



Julho de 2003

**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 CEARÁ VOLUME I - ESTUDOS BÁSICOS Tomo 4A - Geologia e Geotecnia - Textos**



**MONTGOMERY WATSON**





MONTGOMERY WATSON



## ÍNDICE

---



## ÍNDICE

### Páginas

<b>ÍNDICE</b> .....	<b>1</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>3</b>
<b>2. GEOLOGIA</b> .....	<b>6</b>
2.1. <i>Estudos Geológicos Realizados</i> .....	7
2.2. <i>Geologia Regional</i> .....	8
2.3. <i>Geologia Local</i> .....	13
2.4. <i>Levantamento Geológico de Superfície</i> .....	16
<b>3. INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO</b> .....	<b>20</b>
3.1 <i>Sondagens realizadas</i> .....	21
3.2 <i>Sondagens a Percussão</i> .....	25
3.3. <i>Sondagens Mistas</i> .....	26
3.4 <i>Ensaaios de Campo</i> .....	28
3.5 <i>Comentários</i> .....	29
<b>4. INVESTIGAÇÃO DO SANGRADOURO</b> .....	<b>32</b>
4.1. <i>Sondagens Realizadas</i> .....	33
4.2. <i>Comentários</i> .....	36
<b>5. ESTUDOS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS</b> .....	<b>37</b>
5.1. <i>Jazida de Solos</i> .....	40
5.2. <i>Areal</i> .....	57
5.3. <i>Pedreira</i> .....	58
5.4. <i>Comentários</i> .....	59
<b>6. ANEXO</b> .....	<b>63</b>



MONTGOMERY WATSON



## 1. INTRODUÇÃO

---



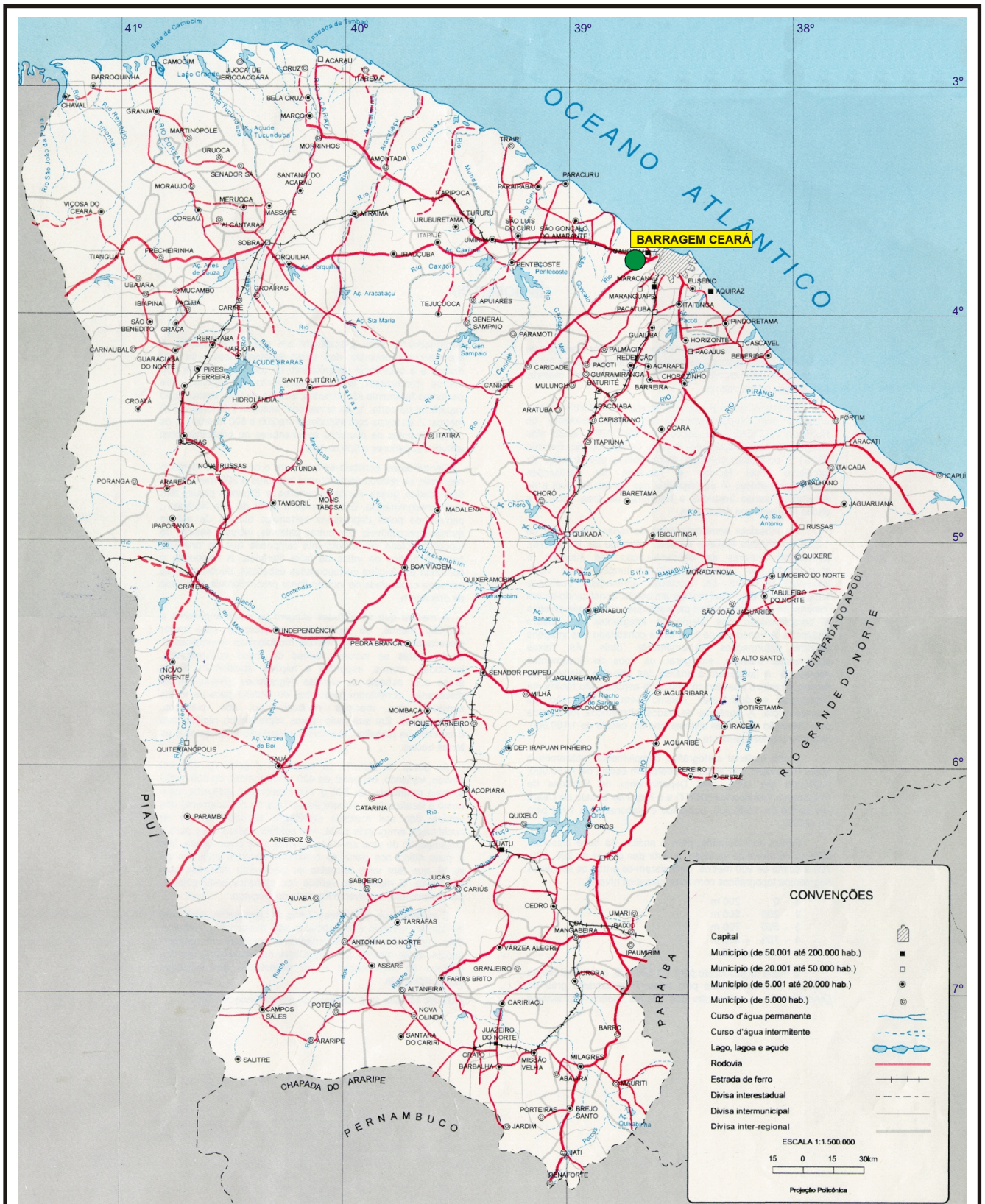
## 1. INTRODUÇÃO

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 Ceará**, a qual tem por finalidade a criação de um reservatório no rio de mesmo nome, integrante da bacia Metropolitana, no município de Caucaia, 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 E ACESSO**



MONTGOMERY WATSON



## 2. GEOLOGIA

---



## 2. GEOLOGIA

### 2.1. ESTUDOS GEOLÓGICOS REALIZADOS

A bacia hidrográfica do Açude Ceará está situada, na micro região geográfica de Fortaleza, 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 1:1.000;
- 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 da Região Metropolitana de Fortaleza/Projeto SINFOR, em escala 1:150.000, elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM, em 1995.

O rio Ceará domina a bacia hidrográfica da área em estudo, tendo seu leito uma extensão em torno de 35Km desde a nascente, em terrenos cristalinos até o litoral onde deságua entalhando as dunas de areia. A drenagem se desenvolve através do padrão dendrítico, recebendo seus tributários em ângulos agudos, podendo algumas vezes esta confluência ocorrer em ângulo reto, devida à conformação estrutural.

O relevo é caracterizado basicamente por quatro domínios geomorfológicos (Moreira & Gatto, 1981 e Souza, 1988/1989): Planície Litorânea, Glacis Pré-Litorâneos, Depressão Sertaneja e Maciços Residuais. A Planície Litorânea compreende os campos de dunas, as praias e as planícies flúvio-marinhas. As dunas formam cordões quase contínuos que acompanham paralelamente a linha de costa, interrompidas algumas vezes por planícies fluviais e flúvi-marinhas. As planícies flúvio-marinhas são ambientes criados pela deposição de sedimentos predominantemente argilosos e ricos em matéria orgânica, onde se desenvolve a vegetação de mangue; são formados em áreas onde se processa a mistura de água doce dos rios e lagoas com água salgada que penetra no continente através das marés, formando uma mistura que proporciona a deposição de material escuro e lamacento, que aumenta a cada período de maré cheia, até gerar o ambiente favorável à instalação dos manguesais. Os Glacis Pré-Litorâneos são formados por sedimentos pertencentes à Formação Barreiras e distribuem-se como uma faixa de largura variável que acompanha a linha de costa por trás dos depósitos eólicos antigos e atuais, formando relevos tabulares dissecados por vales alongados e de fundo chato, com cotas altimétricas baixas e suave inclinação em direção ao mar. A Depressão Sertaneja ocupa a área de maior expressão na região. Forma uma



superfície de aplainamento, desenvolvida sobre as rochas cristalinas, onde o trabalho erosivo truncou indistintamente variados tipos litológicos, constituindo um extenso pediplano onde predomina uma topografia plana ou levemente ondulada que se inicia na base dos maciços residuais e se inclina suavemente em direção ao fundo de vales e ao litoral. Os Maciços Residuais quebram a monotonia da depressão sertaneja através da forte ruptura de declive das serras e morros residuais; esses relevos são constituídos, predominantemente, por rochas granítico-migmatíticas e foram formados a partir da erosão diferencial que rebaixou as áreas circundantes, de constituição litológica (gnáissica) menos resistente; destacam-se na área as serras de Maranguape e Aratanha.

Nossa fonte de pesquisa para este trabalho enquadrando estratigraficamente as unidades litológicas que constituem o complexo cristalino na Era Proterozóica, divididas da seguinte forma:

- **Complexo Granitóide-Migmatítico:** essa designação foi utilizada para o conjunto ortoderivado que inclui os granitóides diversos, migmatitos (diatexitos dominantes) e gnaisses migmatíticos que ocorrem a sudoeste de Fortaleza, formando setores morfologicamente mais elevados, que apresentam uma constituição predominantemente granitóide e podem ser entendidas como relevos residuais, formados a partir da erosão diferencial que rebaixou as áreas gnáissicas circundantes, destacando-se as serras de Maranguape e Aratanha.
- **Complexo Gnáissico-Migmatítico:** ocupa a maior extensão na área. Constitui uma associação litológica formada de gnaisses migmatizados, freqüentemente intercalados por níveis quartzíticos e carbonáticos (calcário cristalino). São biotita-gnaisses com ou sem moscovita, anfibólio, granada e silimanita, com ocorrências subordinadas de corpos anfibolíticos e calcossilicáticos em jazimentos lenticulares de pequenas dimensões. Os migmatitos normalmente apresentam estrutura bandada/dobrada, podendo ocorrer também tipos mais evoluídos



mostrando tendência à homogeneização. A foliação predominante das rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico se dá segundo NE-SW.

- **Ultrabásitos:** próximo à borda oeste da serra de Maranguape ocorre o corpo ultrabásico do serrote Manoel Gonçalves, de forma elipsoidal e alinhado grosseiramente segundo a direção N-S. Trata-se de um piroxênio de coloração preto-esverdeada, maciço e de granulação média, que está encaixado na sequência gnáissico-migmatítica, contendo afloramentos em forma de blocos de diâmetros variados, soltos na superfície.
- **Rochas Filoneanas Ácidas:** compreendem as rochas tabulares de caráter ácido a hiperácido sob a forma de diques e veios, não mapeáveis na escala regional. Está representada por granitos, pegmatitos e veios quartzosos que cortam indistintamente as rochas mais antigas, com espessuras variáveis, discordantes ou não com a foliação regional.

Encimando o arcabouço estratigráfico da área foram individualizadas as Rochas Vulcânicas Alcalinas, enquadradas no Cenozóico, e as coberturas sedimentares cenozóicas, representadas pela Formação Barreiras, Coberturas Colúvio Eluviais, Paleodunas, Dunas Móveis e Depósitos Flúvio-Aluvionares e de Mangues:

- **Vulcânicas Alcalinas:** As vulcânicas de natureza alcalina, em jazimentos em formas de “necks” e diques, constituem uma província petrográfica geneticamente relacionada com os vulcanitos do arquipélago de Fernando de Noronha, cujas idades são atribuídas ao Terciário (em torno de 30 m.a.). Próximo à área da barragem a ocorrência se destaca através de uma elevação circular em forma de cone formando o morro denominado Pão de Açúcar.
- **Formação Barreiras:** representa uma seqüência constituída de sedimentos com estratificação indistinta, areno-argilosos de coloração avermelhada, creme ou amarelada, muitas vezes com aspecto mosqueado, mal selecionados, de granulação variando de fina a média, mostrando



horizontes conglomeráticos e níveis lateríticos, com matriz argilosa caulinítica, com cimento argilo-ferruginoso. Ocorre nas áreas próximas ao litoral, formando uma faixa de largura variável acompanhando a linha de costa. Sua espessura também é bastante variável, condicionada pelo relacionamento com a superfície irregular do embasamento, sobre o qual repousa em discordância erosiva angular, aprofundando-se em direção à costa, onde encontra-se sotoposta aos sedimentos eólicos que constituem as paleo-dunas.

- **Coberturas Colúvio-Eluviais:** são depósitos sedimentares resultantes do intemperismo “in situ” das rochas do embasamento cristalino, distribuindo-se de forma irregular através de manchas de solo com espessuras reduzidas, em geral inferiores a três metros.
- **Paleodunas:** repousam discordantemente sobre os sedimentos da Formação Barreiras e são, em grande parte, cobertas pelas dunas móveis ou recentes. São constituídas de areias bem selecionadas, de granulação fina a média, por vezes siltosas, com tons amarelados, alaranjados e acinzentados, de composição quartzosa e/ou quartzo-feldspática. São dunas edafizadas, conseqüentemente com fixação de um revestimento vegetal de maior porte que nas dunas mais recentes.
- **Dunas Recentes ou Móveis:** são constituídas de areias esbranquiçadas, bem selecionadas, de granulação fina a média, quartzosa, com grãos de quartzo foscos e arredondados. Em geral esses sedimentos ocorrem capeando a geração de dunas mais antigas, embora em algumas áreas estejam assentados diretamente sobre os sedimentos terciários da Formação Barreiras.
- **Depósitos Flúvio-Aluvionares e de Mangues:** São representados, essencialmente, pelos depósitos de areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica, compreendendo os sedimentos fluviais, lacustres ou estuarinos recentes. Os depósitos formados pelos rios



constituem faixas estreitas, com sedimentos de granulometria grossa ao longo dos canais ativos, enquanto nas planícies de inundação apresentam uma constituição mais fina. Nas lagoas (costeiras e interiores), são depositados, principalmente, sedimentos pelíticos e grande quantidade de matéria orgânica. Nos ambientes estuarinos ou de planícies flúvio-marinhas formam-se depósitos siltico-argilosos, ricos em matéria orgânica, que sustentam uma vegetação de mangue. Não se restringem apenas às desembocaduras, desenvolvendo-se também nos baixos cursos dos rios até onde se faz sentir a influência marinha.

