



Dezembro de 2002

**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**



SRH Secretaria dos Recursos Hídricos

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

Contrato

Nº 02/ PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH 2001

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

BARRAGEM MISSI VOLUME I - ESTUDOS BÁSICOS Tomo 1 - Relatório Geral



MONTGOMERY WATSON





MONTGOMERY WATSON



ÍNDICE

**ÍNDICE****Páginas**

ÍNDICE -----	1
1. INTRODUÇÃO -----	4
2. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS -----	9
2.1. <i>Trabalhos Cartográficos</i> -----	10
2.2. <i>Transporte de Coordenadas</i> -----	12
2.3. <i>Transporte de Cota</i> -----	12
2.4. <i>Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro</i> -----	13
2.4.1. <i>Locação dos eixos e Implantação de Marcos</i> -----	13
2.4.2. <i>Nivelamento</i> -----	14
2.4.3. <i>Levantamento de Seções Transversais</i> -----	15
2.4.4. <i>Levantamento do Canal de Restituição</i> -----	15
2.5. <i>Levantamento da Bacia Hidráulica</i> -----	16
2.5.1. <i>Trabalhos Executados</i> -----	16
2.5.2. <i>Cobertura Aerofotogramétrica</i> -----	17
2.5.3. <i>Apoio Básico</i> -----	19
2.5.4. <i>Aerotriangulação</i> -----	20
2.5.5. <i>Restituição Fotogramétrica</i> -----	21
2.5.6. <i>Produtos Entregue</i> -----	21
2.6. <i>Levantamento De Jazidas</i> -----	22
2.6.1. <i>Jazidas</i> -----	22
2.6.2. <i>Areal</i> -----	23
2.6.3. <i>Pedreiras</i> -----	24
3. ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS -----	25
3.1. <i>Geologia Regional</i> -----	26
3.2. <i>Geologia Local</i> -----	29
3.3. <i>Levantamento Geológico de Superfície</i> -----	30
3.4. <i>Investigação no Local do Barramento</i> -----	32
3.4.1. <i>Sondagens Realizadas</i> -----	32
3.4.2. <i>Sondagens a Percussão</i> -----	34
3.4.3. <i>Sondagens Mistas</i> -----	35
3.4.4. <i>Ensaio de Campo</i> -----	36
3.5. <i>Investigação no Local do Sangradouro</i> -----	37
3.5.1. <i>Sondagens Realizadas</i> -----	37
3.6. <i>Estudo dos Materiais Construtivos</i> -----	42



3.6.1. Jazidas de Solo-----	42
3.6.2. Areal-----	51
3.6.3. Pedreira -----	52
4. ESTUDOS HIDROLÓGICOS -----	54
4.1. <i>Ficha Hidrológica</i> -----	55
4.2. <i>Caracterização Da Bacia Hidrográfica</i> -----	57
4.3. <i>Caracterização Climática</i> -----	60
4.4. <i>Estudos De Chuvas Intensas</i> -----	62
4.4.1. Chuvas Máximas Diárias-----	62
4.4.2. Chuvas Intensas-----	62
4.5. Estudo De Deflúvios -----	65
4.6. <i>Estudo Das Cheias De Projeto</i> -----	68
4.7. <i>Dimensionamento Do Reservatório</i> -----	69
4.7.1. Disponibilidade hídrica-----	69
4.7.2. Estudo da Capacidade Econômica do Reservatório -----	72
5. CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS-----	74



MONTGOMERY WATSON



INTRODUÇÃO



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 1 - Relatório Geral**, é parte integrante do **Volume 1- Estudos Básicos** e diz respeito à **Barragem Missi**, a qual tem por finalidade a criação de um reservatório no rio Missi, integrante da bacia do rio Aracatiaçu , para o abastecimento da população da sede municipal de Amontada, Ceará.

O Tomo 1 apresenta um relato sintético de todas as atividades desenvolvidas nos Estudos Básicos relativas aos estudos topográficos, cartográficos, geológicos, geotécnicos e hidrológicos desenvolvidos para subsidiar o projeto executivo da barragem Missi.

O volume 1 - Estudos Básicos é composto dos seguintes tomos:

Tomo 1 - Relatório Geral

Tomo 2 - Estudos Hidrológicos

Tomo 3 - Estudos Cartográficos - Textos

Tomo 3 A - Estudos Cartográficos - Desenhos

Tomo 3 B - Estudos Cartográficos - Memória de Cálculos

Tomo 3 C - Estudos Cartográficos - Cadernetas de Campo

Tomo 4 - Geologia e Geotecnia - Textos

Tomo 4 - Geologia e Geotecnia - Anexos



MONTGOMERY WATSON



1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO



1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A Barragem Missi será formada pelo barramento do rio homônimo, cuja bacia hidrográfica ocupa uma posição centro-ocidental no município de Miraíma, no Estado do Ceará. A barragem fechará o boqueirão existente na região denominada Fazenda Conceição, a 21,0km da sede do município de Miraíma. O reservatório terá sua bacia hidráulica totalmente inclusa no território do referido município.

A Figura 1.1 apresenta a localização do empreendimento a nível estadual.

Desde Fortaleza, o acesso ao sítio do barramento é feito através da BR-222 até a cidade de Umirim. A partir daí, toma-se à direita a CE-BR-402/CE-354 até a cidade de Amontada percorrendo-se cerca de 63,0km. Toma-se, então, a rodovia implantada CE-176, em direção a Miraíma por 15,0km até o local denominado Juremal. O acesso ao local do barramento se faz através de uma estrada carroçável, que parte da CE-176, na qual se segue por cerca de 5,0km até o local do boqueirão. Outra opção de percurso a partir da cidade de Amontada é através de uma estrada carroçável que parte da zona urbana e segue pela margem direita dos rios Aracatiaçu e Missi, por um percurso de 13,0km.



Fonte: Atlas do Ceará - IPLANCE.

FIGURA - 1.1
MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BARRAGEM



MONTGOMERY WATSON



2. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS



2. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

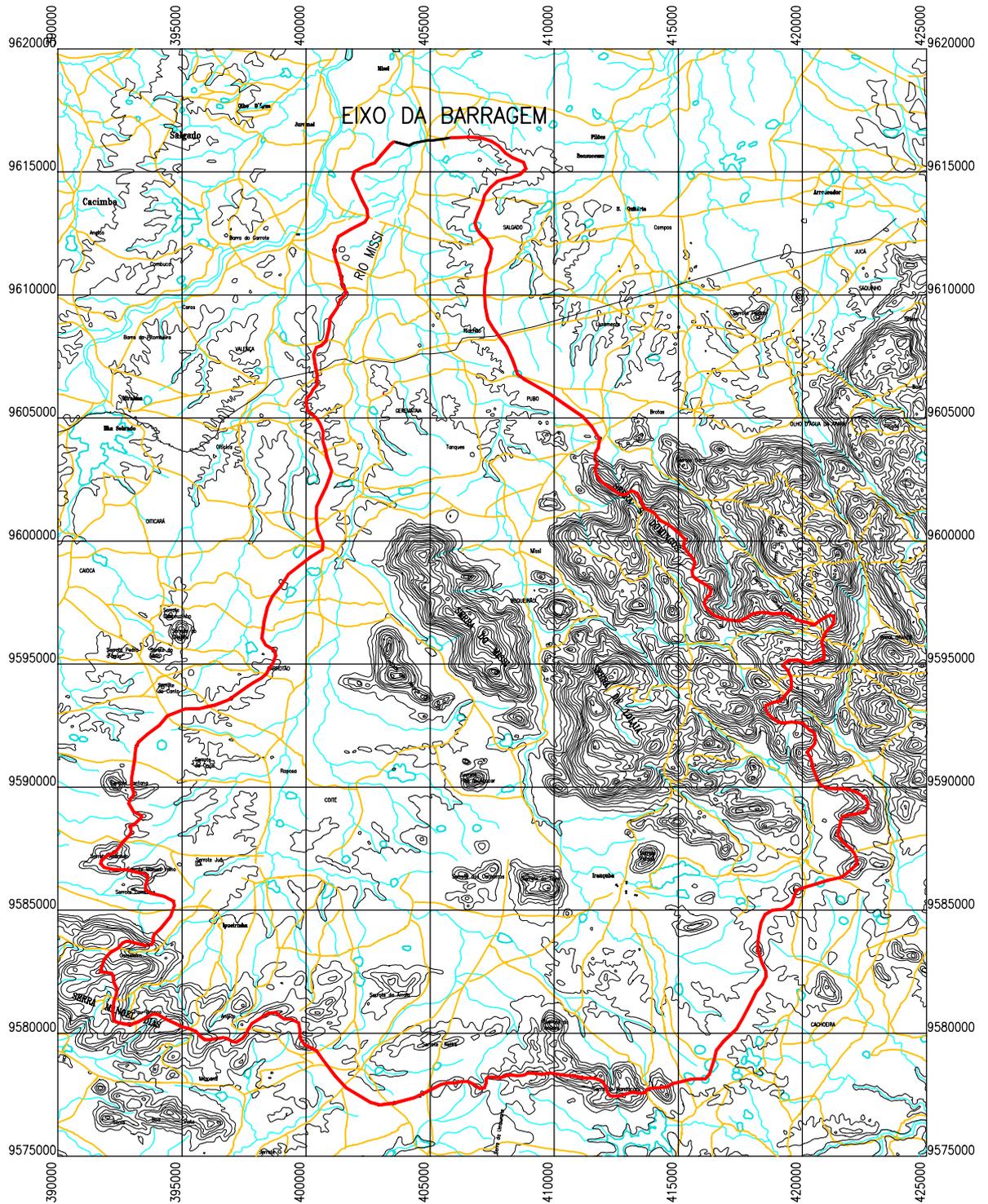
2.1. TRABALHOS CARTOGRÁFICOS

Os estudos cartográficos foram desenvolvidos basicamente a partir de cartas da SUDENE digitalizadas em escala 1 : 100.000 e com curvas de nível a cada 40 metros; sobre as quais foi definida a localização do barramento e delimitada a área da bacia hidrográfica.

