25m para montante)	428.456	9.484.736	367,00	8,05	7	Pouco compacto
SP-7	14 (25m para jusante)	428.495	9.484.706	363,63	5,94	17	Medianamente compacta
SP-8	16 (eixo)	428.541	9.484.690	368,09	2,61	14	Medianamente compacta

As sondagens percussivas realizadas na região do maciço da barragem totalizaram 37,40m.



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 Nº 3.2: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem João Guerra								
Sondagem Mista								
Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		SPT Min.	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SM-1	6 (eixo)	428.573	9.484.846	376,85	3,24	6,01	12	Gnaisse muito macia a moder. dura, foliada
SM-2	8+10 (eixo)	428.542	9.484.807	367,12	10,04	12,91	21	Gnaisse muito macia a muito dura, foliada
SM-3	10+5 (eixo)	428.515	9.484.772	363,97	5,81	15,00	4	Gnaisse moder. dura a muito dura, foliada
SM-4	10+15 (25 m Mont.)	428.495	9.484.787	364,03	6,78	15,02	3	Gnaisse macia a muito dura, foliada e mica-xisto muito dura
SM-5	10+15 (25 m Jusante)	428.535	9.484.756	360,46	3,82	15,00	2	Gnaisse mod. dura a muito dura, foliada e biotita-xisto
SM-6	14 (eixo)	428.476	9.484.721	364,78	5,89	12,01	2	Biotita- xisto macia a muito dura, xistosa e gnaisse dura
SM-7	18 (eixo)	428.427	9.484.659	369,39	4,85	6,00	12	Biotita- xisto moder. dura a muito dura, xistosa
SM-8	21 (eixo)	428.391	9.484.612	367,91	4,92	8,41	16	Gnaisse muito dura, gran. fina, foliada



Tabela Nº 3.2: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem João Guerra								
Sondagem Mista								
Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		SPT Min.	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SM-9	26 (eixo)	428.323	9.484.541	378,32	1,45	6,05	38	Biotita- xisto muito macia a muito dura, xistosa

Portanto, na região do maciço do barramento foram executadas 9 sondagens mistas, totalizando 143,21 m, dos quais 46,80 m com emprego de sonda percussiva e 96,41 m com sonda rotativa.

3.4 ENSAIOS DE CAMPO

Nas sondagens mistas, trecho em solo, SM-1 a 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 Nº 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 nº 3.3, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais e em fichas de cálculo no Tomo 4 A.

Nas sondagens mistas, trecho em rocha, SM-1 a SM-9, 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 João Guerra							
Ensaios De Campo							
Nº	Estaca	Extensão Sondada	Nº de Ensaios Lefranc	Nº de Ensaios Lugeon	Máxima Permeab. Registrada (cm/s)	Máxima Perda d'água Específica Registrada	Profundidade de máxima Permeab. / Perda D'água
SM-1	6 (eixo)	9,25	-	2		13,16	/9,20 a 12,20
SM-2	8+10 (eixo)	22,95	-	4		1,13	/11,0 a 13,95
SM-3	10+5 (eixo)	20,81	5	5	1,2x10E-4	5,72	4,00 a 4,50 /11,87 a 14,81
SM-4	10+15 (25 m Mont.)	21,80	6	5	2,1x10E-4	4,46	1,00 a 1,50 /6,80 a 9,80
SM-5	10+15 (25 m Jusante)	18,82	3	5	1,6x10E-2	1,50	1,00 a 1,50 /12,82 a 15,82
SM-6	14 (eixo)	17,90	3	4	1,5x10E-4	15,81	1,50 a 2,00 /5,90 a 8,90
SM-7	18 (eixo)	10,85	4	2	1,8x10E-3	1,59	2,00 a 2,50 /7,85 a 10,85
SM-8	21 (eixo)	13,33	4	3	1,2x10E-1	1,47	3,00 a 3,50 /7,92 a 10,92
SM-9	26 (eixo)	7,50	1	2	3,8x10E-4	0	1,00 a 1,50

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:

- Na ombreira esquerda as sondagens mistas SM-01 e 02 (estacas 6 e 8+10) detectaram uma cobertura de solo com 3,24 e 10,04 m de espessura, respectivamente, e a sondagem percussiva SP-01 (estaca 7) uma espessura de 3,27 m. A constituição predominante deste solo é silto arenosa, micácea, com compactidade de medianamente compacto a muito compacto e permeabilidade máxima de 4×10^{-4}
- No leito do rio as sondagens percussivas SP-02, SP-03 e SP-04 indicaram um sedimento de areia fina a média, siltosa com pedregulho, com espessura entre 1,73 e 3,80 m, com compactidade fofa e nível d'água praticamente aflorante. Subjacente a este sedimento encontrou-



se um cobrimento de solo residual, classificado como silte arenoso micáceo, medianamente compacta, com espessura entre 0,85 e 1,95 m.

- c) Na faixa compreendida entre a margem direita do rio e a ombreira direita, entre a estaca 11 a 22, a espessura média total do solo é de 5,28m, sendo que, a 25 m a montante da estaca 14 m foi registrado 8 m de espessura. O nível d'água não foi encontrado. Deve-se levar em conta que essa camada de solo é constituída de aluvião e solo residual, este último situa-se entre a aluvião e substrato rochoso e tem espessura média de 2,4 m, por diferença, portanto, a espessura média do solo de aluvião seria 2,88m.
- d) Ainda nessa faixa, entre a estaca 11 a 22, as sondagens rotativas mostraram no substrato uma alternância de gnaisse e biotita-xisto, ocorrendo com elevado grau de alteração e fraturamento na porção superficial, melhorando a qualidade à medida que se aprofunda. Há variações grandes no RQD, indo desde zero até 100%. O mergulho das fraturas também oscila muito, ocorrendo fraturas diagonais (45°), verticais (90°), subhorizontais (30°) e sub-verticais (70°), muitas vezes com aberturas, mostrando superfícies irregulares com marcas de oxidação que indicaram percolação de fluidos. As fraturas ocorrem também algumas vezes, com preenchimento de minerais (biotita, feldspato, clorita, etc.) ou por argila
- e) Via de regra os ensaios Lugeon foram realizados de forma descendente, com espaçamento de 3 metros na rocha, com inserção de um único obturador. Os resultados obtidos nestes ensaios mostram uma variação na permeabilidade do meio rochoso, com perdas desde zero até valores muito elevados, sendo um fator de preocupação quanto à necessidade de tratamento da fundação através de cortina de injeção de cimento. Na ombreira esquerda os ensaios realizados na sondagem da estaca 8+10 indicaram uma perda d'água máxima de 1,13 l/min/m/atm; na margem direita (junto a calha do rio) os ensaios realizados na sondagem do eixo da estaca 10+15 indicaram uma perda máxima de 5,72