O arcabouço estrutural da região é caracterizado por um desenvolvimento tectônico polifásico, em que descontinuidades representadas por zonas de fraturas e falhas sucederam-se às estruturas resultantes da tectônica dúctil, muitas vezes tendendo a se posicionarem segundo as orientações das anisotropias pretéritas. Os principais traços estruturais da região estão dispostos, preferencialmente, segundo o “trend” NE-SW. O comportamento dúctil é mais acentuado nas litologias do Complexo Gnáissico-Migmatítico. No domínio das unidades basais, em que as estruturas foram desenvolvidas sob condições de alto grau metamórfico, os dobramentos são complexos, segundo várias fases de redobramentos, observando-se, comumente, dobras em estruturas sinformes e antiformes, abertas ou apertadas, de geometrias simétricas ou assimétricas, harmônicas, desarmônicas e dobras recumbentes. Na unidade do Complexo Granitóide-Migmatítico, a tectônica ruptural parece ser mais expressiva. Frequentemente, a nível de afloramento, observam-se pequenas falhas preenchidas ou não, deslocando diques ou veios graníticos e pegmatóides segundo rejeitos direcionais da ordem de 2 a 30cm. No Cenozóico tem-se uma nova fase de reativação tectono-magmática, vinculada a zonas de fraturas oceânicas de direção E-W, que se estendem desde o arquipélago de Fernando de Noronha, prolongando-se até o interior do continente. Na área este evento é materializado sob a forma de “necks” e diques de rochas alcalinas.

“Atividades tectônicas recentes são amplamente reconhecidas no Nordeste oriental, onde registros históricos e instrumentos de abalos sísmicos têm sido compilados e



revistos nas últimas décadas. Neste sentido, Carneiro *et al* (1989) caracterizaram uma região de cerca de 150 Km de raio, ao redor de Fortaleza, referida como zona sísmica de Fortaleza, onde ocorreram sismos de magnitude maior que 4,0 mb. O maior deles teve o epicentro identificado no município de Pacajus, atingindo magnitude máxima de 5,2 mb e intensidade máxima de VII na escala *Richter*, com um total de 15 eventos ou abalos. Neste trabalho os autores relacionam, preliminarmente, as estruturas geológicas continentais e oceânicas, as atividades ígneas dos últimos 30 m.a. (vulcanismo alcalino do Terciário) e as anomalias geométricas, com o quadro sísmico atual”.

Na Figura N° 2.1 é mostrada a geologia regional da área compreendida entre as seguintes coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM): 9.570.000/9.600.000N e 510.000/530.000E, compilada do Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza, em escala 1:150.000, elaborado pela CPRM, em 1996.

### **2.3. GEOLOGIA LOCAL**

A área estudada fica no município de Caucaia, a aproximadamente 50 Km de Fortaleza, no Estado do Ceará.

A geologia local foi definida a partir de interpretação de fotografias aerofotogramétricas em escala 1:15.000, reforçada pela visita de campo em que foram feitos os caminhamentos ao longo dos eixos da barragem e sangradouro e reconhecimento da bacia hidráulica, com utilização de bússola e GPS de mão.

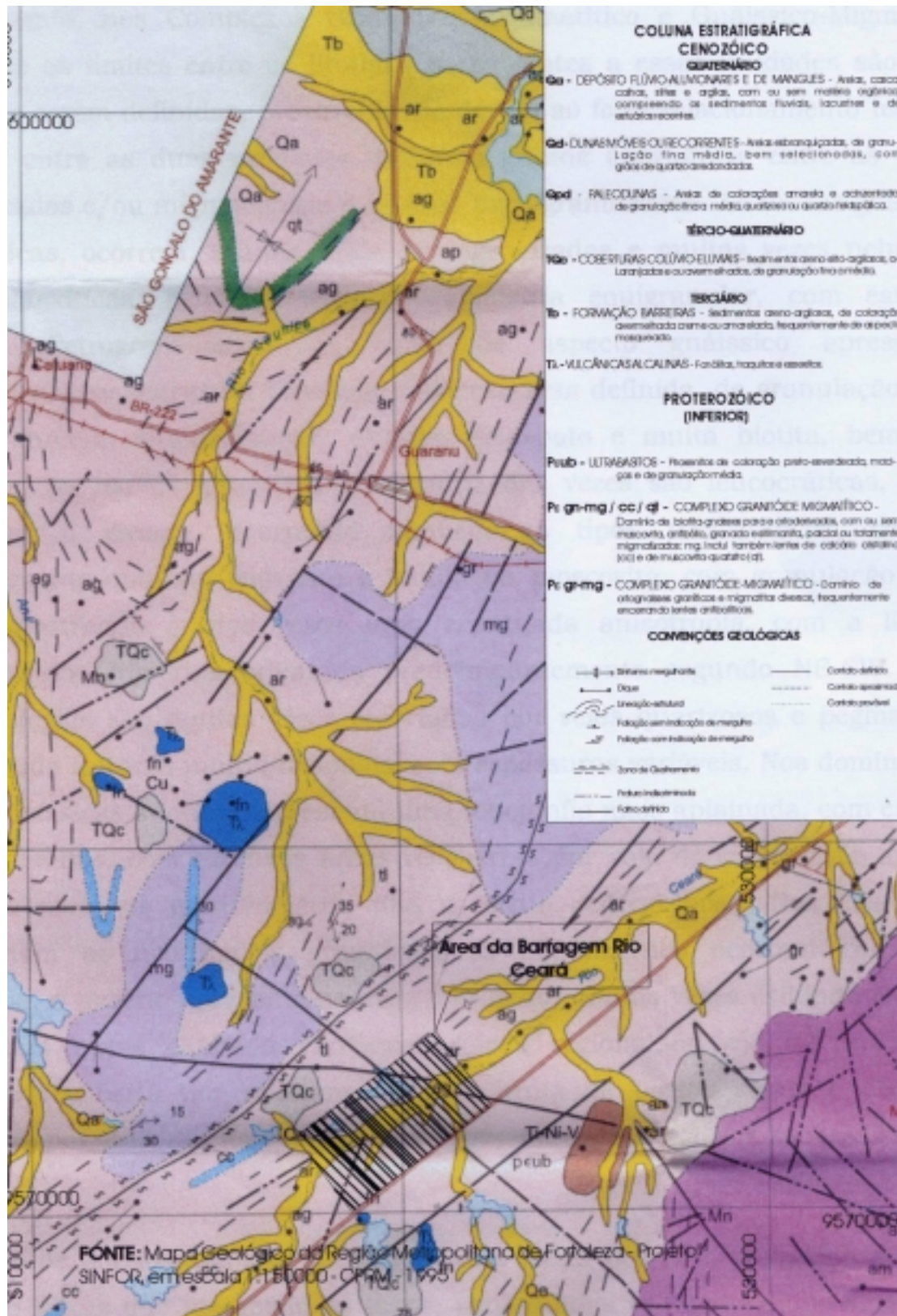


Figura 2.1 – Geologia Regional



Predominam no local as rochas do embasamento cristalino, classificadas, regionalmente, nos Complexos Granitóide-Migmatítico e Gnáissico-Migmatítico, sendo que os limites entre os litotipos pertencentes a essas unidades são muito difíceis de serem definidos, provavelmente devido ao forte relacionamento tectônico existente entre as duas unidades. Há uma grande alternância entre as litologias gnaissificadas e/ou migmatizadas e aquelas mais granitizadas. As rochas gnáissicas migmatíticas, ocorrem, muitas vezes homogeneizadas e muitas vezes nebulíticas e/ou anatexíticas, exibindo uma granulometria equigranular, com estrutura granítica. Petrograficamente, a rocha de aspecto gnáissico apresenta-se mesocrática, com estrutura bandada e foliação bem definida, de granulação fina a média, contendo essencialmente quartzo, feldspato e muita biotita, bem como moscovita. As rochas graníticas na maioria das vezes são leucocráticas, de cor cinza-clara a rosada, ocorrendo também os tipos mesocráticos, contendo essencialmente quartzo, feldspato e biotita ou moscovita, com granulação fina a grossa, mostrando muitas vezes uma acentuada anisotropia, com a lineação estrutural dos minerais orientada predominantemente segundo NE-SW. Todas essas litologias são muitas vezes recortadas por veios quartzosos e pegmatíticos, preenchendo fraturas multidirecionais, com espessuras variáveis. Nos domínios das rochas gnáissicas o terreno apresenta uma topografia mais aplainada, com escassez de afloramentos, com extensas áreas recobertas por solo de composição arenosa, cor cinza-clara, de granulometria fina a média pedregulhosa. Nos locais onde predominam as ocorrências graníticas, os afloramentos ocorrem com maior frequência, o terreno apresenta-se mais ondulado, muitas vezes exibindo elevações que formam cristas alinhadas conforme o “trend” regional, ou seja, NE-SW, sendo a superfície recoberta por afloramentos em forma de blocos soltos e dispersos, recortados por fraturas na maioria das vezes preenchidas pelas rochas ácidas já citadas.

Os depósitos aluvionares são encontrados ao longo dos principais rios e riachos formando faixas que margeiam os leitos, constituídas por sedimentos silto-areno-argilosos, algumas vezes contendo matéria orgânica, de granulometria fina e cor





cinza com tons variando de claro a escuro. Nas calhas desses cursos se depositam areias de granulometria média a grossa com cascalho, de coloração cinza-clara.

A drenagem local ocorre conforme o modelo regional, ou seja, mantém o padrão dendrítico, que é condicionado à litologia das rochas cristalinas. Os cursos d'água mostram-se muitas vezes retilinizados, indicando o controle exercido por fraturas e falhas.

Em termos estruturais, os tipos litológicos visualizados em afloramentos demonstram a atuação de processos metamórficos e deformacionais ligados a movimentos de deformação dúctil ou plástica, evidenciados nas estruturas planares e dobradas dos gnaisses migmatíticos; nas ocorrências graníticas, a exemplo do que foi dito na geologia regional, há evidências de fases distintas de reativação, demonstradas pela presença de rejeitos provocados por pequenas falhas sobre veios pegmatóides, visualizados em afloramentos. Em maior escala, ocorrem dois grandes falhamentos atravessando a área de inundação da barragem, indicados no mapa geológico da bacia hidráulica. Esse falhamentos estão direcionados discordantes com a foliação e se interceptam no local onde fica situado o açude Muquém.

A foliação dominante na área está orientada concordante com o “trend” regional, ou seja, segundo NE-SW. As condições e a escassez dos afloramento na área dificultaram sobremaneira as investigações quanto à intensidade e direção dos mergulhos da foliação, contudo as poucas medidas conseguidas demonstra mergulho preferencial para SE. O evento estrutural de maior importância, considerado em termos regionais, que é a falha de Jaguaribe, passa a aproximadamente 5Km à NW do eixo da barragem.

#### **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.

Ao longo do eixo locado, abrangendo uma faixa de 150m para montante e 150m para jusante foram estudadas as ocorrências e mapeados os principais afloramentos contendo rocha em superfície. Na bacia hidráulica os percursos foram feitos de carro de passeio pelos acessos disponíveis na área, com utilização de GPS de mão para anotação dos pontos visitados.

O eixo topográfico locado para a barragem tem orientação geral segundo NW-SE, está estaqueado em campo a cada 20m. No local do sangradouro o eixo sofre uma deflexão, ficando orientado segundo N-S. Ao longo desse traçado foram identificadas as seguintes litologias:

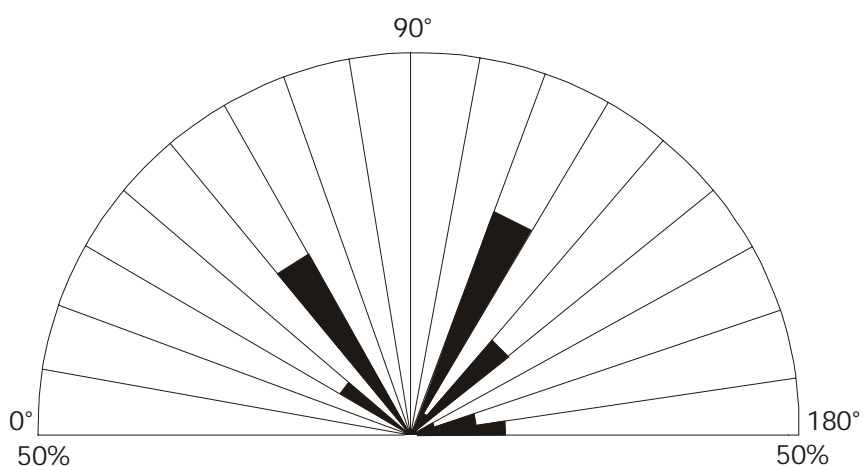
- Da estaca **0 a 7**: o terreno apresenta topografia em aclave suave, representando a ombreira esquerda da barragem. Toda essa área foi considerada como de ocupação granítica. Ao longo da seção transversal da estaca 0, de montante a jusante, correm vários afloramentos de granito, em forma de blocos e matacões. Ainda entre as estacas 2 e 3, no eixo da barragem, há afloramentos formados por rocha granítica. A rocha é leucocrática, de cor cinza-clara a rosada, contendo essencialmente quartzo, feldspato e biotita, mostrando anisotropia nos minerais que evidencia uma lineação estrutural segundo  $N60^{\circ}Az$ , e um aspecto são, a nível de superfície, com muitos fraturamentos e alguns planos de cisalhamento indicando movimento destrógiro.
- Da estaca **7 a 32**: em toda essa faixa, com largura de aproximadamente 500 metros, ao longo do eixo, o terreno é constituído pelas aluviões do rio Ceará, com uma topografia suave e plana, e o solo é composto em sua superfície por uma argila siltosa com material orgânico, apresentando trincas de contração, de cor escura. A calha do rio se comporta de forma sinuosa, contendo superficialmente, no leito, areia de granulometria fina a média pouco siltosa, de cor cinza clara.



- Da estaca **32 a 43**: nesta extensão ocorre um morrote de vertentes suaves, com ausência quase que total de afloramentos, a exceção de algumas ocorrências no seu ponto culminante, ou seja, na estaca 39. O solo de superfície apresenta composição arenosa e pedregulhosa, podendo ser resultado da alteração ou do transporte por gravidade das rochas cristalinas, formando depósitos elúvio-colúviais.
- Da estaca **43 a 65** : nesta extensão ocorre um vale secundário com ausência de afloramentos no eixo e alguns na seção esquerda da estaca 43. O solo superficial apresenta composição silto arenosa, micácea, com fortes indícios de ter sido transportado por gravidade, formando um depósito coluvial. Nos limites das seções direitas, no intervalo das estacas 45-53 , foram observados solos argilosos semelhantes aos descritos no trecho estaca 7 a 32.
- Da estaca **65 a 80**: nesta extensão o eixo transcorre por terreno suavemente ondulado, que compõe a ombreira direita da barragem principal e a região do sangradouro, onde ocorrem alguns raros afloramentos de rocha granítica, meio granulada, macia, de cor cinza claro. Na superfície do terreno verifica-se a existência de um solo silto arenoso, pouco argiloso, micáceo, com fragmentos de rocha, resultante da alteração da rocha cristalina.

Devido à escassez de afloramentos ao longo da faixa de domínio da barragem e do sangradouro, não há indicação da foliação. Contudo, as medidas realizadas na área da bacia hidráulica indicam que a foliação é concordante com a estruturação regional, com direções entre N40°Az e N60°Az.