As cartas topográficas utilizadas foram:

- Itapipoca: nº SA-24-Y-D-II
- Irauçuba: nº SA-24-Y-D-V

O contorno da bacia hidrográfica da barragem Missi, que totaliza uma área de 652,66 km², está apresentado na figura 2.1 a seguir, em escala bastante reduzida, e no desenho I-3A-01/15-000, do Tomo 3A, com maiores detalhes.



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM MISSI – BACIA HIDROGRÁFICA

ESCALA:
1:250.000

DATA:
MAR./2002

FIGURA N° :
2.1



2.2. TRANSPORTE DE COORDENADAS

Adotando-se o sistema de levantamento com GPS (Sistema de Posicionamento Global), foram determinadas as coordenadas da estaca 00 e do marco M-3 na estaca 58+13,90, no eixo da barragem Missi, a partir do *Datum* SAD-69. Estes pontos foram locados um em relação ao outro, usando o próprio GPS, para a verificação da precisão obtida.

O quadro a seguir apresenta as coordenadas UTM, longitude e latitude geodésica dos pontos levantados.

Ponto	Estaca	Coordenadas UTM (m)		Longitude Geodésica	Latitude Geodésica
		Este	Norte		
Estaca 00	00	403.796,996	9.616.160,9114	39°51'57,94373"WGr	3°28'20,13451"S
Marco M-3	58+13,9	404.920,413	9.616.287,736	39°51'21,53275"WGr	3°28'16,03775"S

No **Tomo 3B** – *Estudos Cartográficos – Memória de Cálculo* encontram-se os cálculos realizados para o transporte de coordenadas.

2.3. TRANSPORTE DE COTA

O transporte de cota foi realizado por meio de topografia convencional, através de poligonais de nivelamento e contra-nivelamento, tendo sido utilizado para esse trabalho um nível WILD N-1.

Tomou-se como base a RN nº 518 B do IBGE, situada junto à porta principal da igreja matriz em Amontada, nas coordenadas N = 9.628,4 km e E = 407,7 km e cota 34,2544 m.

A caderneta com o transporte de cota realizado na barragem Missi, encontra-se no **Tomo 3C** – *Estudos Cartográficos – Cadernetas de Campo*.



2.4. LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL E SANGRADOURO

O eixo da barragem Missi foi locado em um boqueirão com características topográficas favoráveis. Já o sangradouro, foi inicialmente definido e estudado em uma sela topográfica situada na ombreira direita.

Com a elaboração de um plano de sondagens e a execução do mesmo, observou-se na região do sangradouro, que a rocha são encontrava-se relativamente profunda. Logo, investigou-se uma região mais à jusante do local anteriormente estudado e outra na ombreira esquerda, onde não indicaram situações geológicas mais favoráveis. Com isso levantou-se plani-altimetricamente um eixo chamado “B” situado à aproximadamente 5 km à montante do eixo barrável, no divisor de águas das bacias do rio Missi e do rio Aracatiaçu, contudo os estudos geológicos indicaram a inviabilidade desta alternativa.

Após todo esse estudo, decidiu-se implantar o sangradouro no local inicialmente estudado.

Os levantamentos topográficos do eixo da barragem e sangradouro, foram executados através de processos convencionais constando dos seguintes serviços: locação, implantação de marcos para futura relocação, nivelamento e levantamento de seções transversais.

2.4.1. Locação dos eixos e Implantação de Marcos

Utilizando-se um Teodolito WILD T-1, locou-se o eixo da barragem e sangradouro, o qual foi materializado a cada 20 metros por pontos estaqueados e numerados, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis tais como: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno entre outros.

A estaca 00 está localizada na ombreira esquerda, de onde se partiu buscando uma melhor locação seguindo o divisor de águas. Na estaca 18 se fez necessária uma deflexão de $41^{\circ}30'$, à esquerda, onde foi implantado o marco de concreto M-



1. O eixo apresenta outra deflexão de $16^{\circ}10'$, à direita, na estaca 29+7,40, onde o marco M-2 foi instalado. Seguindo ainda a linha de cumeeada, houve necessidade de mais duas deflexões no eixo; uma de $17^{\circ}10'$, à direita na estaca 58+13,90, e outra de $14^{\circ}30'$, à esquerda na estaca 66+5,70, onde foram implantados os marcos M-3 e M-4 respectivamente. O final do eixo situa-se na ombreira direita na estaca 103, onde está instalado o marco M-5.

Com a elaboração dos estudos hidrológicos, observou-se que o tamanho ideal do reservatório é o limite físico dado pelas ombreiras, portanto fez-se necessário o prolongamento do eixo na ombreira esquerda até a cota máxima. Para isto realizou-se um levantamento complementar a partir da estaca 00, com estaqueamento negativo a cada 20 metros, até a estaca (-13), onde se atingiu as altitudes máximas nesta ombreira.

O quadro a seguir apresenta a relação dos marcos implantados.

Marco	Estaca	Coordenadas UTM (m)	
		Este	Norte
M-1	18	404.144	9.616.072
M-2	29+7,40	404.346	9.616.176
M-3	58+13,90	404.922	9.616.288
M-4	66+5,70	405.073	9.616.272
M-5	103	405.799	9.616.379

2.4.2. Nivelamento

O levantamento altimétrico da barragem Missi, foi realizado utilizando-se um nível WILD N-1, onde foram niveladas todas as estacas do eixo materializado. A partir deste levantamento, gerou-se o perfil longitudinal do terreno natural no eixo, o qual encontra-se apresentado no desenho I-3A-03/15-000, **Tomo 3A**.

No **Tomo 3C** - *Estudos Cartográficos - Cadernetas de Campo* encontra-se a caderneta de nivelamento do eixo barrável e sangradouro.



2.4.3. Levantamento de Seções Transversais

Foram levantadas seções transversais ao eixo da barragem e sangradouro a cada 20 metros, com utilização de nível e mira. As seções abrangeram uma faixa de domínio com largura de 150 metros à montante e à jusante, e se constituíram de pontos cotados a cada 20 metros, considerando também os pontos de destaque do relevo topográfico.

O desenho I-3A-02/15-000 no **Tomo 3A**, apresenta a planta baixa do eixo da barragem Missi e o seu respectivo sangradouro, com curvas de nível do terreno natural a cada metro, geradas a partir do levantamento topográfico. Já as cadernetas de seções transversais encontram-se no **Tomo 3C - Estudos Cartográficos - Cadernetas de Campo**.

2.4.4. Levantamento do Canal de Restituição

O canal de restituição da barragem Missi, foi levantado plani-altimetricamente através de processos topográficos convencionais, constando de: locação; nivelamento e levantamento de seções transversais.

a) Locação

Locou-se o canal de restituição utilizando-se um Teodolito WILD T-1, o qual foi estaqueado e numerado a cada 50 metros, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis do relevo.

A partir da estaca 85 do eixo da barragem/sangradouro, foi locada a poligonal do canal de restituição do caudal de sangria até o rio Missi, com 1.071 metros de extensão, como pode ser observado no desenho I-3A-02/15-000, do **Tomo 3A**.

A caderneta de locação do canal de restituição, encontra-se no **Tomo 3C - Estudos Cartográficos - Cadernetas de Campo**.



b) Nivelamento e Seções Transversais

Utilizando-se um nível WILD N-1, realizou-se o levantamento altimétrico da poligonal do canal de restituição, através de seccionamento a cada 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros. A partir desse levantamento foi elaborada uma planta baixa com curvas de nível do terreno natural a cada metro, que se encontra apresentada no **Tomo 3A**, desenho I-3A-02/15-000.

No **Tomo 3C** – Estudos Cartográficos – Cadernetas de Campo encontram-se as cadernetas de nivelamento e seções transversais da poligonal do canal de restituição.

2.5. LEVANTAMENTO DA BACIA HIDRÁULICA

Para a execução dos serviços plani-altimétricos na área da bacia hidráulica da barragem Missi, no município de Miraima, o consórcio firmou contrato com a empresa BASE Aerofotogrametria e Projetos S.A., tendo como objetivo a execução de serviços de engenharia cartográfica, compreendendo cobertura aerofotogramétrica colorida na escala 1:15.000, totalizando 70 km² e mapas digitais na escala 1:5.000, da bacia hidráulica que totalizaram 28,97 km².

Os serviços foram desenvolvidos de acordo com as normas de aerolevantamentos vigentes.

2.5.1. Trabalhos Executados

Apresentamos abaixo a relação das fases dos trabalhos executados neste projeto:

- Cobertura Aerofotogramétrica;
- Apoio de campo;
- Aerotriangulação;
- Restituição digital em escala 1:5.000;



- Geração de arquivos magnéticos.