l/min/m/atm, na mesma estaca, porém a 25 m para montante, alcançou o máximo de 4,46 l/min/m/atm e, a 25 m para jusante, o máximo de 1,50 l/min/m/atm. Na faixa entre a margem do rio e a ombreira direita, os ensaios elaborados na sondagem da estaca 14 registraram uma perda máxima de 3,22 l/min/m/atm e na estaca 18, zona de rocha mica-xisto associado a anfibolito, o máximo de 1,59 l/min/m/atm. Nos ensaios da estaca 21, próximo ao sopé da ombreira direita, registrou-se a perda d'água máxima de 1,18 l/min/m/atm. Na sondagem da ombreira direita, estaca 26, os ensaios não registraram perda d'água.

- f) comportamento do fluxo de percolação da água nas fraturas apresenta variações, sendo que predominam os casos: “turbulento com fechamento e de “deformação com abertura”, este último sempre verificado quando os valores de perda foram mais elevados.
- g) Na ombreira direita, entre as estacas 22 a 30m, observou-se a ocorrência de grandes afloramentos de gnaisses migmatíticos entre as estacas 23 e 25. No entanto a única sondagem realizada nesta ombreira, SM-9, revelou uma espessura de solo de 1,45 m sobrejacente a uma rocha biotita-xisto muito macia, decomposta e muito fraturada, no seu primeiro metro superficial, e a seguir com dureza classificada de medianamente a muito dura, são e pouco fraturada.



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.

Para este fim foram realizados 8 furos de sondagens mistas (iniciado por percussiva e prosseguido com sonda rotativa) e 1 furo de sondagem percussiva, nas posições indicadas na figura nº 4.1, apresentada a seguir. Os resultados destas sondagens são apresentados, também, nos desenhos do Tomo 4 A, sob forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo.

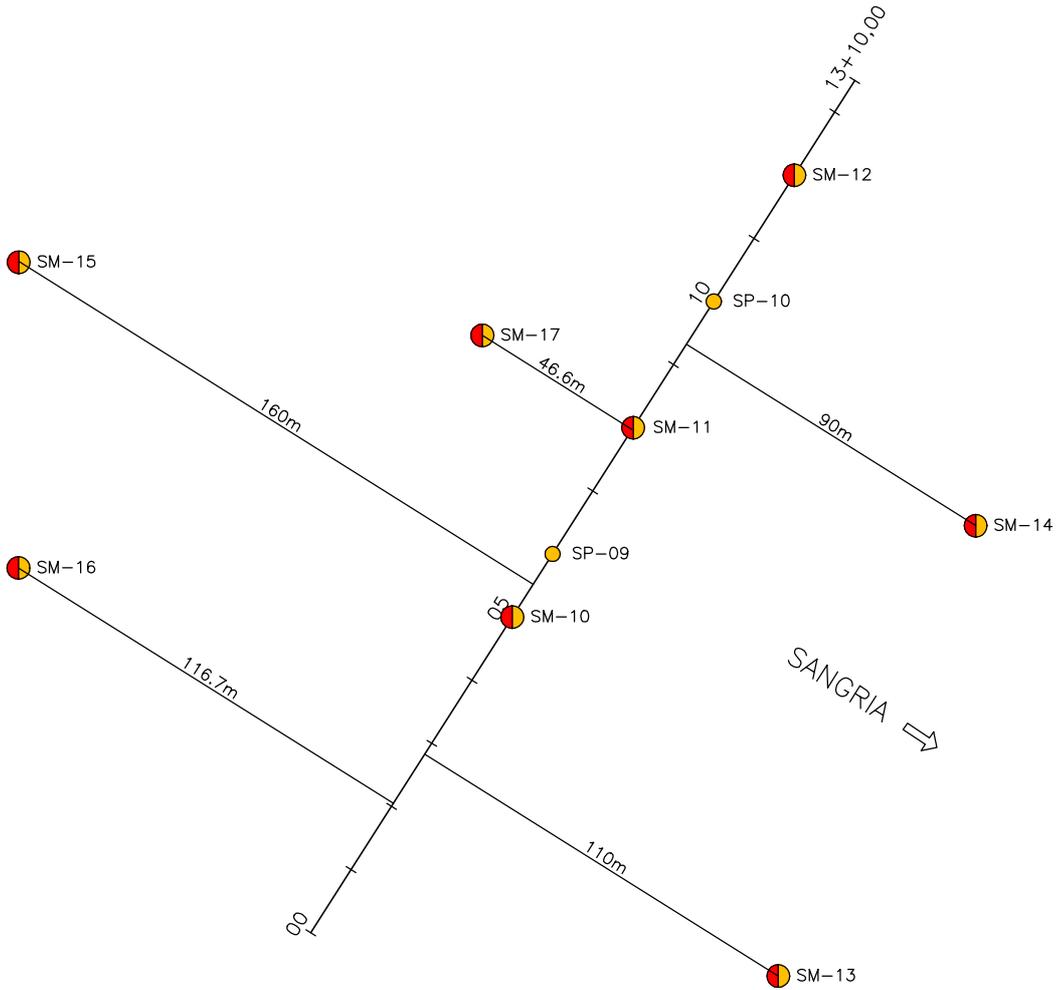
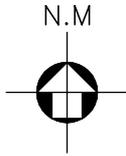
Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

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.

Na Tabela Nº 4.1, a seguir, é mostrada a relação das sondagens mistas realizadas no local do sangradouro.