A partir de 103 direções de fraturas medidas nas rochas aflorantes na ombreira esquerda da barragem e na bacia hidráulica, foi elaborado o Diagrama de Roseta para definição da direção preferencial média percentual, que conforme mostra a Figura Nº 2.2, se dá segundo N110°Az a N120°Az, representando um percentual de 29,12% do total medido e entre N50°Az a N60°Az, representando 20,38%. O mergulho se dá preferencialmente sub-vertical (60° a 80°), com variações para NE, SE e SW.



**Figura N° 2.2** - Diagrama de roseta para 103 medidas de direções de fraturas.

É apresentado em anexo o mapa geológico contendo as unidades litológicas na área da bacia hidráulica (Fig. 2.3).



MONTGOMERY WATSON



### **3. INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO**

---



### **3. INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO**

#### **3.1 SONDAGENS REALIZADAS**

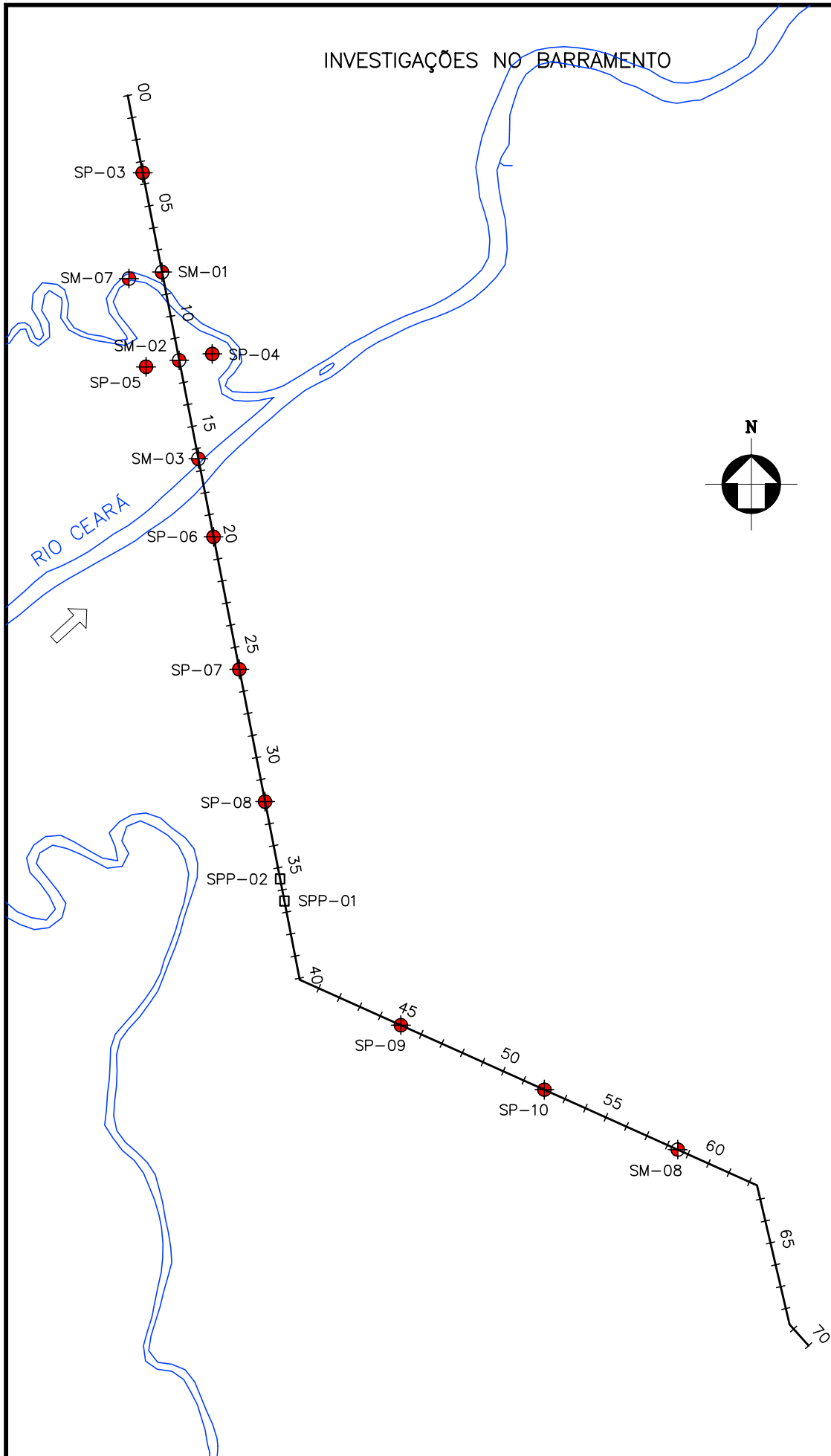
As investigações geotécnicas realizadas no local do maciço da barragem objetivaram a identificação e compreensão das características e peculiaridades do solo de fundação e do substrato rochoso deste sítio, visando a concepção de um maciço tecnicamente adequado e seguro além, de economicamente viável.

Para concretização deste objetivo foram realizadas 20 prospeções mecânicas, sendo 15 sondagens à percussão e 5 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa), nas posições indicadas nas figuras nº3.1 , 3.2 e 3.3 constantes deste Tomo.

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 na região do maciço principal. No trecho perfurado com sonda rotativa, esses testes consistiram de ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon). Em algumas sondagens percussivas selecionadas foram, também, realizados ensaios de infiltração. 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.

# INVESTIGAÇÕES NO BARRAMENTO



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:5.000

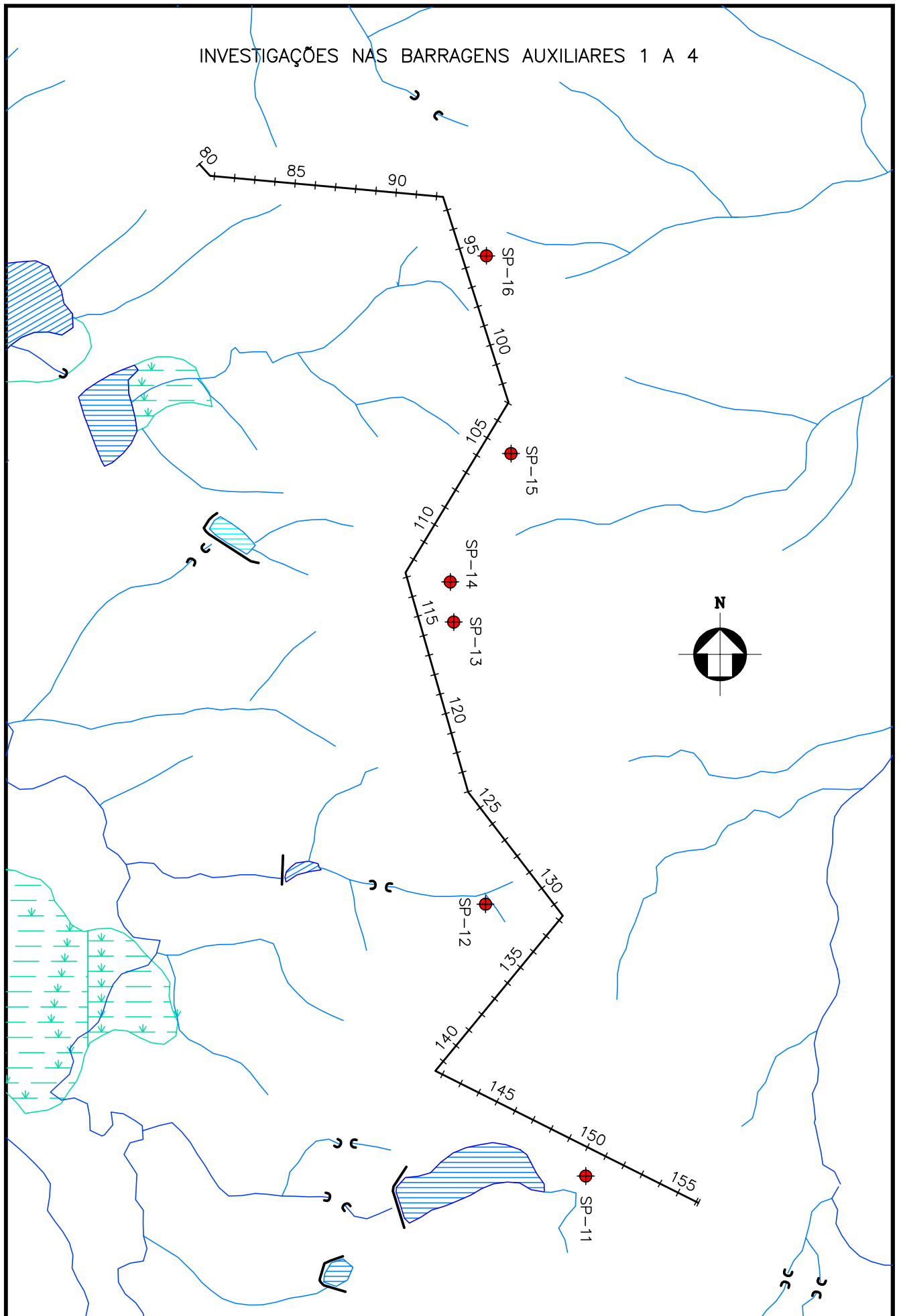
DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

3.1

INVESTIGAÇÕES NAS BARRAGENS AUXILIARES 1 A 4



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:5.000

DATA:

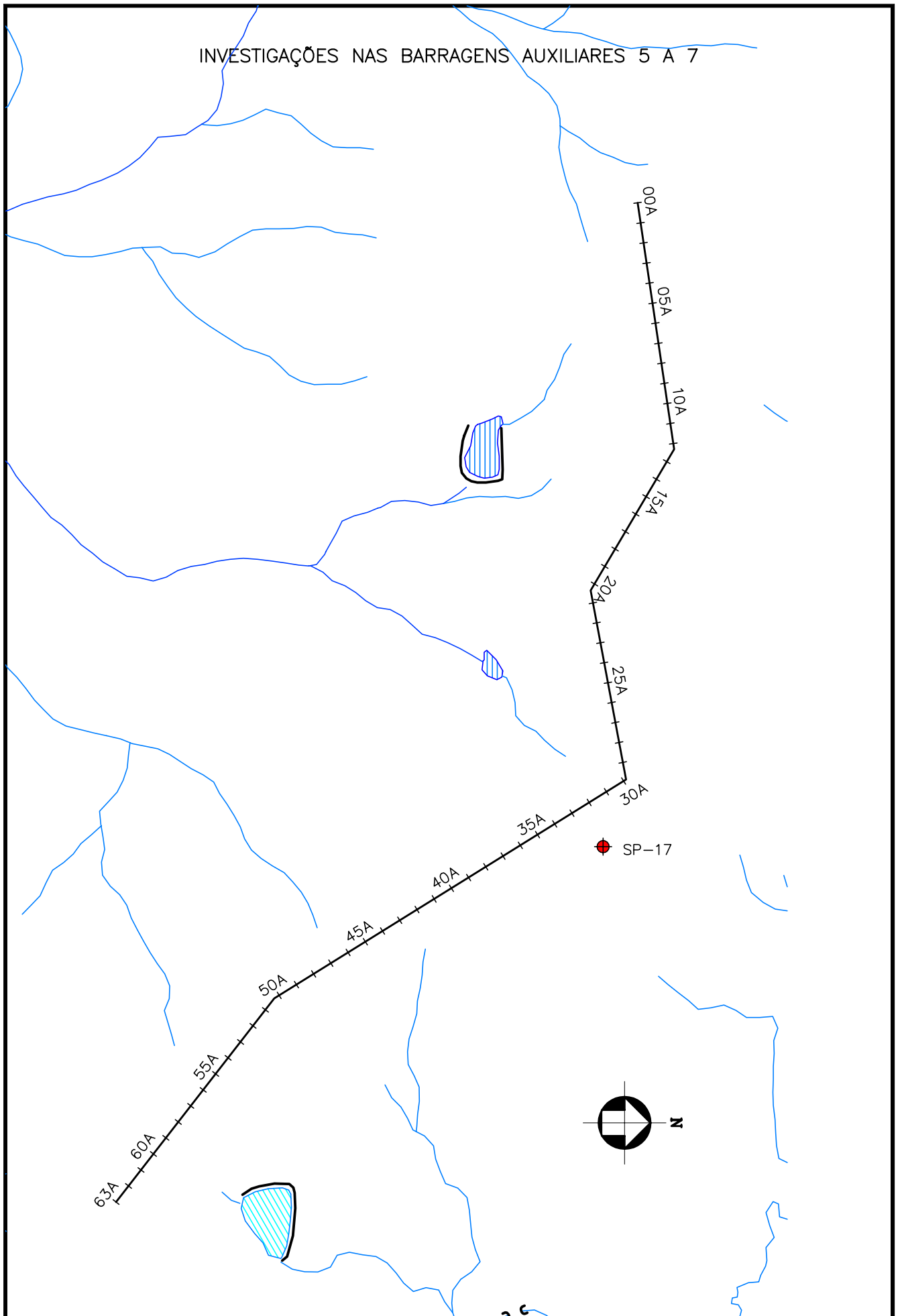
JAN./2003

FIGURA Nº :

3.2



# INVESTIGAÇÕES NAS BARRAGENS AUXILIARES 5 A 7



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:5.000

DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

3.3



### 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.

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 referencias plani-altimétricas, as extensões investigadas, o menor valor de SPT registrado ao longo da sondagem e sua correspondente compacidade ou consistência.