2.5.2. Cobertura Aerofotogramétrica

Após a concessão da autorização do ministério da defesa iniciaram-se os trabalhos da cobertura aerofotogramétrica os quais apresentamos a seguir.

a) Plano de Vôo

Foi executado um plano de vôo indicando o centro de cada tomada de foto, utilizando o software TPLAN, e a câmara aérea RMK-TOP obedecendo às seguintes especificações:

- Recobrimento lateral: $30\% \pm 3\%$;
- Recobrimento longitudinal: $60\% \pm 3\%$;
- Ângulo solar: mínimo de 30° para regiões planas e 35° para regiões montanhosas;
- Ângulo de deriva: média por faixa, tolerância de 2° , casos isolados 5° ;
- Verticalidade do eixo ótico: média por faixa, tolerância de 2° , casos isolados 3° ;
- Altitude do vôo: a escala da fotografia em função da altura de vôo, não deverá variar mais que 5% do estabelecido.

b) Recobrimento Aerofotogramétrico

A cobertura aerofotogramétrica foi realizada com aeronave especialmente adaptada à tomada de fotografias aéreas, equipada com piloto automático e equipamento rastreador de satélites do sistema NAVSTAR - GPS, para a orientação do vôo, equipada com câmara aerofotogramétrica automática, grande angular e distância focal calibrada, próxima de 152 milímetros e formato útil de 23x23 centímetros.



A câmara foi equipada com controlador automático de recobrimento e deriva, com mecanismo de integração com GPS de navegação e com chassis com suspensão giro-estabilizada. Esta possui Certificado de Calibração, fornecido pelo fabricante, realizado a um ano.

O filme aéreo utilizado foi base estável (poliéster), pancromático, colorido, alto poder resolutivo (no mínimo 125 linhas por milímetros) com, no mínimo, 0,004 polegadas de espessura e dentro do período de validade estipulado pelo fabricante.

c) Dados que constam nas fotos

- Escala da foto;
- Número da faixa;
- Número da foto;
- Nome do local;
- Coordenadas do centro das fotos no momento da tomada;
- Distância focal calibrada da câmara; e
- Marcas fiduciais.

d) Laboratório

O processamento do filme aéreo e de todos os seus subprodutos foi realizado em laboratório, com condições de temperatura e umidade relativa controladas.

As cópias fotográficas foram executadas em copiadoras eletrônicas, utilizando papel fotográfico, semi-mate com graduação que permitiu bom contraste.



e) Foto-índice

Para a confecção do foto-índice digital, as fotografias foram escanerizadas e montadas em faixas e estas em blocos, e, em seguida, reproduzidas em escala 4 (quatro) vezes menor que a escala original das fotos, em papel Semi Gloss, enquadradas por coordenadas geográficas, através de cruzetas desenhadas nos 4 (quatro) cantos de cada folha.

Dados contidos no Foto-índice:

- Número de cada exposição que o compõem;
- Números das faixas;
- Escala da foto;
- Escala do Foto-índice.

2.5.3. Apoio Básico

Na Barragem Missi foram implantados 05 vértices, monumentalizados por marcos de concreto de formato tronco piramidal medindo 10x12x50 cm, com chapa de bronze no centro do topo e elevado a 10 cm do solo. De cada marco foi elaborada uma monografia que se encontra no *Tomo 3B - Estudos Cartográficos - Memória de Cálculo*.

Para a determinação das coordenadas de cada vértice da rede de apoio básico da Barragem Missi tivemos na planimetria origem no V.BASTIÃO do IBGE de latitude 03°17'58,54651" S e longitude 39°37'33,90450" W e altitude de 53,65 m, e chegada no Vértice CHORA do IBGE de latitude 03°19'51,4900" S e longitude 40°04'03,11491" e altitude de 288,64 m.

Foram implantados os vértices M-01 a M-05 e sua determinação foi executada pelo método diferencial estático com rastreamento em tempo suficiente para



resolver a ambigüidade com constelação mínima de 05 (cinco) satélites e PDOP de 06 (seis) ou menor, a fim de garantir uma precisão mínima de 1:100.000.

As medições foram feitas com GPS Trimble 4600LS de uma frequência com duração de rastreamento de 1 hora.

Os vértices implantados foram nivelados geometricamente tendo como origem a RN 517 U e a chegada RN 518 B ambas do IBGE.

No apoio suplementar foram determinados 17 pontos plani-altimétricos denominados de HV-01 a HV-17.

A determinação foi executada pelo método diferencial estático com rastreamento em tempo suficiente para resolver a ambigüidade com constelação mínima de 05 (cinco) satélites e PDOP de 06 (seis) ou menor, a fim de garantir uma precisão mínima de 1:50.000.

As medições foram feitas com GPS Trimble 4600LS de uma frequência com duração de rastreamento de 0,30 hora.

A altimetria do apoio suplementar teve suas altitudes ortométricas determinadas por diferença geoidal definidas através do rastreamento de duas RRNN do IBGE, as quais deram altitude aos pontos do apoio suplementar.

2.5.4. Aerotriangulação

As imagens para a geração dos trabalhos foram obtidas a partir da scannerização dos negativos fotogramétricos na escala de 1:15.000, com utilização de “scanner fotogramétrico” com capacidade de geração de imagens digitais com “pixel” de 28 microns.

A aerotriangulação espacial foi executada em equipamentos digitais ISM dotados de programa específico para o cálculo e ajustamento da mesma utilizando a escanerização executada.



No cálculo da aerotriangulação foi utilizado o programa PAT-B do professor Ackermann.

Considerando a importância da aerotriangulação na precisão do produto final, os procedimentos foram rigorosamente controlados.

2.5.5. Restituição Fotogramétrica

Para a vetorização dos elementos cartográficos a seguir discriminados, foram utilizados restituidores digitais dotados de programa específico.

Elementos Cartográficos representados:

- Sistema hidrográfico;
- Altimetria;
- Referências de nível.

A altimetria foi definida até a cota 57 mais 100 metros, para maior segurança dos dados do projeto, perfazendo um total de 28,97 km² de área restituída.

Todos os trabalhos seguiram as INSTRUÇÕES REGULADORAS DAS NORMAS TÉCNICAS DA CARTOGRAFIA NACIONAL, atendendo ao padrão de PEC estabelecido a esse tipo de trabalho.

2.5.6. Produtos Entregue

Serão entregue a SRH/CE os seguintes produtos a respeito do levantamento aerofotogramétrico da bacia da barragem Umari:

- Uma coleção de aerofotos na escala do vôo, 34 fotos;
- Um foto índice na escala de 1:60.000;
- Monografias dos vértices implantados;



- 01 coleção de CD-ROM, contendo 39 fotos aéreas em formato digital;
- 01 coleção de arquivos digitais, em formato DWG-3D na escala 1:5.000, com hidrografia e altimetria. A impressão destes arquivos encontram-se nos desenhos de I-3A-04/15-000 até I-3A-14/15-000, do **Tomo 3A**, acordo com o quadro a seguir:

Articulação	Desenho do Tomo 3A
MISSI - A1	I-3A-04/15-000
MISSI - A2	I-3A-05/15-000
MISSI - A3	I-3A-06/15-000
MISSI - A4	I-3A-07/15-000
MISSI - A5	I-3A-08/15-000
MISSI - A6	I-3A-09/15-000
MISSI - B1	I-3A-10/15-000
MISSI - B2	I-3A-11/15-000
MISSI - B3	I-3A-12/15-000
MISSI - B4	I-3A-13/15-000
MISSI - B5	I-3A-14/15-000

2.6. LEVANTAMENTO DE JAZIDAS

As áreas das ocorrências de materiais construtivos para execução da barragem Missi, foram amarradas a partir do eixo barrável, através de poligonais locadas com a utilização de um teodolito WILD T-1. As ocorrências objeto do levantamento planimétrico foram: Jazidas J-1, J-2 e J-3 de material terroso; Areal; e duas Pedreiras.

2.6.1. Jazidas

Foram estudadas três jazidas para construção da barragem de terra. Inicialmente locou-se a poligonal de amarração das jazidas J-1, J-2 e J-3, em relação ao eixo barrável, seguindo as estradas vicinais ou caminhos existentes em seguida, através de uma linha base auxiliar, todos os poços escavados para investigação geotécnica das jazidas foram locados, numerados e amarrados.



O quadro a seguir apresenta a quantidade de furos e a área levantada de cada jazida.

Local	Quantidade de Furos	Área (ha)
Jazida J-1	46	8,55
Jazida J-2	120	24,91
Jazida J-3	25	11,07

No **Tomo 3A**, desenho I-3A-15/15-000, apresenta a localização das jazidas e no **Tomo 3C**, encontram-se as cadernetas de locação.

2.6.2. Areal

Para execução do filtro de areia e fonte de fornecimento de agregado miúdo para concretos da barragem Missi, foram realizadas investigações geotécnicas por meio de poços à pá e picareta, ao longo do areal do rio Missi. O quadro a seguir apresenta as coordenadas destes poços.

Furo	Coordenadas UTM (m)	
	Este	Norte
01	404.181	9.615.935
02	404.284	9.616.056
03	404.407	9.616.168
04	404.579	9.616.282
05	404.635	9.616.397
06	404.647	9.616.511
07	404.597	9.616.690
08	404.692	9.616.836
09	404.638	9.617.003
10	404.549	9.617.213
11	404.456	9.617.323
12	404.490	9.617.446
13	404.490	9.617.634
14	404.394	9.617.725
15	404.274	9.617.820



2.6.3. Pedreiras

As pedreiras P-1 e P-2, áreas estudadas como possível fonte de material pétreo necessário para a construção da barragem, foram levantadas planimetricamente através de poligonais, a partir do eixo barrável.