Tabela Nº 4.1: Investigação Geotécnica da Barragem João Guerra								
Sondagens Mistas no Sangradouro								
Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	Grau de intemperismo
		Este (X)	Norte (Y)		Percus	Rotat.		
SM-10	5 (eixo)	428.622	9.485.747	378,39	0,50	6,01	Biotita-Xisto, moder. dura a muito dura, gr. fino, xistosa	Sã
SM-11	8 (eixo)	428.654	9.485.798	375,42	4,60	5,94	Biotita-Xisto, muito dura, gr. fino, xistosa	Sã
SM-12	12 (eixo)	428.697	9.485.865	375,91	0,90	6,04	Biotita-Xisto, muito dura, gr. fino, xistosa	Sã

INVESTIGAÇÃO NO SANGRADOURO



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM JOÃO GUERRA

ESCALA:

1:2.000

DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

4.1

**Tabela Nº 4.1: Investigação Geotécnica da Barragem João Guerra
Sondagens Mistas no Sangradouro**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	Grau de intemperismo
		Este (X)	Norte (Y)		Percus	Rotat.		
SM-13	2+16,4 (110 m Jusante)	428.692	9.485.651	373,15	6,80	6,09	Gnaiss, foliada e Biotita-Xisto, xistosa moder. a muito dura,	Ligeiramente a moderadam. intemperizada
SM-14	9+6,40 (90m Jusante)	428.593	9.485.868	378,06	0,90	6,20	Biotita-Xisto, dura a muito dura, gr. fino, xistosa	Sã
SM-15	5+10,30 (160 m Montante)	428.493	9.485.842	377,83	3,30	6,15	Biotita-Xisto, moder. dura a muito dura, gr. fino, xistosa	Ligeiramente intemperizada a sã
SM-16	2+1 (116,7 m Montante)	428.492	9.485.759	377,49	0,95	6,09	Biotita-Xisto, muito dura, gr. fino, xistosa	Sã
SM-17	7+19,3 (46,6 m Montante)	428.615	9.485.822	374,39	1,30	6,10	Biotita-Xisto, muito dura, gr. fino, xistosa	Sã

As sondagens mistas realizadas na área do sangradouro totalizam 19,25m de perfurações percussivas e 48,62 m de perfurações rotativas.

Na tabela 4.2 é apresentada as características da sondagem percussiva realizada na região do sangradouro.

**Tabela Nº 4.2: Investigação Geotécnica da Barragem João Guerra
Sondagem Percussiva no Sangradouro**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota da boca (m)	Extensão do furo (m)	Cota do impenetrável (m)
		Este (X)	Norte (Y)			
SP-9	6 (eixo)	428.633	9.485.764	376,79	1,80	374,99

Portanto, a investigação percussiva no local do sangradouro totalizou 1,80 m.

4.2. COMENTÁRIOS

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



- a) A espessura média do solo de recobrimento sobre o topo rochoso foi avaliada em 2,34 m, sendo os valores limites de 0,50 e 6,80 m. No eixo do sangradouro verificou-se que na região das ombreiras o recobrimento de solo é menos espesso, na ordem de 0,50 a 0,90 m, e na região central alcança cerca de 4,60 m.
- b) Da análise geral das oito sondagens rotativas executadas na área do sangradouro percebe-se que a rocha perfurada constituiu-se predominantemente de biotita-xisto, são, dura a muito dura, ou seja, com características mecânicas indicativas de boa qualidade. Há, porém, alguns casos em que a rocha, mesmo com este grau de sanidade, é bastante fraturada, com baixos valores de RQD, o que acarretou inclusive perda total da água de circulação durante a perfuração.



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 4 jazidas de solos, 1 pedreira e um areal, cuja situação em relação ao eixo pode ser vista na figura nº 5.1.

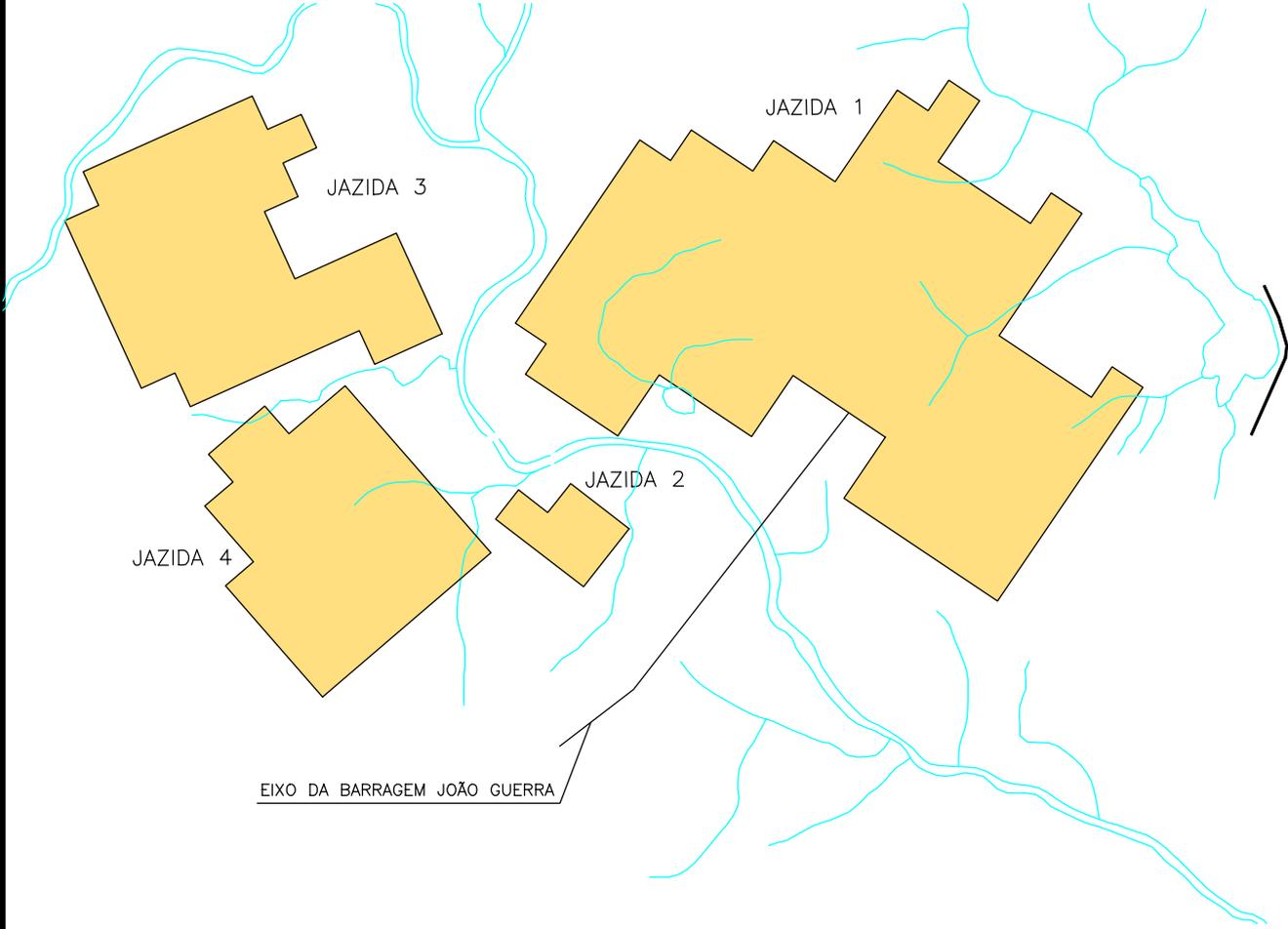
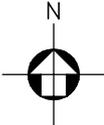
A fonte de obtenção de material pétreo foi considerada as escavações obrigatórias do sangradouro, já que a qualidade da rocha é considerada boa e o volume é suficiente para atender as demandas.