**Tabela N °3.1: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Ceará  
Sondagem Percussiva**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada	SPT Mínimo	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
SP-3	3+10	521.373	9.573.958	38,816	2,51	8	Média Consistência
SP-4	12 (30m para jusante)	521.445	9.573.804	32,734	4,60	7	Pouco Compacta
SP-5	12 (30m para montante)	521.382	9.573.806	32,109	1,93	6	Média Consistência
SP-6	20	521.454	9.573.624	32,020	7,10	4	Mole
SP-7	26	521.478	9.573.504	32,854	8,15	6	Média Consistência
SP-8	32	521.860	9.573.093	32,542	3,63	19	Muito Rija
SP-9	45	521.614	9.573.203	36,014	2,17	16	Muito Rija
SP-10	52	521.741	9.573.146	34,702	3,76	5	Média Consistência
SP-11	150 +11(26 m para montante)	522.491	9.571.771	46,850	4,62	3	Fofa
SP-12	128 +18( 53m para montante)	522.392	9.572.039	43,012	3,90	3	Fofa
SP-13	115 + 15(32 m para jusante)	522.360	9.572.317	48,204	3,70	2	Fofa
SP-14	113+16 (40 m para jusante)	522.357	9.572.357	48,715	3,50	11	Medianamente Compacta
SP-15	105 +1 (28 m para jusante)	522.417	9.572.484	48,804	1,21	3	Fofa
SP-16	95 + 15( 23 m para jusante)	522.393	9.572.679	46,048	2,95	32	Compacta
SP-17	32 +11 (44 m para jusante)	521.536	9.575.068	46,514	3,40	2	Fofa

As sondagens percussivas realizadas na região do maciço da barragem totalizaram, 57,13m

### 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 Ceará  
Sondagem Mista**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		SPT Min.	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SM-1	08	521.397	9.573.874	32,498	1,45	11,65	16	Granito, dura a muito dura, amarelo, maciço
SM-2	12	521.416	9.573.796	32,734	9,04	10,06	5	Granito moderadamente dura a muito dura, cinza, maciço
SM-3	16 + 7	521.435	9.573.698	31,035	0,50	11,50		Granito, dura a muito dura, cinza, maciço
SM-7	08 (30m para Montante)	521.374	9.573.872	31,240	2,12	16,02		Granito, muito macia a moderadamente dura, cinza claro, granulação fina, maciço
SM-8	58 + 10	521.870	9.573.070	39,790	4,68	2,02	32	Granito, moderadamente dura a dura, meio granulada, cinza clara

Portanto, na região do maciço do barramento foram executadas 5 sondagens mistas, totalizando 69,04 m, dos quais 17,79 m com emprego de sonda percussiva e 51,25 m com sonda rotativa.



### 3.4 ENSAIOS DE CAMPO

Nas sondagens percussivas SP-04, SP-05, e SP-07 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 as permeabilidades máximas (cm/s) encontradas por furo são relacionadas na Tabela nº 3.3 porém, 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, SM-2, SM-3 e SM-7 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 N° 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 N° 3.3: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Ceará  
Ensaio De Campo**

N°	Estaca	Extensão Sondada	N° de Ensaio Lefranc	N ° de Ensaio Lugeon	Máxima Permeab. Registrada (cm/s)	Máxima Perda d’água Específica Registrada	Profundidade de máxima Permeab. / Perda D’água
SP-04	12( 30 m para jusante)	4,60	3	-	8,0x10E-4	-	2,00-2,60
SP-05	12( 30 m para montante)	1,93	2	-	1,2x10E-5	-	2,00-2,50
SP-07	26 (eixo)	8,15	6	-	6,4x10E-4	-	2,00-3,00
SM-01	8 (Eixo)	11,65	-	1	-	0,42	5,10-8,10
SM-02	12 (eixo)	10,06	-	3	-	0,28	17,10-19,10



**Tabela Nº 3.3: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Ceará  
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-03	16+10 (eixo)	11,50	-	3	-	1,95	7,40-10,40
SM-7	8 (30m para Jusante)	11,50	-	2	-	0,29	2,70-5,70

*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, percebe-se alguns afloramentos de rocha granítica, que associados com o resultado da sondagem percussiva SP-03, revelam a pouca espessura do solo de recobrimento do substrato rochoso. O manto de solo residual neste local é constituído por um solo argiloso siltoso, micáceo, com fragmentos de rocha, de cor avermelhada, com espessura de cerca de 2,45 m. O ensaio SPT mostrou valores elevados representando uma consistência de média a dura.
- Na faixa de aluvião, compreendida aproximadamente entre as estacas 8 e 32, a espessura do solo varia de 10,20 m ( na estaca 12 ) até 0,50 m na calha do rio( estaca16+10 ).

Entre as estacas 8 e 31 ocorre na superfície um depósito de solo argilo siltoso, com matéria orgânica, de cor cinza escuro, com inúmeras trincas de contração por ressecamento, até uma espessura de cerca de 2,00m.

Entre a ombreira esquerda e a calha do rio (estaca 16+10) o pacote aluvionar imediatamente subjacente a camada com matéria orgânica, é constituído por solos argilo siltosos ou silto argilosos, pouco arenosos, que



alcançam a profundidade de cerca de 3,0m. A seguir o estrato passa a se tornar mais arenoso, micáceo, com presença de fragmentos de rocha, tomando feições de um solo residual, até uma profundidade de 6,50 m. Entre a profundidade de 6,50m 10,00m o solo da fundação passa a ser constituído por uma areia fina e média siltosa, onde os fragmentos de rocha são mais freqüentes, de consistência muito compacta.

Na região entre a calha do rio(estaca 16 + 10) e o início da ombreira direita( aprox. estaca 32 ) o pacote aluvionar subsequente ao superficial ( argila com material orgânico ) constitui-se, predominantemente, de solos areno-siltosos, que atingem a profundidade de cerca de 8,0 m. O referido pacote apresenta-se muito compacto entre o ponto médio e lado direito do trecho calha-ombreira direita e com menor compactidade junto a calha do rio. Na sondagem SP-06 ( estaca 20 ) obteve-se na profundidade de 3,45 m um SPT de 3, limitado por valores de 10 e 5 nas profundidades de 2,45 e 4,45, respectivamente.

- c) Na elevação à direita do trecho aluvionar do rio Ceará, foi verificada as condições de fundação através de poços escavados manualmente. Essas prospecções indicaram nas estacas 35+10 e 36+10 ,um recobrimento do substrato rochoso constituído de um solo silto arenoso, de cor cinza, com profundidade de 4,0 e 2,10m, respectivamente. Observou-se que esse solo diminui de espessura a medida que sobe-se a encosta, inclusive, com desaparecimento na região da cume da elevação.
- d) O substrato rochoso é constituído por rochas graníticas,macia na sua parte mais superficial e dura a muito dura em profundidade. Essa porção macia apresenta-se de medianamente a altamente intemperizada, com um número de fraturas superior a 20/m e recuperação inferior a 60%, alcançando uma espessura máxima de 5,70m na sondagem SM-03.



A região de maior dureza do substrato rochoso apresenta-se ligeiramente a medianamente intemperizada, com recuperação elevada (praticamente 100%) e pequeno fraturamento sub-vertical.

- e) Via de regra os ensaios de perda d'água foram realizados de forma descendente, com espaçamento de 3,0m na rocha, com inserção de um único obturador. Os resultados dos ensaios mostraram na grande maioria valores de perda d'água entre 0,15 e 0,40 l/min/m/atm. O comportamento do fluxo de percolação da água nas fraturas foi predominantemente “de deformação sem alteração” tendo ocorrido alguns casos de “deformação com fechamento”. No entanto, na sondagem SM-07 (estaca 8), realizada a 30m a montante do eixo, a perda d'água foi total em vários trechos onde se tentou realizar o ensaio.
- f) Os ensaios de permeabilidade “in situ” com carga constante ( Le Franc ), realizados a cada 1,0m de profundidade nas sondagens percussivas, registraram valores de permeabilidade para o solo, em média entre  $8 \times 10^{-4}$  e  $10^{-5}$  cm /seg.





MONTGOMERY WATSON



## 4. INVESTIGAÇÃO DO SANGRADOURO

---



## **4. INVESTIGAÇÃO DO SANGRADOURO**

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.

### **4.1. SONDAGENS REALIZADAS**

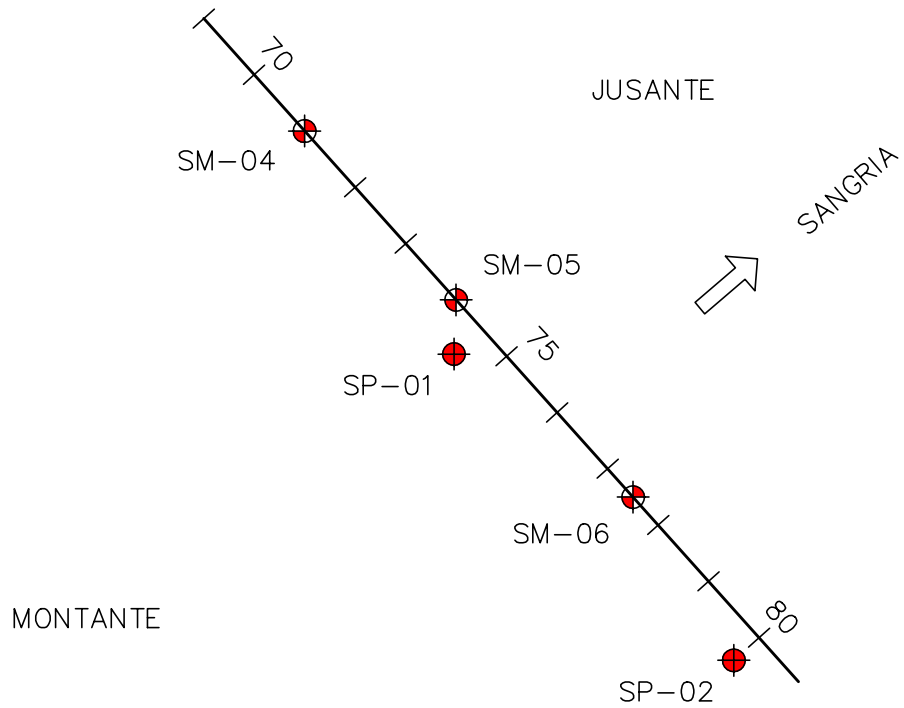
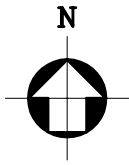
Para este fim foram realizados 3 furos de sondagens mistas (iniciado por percussiva e prosseguido com sonda rotativa) e 2 furos de sondagens percussivas, nas posições indicadas na figura nº 4.1, apresentada a seguir. Os resultados destas sondagens e ensaios de campo são apresentados, também, nos desenhos 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.

# INVESTIGAÇÃO NO SANGRADOURO



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:2.000

DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

4.1



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

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	Grau de intemperismo
		Este (X)	Norte (Y)		Percus	Rotat.		
SM-4	71	521.990	9.572.903	44,847	2,00	6,22	Granito mod. duro a muito duro, cinza claro	Ligeiramente Intemper.
SM-5	74	522.030	9.572.858	45,536	2,81	6,04	Granito mod. duro a muito duro, cinza claro	Ligeiramente Intemper.
SM-6	77+10	522.077	9.572.806	44,775	3,47	6,11	Granito mod. duro a muito duro, cinza claro	Ligeiram. Intemper.

As sondagens mistas realizadas na área do sangradouro totalizaram 8,28m de perfurações percussivas e 18,37m de rotativas.

Na tabela 4.2 é apresentada a campanha de sondagens percussivas realizada na região do sangradouro compreendida entre estacas 74 e 80.

**Tabela Nº 4.2: Investigação Geotécnica da Barragem Ceará  
Sondagens Percussivas no Sangradouro**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota da boca (m)	Extensão do furo (m)	Cota do impenetrável (m)
		Este (X)	Norte (Y)			
SP-01	74+10(10m para Montante)	522.033	9.572.826	45,612	0,88	44,732
SP-02	80 (9 m para montante)	522.113	9.572.754	44,270	1,85	42420



A extensão total de sondagens percussivas foi de 2,73m.

#### 4.2. COMENTÁRIOS

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

- a) Da análise geral das três sondagens rotativas executadas na área do sangradouro percebe-se que a rocha perfurada constitui-se de granito, apresentando no topo uma zona mais intemperizada, com 0,30 a 2,00m de espessura, onde a rocha é mais fraturada, com RQD ( Rock Quality Designation) muito baixo ( predominantemente zero ). Subjacente a esta zona a rocha apresenta melhores características, com uma dureza de moderadamente dura a muito dura, ligeiramente intemperizada a sã , com valores de RQD mais elevados, entre 70% e 100%.
- b) O topo do substrato rochoso no eixo locado do sangradouro situa-se entre 1,65 e 3,47 m abaixo da superfície do terreno natural, ou seja, entre as cotas 44,00 e 41,30. Nas sondagens rotativas verificou-se que na estaca 71 ocorre a profundidade máxima da rocha granítica macia (intemperizada), correspondendo a proximidade da cota 40,0m.
- c) O solo predominante na área do sangradouro constitui-se de um silte arenoso, pouco argiloso, micáceo, com fragmentos de rocha, com espessura observada nas sondagens de 1,70m.



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 indicadas 5 jazidas de solos, 3 pedreiras e 3 areais, cuja situação em relação ao eixo pode ser vista na figura nº 5.1.

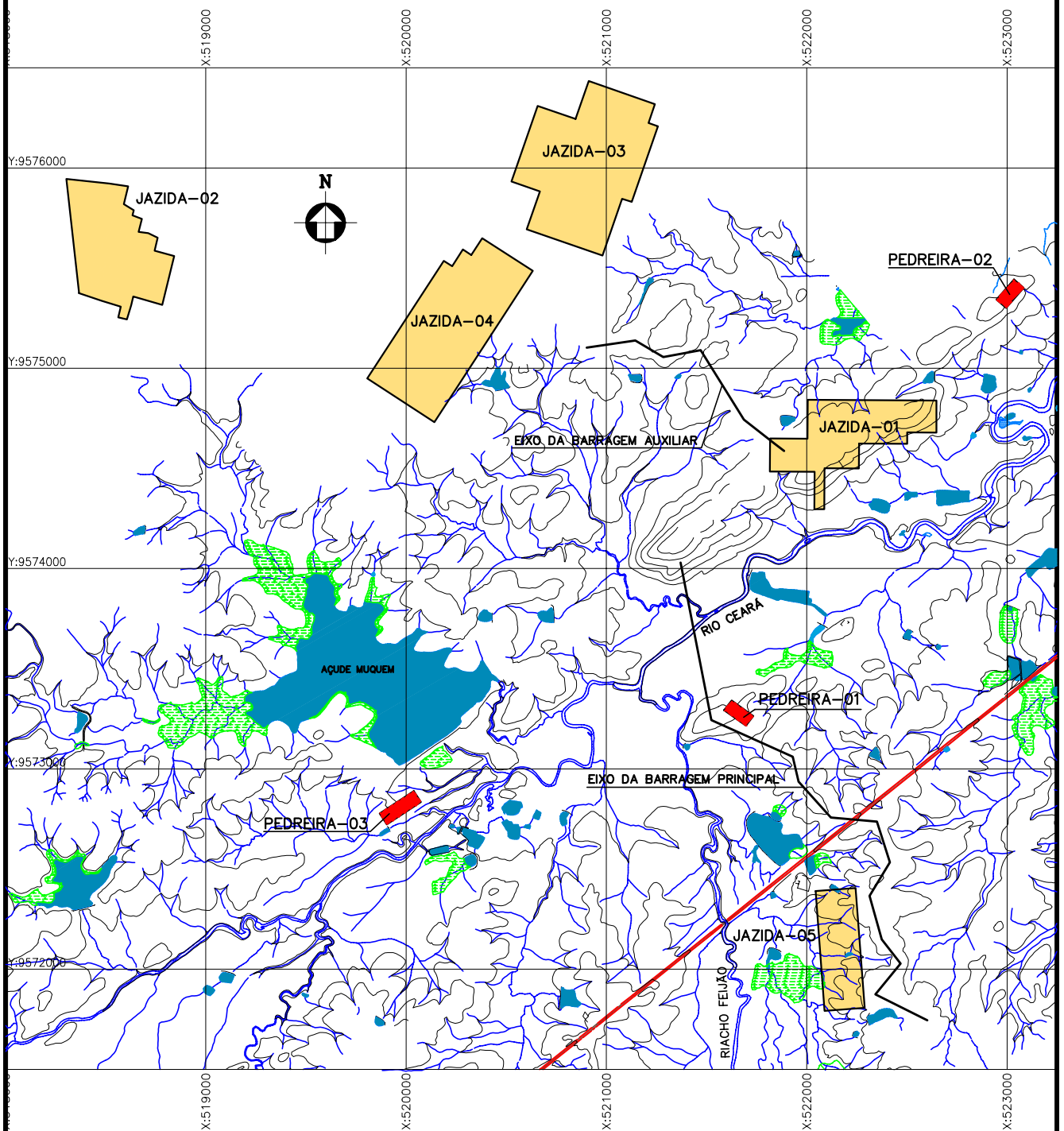
A jazida J-01, situada num morrote de encostas íngremes, prolongamento para jusante da ombreira esquerda, distante cerca de 1,0Km para o maciço da barragem, apresenta uma razoável extensão de rocha alterada e fragmentos de rocha de dimensões variadas, com finos areno siltosos. Sua proximidade com o local do barramento sugere que se utilize todo o volume disponível antes que se explore outra ocorrência, para maior economia do empreendimento.