Tendo em vista a grande cobertura de solo avaliada nas sondagens da Pedreira P-2, associada a localização fora da área do reservatório, esta área foi descartada como fonte de suprimento. Elegeu-se portanto a Pedreira 1 como fonte complementar de rocha, após a utilização de todo volume aproveitável das escavações obrigatórias do sangradouro.

O quadro a seguir apresenta as coordenadas das sondagens realizadas nas pedreiras.

Local	Sondagem	Coordenadas UTM (m)	
		Este	Norte
Pedreira P-1	FPM-1	404.670	9.615.187
	FPM-2	404.679	9.615.266
	FPM-3	404.732	9.615.119
Pedreira P-2	FPJ-1	404.615	9.617.210
	FPJ-2	404.632	9.617.118
	FPJ-3	404.677	9.617.154
	FPJ-4	404.586	9.617.261
	FPJ-5	404.636	9.617.276

A localização das pedreiras pode ser observada no desenho I-3A-15/15-000 do **Tomo 3A**, enquanto a caderneta de locação está apresentada no **Tomo 3C**.



MONTGOMERY WATSON



3. ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS



3. ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

3.1. GEOLOGIA REGIONAL

A descrição da Geologia Regional foi feita com base em pesquisa de trabalhos realizados anteriormente, tendo como fonte o Mapa Geológico do Estado do Ceará, em escala 1:500.000, elaborado em 1983, e o Projeto Fortaleza, através do convênio DNPM/CPRM, em 1981. Foram utilizadas as nomenclaturas adotadas no projeto Fortaleza.

O Rio Missi, escolhido para a formação da barragem é afluente do Rio Aracatiáçu, que deságua no litoral e faz parte da rede hidrográfica da bacia litorânea (bacia Aracatiáçu), formado por rios intermitentes, onde predomina o padrão de drenagem dendrítica.

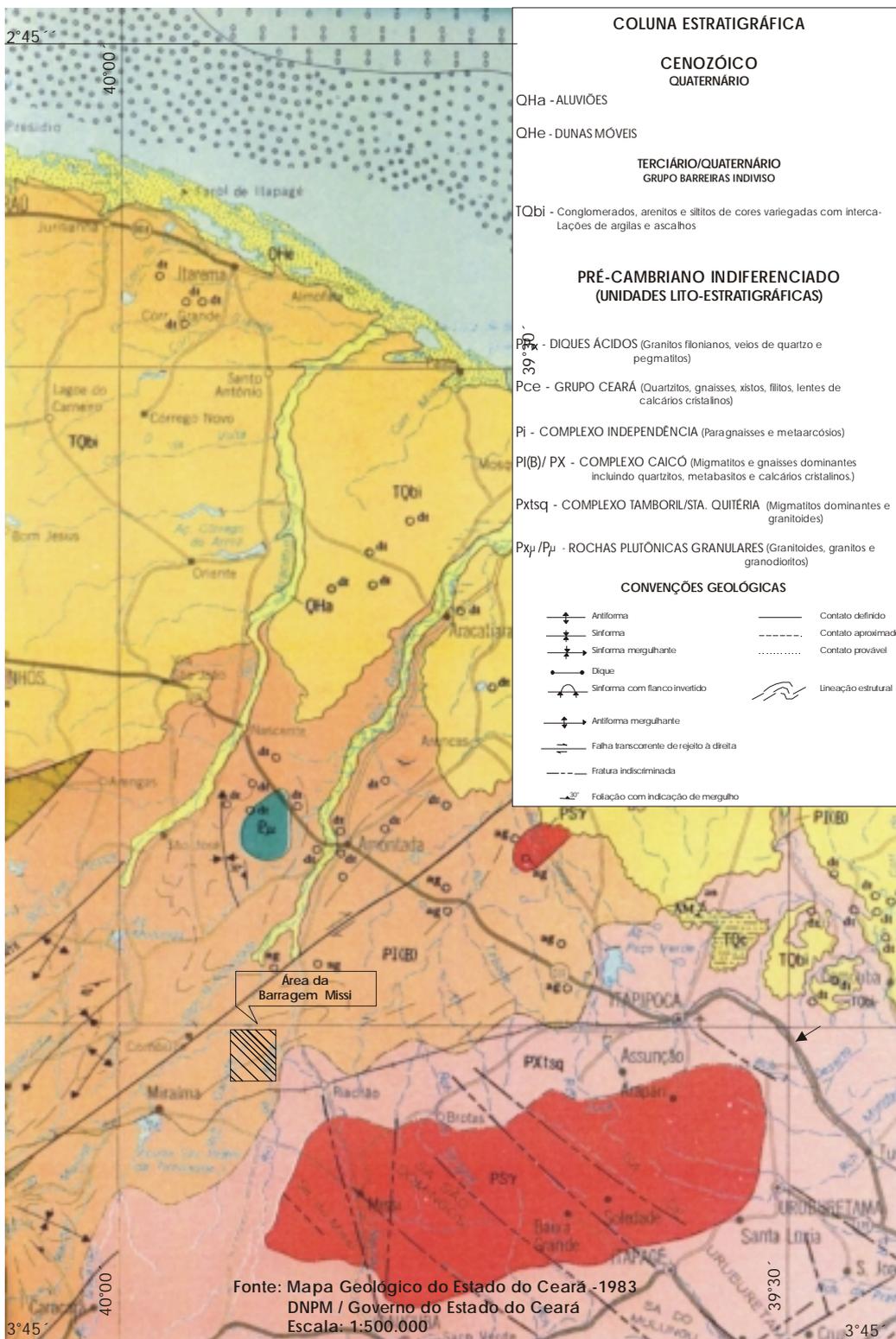
A geomorfologia está condicionada às unidades litoestratigráficas presentes que modelam quatro feições distintas, sendo a primeira formada por dunas que formam cordões próximos à costa litorânea; a segunda feição é representada por terrenos cenozóicos formando uma superfície aplainada, constituída de sedimentos arenosos do Grupo Barreiras Indiviso, com largura entre 30 a 50Km ao longo da costa; a terceira feição é formada por um extenso pediplano de rochas cristalinas que se estendem para o interior; e finalmente a quarta feição que se destaca nesse relevo monótono através de maciços montanhosos esculpidos em rochas cristalinas, destacando-se as Serras São Domingos e Sítio Verde, próximas a Itapipoca.

A geologia da região (ver figura 3.1) é predominantemente representada por um conjunto de rochas cristalinas que constituem uma associação metamórfica, caracterizando um complexo de idade pré-cambriana, cujos tipos petrográficos são gnaisses migmatíticos, xistos, quartzitos, granitos, anfibolitos e pegmatitos. Essas rochas foram agrupadas em quatro unidades litoestratigráficas indiferenciadas cronologicamente:



FIGURA 3.1

GEOLOGIA REGIONAL





Complexo Caicó, constituída de gnaisses e migmatitos com lentes de anfibolito, quartzito e calcário cristalino, apresentando “trend” estrutural orientado segundo NE-SW;

Rochas Plutônicas Granulares, formadas abaixo da superfície terrestre e representadas por granitóides, gabróides e sienitos;

Complexo Tamboril-Santa-Quitéria, que condiciona o relevo a elevações que se sobressaem da paisagem monótona, compreendendo uma litologia altamente migmatizada que vai se homogeneizando dos bordos para o centro, culminado com a formação de corpos graníticos;

Diques Ácidos, formados por rochas filoneanas ácidas que ocorrem preenchendo fraturas e recortando as rochas das unidades supra citadas.

A unidade dominante na região, ou seja, com maior extensão geográfica é o Complexo Caicó.

Três unidades mais recentes, pertencentes à era Cenozóica são divididas da seguinte forma:

Grupo Barreiras Indiviso, de idade tércio-quadernária constituída de uma sequência sedimentar representada por conglomerados, arenitos e siltitos de cores variegadas com intercalações de argila e cascalhos;

Sedimentos Litorâneos, formado por arenitos flúvio-marinhos e sedimentos inconsolidados de origem eólica, constituindo as dunas que se desenvolvem paralelamente à linha de costa;

Aluviões, que são sedimentos de idade quadernária de composição silto-areno-argilosa, encontrados principalmente nos leitos e margens dos principais rios e riachos, destacando-se os rios Acaraú, Aracati-Mirim, Aracatiaçú, Cruxati e Missi.



O conjunto formado pelas falhas transcorrentes de Sobral-Pedro II, Humberto Monte e Forquilha constituem as principais feições estruturais da região. A falha de Forquilha possui direção NE-SW e rejeito destrógiro, com extensão aproximada de 130Km, passando a uma distância aproximada de 4Km `a NE do eixo da barragem.

3.2. GEOLOGIA LOCAL

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

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.

A litologia predominante é formada por rochas cristalinas do Pré-cambriano, incluídas no Complexo Cristalino, onde ocorrem gnaisses migmatíticos, quartzitos, xistos, anfibolitos, granitos e calcários cristalinos. O alinhamento do eixo da barragem se dá mais ou menos segundo E-W. A foliação dominante das rochas que ocorrem na área é orientada segundo NE-SW com mergulhos entre 40° a 60°, predominantemente para SE.

Os depósitos aluvionares que se formam ao longo de Rio Missi e alguns de seus principais contribuintes ocupam, em alguns locais, extensas áreas planas com larguras superiores a 600m.

As variações litoestratigráficas observadas na área são reflexo de uma série de eventos de movimentações e reativações tectônicas, comandadas pelo sistema de falhamentos presentes na região, associados à Falha de Forquilha.