Para o fornecimento de agregado miúdo para os concretos e elemento filtrante e drenante dos filtros indicou-se os bancos de areia existentes ao longo do riacho Treme e seu afluente o riacho Santa Rosa. Embora as calhas dos riachos não tenham larguras expressivas, os bancos ocorrem quase de forma contínua, sendo possível a obtenção dos volumes necessários através de uma exploração de uma extensão à montante e jusante do eixo da barragem.

5.1 JAZIDA DE SOLOS

A jazida J-01 situa-se em uma área da ombreira esquerda, que tanto se desenvolve para montante como para jusante do eixo, com sua zona central distando cerca de 0,20 km para a estaca zero. A jazida J-02 constitui-se numa pequena área, a cerca de 0,15 km a montante do eixo, na zona aluvionar do rio. A jazida J-03 situa-se a montante do eixo, em zona elevada à direita do riacho São Joaquim, distando para a estaca zero cerca de 1,2 km. A área onde situa-se a jazida J-04 fica a montante do eixo, no lado direito do riacho Treme, distante cerca de 0,95 km para a estaca zero.

LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS
DE MATERIAIS CONSTRUTIVOS



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM JOÃO GUERRA

ESCALA:
1:10.000

DATA:
JAN./2002

FIGURA N° :
5.1



As jazidas de solos foram estudadas através de sondagens a pá e picareta executadas nos vértices de uma malha quadrada de 50 m de lado, cobrindo a área a ser explorada, conforme é mostrado nas figuras nºs 5.2 a 5.5, apresentadas 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. 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)

A tabela 5.1 apresenta um resumo das características gerais das jazidas e a tabela 5.2 um quadro com os volumes expurgável e utilizável de cada jazida.

Tabela 5.1: Características Gerais das Jazidas				
	Jazida J - 01	Jazida J - 02	Jazida J - 03	Jazida J - 04
Proprietários	Wagner Diógenes	Azaias Bessa	Azaias Bessa	Azaias Bessa
Área Estudada (m²)	287.500	12.500	112.500	90.000
Nº de poços executados	148	11	64	50
Espessura média do expurgo (m)	0,10	0,10	0,10	0,10
Espessura média de material utilizável (m)	0,84	0,67	0,64	0,57
Volume de expurgo (m³)	28.750	1.250	11.250	9.000
Volume de material utilizável (m³)	241.500	8.375	72.000	51.300
Distância ao eixo da barragem (m)	644	261	1244	918



Tabela 5.2: Volume de Materiais das Jazidas		
Local	Volume (m³)	
	Utilizável	Expurgável
Jazida J - 01	241.500	28.750
Jazida J - 02	8.375	8.375
Jazida J - 03	72.000	72.000
Jazida J - 04	51.300	51.300
Volume Total	373.175	160.425

Nas Tabelas Nº 5.4 e 5.5 são mostrados os resumos dos resultados dos ensaios de laboratório.

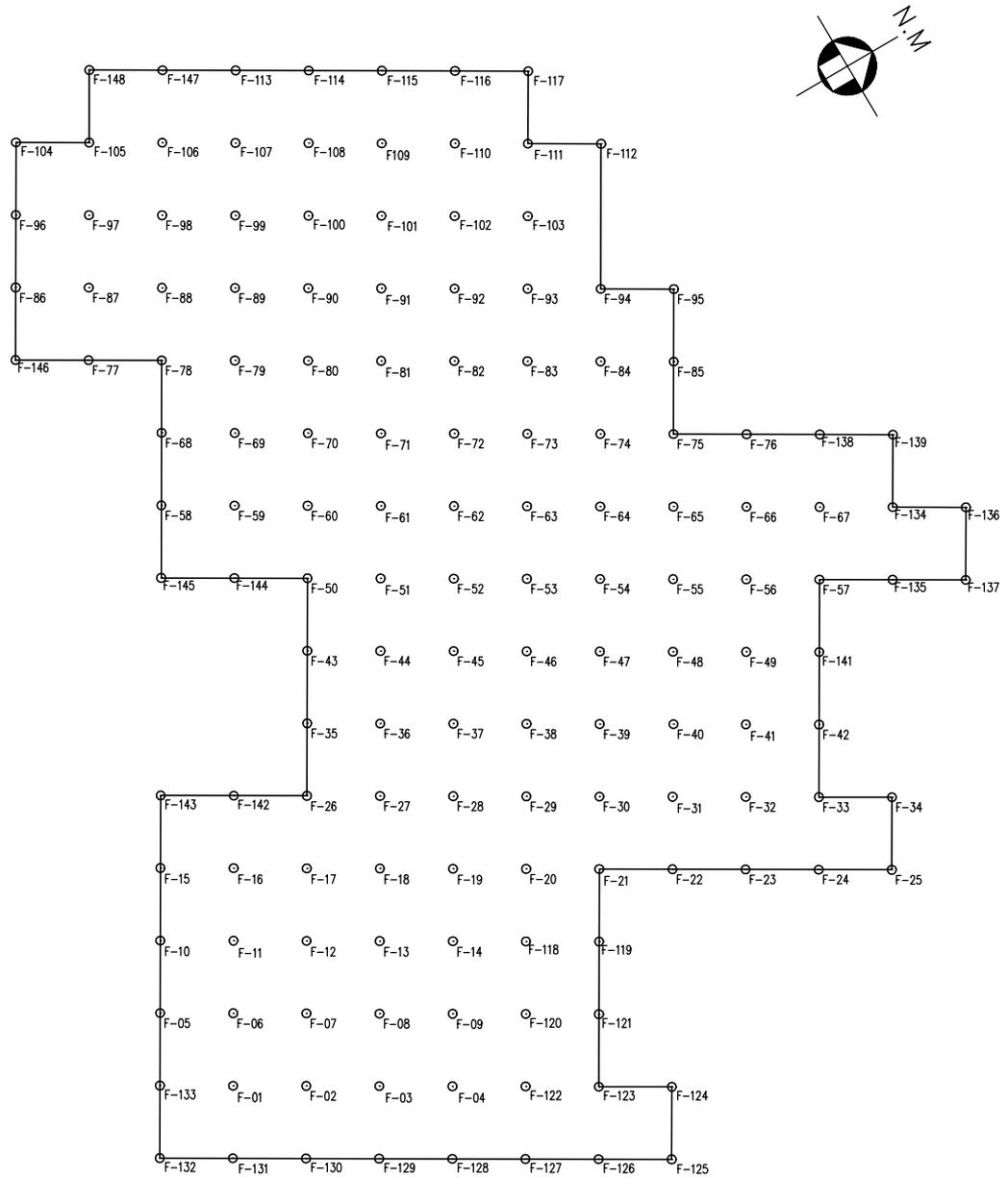
Além dos ensaios geotécnicos de laboratório anteriormente mencionados, foram realizados os seguintes ensaios especiais nas ocorrências de solo:

- Permeabilidade de Carga Variável.
- Triaxial (tipo Consolidado Drenado - lento)

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

Tabela Nº 5.3: Valores Médios dos Ensaios Especiais das Jazidas			
Jazida	Coefficiente de Permeabilidade (cm/s)	Triaxial	
		Coesão (kgf/cm²)	φ (°)
J-01	1,7X10E-6 a 4,5x10E-7	0,25	16,9
J-02	5,9x10E-7		
J-03	1,6x10E-6 a 3,1x10E-7	0,21	19,1
J-04	1,3x10E-6 a 7,6x10E-7	0,02	25,2

JAZIDA — 01



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM JOÃO GUERRA

ESCALA:

1:5.000

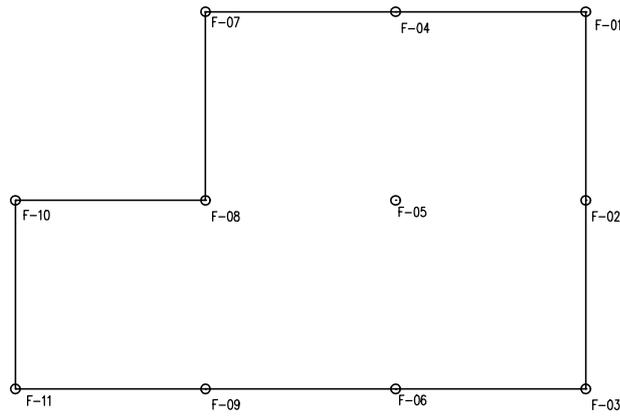
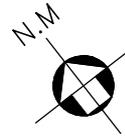
DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.2

JAZIDA 2



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM JOÃO GUERRA

ESCALA:

1:2.000

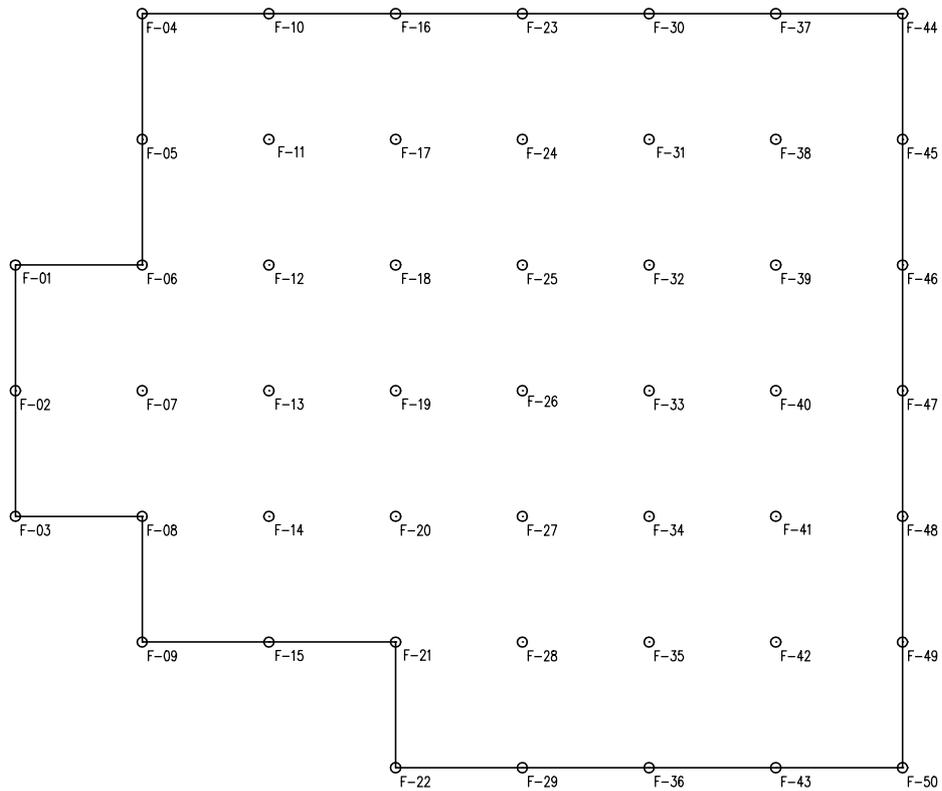
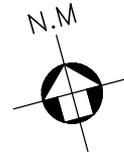
DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.3

JAZIDA 4



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM JOÃO GUERRA

ESCALA:

1:3.000

DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

5.5

**TABELA 5.4: Quadro Resumo dos Ensaios – Jazida J-01**

Furos		04	15	21	23	28	43	47	58	66	71	80	83	95	100	104	113	117	123
GRANULOMETRIA																			
% que passa	2"	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
	1"	100	94	100	100	100	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	3/4"	100	94	100	100	100	94	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100
	1/2"	98	93	99	99	100	94	99	98	100	100	98	97	99	100	99	98	97	93
	3/8"	96	93	98	97	100	93	98	97	100	98	97	96	99	99	99	98	96	92
	Nº 4	86	91	95	93	98	91	94	95	99	95	92	93	97	98	98	95	94	88
	Nº 10	78	87	88	88	95	90	86	93	96	90	82	85	91	94	98	90	89	82
	Nº 40	64	69	63	69	69	75	68	79	69	65	55	61	66	75	86	66	69	58
	Nº 100	55	57	46	59	47	64	55	65	44	50	43	50	52	64	72	49	54	38
	Nº 200	50	51	40	54	36	57	48	57	34	38	39	41	47	54	64	42	45	30
<0,005	31					29		18			31					29		18	
LIMITES DE ATTERBERG																			
LL	45,2	46,2	36,1	45,2	NL	46,1	45,9	46,1	36,1	39,1	41,8	38,1	44,2	41,2	46,4	40,3	39,1	NL	
LP	27,9	28,9	27,1	28,9	NP	27,8	27,8	27,7	25,9	27,1	27,9	25,8	28,8	27,1	26,0	28,0	26,3	NP	
IP	17,3	17,3	9,0	16,3	NP	18,3	18,1	18,4	10,2	12,0	13,9	12,3	15,4	14,1	20,4	12,3	12,8	NP	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																			
U.S.C.S.	CL	CL	SC	CL	SM	CL	SC	CL	SC	SC	SC	SC	SC	SC	CL	CL	SC	SC	SM
COMPACTAÇÃO																			
Densidade Seca - γ_s (g/cm ³)	1,752	1,853	1,784	1,824	1,859	1,805	1,792	1,740	1,857	1,882	1,854	1,859	1,750	1,710	1,632	1,882	1,826	2,130	
Umidade Ótima (%)	15,40	15,60	15,70	15,60	12,90	19,40	16,60	17,30	13,50	13,39	14,24	13,98	17,19	17,60	19,50	13,00	14,59	11,50	
ENSAIOS IN SITU																			
Umidade Natural (%)				3,10			3,10				3,10					4,10		4,10	
Peso Especifico Natural (g/cm ³)				1,401			1,439				1,398					1,468		1,443	
PERMEABILIDADE																			
Permeabilidade (cm/s)	5,0E-07			4,7E-07		3,7E-07	3,5E-07				1,7E-06	4,4E-07				4,6E-07		7,1E-07	



**TABELA 5.5: Quadro Resumo dos Ensaios
Jazidas J - 02, J - 03 e J - 04**

	J - 02		J - 03							J - 04								
	08	04	09	20	24	32	41	43	59	02	13	17	21	31	33	42	47	
GRANULOMETRIA																		
	2"	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
	1"	100	100	100	100	95	100	92	100	100	100	100	96	96	88	100	100	100
	3/4"	100	100	100	98	95	100	92	100	100	100	100	94	94	85	100	100	100
	1/2"	100	96	99	94	94	99	92	100	94	100	99	93	92	82	100	100	99
	3/8"	100	94	99	93	93	99	92	99	92	100	98	92	91	80	100	100	98
	Nº 4	99	89	95	90	91	97	90	94	85	99	95	86	90	74	99	99	97
	Nº 10	99	84	88	85	87	89	86	90	80	96	94	78	87	67	93	97	92
	Nº 40	84	62	62	46	66	67	69	65	61	78	76	43	59	42	72	79	62
	Nº 100	67	48	50	26	52	59	53	50	48	62	56	29	43	26	58	62	41
	Nº 200	57	43	45	21	45	55	47	45	43	56	48	23	38	21	52	55	33
	<0,005	47		38	05				35	33	46		7	27				19
LIMITES DE ATTERBERG																		
LL	44,3	35,9	44,1	NL	42,3	44,1	42,1	38,2	38,2	42,0	44,1	NL	36,1	27,9	46,1	44,2	36,4	
LP	29,1	26,0	29,0	NP	28,0	27,0	28,9	26,1	25,9	27,9	28,3	NP	25,8	23,1	27,8	28,0	26,1	
IP	15,2	9,9	15,1	NP	14,3	17,1	13,2	12,1	12,3	14,1	15,8	NP	10,3	4,8	18,3	16,2	10,3	
CLASSIFICAÇÃO																		
U.S.C.S.	CL	SC	SC	SM	SC	CL	SC	SC	SC	CL	SC	SM	SC	SC	CL	CL	SC	
COMPACTAÇÃO																		
Densidade Seca - γ_s (g/cm ³)	1,768	1,746	1,645	1,878	1,778	1,766	1,778	1,840	1,882	1,662	1,728	2,010		2,130	1,719	1,682	1,790	
Umidade Ótima (%)	16,80	14,43	17,66	11,79	14,01	14,48	14,50	15,86	12,27	13,43	14,36	9,42		11,46	19,03	15,09	14,83	
ENSAIOS IN SITU																		
Umidade Natural (%)	3,10		3,10	3,50				4,10	3,10	3,10		3,90	3,10				3,90	
Peso Específico Natural (g/cm ³)	1,433		1,451	1,376				1,478	1,464	1,381		1,685	1,633				1,497	
PERMEABILIDADE																		
Permeabilidade (cm/s)	5,9E-07		3,1E-07	1,6E-06				6,8E-07	9,0E-07	5,3E-07		1,8E-06	1,3E-06				7,7E-07	

5.2. AREAL

O areal foi identificado e estudado para a execução do filtro vertical, dreno horizontal e concretos.

Selecionou-se uma extensão do riacho Treme e do Santa Rosa, onde foram executados furos à trado e medida a largura da calha do rio, de forma a suprir os volumes de areia estimados para as obras. Nestes furos foram coletadas amostras para a realização dos seguintes ensaios de laboratório:

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



Na Tabela Nº 5.6 são mostrados os resultados médios dos ensaios de laboratório realizados no Areal.

Tabela Nº 5.6 Valores Médios dos Ensaios do Areal											
Areal	Granulometria passante (%)								D_{max} (mm)	M.F.	USC
	½"	3/8"	Nº4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100			
A-1	100	100	96	90	69	33	7	1	4,8	3,1	SP

A tabela 5.7 apresenta um resumo de características gerais do areal estudado.

Tabela 5.7: Características Gerais do Areal	
Área Estudada (m²)	20.346
Nº de poços executados	14
Espessura média de material utilizável (m)	1,50
Volume de material utilizável (m³)	30.519
Distância ao eixo da barragem (m)	986

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 5.8.

Tabela Nº 5.8 Valores Médios dos Ensaios Especiais do Areal	
Areal	Coefficiente de Permeabilidade (cm/s)
A-01	4,8x10E-3

5.3. PEDREIRA

Para obtenção de materiais pétreos necessários para as proteções dos taludes do maciço, dreno de pé, transições e concretos indica-se as escavações obrigatórias do sangradouro, realizadas em uma rocha biotita-xisto, são. A distancia do sangradouro até a estaca zero do eixo da barragem é de 1,0 km. A região da sela onde localizou-se o sangradouro é pródiga em afloramentos rochosos, merecendo destaque a elevação que compõe a sua ombreira direita.