A jazida J-02 situa-se a montante do eixo, porém fora da área do reservatório, é constituída de solos SM semelhantes ao da jazida J-01 e fica distante cerca de 4,0 Km para o barramento . Esta ocorrência possui um potencial de 200.000 m<sup>3</sup> porem é mais distante de todas as jazidas estudadas, sendo recomendada como reserva.

As jazidas J-03 e J-04 situam-se a esquerda do barramento principal , próximas da barragens auxiliares BA-05,06 e 07, sendo constituídas de solos classificados como SC-SM, ficando distantes 3,0Km para o maciço principal, tendo disponíveis os volumes de 350.000 e 270.000 m<sup>3</sup>, respectivamente.

A jazida J-05, situada na região à direita do sangradouro e próxima das barragens auxiliares BA-02, 03 e 04, é constituída de um solo areno siltoso pouco argiloso(classificado como SM-SC), e dista 0,3 Km para as respectivas barragens auxiliares. O volume estudado nesta ocorrência foi de 120.000m<sup>3</sup>.

# LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS CONSTRUTIVOS



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:30.000

DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

5.1





Para obtenção de material pétreo estudou-se um afloramento de granito róseo (pedreira P-01), distante cerca de 100m a jusante da estaca 45 e cerca de 500 m para o curso principal do rio Ceará. No entanto, diante da proximidade com o eixo, que poderá causar transtornos à execução das obras, estudou-se um afloramento, dito pedreira P-03, situado a montante do eixo e dentro da área a ser inundada, constituído de granito róseo, distante cerca de 18Km para o eixo da barragem principal. Como uma reserva foi estudado um outro afloramento do mesmo material, porém situado a 2,8 Km a jusante do eixo, que foi denominado de pedreira P-02.

### 5.1. JAZIDA DE SOLOS

As jazidas de solos foram estudadas através de sondagens a pá e picareta executadas nos vértices de uma malha quadrada de 50m de lado, cobrindo a área a ser explorada, conforme é mostrado nas figuras nºs 5.2 a 5.6. 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)

Nas Tabelas Nº 5.1 a 5.5 são mostrados os resumos dos resultados dos ensaios de laboratório.



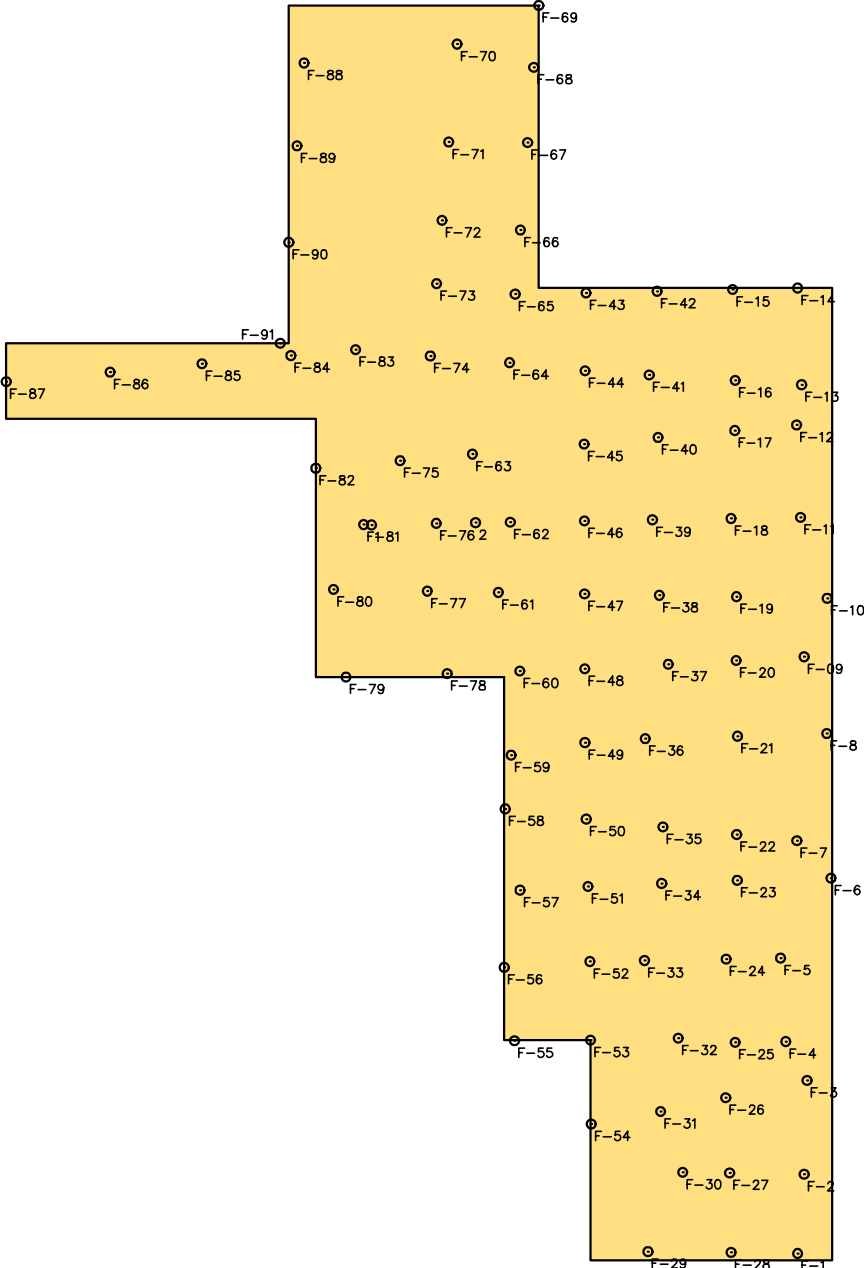
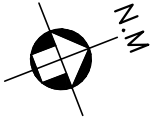
Além dos ensaios geotécnicos de laboratório anteriormente mencionados, foram realizados os seguintes ensaios especiais nas ocorrências de solo:

- 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.

<b>Jazida</b>	<b>Coefficiente de Permeabilidade (cm/s)</b>	<b>Triaxial</b>	
		<b>Coesão (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>φ (°)</b>
J-01	5,6x10 <sup>-7</sup>	0 a 0,02	27,0 a 28,5
J-02	4,4x10 <sup>-7</sup>	0 a 0,14	26,8 a 31,4

JAZIDA-01



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1: 5.000

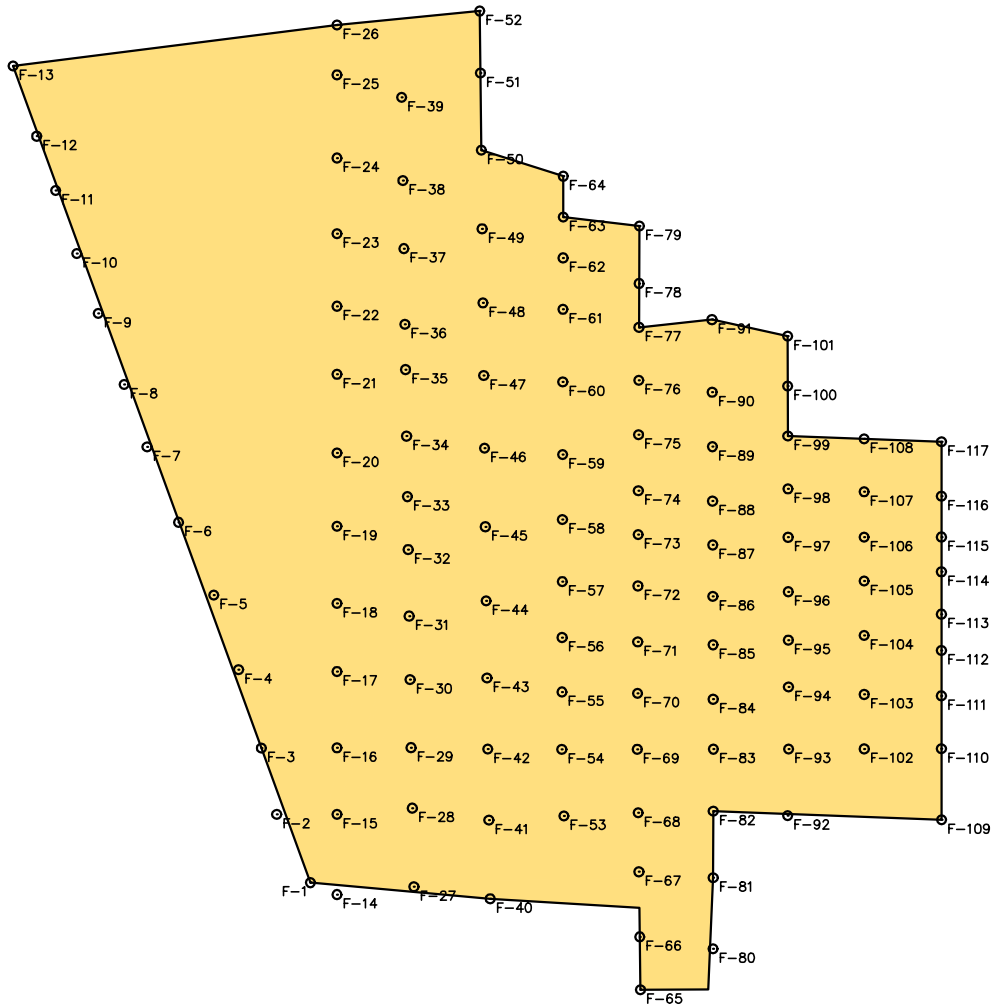
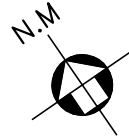
DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

5.2

# JAZIDA-02



**MONTGOMERY WATSON**



## BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

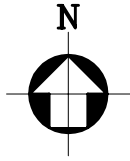
1: 5.000

DATA:

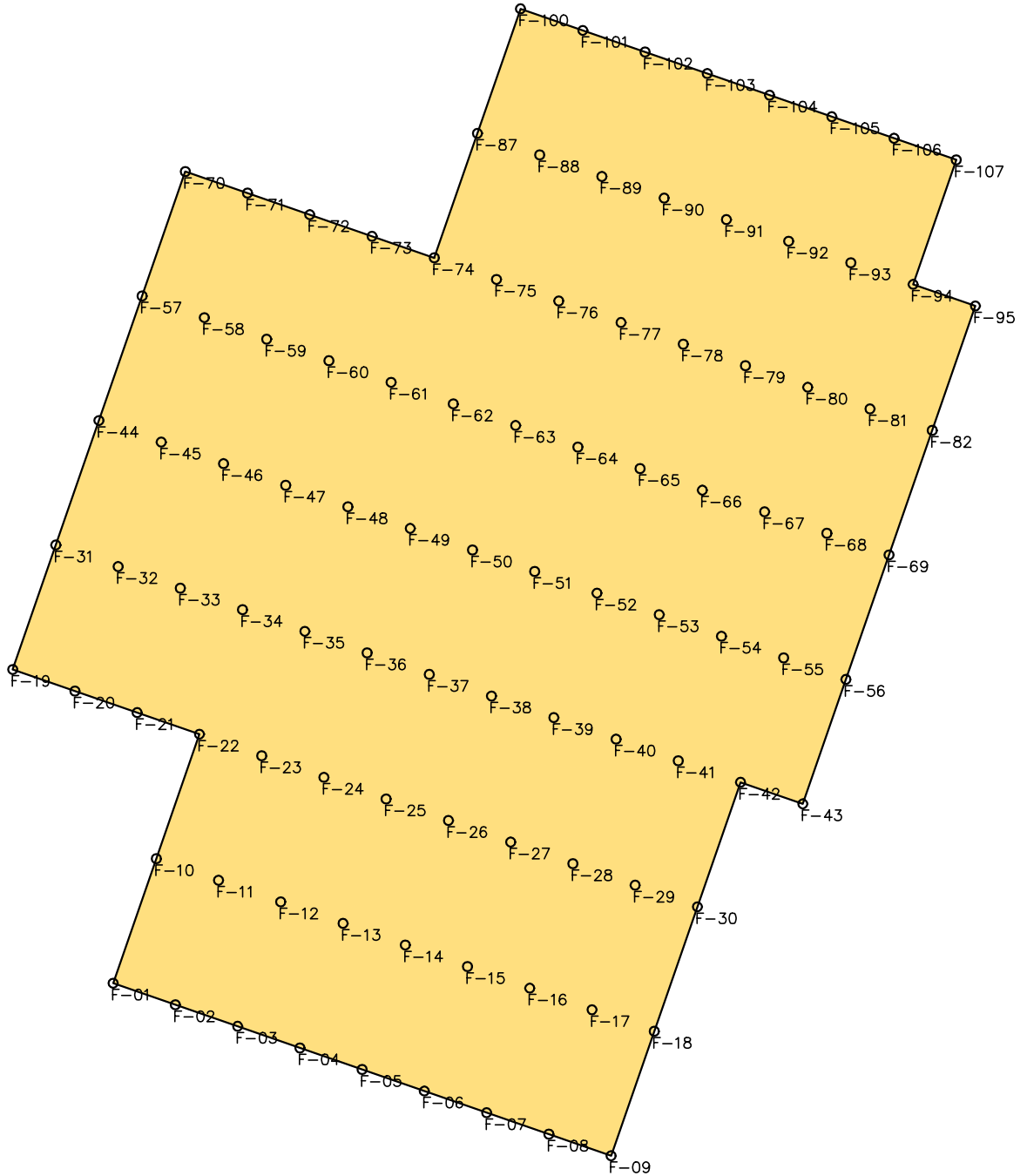
JAN./2003

FIGURA N° :