3.3. LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE

O levantamento geológico de superfície foi realizado no campo com o objetivo de identificar as unidades litológicas presentes, definindo seus contatos litológicos.

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.

Ao longo do eixo foram identificadas as seguintes litologias:

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

Da **estaca -7 a 5**: Há uma predominância do gnaisse, recortado em vários locais por veios de pegmatito. O contato com o quartzito se dá longitudinalmente ao eixo da barragem, segundo NE-SW, concordante com a foliação. Entre as estacas -1 a 3 o eixo da barragem é cortado por uma faixa formada por um alinhamento quase que contínuo de afloramentos de pegmatito.

Da **estaca 5 a 9**: Ocorre uma área recoberta por solo arenoso com muitos fragmentos de quartzito e com grandes concentrações de seixos de quartzo e sílica cripto-cristalina. No trecho situado à montante do eixo, com distância variando entre 135 a 75m respectivamente entre as estacas 2 e 9, ocorre uma lente de calcário cristalino encaixada dentro de outra lente anfibolítica, que por sua vez está encaixada entre o gnaisse e o quartzito, cruzando obliquamente com o eixo locado entre as estacas 11 e 13

Da **estaca 9 a 11**: Ocorre nesta faixa uma predominância de rocha xistosa (biotita-xisto) superficialmente rodeada pelas demais litologias, aparecendo entre a lente anfibolítica à montante e o dique de pegmatito à jusante.



Da **estaca 11 a 13**: tem-se a continuidade da lente de anfibolito descrita anteriormente, que se estende no sentido longitudinal, cortando o eixo da barragem segundo NE-SW, caracterizando-se por uma mancha formada por solo argiloso com muitas rachaduras (gretas).

Da **estaca 13 a 32+10m**: A topografia do terreno se eleva a partir da estaca 16, com a formação de uma crista onde ocorrem superficialmente vários afloramentos e fragmentos de quartzito, com uma largura entre bordas de aproximadamente 120m, 60m para montante e 60m para jusante, fazendo contato à montante com a lente de anfibolito e a aluvião do rio Missi e à jusante com as mesmas litologias citadas, além do ganisse.

Da **estaca 32+10m a 52**: Essa faixa é formada pelas aluviões do rio Missi, com extensos terraços de topografia plana, constituídos de solo com granulometria fina, de composição silto-areno-argilosa, de cor cinza-clara, recortados pelos braços formados pelas calhas do rio, onde ocorrem areias de granulometria fina a média, com pedregulhos e cascalhos e vários afloramentos de rochas xistosas e gnáissicas.

Da **estaca 52 a 153**: predomina superficialmente em toda essa extensão o quartzito que se desenvolve através de uma elevação formando uma crista com as mesmas características já descritas, onde são comuns áreas com recobrimento de fragmentos de rocha quartzítica espalhados e soltos, mostrando intenso grau de fraturamento.

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.

De maneira geral a foliação predominante em todas as litologias presentes na área, se dá segundo NE-SW, concordante com o “trend” regional e mergulhando para SE com variações entre 40° a 70°.

A partir de 500 direções de fraturas medidas nas rochas aflorantes, foi elaborado o Diagrama de Roseta para definição da direção preferencial média percentual



que se dá segundo NW-SE, concentrando-se principalmente entre N110°Az a N120°Az, representando um percentual de 32% do total medido e entre N170°Az a N180°Az, representando 24,6%. O mergulho se dá preferencialmente vertical, variando ainda entre 40° a 80 ° para NE.

3.4. INVESTIGAÇÃO NO LOCAL DO BARRAMENTO

3.4.1. Sondagens Realizadas

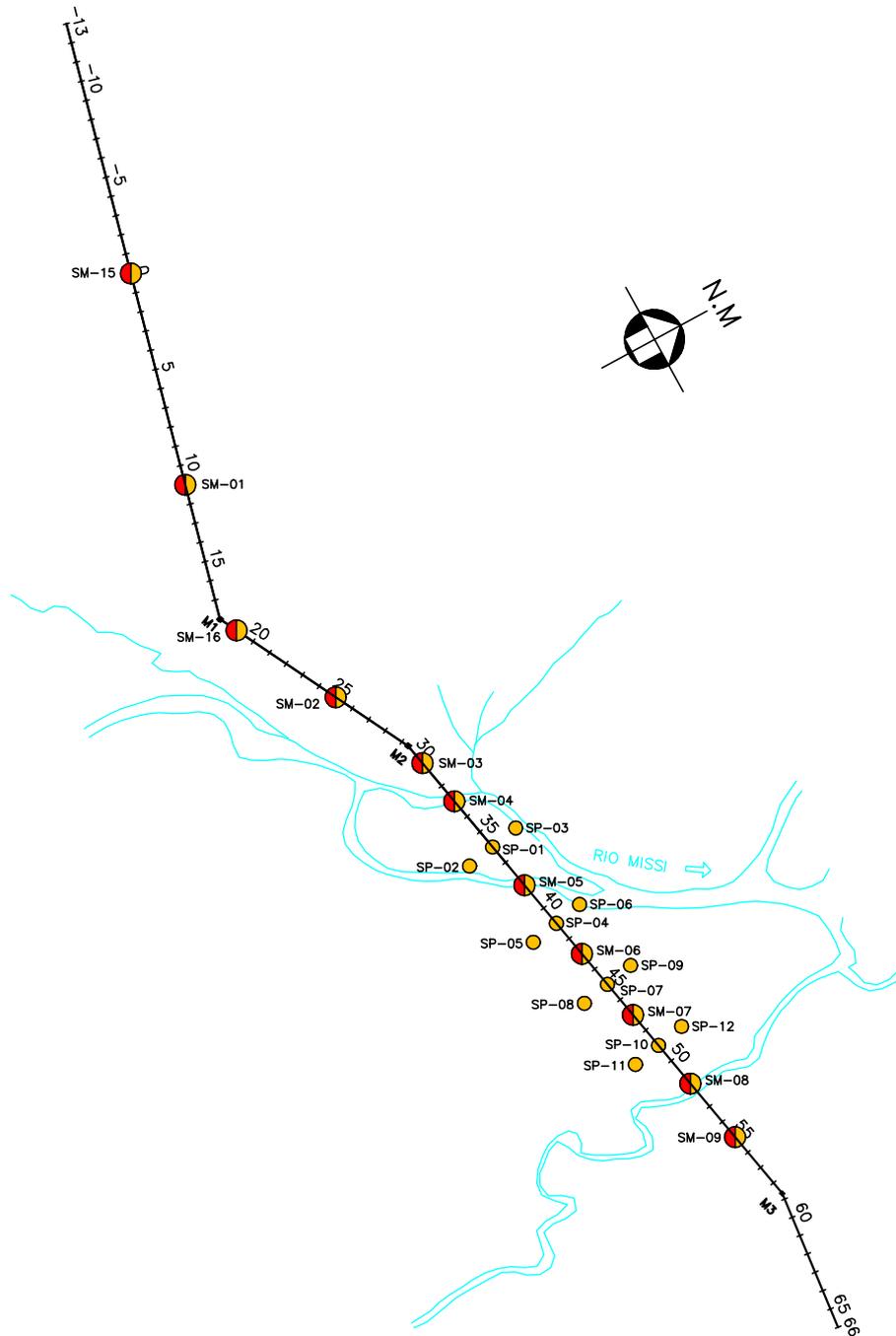
As investigações geotécnicas realizadas no local da barragem objetivaram a identificação e compreensão das características e peculiaridades do solo de fundação e do substrato rochoso deste sítio, visando a concepção de um maciço tecnicamente adequado e seguro além, de economicamente viável.

Para concretização deste objetivo foram realizadas 19 prospeções mecânicas, sendo 12 sondagens à percussão e 7 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa), nas posições indicadas na figura nº3.2. As sondagens percussivas totalizaram 61,30 m de perfuração e as mistas perfizeram 154,45 m, sendo 43,55 m através de processo percussivo e 110,90 m por processo rotativo.

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

INVESTIGAÇÃO NO BARRAMENTO



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM MISSI

ESCALA:

1:7.500

DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

3.2



3.4.2. 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.

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

Tabela Nº 3.1: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Missi Sondagem Percussiva							
Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada	SPT Mínimo	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
SP-1	36 (eixo)	404.476	9.616.201	42,646	4,06	2	Fofa
SP-2	36 (30m para montante)	404.482	9.616.172	41,298	4,23	3	Fofa
SP-3	36 (30m para jusante)	404.471	9.616.231	42,900	4,00	3	Fofa
SP-04	41 (eixo)	404.575	9.616.220	43,291	6,03	3	Fofa
SP-5	41 (30m para montante)	404.575	9.616.220	43,145	4,70	3	Fofa
SP-06	41 (30m para jusante)	404.569	9.616.250	41.047	4,03	3	Fofa
SP-7	45 (eixo)	404.653	9.616.236	42,981	5,83	7	Pouco compacta
SP-8	45 (30m para montante)	404.659	9.616.206	42,990	6,45	7	Pouco compacta
SP-9	45 (30m para jusante)	404.647	9.616.265	42,626	4,34	3	Fofa
SP-10	49 (eixo)	404.732	9.616.251	42,392	5,96	7	Pouco compacta
SP-11	49 (30m para montante)	404.737	9.616.222	42,270	5,60	5	Pouco compacta

**Tabela Nº 3.1: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Missi
Sondagem Percussiva**

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

3.4.3. Sondagens Mistas

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas por meio de rotação. Os trechos de sondagem rotativa foram executados com coroa NX de diamante acoplada a um barrilete duplo. A sonda utilizada foi a MARCH-850. Para cada operação do barrilete foram registradas a percentagem de recuperação e o número de peças, dados que estão indicados nos perfis de sondagens.