A tabela 5.9 apresenta um resumo de características gerais da pedra estudada.

Tabela 5.9: Características Gerais da Pedreira P - 01	
Proprietário	-
Área Estudada (m²)	59.484
Nº de poços executados	8
Espessura média de decapagem (m)	2,41
Espessura média de material utilizável (m)	6,18
Volume de decapagem (m³)	143.356
Volume de material utilizável (m³)	367.611
Distância ao eixo da barragem (m)	1.200

Foram coletadas amostras dos afloramentos do sangradouro, ditos pedra P-01, para a realização do ensaio de desgaste por Abrasão “Los Angeles”, cujo valor médio é apresentado na Tabela nº 5.10.

Tabela Nº 5.10 Valores Médios dos Ensaios da Pedreira
Abrasão Los Angeles (%)
25,7

5.4. COMENTÁRIOS

As observações de campo associadas aos exames dos ensaios laboratoriais permitem os seguintes comentários a cerca dos materiais construtivos estudados para a barragem Ceará:

- a) As caracterizações realizados (granulometria e limites de Atterberg) nas ocorrências de materiais terrosos, jazidas J-01, J-02, J-03 e J-04, permitiram enquadrar os materiais estudados nos grupos SC (areia argilosa) e CL (areia siltosa) da “Classificação Unificada USC”.

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 SC e CL apresentam as seguintes características:

Solo SC

- Alta resistência à erosão.
- Alta a média resistência ao cisalhamento.
- Impermeável.
- Boa a regular trabalhabilidade.

Solo CL

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

As propriedades acima citadas são esperáveis para obras em que sejam feitos controles de umidade e densidade durante a construção. Para orientação destes controles são apresentados na Tabela Nº 5.11 os valores médios da massa específica seca (MES) máxima ($\gamma_{sm\acute{a}x}$) e a umidade ótima (h_{ot}), obtidas nos ensaios de compactação das jazidas.

Tabela Nº 5.11: Ensaios de Laboratório de Compactação				
Discriminação	Jazidas			
	J-01	J-02	J-03	J-04
MES max.(g/cm ³)	1,822	1,768	1,789	1,856
Umid. ótima (%)	15,5	16,8	14,4	13,6

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



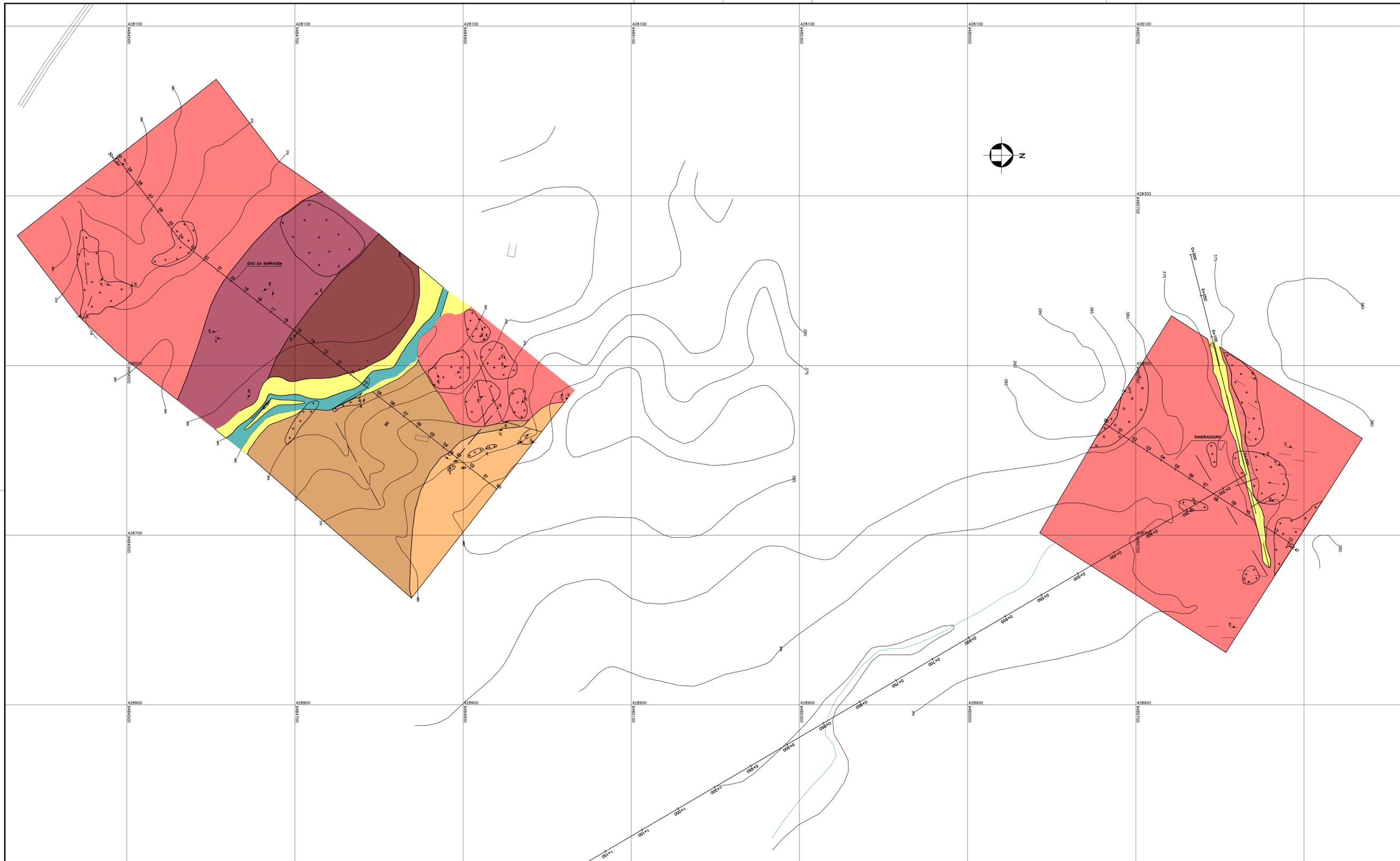
- b) O material pétreo necessário para as proteções dos taludes do maciço, transições e enrocamento de pé tem como fonte de obtenção a escavação do substrato rochoso no sangradouro, que apresenta características apropriadas para tais fins. Caso seja necessário a complementação destes volumes indica-se os afloramentos da mesma rocha, na elevação da ombreira direita do sangradouro.
- c) Os bancos de areia dos riachos Treme e Santa Rosa, com permeabilidade média de $4,8 \times 10^{-3}$, 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