5.3



# JAZIDA-03



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

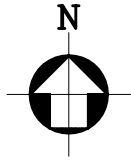
1:5.000

DATA:

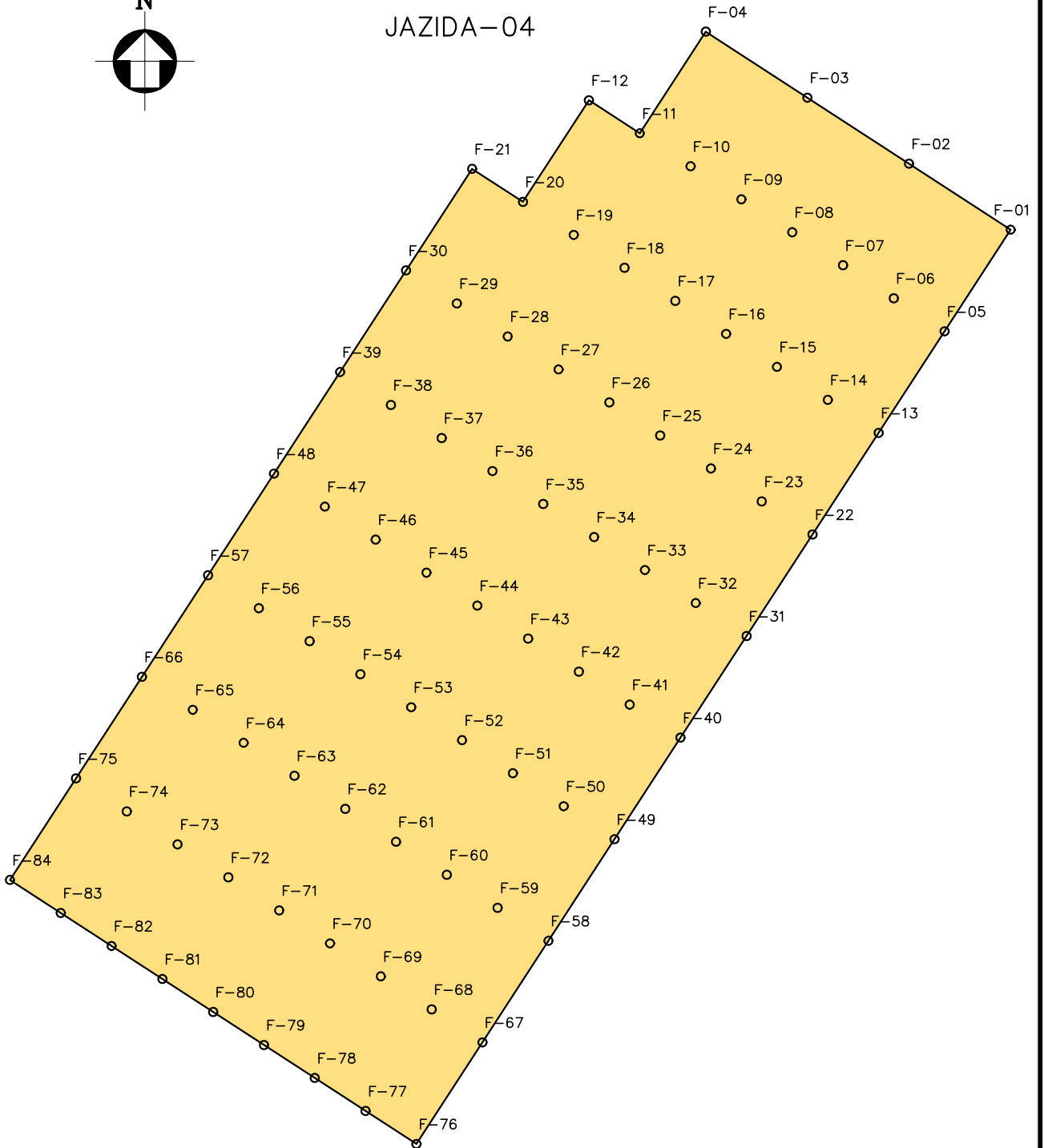
JAN./2003

FIGURA N° :

5.4



# JAZIDA-04



**MONTGOMERY WATSON**



## BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

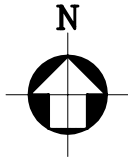
1:5.000

DATA:

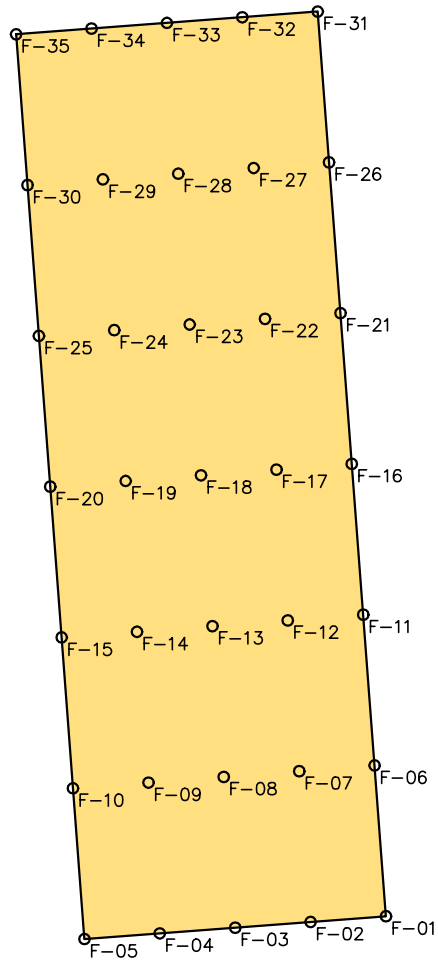
JAN./2003

FIGURA N° :

5.5



JAZIDA-05



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:5.000

DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

5.6

**RESUMO DOS ENSAIOS**

PROJETO: BARRAGEM CEARÁ

LOCAL: JAZIDA: 01

FURO		05	09	11	16	23	32	37	39	45	50	
PROFUNDIDADE (m)		0,80	0,60	0,60	0,60	1,20	1,10	0,60	1,10	0,50	0,90	
GRANULOMETRIA	GROSSA	3 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		3"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		2 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		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	97	100	100
		3/4"	100	100	100	100	98	100	100	88	100	100
		1/2"	100	99	98	100	98	100	98	87	99	99
		3/8"	99	97	93	100	98	99	95	85	99	98
		Nº 4	92	89	88	96	92	92	89	84	98	92
		Nº 10	79	68	81	90	79	79	84	74	89	86
	FINA	Nº 40	53	23	55	58	48	53	58	51	64	61
		Nº 100	37	13	40	42	33	36	43	36	52	47
		Nº 200	29	11	35	36	26	29	37	31	47	41
LL	37,1	NL	37,0	32,2	34,1	33,2	40,1	36,0	42,1	36,0		
LP	28,2	NP	24,9	24,1	24,1	24,9	28,1	26,0	26,0	26,1		
IP	8,9	NP	12,1	8,1	10,0	8,3	12,0	10,0	16,1	9,9		
U.S.C.	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM		
PESO ESPECÍFICO MAX. (g/cm³)	1,915	1,887	1,837	1,783	1,902	1,957	1,830	1,731	1,826	1,832		
UMIDADE ÓTIMA (%)	10,40	9,00	15,30	10,00	17,40	11,40	15,20	13,30	14,40	14,80		
PERMEABILIDADE (cm/s)		9,6E-07					6,6E-07		5,2E-07			
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (g/cm³)		2,620					2,600		2,580			
SEDIMENTAÇÃO 0,005mm(%)		03					26		36			
PESO ESPECÍFICO NATURAL (g/cm³)		1,641		1,424		1,552		1,494		1,501		
UMIDADE NATURAL (%)		3,10		3,50		4,10		3,50		2,90		

PROJETO:	<b>BARRAGEM CEARÁ</b>	<b>RESUMO DOS ENSAIOS</b>	
<b>SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS SRH</b>	LOCAL:	<b>JAZIDA 01</b>	DATA: JUL/2001
		<b>MW / ENGESOFT</b>	TABELA: 5.1



**RESUMO DOS ENSAIOS**

PROJETO: BARRAGEM CEARÁ

LOCAL: JAZIDA: 01

FURO		55	60	64	71	75	83	86	90				
PROFUNDIDADE (m)		0,60	1,10	1,40	1,60	1,20	0,80	1,30	1,20				
GRANULOMETRIA	GROSSA	3 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100			
		3"	100	100	100	100	100	100	100	100			
		2 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
		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	99	100	100	99	100	100	100	100		
		1/2"	100	99	99	99	98	100	100	100	100		
		3/8"	100	99	99	97	96	100	99	99	99		
		Nº 4	99	97	97	92	89	100	99	98	98		
	Nº 10	89	89	88	85	71	99	91	91	91			
	FINA	Nº 40	55	60	61	61	31	77	63	67			
		Nº 100	31	44	48	48	18	56	51	52			
Nº 200		21	37	43	43	13	48	44	46				
LL	NL	40,1	44,1	36,0	28,1	44,1	44,1	37,2					
LP	NP	26,1	28,0	25,9	24,0	28,1	28,0	27,0					
IP	NP	14,0	16,1	10,1	4,1	16,0	16,1	10,2					
U.S.C.	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM					
PESO ESPECÍFICO MAX. (g/cm <sup>3</sup> )		1,842	1,888	1,889	1,769	2,042	1,729	1,761	1,798				
UMIDADE ÓTIMA (%)		8,50	12,00	14,50	14,40	12,70	16,20	15,40	12,50				
PERMEABILIDADE (cm/s)		1,2E-06	5,8E-07		6,3E-07		4,8E-07						
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (g/cm <sup>3</sup> )		2,620	2,600		2,580		2,580	2,570	2,580				
SEDIMENTAÇÃO 0,005mm(%)		03	26		33		37	31	35				
PESO ESPECÍFICO NATURAL (g/cm <sup>3</sup> )			1,583		1,490								
UMIDADE NATURAL (%)			3,50		3,90								

PROJETO:	<b>BARRAGEM CEARÁ</b>	<b>RESUMO DOS ENSAIOS</b>	
<b>SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS SRH</b>	LOCAL:	<b>JAZIDA 01</b>	DATA: JUL/2001
		<b>MW / ENGESOFT</b>	TABELA: 5.1

**RESUMO DOS ENSAIOS**

PROJETO: BARRAGEM CEARÁ

LOCAL: JAZIDA: 02

FURO		05	12	16	22	32	44	60	74	79	83	
PROFUNDIDADE (m)		0,60	1,20	1,00	0,70	0,60	0,60	1,20	0,60	1,20	1,30	
GRANULOMETRIA	GROSSA	3 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		3"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		2 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		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	99	100	100	98	99	100
		1/2"	100	97	100	100	93	99	100	97	94	98
		3/8"	99	95	99	100	88	98	99	97	88	96
		Nº 4	97	91	97	100	80	93	98	92	77	86
		Nº 10	95	88	95	99	73	88	95	89	70	78
	FINA	Nº 40	71	52	72	69	37	68	74	58	50	63
		Nº 100	48	31	52	50	25	55	53	42	35	51
		Nº 200	42	25	46	43	20	49	45	36	29	46
LL	38,1	NL	42,1	36,1	NL	39,0	32,0	34,1	33,1	36,1		
LP	26,0	NP	26,0	26,0	NP	26,0	24,1	24,1	25,0	26,0		
IP	12,1	NP	16,1	10,1	NP	13,0	7,9	10,0	8,1	10,1		
U.S.C.	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM		
PESO ESPECÍFICO MAX. (g/cm <sup>3</sup> )	1,714	2,009	1,797	1,776	1,848	1,676	1,830	1,936	1,812	1,659		
UMIDADE ÓTIMA (%)	15,20	10,90	16,80	14,40	11,30	15,00	13,10	13,10	13,50	15,80		
PERMEABILIDADE (cm/s)		1,5E-06	4,1E-07		1,7E-06		9,3E-07	5,2E-07		5,3E-07		
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (g/cm <sup>3</sup> ) SEDIMENTAÇÃO		2,610	2,220		2,620		2,590	2,600		2,580		
0,005mm(%)		08	34		06		24	24		35		
PESO ESPECÍFICO NATURAL (g/cm <sup>3</sup> )		1,629		1,483		1,403						
UMIDADE NATURAL (%)		3,10		3,50		3,10	3,70					

PROJETO:	<b>BARRAGEM CEARÁ</b>	<b>RESUMO DE ENSAIOS</b>	
<b>SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS SRH</b>	LOCAL:	<b>JAZIDA 02</b>	DATA: JUL/2001
		<b>MW / ENGESOFT</b>	TABELA: 5.2

**RESUMO DOS ENSAIOS**

PROJETO: BARRAGEM CEARÁ

LOCAL: JAZIDA: 02

FURO		85	92	101	105	111	114	117			
PROFUNDIDADE (m)		0,90	0,40	0,60	1,30	1,20	1,30	0,60			
GRANULOMETRIA	GROSSA	3 1/2"	100	100	100	100	100	100	100		
		3"	100	100	100	100	100	100	100		
		2 1/2"	100	100	100	100	100	100	100		
		2"	100	100	100	100	100	100	100		
		1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100		
		1"	100	100	100	100	100	100	100		
		3/4"	100	100	100	100	99	100	100		
		1/2"	96	100	100	100	91	100	99		
		3/8"	93	100	100	100	88	100	98		
		Nº 4	83	100	100	99	81	100	91		
	Nº 10	77	99	99	98	77	99	78			
	FINA	Nº 40	58	74	74	72	46	72	51		
		Nº 100	40	54	51	55	25	49	36		
		Nº 200	34	51	41	48	19	39	29		
LL	34,1	46,0	42,1	43,1	NL	42,1	36,1				
LP	24,9	28,1	28,0	28,1	NP	28,0	26,0				
IP	9,2	17,9	14,1	15,0	NP	14,1	10,1				
U.S.C.	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM				
PESO ESPECÍFICO MAX. (g/cm³)	1,785	1,738	1,832	1,759	1,968	1,901	1,901				
UMIDADE ÓTIMA (%)	14,7	16,4	17,8	15,6	8,9	15,2	14,0				
PERMEABILIDADE (cm/s)			4,0E-07			4,0E-07					
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (g/cm³)			2,570	2,570	2,620	2,600					
SEDIMENTAÇÃO 0,005mm(%)			29	37	08	27					
PESO ESPECÍFICO NATURAL (g/cm³)	1,441	1,463		1,381							
UMIDADE NATURAL (%)	3,10	3,10		3,70							