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

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

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		SPT Mínimo	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SM-1	11 (eixo)	404.008	9.616.106	51,360	3,65	9,85	5	Biotita Sericita Xisto , fortem. Xistosa e Biotita Gnaisse, dura
SM-2	25 (eixo)	404.268	9.616.136	59,279	3,0	9,50	7	Biotita Sericita Xisto , macia a mod. dura, gran fina, fort. xistosa
SM-3	30+10 (eixo)	404.368	9.616.180	49,150	6,00	9,00	21/15	Biotita Sericita Xisto, muito macia, gran fina, fortem. xistosa
SM-4	33 (eixo)	404.417	9616.190	40,571	3,06	14,94	3	Biotita Sericita Xisto, macia a dura, gran. fina, xistosa
SM-5	38+10 (eixo)	404.525	9.616.211	41,200	4,76	14,19	2	Biotita Sericita Xisto, macia a muito dura, gran. fina, xistosa

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

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

3.4.4. Ensaios de Campo

Nas sondagens mistas, trecho em solo, SM-3, SM-4, SM-5, SM-6, SM-7, SM-8 e SM-9 foram executados ensaios de infiltração do tipo Lefranc, para a determinação do coeficiente de permeabilidade “*in situ*” do substrato terroso. Os ensaios de permeabilidade em solos foram executados conforme as orientações para a sua execução no campo preconizadas no Boletim N° 04 (junho de 1996) pela ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. O número de ensaios e a permeabilidade máxima (cm/s) encontradas por furo são relacionadas na Tabela n° 3.3, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais e em fichas de cálculo no **Tomo 4 A**.

No trecho em rocha das sondagens SM-01 a SM-09 foram executados ensaios de perda de água sob pressão (Ensaio Lugeon), para a determinação quantitativa sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso. Os ensaios de perda d’água Lugeon foram executados conforme as orientações preconizadas no Boletim 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 Nº 3.3: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Missi 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	11 (eixo)	13,50	-	1	-	1,3	/7,5 a 10,5
SM-2	25 (eixo)	12,50	-	3	-	0,39	/9,5 a 12,5
SM-3	30+10 (eixo)	15	5	3	1,5x10E-5	15,12	1,5 a 2,0 /7,0 a 10,0
SM-4	33 (eixo)	18	2	5	1,1x10E-3	2,08	2,5 a 3,0 /4,0 a 7,0
SM-5	38+10 (eixo)	18.95	2	5	10E-3	1,97	3, a 4,0 /4,5 a 7,5
SM-6	43 (eixo)	21	5	5	1,3x10E-2	0,38	4,5 a 4,92 /6,5 a 9,5
SM-7	47 (eixo)	15	5	3	1.5x10E-4	0,32	5,5 a 6,0 /6,55 a 9,55
SM-8	51+10 (eixo)	20.5	6	4	2,4x10E-4	0,20	3,5 a 4,5 /10,5 a 13,5
SM-9	55 (eixo)	20	4	3	1,4x10E-4	0,12	2,5 a 3,0 /11,0 a 14,0

Perda D'água em l/min/m/atm

3.5. INVESTIGAÇÃO NO LOCAL DO SANGRADOURO

3.5.1. Sondagens Realizadas

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

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

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



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

Na tentativa de obter-se um posicionamento da rocha mais elevado, haja visto que a inspeção geológica mostrava a possibilidade da existência de um dique rochoso mais a jusante do local investigado, foi feito então um furo de sondagem mista denominado SM-14, cujo resultado frustrou a expectativa.

Em seguida, mudou-se para a ombreira esquerda, onde a topografia favorece a implantação do sangradouro porém, com necessidade de cuidados para restituição do caudal de sangria não alcançar o maciço do barramento. Nessa ombreira foram feitos 2 (dois) furos de sondagens mistas, cujos resultados não indicaram situações geológicas mais favoráveis. Na sondagem SM-15 a rocha competente (sã, muito dura porém foliada) só foi encontrada a 6,24 m de profundidade e na SM-16 a rocha altamente intemperizada e decomposta ocorreu até o limite da sondagem (9,50 m).

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

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

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



Nas tabelas N° 3.4 e N° 3.5 são apresentadas as sondagens mistas e a pá e picareta, respectivamente, executadas nas pesquisas do local do sangradouro e na forma de planta baixa na figura n° 3.3. Na tabela N° 3.6, é apresentado um quadro resumo dos ensaios realizados em 04 furos escolhidos do conjunto de sondagens a pá e picareta.

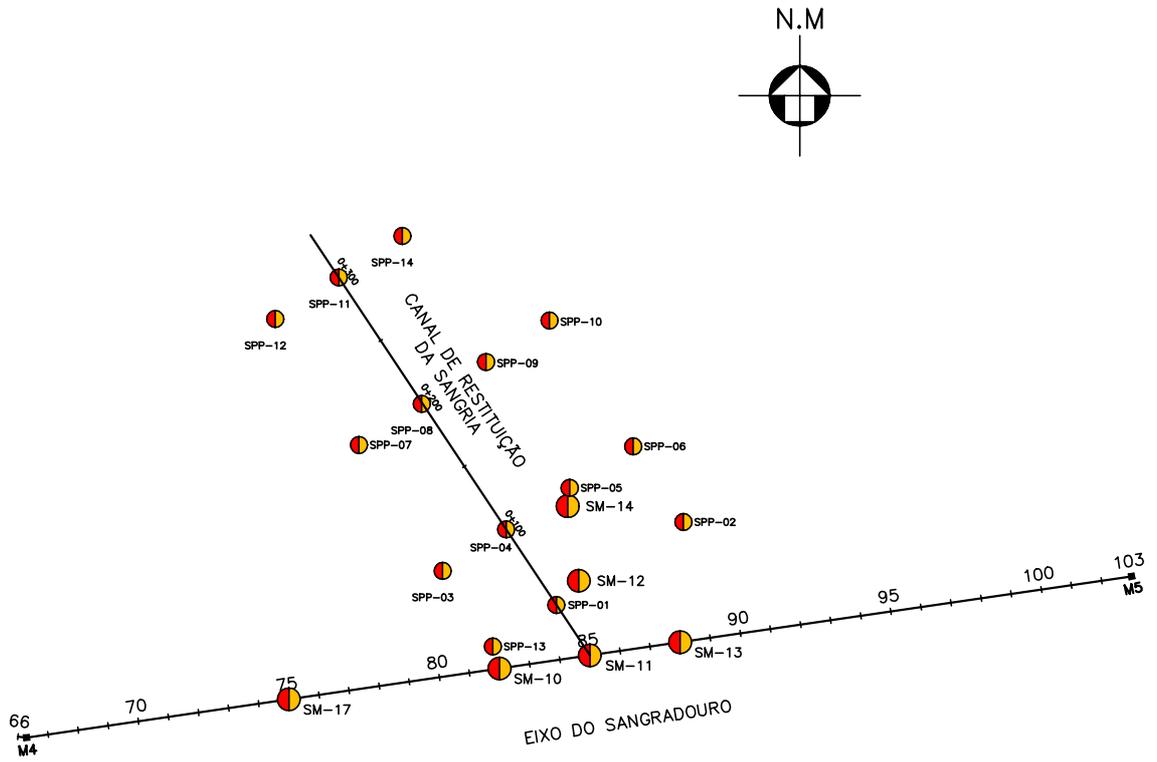
TABELA N° 3.4: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM MISSI PESQUISAS NAS ALTERNATIVAS DE SANGRADOURO								
N°	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	Grau de intemperismo
		Este (X)	Norte (Y)		Percus	Rotat.		
SM-10	82 (eixo)	405.384	9.616.318	53,632	5,00	6,00	Biotita Sericita Xisto, moder. Dura a dura, gran. fina, xistosa	Moderada. Intemper.
SM-11	85 (eixo)	405.443	9.616.327	52,581	5,10	6,40	Biotita Sericita Xisto, macia a moder. dura, gran. fina, xistosa	Moderada. Intemper.
SM-12	85 (50m para jusante)	405.436	9.616.376	53,950	2,20	5,94	Biotita Sericita Xisto, dura a muito dura, gran. fina, xistosa	Levemente Intemper.
SM-13	88 (eixo)	405.502	9.616.335	52,970	2,11	6,91	Biotita Sericita Xisto, moder. Dura a dura, gran. fina, xistosa	Moderada. Intemper.
SM-14	85 (100m para jusante)	405.425	9.616.425	54,601	1,82	8,58	Gnaissse macia a dura, gran. Fina, foliada	Moderada. a altamente Intemper
SM-15	0 (eixo)	403.795	9.616.161	54,962	2,20	6,04	Gnaissse moder. dura a muito dura, gran fino , foliada	Moderada a altamente Intemper
SM-16	19 (eixo)	404.162	9.616.081	61,969	2,00	7,50	Quartzizito macia a moder. Dura, foliada e gnaissse decomp. macia	Altamente intemper. a decomposta
SM-17	75 (eixo)	405.245	9.616.297	62,814	1,58	10,42	Quartzizito muito macia a moder. dura, foliada	Decomposta
SM-1B	8B	402.607	9.613.382	60,984	1,40	8,26	Gnaissse macia a dura, gran. Fina, foliada	Moderada. a altamente Intemper.
SM-2B	5B +4,50	402.589	9.613.329	58,772	0,80	6,20	Andesito macia a dura, maciça	Moderada Intemper.
SM-3B	2B	402.567	9.613.269	60,527	0,89	6,20	Gnaissse moder. dura a dura, gran fino, foliada	Altamente Intemper.
SM-4B	5B +7,9 (40,7m Jusante)	402.551	9.613.346	58,377	0,90	8,27	Andesito moder. Dura, maciça e Gnaissse macia a moder.dura, folid	Altamente Intemper.