- ALLUVIÃO
- ANFIBOLITO
- GRANITO
- MICA XISTO
- QUARTZITO
- GNAISSE

Convenções

- Açude
- Rio
- Carroçol
- Caminhos
- CE

Convenções geológicas

- Contato litológico
- / Atitude de foliação
- \ Atitude de fratura
- | Atitude de fratura vertical
- Fratura
- Afioramento 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

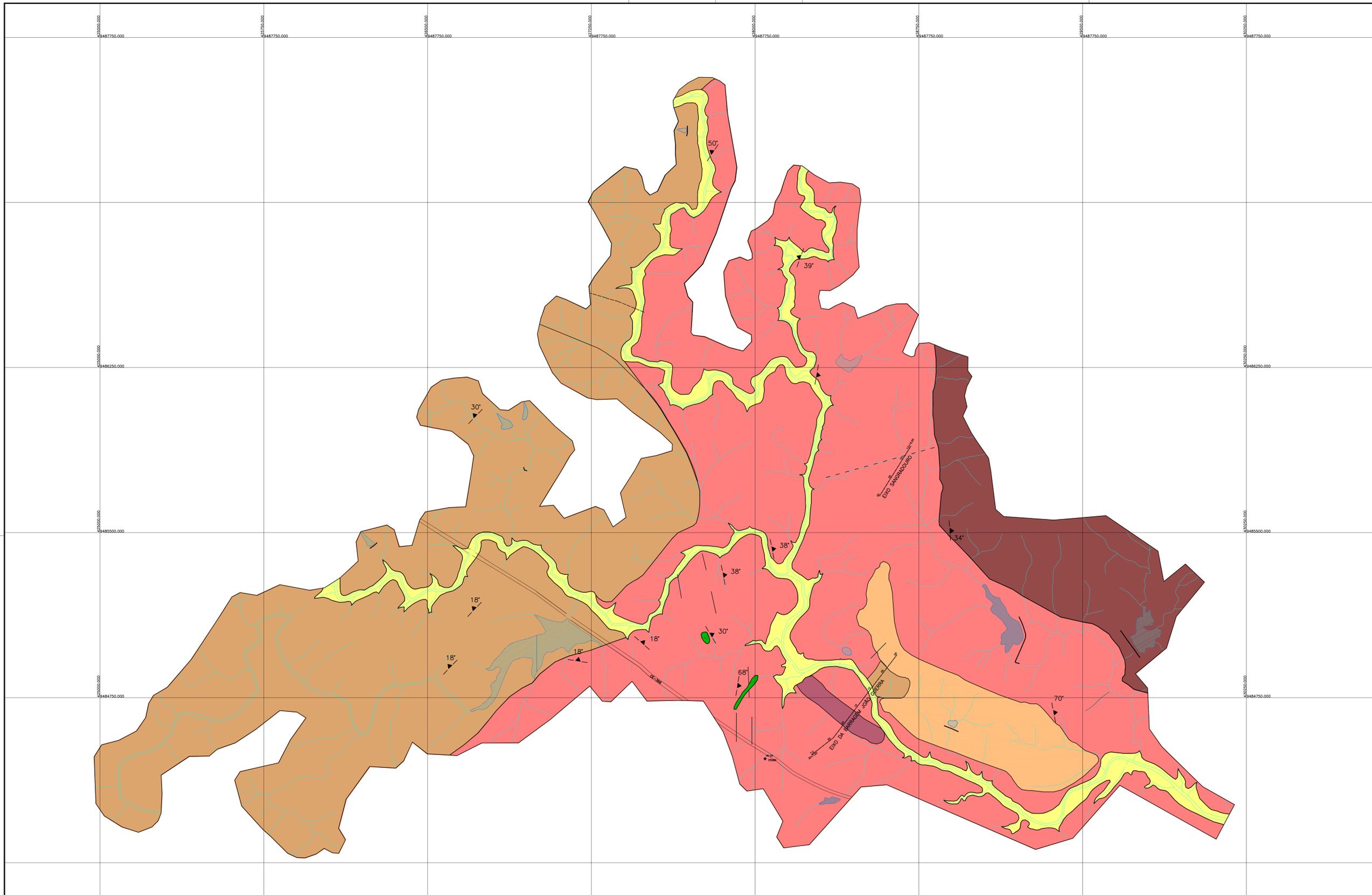
PROJETO EXECUTIVO DAS BARRAGENS JOÃO GUERRA, UMARI, RIACHO DA SERRA, CEARÁ E MISSI E DAS ADUTORAS DE MADALENA, LAGOA DO MATO, ALTO SANTO E AMONTADA.

ESTUDOS BÁSICOS DA BARRAGEM JOÃO GUERRA

LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE
EIXO DA BARRAGEM E SANGRADOURO

Projeto : Arquivo: JGuerra_Figura_2-4.dwg
 Vista : Data de Emissão : JAN./2002
 Verificado : Escala : 1:20000
 Aprove : Nº do Desenho : FIGURA_2-4

CONSORCIO: **MONTGOMERY WATSON**



LEGENDA

CONVENÇÃO LITOESTRATIGRÁFICA

- CENOZOICO
QUATERNÁRIO
- ALUVÃO
- PRÉ-CAMBRIANO INDEFERENCIADO ESTRATIGRAFICAMENTE
- ANFIBOLITO ASSOCIADO A BIOTITA- XISTO E GNASSE
 - GRANITO
 - CALCÁRIO CRISTALINO
 - BIOTITA-XISTO
 - QUARTZITO ASSOCIADO A BIOTITA-XISTO
 - GNASSE MIGMATITICO

Convenções

- Açude
- Rio
- Cunha
- Canhêa
- CE

Convenções geológicas

- Contato litológico
- Atitude de foliação
- Fratura
- 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 JOÃO GUERRA

Projeto :	LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE	Arquivo
Vista :	BACIA HIDRÁULICA	Data de Emissão :
Verificado :	CONSORCIO:	JAN./2002
Aprova :		Escala : 1:7500
Nº do Desenho :		FIGURA_2-5

Consórcio



MONTGOMERY WATSON