PROJETO:	<b>BARRAGEM CEARÁ</b>	<b>RESUMO DE ENSAIOS</b>	
<b>SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS SRH</b>	LOCAL:	<b>JAZIDA 02</b>	DATA: JUL/2001
		<b>MW / ENGESOFT</b>	TABELA: 5.2



MONTGOMERY WATSON

EngSoft  
Engenharia e Consultoria Ltda.**QUADRO RESUMO**

FURO Nº		03	13	23	34	37	52	63	74	79	
PROFUNDIDADE (Cm)	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
	ATE	1,20	1,50	1,20	0,80	1,40	1,50	0,80	1,20	0,80	
ESTACA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
POSIÇÃO		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GRANULOMETRIA	PASSANDO %	2"	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1"	100	100	100	100	100	98	100	100	
		3/8"	98	98	99	98	99	97	95	100	97
		Nº 4	96	97	98	97	99	96	88	99	96
		Nº 10	92	94	97	94	97	92	81	97	93
		Nº 40	69	72	79	55	75	69	56	80	75
		Nº 200	38	46	42	20	34	35	26	34	35
LL		35	37	35	30	35	24	27	32	28	
IP		12	13	13	9	12	6	7	10	8	
IG		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GRUPO USC		SC	SC	SC	SC	SC	SM	SM	SC	SM	
FAIXA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26 GOLPES	H ÓTIMA	11,7	12,3	11,4	11,2	11,8	10,6	10,0	12,7	10,8	
	D MÁXIMA	1.830	1.770	1.830	1.782	1.820	1.807	1.880	1.797	1.837	
	EXPANSÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	I.S.C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GRAU DE COMPACTAÇÃO		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
UMIDADE NATURAL		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PROJETO: <b>BARRAGEM CEARÁ</b>					QUADRO RESUMO						
LOCAL: <b>SECRETARIA DOS RECURSOS HIDRICOS SRH</b>					LOCAL: <b>JAZIDA Nº 03</b>			DATA: <b>OUT./2002</b>			
					<b>MW/ENGESoft</b>			FOLHA: <b>TAB. 5.3</b>			

**QUADRO RESUMO**

FURO Nº		88	91	107						
PROFUNDIDADE (Cm)	DE	0,10	0,10	0,10						
	ATE	0,80	0,80	1,20						
ESTACA										
POSIÇÃO										
GRANULOMETRIA	PASSANDO %	2"	100	100	100					
		1"	100	100	100					
		3/8"	99	99	99					
		Nº 4	96	97	97					
		Nº 10	89	93	93					
		Nº 40	65	74	74					
		Nº 200	23	37	35					
LL		25	34	37						
IP		6	11	13						
IG		0	0	0						
EA		-	-	-						
GRUPO USC		SM	SC	SC						
FAIXA		-	-	-						
26 GOLPES	H ÓTIMA	10,4	11,3	11,6						
	D MÁXIMA	1.867	1.837	1.850						
	EXPANSÃO	-	-	-						
	I.S.C	-	-	-						
GRAU DE COMPACTAÇÃO		-	-	-						
UMIDADE NATURAL		-	-	-						

PROJETO:	<b>BARRAGEM CEARÁ</b>	<b>QUADRO RESUMO</b>	
LOCAL:	<b>SECRETARIA DOS RECURSOS HIDRICOS SRH</b>	LOCAL:	<b>JAZIDA Nº 03</b>
			DATA: OUT./2002
		<b>MW/ENGESOF</b>	FOLHA: TAB. 5.3



MONTGOMERY WATSON

**QUADRO RESUMO**

FURO Nº		06	09	19	26	33	37	44	53	60	
PROFUNDIDADE (Cm)	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
	ATE	1,00	1,20	0,80	0,70	1,10	1,20	0,90	0,90	0,70	
ESTACA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
POSIÇÃO		E	X	D	X	E	D	X	X	E	
GRANULOMETRIA	PASSANDO %	2"	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1"	100	100	100	100	100	100	100	97	
		3/8"	99	96	100	99	100	100	93	94	93
		Nº 4	97	94	99	98	99	99	86	92	91
		Nº 10	94	92	97	95	97	96	84	90	88
		Nº 40	70	75	73	72	70	79	66	70	70
		Nº 200	27	40	35	32	33	39	35	33	34
LL		27	33	25	33	29	31	36	25	28	
IP		7	10	6	10	8	9	12	6	8	
IG		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GRUPO USC		SM	SC	SM	SM	SM	SC	SC	SM	SM	
FAIXA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26 GOLPES	H ÓTIMA	9,8	12,1	8,0	11,7	10,3	10,6	10,8	9,4	10,8	
	D MÁXIMA	1.820	1.840	1.840	1.852	1.815	1.805	1.820	1.846	1.837	
	EXPANSÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	I.S.C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GRAU DE COMPACTAÇÃO		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
UMIDADE NATURAL		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PROJETO: <b>BARRAGEM CEARÁ</b>					QUADRO RESUMO						
LOCAL: <b>SECRETARIA DOS RECURSOS HIDRICOS SRH</b>					LOCAL: <b>JAZIDA Nº 04</b>			DATA: <b>OUT./2002</b>			
					<b>MW/ENGESOFT</b>			FOLHA: <b>TAB. 5.4</b>			



MONTGOMERY WATSON

**QUADRO RESUMO**

FURO Nº		65	67	81						
PROFUNDIDADE (Cm)	DE	0,10	0,10	0,10						
	ATE	1,40	0,50	0,70						
ESTACA										
POSIÇÃO		D	E	D						
GRANULOMETRIA	PASSANDO %	2"	100	100	100					
		1"	100	100	100					
		3/8"	97	100	97					
		Nº 4	97	99	93					
		Nº 10	95	94	88					
		Nº 40	77	71	62					
		Nº 200	39	29	27					
LL		37	NL	34						
IP		13	NP	11						
IG		0	0	0						
EA		-	-	-						
GRUPO USC		SC	SM	SC						
FAIXA		-	-	-						
26 GOLPES	H ÓTIMA	11,4	8,8	11,8						
	D MÁXIMA	1.832	1.832	1.800						
	EXPANSÃO	-	-	-						
	I.S.C	-	-	-						
GRAU DE COMPACTAÇÃO		-	-	-						
UMIDADE NATURAL		-	-	-						
PROJETO: <b>BARRAGEM CEARÁ</b>					<b>QUADRO RESUMO</b>					
LOCAL: <b>SECRETARIA DOS RECURSOS HIDRICOS SRH</b>					LOCAL: <b>JAZIDA Nº 04</b>			DATA: <b>OUT./2002</b>		
					<b>MW/ENGESOFT</b>			FOLHA: <b>TAB. 5.4</b>		



MONTGOMERY WATSON

**QUADRO RESUMO**

FURO Nº		01	07	10	12	18	20	22	25	28	
PROFUNDIDADE (Cm)	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
	ATE	0,50	0,70	0,90	1,00	0,70	0,60	1,40	1,00	1,40	
ESTACA											
POSIÇÃO											
GRANULOMETRIA	PASSANDO %	2"	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1"	98	100	100	100	100	100	100	100	
		3/8"	94	100	100	100	100	99	100	100	98
		Nº 4	91	100	100	98	99	98	99	100	95
		Nº 10	89	95	95	94	95	95	93	94	91
		Nº 40	65	76	66	73	69	75	79	67	71
		Nº 200	29	34	32	34	33	36	36	33	39
LL		28	32	29	34	31	36	28	33	29	
IP		8	10	9	10	9	11	8	10	8	
IG		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GRUPO USC		SM	SC	SM	SC	SM	SC	SM	SC	SM	
FAIXA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26 GOLPES	H ÓTIMA	9,8	11,6	10,0	9,2	9,8	10,0	10,4	11,3	9,8	
	D MÁXIMA	1.881	1.877	1.863	1.840	1.830	1.820	1.841	1.811	1.880	
	EXPANSÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	I.S.C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GRAU DE COMPACTAÇÃO		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
UMIDADE NATURAL		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PROJETO: <b>BARRAGEM CEARÁ</b>					QUADRO RESUMO						
LOCAL: <b>SECRETARIA DOS RECURSOS HIDRICOS SRH</b>					LOCAL: <b>JAZIDA Nº 05</b>			DATA: <b>OUT./2002</b>			
					<b>MW/ENGESOFT</b>			FOLHA: <b>TAB. 5.5</b>			





MONTGOMERY WATSON

**QUADRO RESUMO**

FURO Nº		34									
PROFUNDIDADE (Cm)	DE	0,10									
	ATE	0,60									
ESTACA											
POSIÇÃO											
GRANULOMETRIA	PASSANDO %	2"	100								
		1"	100								
		3/8"	100								
		Nº 4	99								
		Nº 10	93								
		Nº 40	63								
		Nº 200	31								
LL		29									
IP		7									
IG		0									
EA		-									
GRUPO USC		SM									
FAIXA		-									
26 GOLPES	H ÓTIMA	9,7									
	D MÁXIMA	1.860									
	EXPANSÃO	-									
	I.S.C	-									
GRAU DE COMPACTAÇÃO		-									
UMIDADE NATURAL		-									
PROJETO: <b>BARRAGEM CEARÁ</b>					<b>QUADRO RESUMO</b>						
LOCAL: <b>SECRETARIA DOS RECURSOS HIDRICOS SRH</b>					LOCAL: <b>JAZIDA Nº 05</b>			DATA: <b>OUT./2002</b>			
					<b>MW/ENGESOFT</b>			FOLHA: <b>TAB. 5.5</b>			



## 5.2. AREAL

Os areais foram identificados e estudados para a execução do filtro vertical, dreno horizontal e concretos.

Os areais selecionados constam de: **A-1**- bancos de areia fina e média no leito do rio Cauhípe, na localidade de Lagoa Nova, a cerca de 12 km de distancia para a barragem; **A-2**- bancos de areia fina e média no leito do rio São Gonçalo, na localidade de Umari, a cerca de 32 km distante da barragem e **A-3**- bancos de areia fina e média no leito do riacho Capitão Mor, próximos da Fazenda Patos, distantes cerca de 41 km para a barragem.

Foram coletadas amostras do areal do rio Cauhípe e São Gonçalo para a realização dos seguintes ensaios de laboratório:

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

Na Tabela Nº 5.7 são mostrados os resultados médios dos ensaios de laboratório realizados no Areal.

Tabela Nº 5.7 Valores Médios dos Ensaios dos Arais											
Areal	Granulometria passante (%)								D <sub>max</sub> (mm)	M.F.	USC
	½"	3/8"	Nº4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100			
A-1	100	96	89	75	42	15	3	1	6,3	3,80	SP
A-2	100	98	93	78	54	25	5	1	4,8	3,46	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 5.8.

Tabela Nº 5.8 Valores Médios dos Ensaios Especiais do Areal	
Areal	Coefficiente de Permeabilidade (cm/s)
A-01	9,1x10E-3
A-02	8,9x10E-3



### 5.3. PEDREIRA

A fonte inicial de obtenção de materiais pétreos são as escavações obrigatórias do sangradouro, situado na ombreira direita entre as estacas 72+10 e 78+10. Após o esgotamento do material desta escavação indica-se a exploração da pedreira P-01, que fica sujeita a avaliação do nível de interferência com os trabalhos de execução do maciço entre as estacas 40 e 72. Esta pedreira tem como grande atrativo a proximidade e conseqüentemente a baixa distância de transporte. No caso de que seja considerado inconveniente o emprego da pedreira P-01 sugere-se o uso da pedreira P-02, situada dentro da área do reservatório, constituída de rocha granítica, com semelhantes características às da pedreira P-01, distante 1,8 Km para a barragem. A pedreira P-02 encontra-se entre o rio Ceará e a ombreira direita do açude Munquem, com extensos afloramentos situados muito próximos da casa do proprietário do açude.

Como uma última alternativa, foi localizado um afloramento de rocha granítica de cor cinza e rosa, situado na lado esquerdo do rio a cerca de 2,8 Km do eixo, dito pedreira P-03. Neste local, com afloramentos analisados visualmente com sãos, foram realizadas duas sondagens mecânicas entre os afloramentos. A primeira (FP-01) revelou uma cobertura de solo de 2,40m e uma rocha com grau de alteração entre moderadamente intemperizada e sã, porém muito fraturada até a profundidade de 8,0 m. A segunda (FP-02) indicou 2,18 m de solo e uma rocha com uma zona de 1,0 m onde encontra-se decomposta, com presença de silte e argila, seguida de uma zona de 3,0 m de espessura, onde apresenta-se macia e muito alterada e, subjacente a esta, uma zona dura e sã.

Foram coletadas amostras na pedreira P-03 para a realização do ensaio de desgaste por abrasão "Los Angeles" ( DNER-NE 65-64 ) porque, em relação ao 1º eixo estudado, ficava mais viável que as demais ocorrências. Na tabela nº 5.9 é apresentado o valor médio do ensaio. Na figura 5.7 é apresentada a planta de situação das pedreiras.

**Tabela N° 5.9 Valores Médios dos Ensaios da Pedreira P-03**

Abrasão Los Angeles (%)
23,9

Todos os ensaios laboratoriais são apresentados no Tomo 4 A- Geologia e Geotecnia-Anexos.