TABELA Nº 3.5: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM MISSI SONDAGENS A PÁ E PICARETA				
Estaca	Lado	Dist.	Profundidade	Nº
40	eixo	0	4,00	SPP- 1
40	montante	100	5,00	SPP- 2
100	jusante	50	5,00	SPP- 3
100	eixo	0	5,00	SPP- 4
100	montante	50	4,00	SPP- 5
100	montante	100	3,00	SPP- 6
200	jusante	50	4,00	SPP- 7
200	eixo	0	3,00	SPP- 8
200	montante	50	2,00	SPP- 9
200	montante	100	3,00	SPP- 10
300	eixo	0	2,00	SPP- 11
300	jusante	50	2,00	SPP- 12

TABELA Nº 3.6: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM MISSI QUADRO RESUMO - SANGRADOURO					
FURO		SPP - 05	SPP - 08	SPP - 10	SPP - 11
PROF.(m):		0,10	0,10	0,10	0,10
		1,60	2,00	3,00	1,80
P A S S A	%				
	1"	100	100	100	100
	3/4"	100	98	98	98
	1/2"	98	96	98	96
	3/8"	94	95	97	94
	No. 4	91	94	96	92
	No. 10	87	90	93	89
	No. 40	64	66	66	62
	No. 200	36	39	32	27
	SED 0,005mm	8	9	8	6
	LL (%)	32	32	31	29
	LP (%)	22	21	23	22
	IP (%)	10	11	8	7
	γ g (g/cm ²)	1,752	1,702	1,770	1,892
	h ótima (%)	15,7	18,6	15,5	13,7
	U.S.C.	SC	SC	SM	SM

INVESTIGAÇÃO NO SANGRADOURO



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM MISSI

ESCALA:

1:5.000

DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

3.3



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

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

3.6. ESTUDO DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS

Os estudos das ocorrências de materiais para a utilização na construção da barragem foram iniciados por um simples reconhecimento de toda a área em volta do eixo do barramento, de modo que fossem selecionadas as ocorrências potencialmente aproveitáveis, levando-se em conta a qualidade do material e os volumes disponíveis.

Como fonte de materiais para construção da barragem foram identificadas 3 jazidas de solos, 2 pedreiras, um areal, cuja situação em relação ao eixo pode ser vista na figura nº 3.4.

3.6.1. Jazidas de Solo

As jazidas de solo foram estudadas através de sondagens a pá e picareta executadas nos vértices de uma malha quadrada típica de 50 m de lado, cobrindo a área a ser explorada, conforme é mostrado nas figuras nº 3.5, 3.6 e 3.7. Os horizontes encontrados nestes furos foram identificados, classificados tático visualmente e medidas suas espessuras, conforme apresentado nos boletins de campo no **Tomo 4 A- Geologia e Geotecnia- Anexos**.

A jazida J-01, situada a montante do eixo, na ombreira direita, cuja distância média de transporte é cerca de 1,1 km, consta de uma área de solo residual jovem de pouca espessura, com fragmentos de rocha alterada de dimensões variadas, com finos areno argilosos, que poderá dar origem a um aterro compactado com alguma facilidade à infiltração d'água. No entanto, sua



proximidade com o local do barramento sugere seu emprego, em zonas selecionadas do maciço da barragem, para maior economia do empreendimento.

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

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

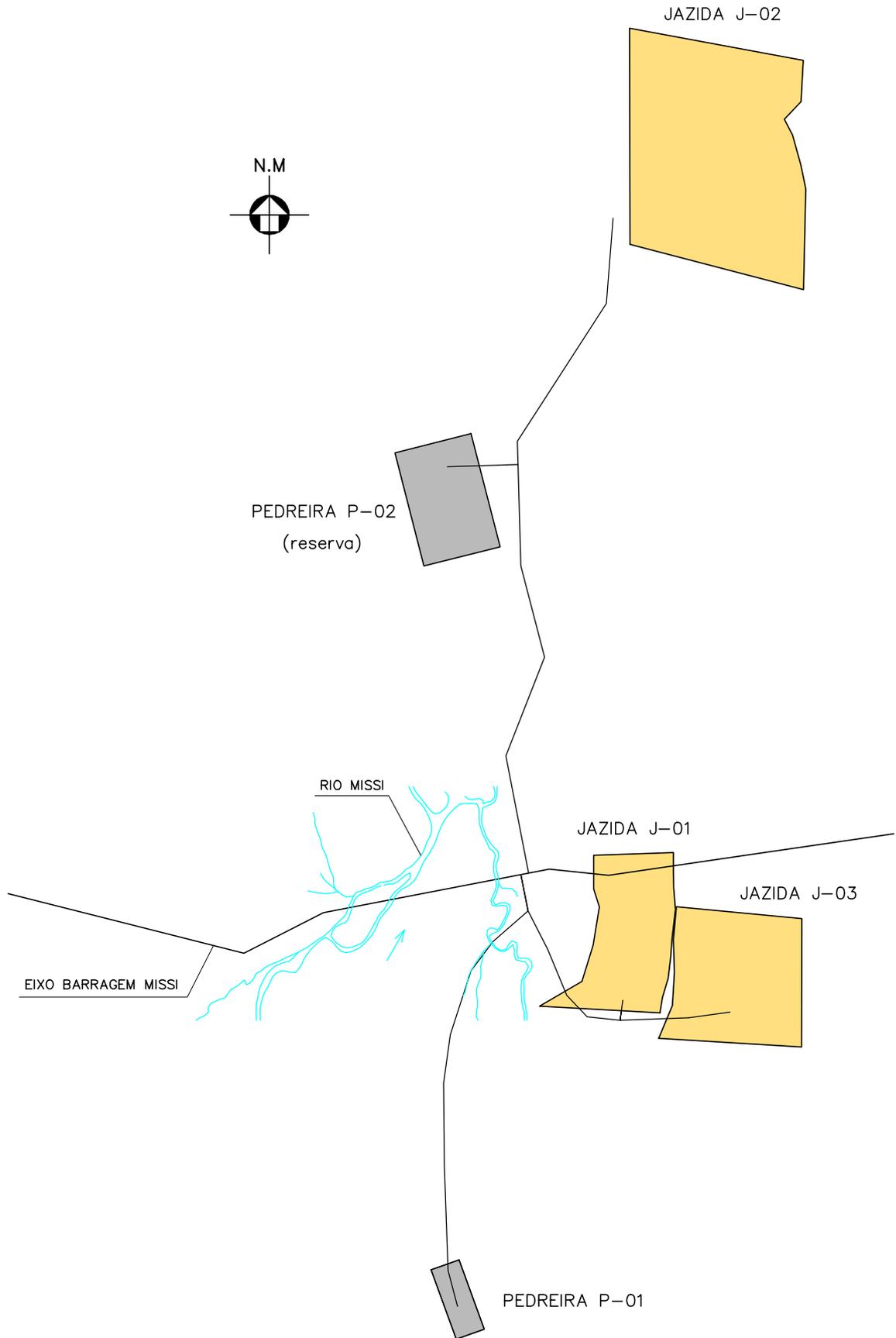
A tabela 3.7 apresenta um resumo de características gerais das jazidas estudadas.

Tabela 3.7: Características Gerais das Jazidas			
	Jazida J - 01	Jazida J - 02	Jazida J - 03
Proprietários	Francisco José	Olavo Braga	Francisco José
Área Estudada (m²)	85.548	249.122	110.679
Nº de poços executados	46	120	25
Espessura média do expurgo (m)	0,10	0,10	0,10
Espessura média de material utilizável (m)	0,60	0,61	0,80
Volume de expurgo (m³)	8.555	24.912	11.068
Volume de material utilizável (m³)	51.329	151.964	88.543
Distância ao eixo da barragem (m)	1.121	2.490	1.244

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

Tabela 3.8: Volume de Materiais das Jazidas		
Local	Volume (m³)	
	Utilizável	Expurgável
Jazida J - 01	51.329	8.555
Jazida J - 02	151.964	24.912
Jazida J - 03	88.543	11.068
Volume Total	291.836	44.535

LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS
DE MATERIAIS CONSTRUTIVOS