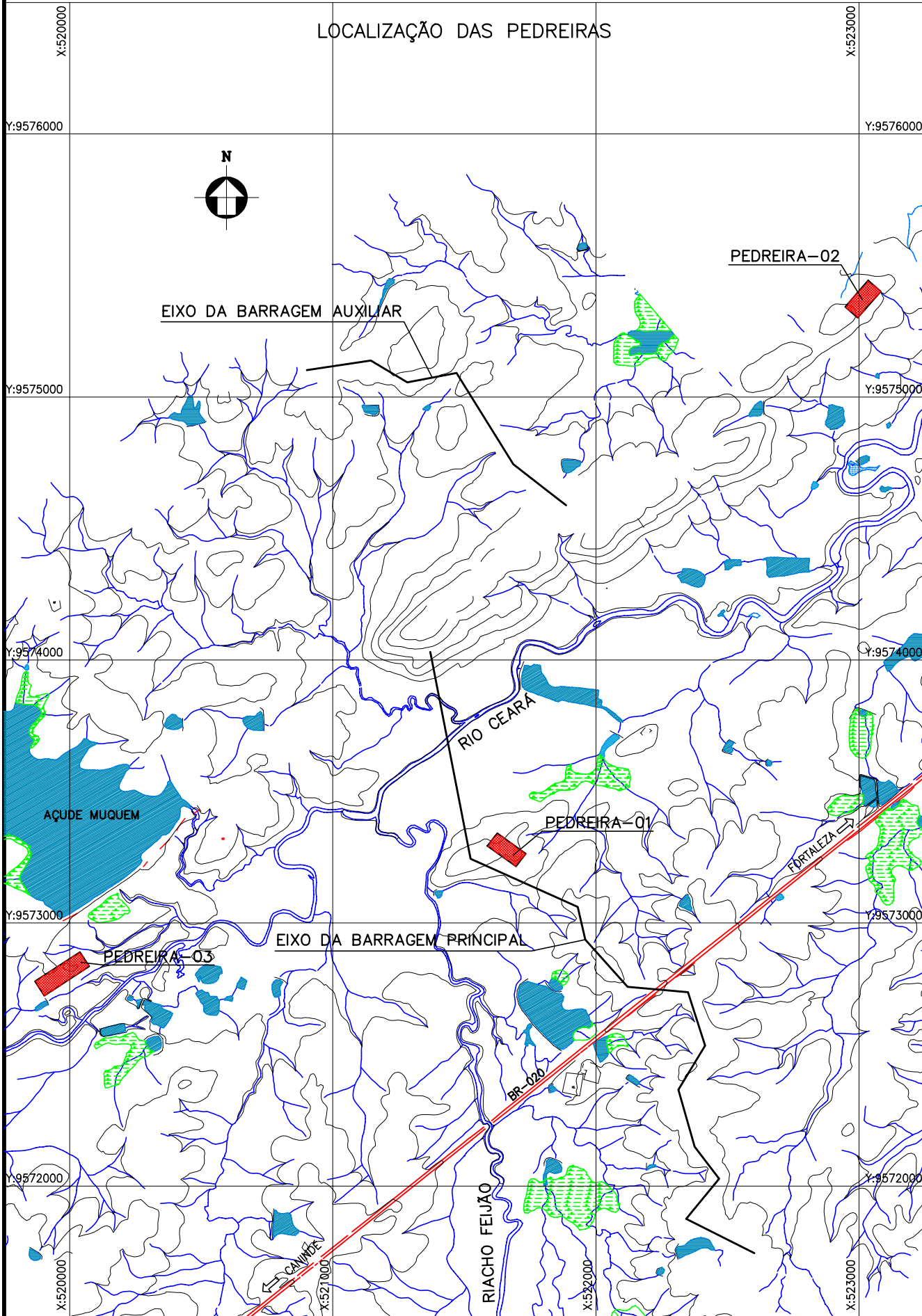
#### 5.4. COMENTÁRIOS

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

- a) As caracterizações realizadas (granulometria e limites de Atterberg) nas ocorrências de materiais terrosos, jazidas J-01, J-02, J-03, J-04 e J-05 , permitiram enquadrar os materiais estudados nos grupos SM (areia siltosa) e SC (areia argilosa) da “Classificação Unificada USC”.

O enquadramento do solos na “Classificação Unificada USC” possibilita estimar suas características no que concerne a sua utilização na construção de barragens de terra. Segundo Sherard <sup>1</sup>, os solos do tipo SM e SC apresentam as seguintes características:

# LOCALIZAÇÃO DAS PEDREIRAS



MONTGOMERY WATSON



## BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:20.000

DATA:

JAN./2003

FIGURA Nº :

5.7



### Solo SM

- Média a fraca resistência à erosão.
- Alta resistência ao cisalhamento.
- Semi-permeável a Impermeável.
- Boa a regular trabalhabilidade.

### Solo SC

- Alta resistência à erosão.
- Alta a média resistência ao cisalhamento.
- Impermeável a 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 5.10 os valores médios da massa específica seca (M.E.S.) máxima ( $\gamma_{sm\acute{a}x}$ ) e a umidade ótima ( $h_{ot}$ ), obtidas nos ensaios de compactação das jazidas.

**Tabela Nº 5.10: Ensaio de Laboratório de Compactação**

Discriminação	Jazidas				
	J-01	J-02	J-03	J-04	J-05
M.E.S. máx (g/cm <sup>3</sup> )	1,845	1,820	1,830	1,828	1,850
Umidade Ótima (%)	13,2	14,2	11,32	10,46	10,16



As jazidas J-01, J-02, J-03 e J-04 tem características apropriadas para uso em qualquer local do maciço da barragem no entanto, sugere-se o uso de todo o volume possível do material da jazida J-01 e o emprego, na área do espaldar de jusante, das escavações em solo, obrigatórias do sangradouro. Somente após o uso pleno destes materiais é que devem ser utilizados os solos das outras jazidas citadas, devido a grande distância de transporte.

A jazida J-05 apresenta uma predominância de material siltoso e portanto com características geotécnicas inferiores as das demais jazidas. Portanto sugere-se o emprego deste material em pequenos diques de fechamento da ombreira direita ou em zonas menos nobres da maço.

- b) 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 características apropriadas para tais fins. Selecionou-se uma região situada a cerca de 100m a jusante da estaca 45, distando cerca de 500m para o rio Ceará, e outra a 1,8 km a montante da ombreira esquerda como pedreiras complementares.
- c) Os bancos de areia dos rios Cauhípe e São Gonçalo com permeabilidade média de  $9 \times 10^{-3}$ , são apropriados como fonte de suprimento de agregado miúdo para os concretos e para elemento drenante/ filtrante do sistema de drenagem interna do maciço. Como a região sofre uma contínua exploração comercial deste material, indicou-se o rio Capitão Mor como possível reserva para suprimento de areia.



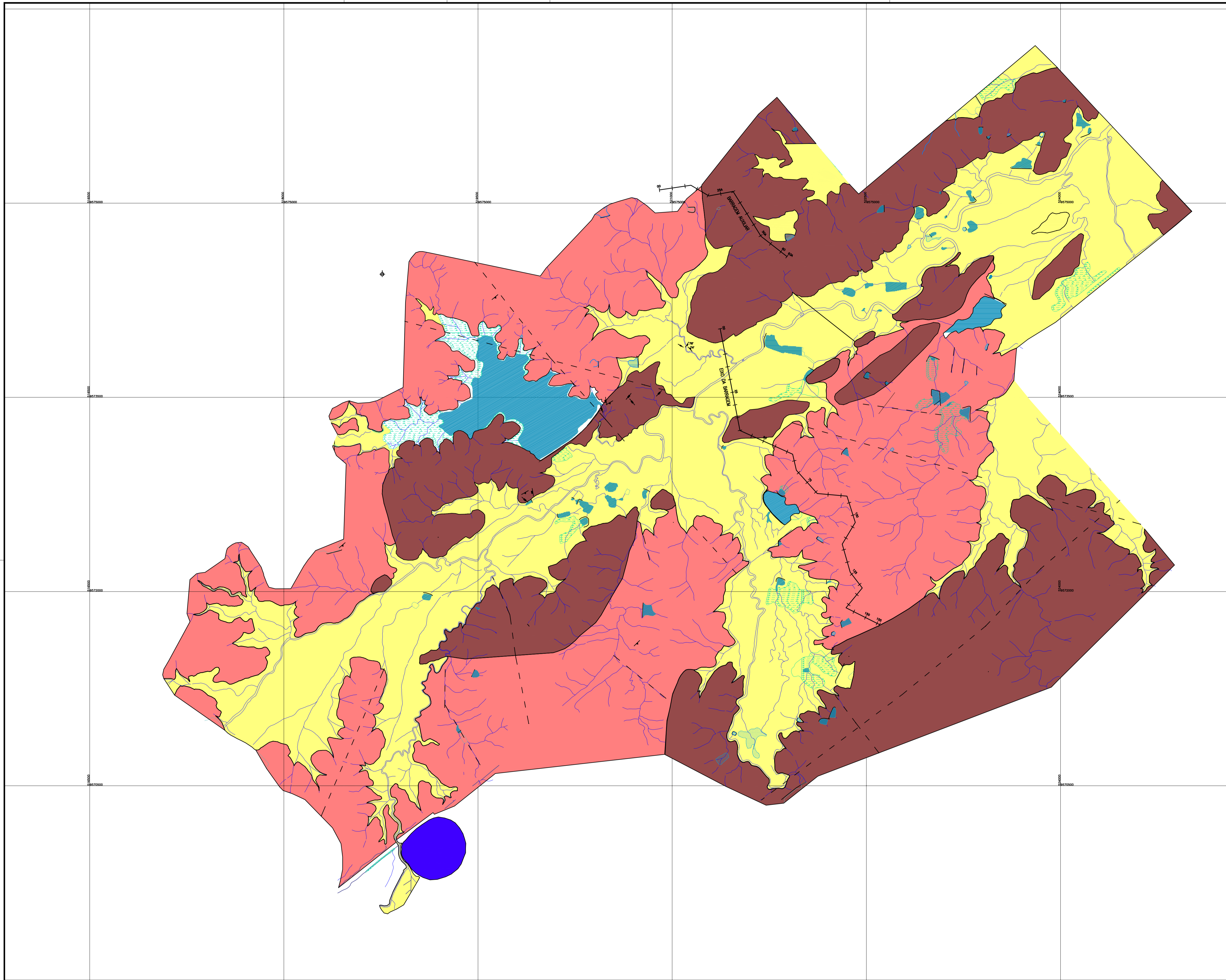
MONTGOMERY WATSON



## 6. ANEXO

---





**LEGENDA**

Coluna estratigráfica  
CENOZÓICO  
QUATERNÁRIO

ALUVÃO

TERCIÁRIO

VULCÂNICA ALCALINA

PROTEROZÓICO  
(INFERIOR)

GRANITO

GNAISSE

Convenções

- Açude
- Rio
- Carroçal
- Caminhos
- CE

Convenções geológicas

- Contato litológico
- Atitude de foliação
- Atitude de fratura
- Atitude de fratura vertical
- Fratura
- Traço de foliação
- Falha definida

LEGENDA :

NOTAS :

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

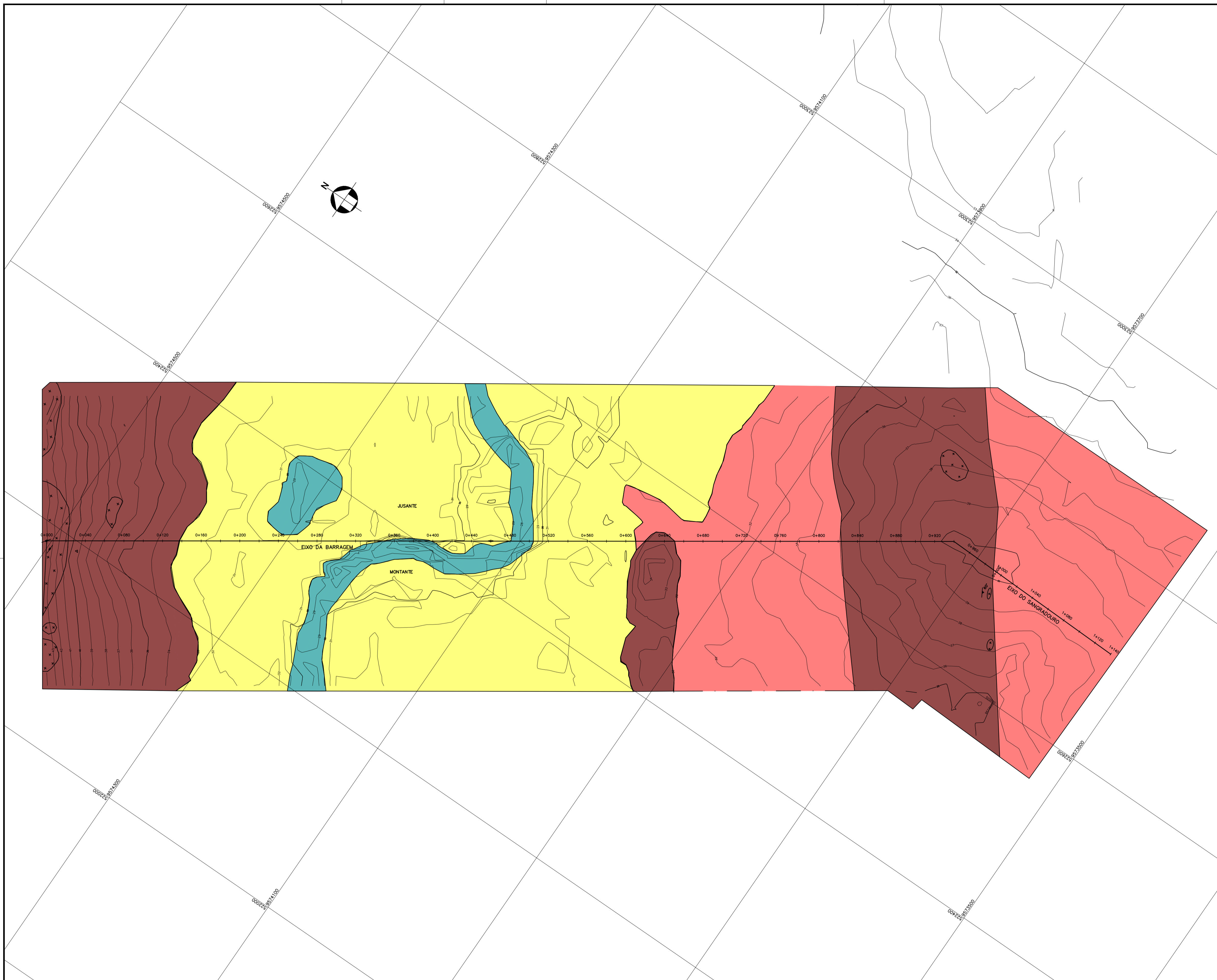
REVISÕES			
Nº	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

**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 CEARÁ

Projeto :	Arquivo
Visto :	CEARA_FIGURA_2-3.dwg
Verificado :	Data de Emissão : JAN./2003
Aprova :	Escala : 1:15000
Nº do Desenho : FIGURA_2.3	



**LEGENDA**

Coluna estratigráfica

CENOZÓICO  
QUATERNÁRIO

ALUVIÃO

PROTEROZÓICO  
(INFERIOR)

GRANITO

GNAISSE

Convenções

- Açude
- Rio
- Caminho
- CE

Convenções geológicas

- Contato litológico
- Atitude de foliação
- 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 CEARÁ**

Projeto :		Arquivo :
Visto :		Data de Emissão : JAN./2002
Verificado :		Escala : 1:2000
Aprova :		Nº do Desenho : <b>FIGURA 2.4</b>

**Consórcio**

---



**MONTGOMERY WATSON**