MONTGOMERY WATSON



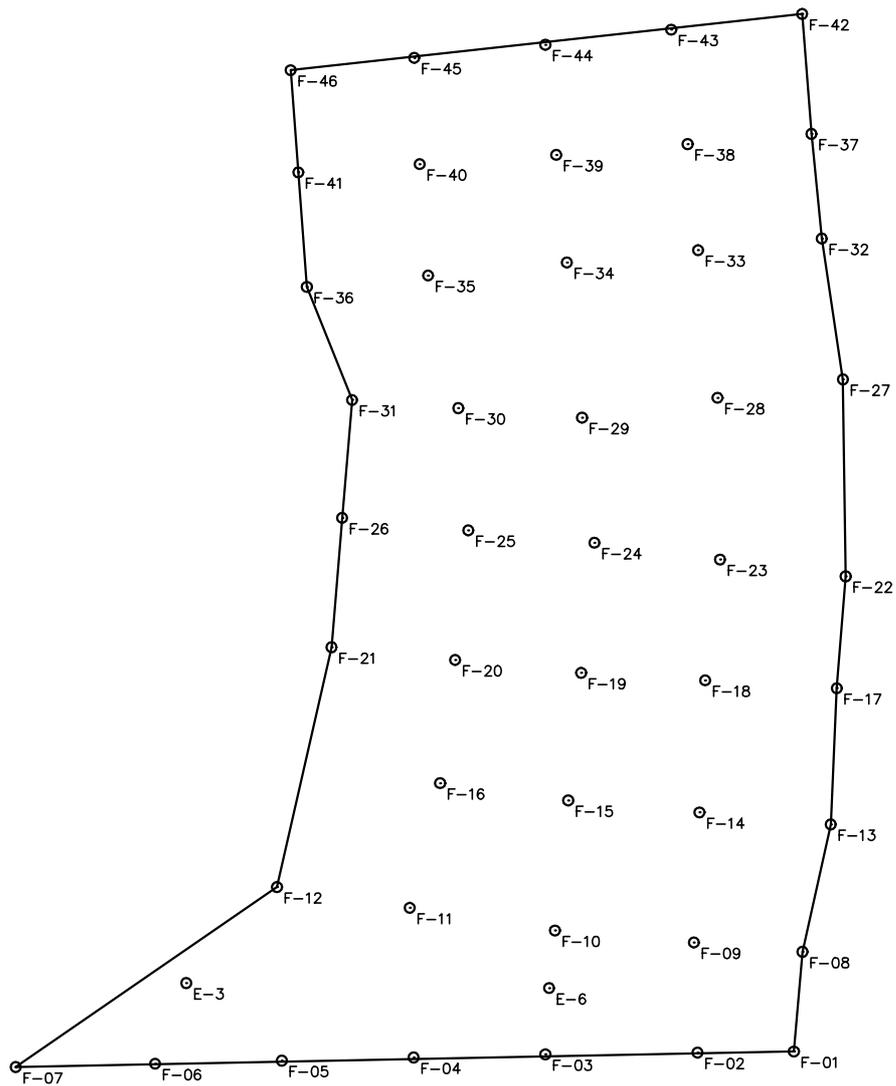
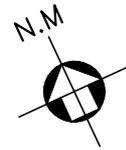
BARRAGEM MISSI

ESCALA: 1:15.000

DATA: JAN./2002

FIGURA N° : 3.4

JAZIDA-01



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM MISSI

ESCALA:

1: 3.000

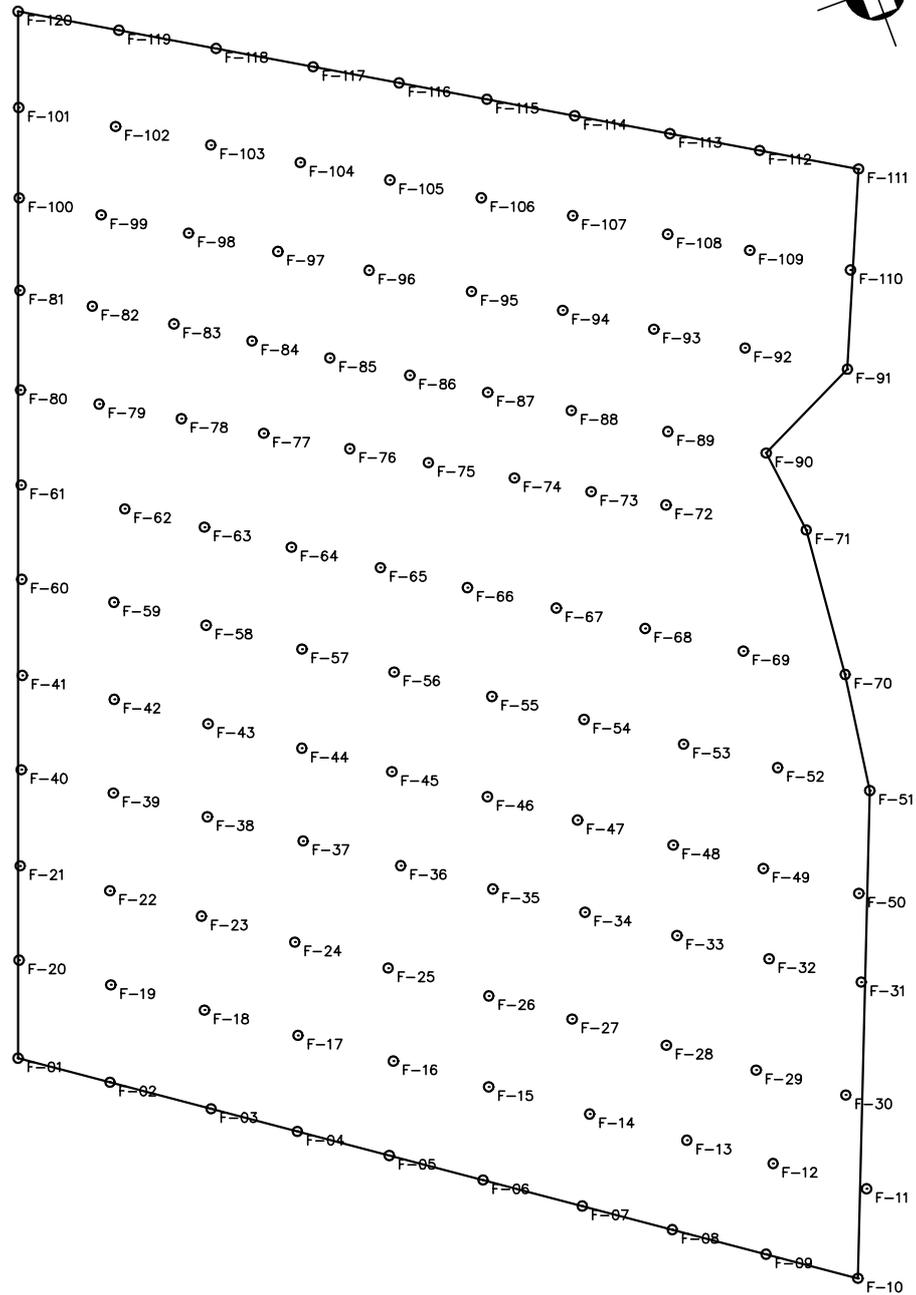
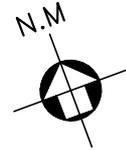
DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

3.5

JAZIDA-02



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM MISSI

ESCALA:

1: 4.000

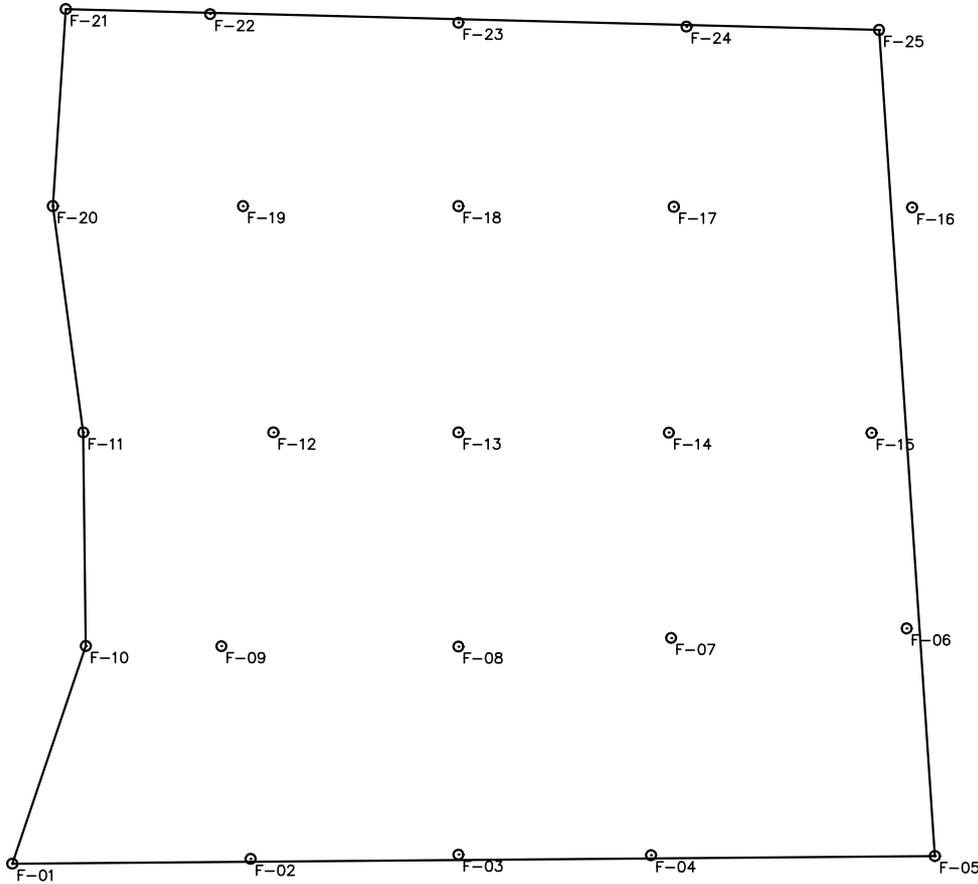
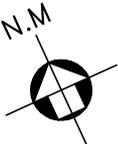
DATA:

JAN./2002

FIGURA N° :

3.6

JAZIDA-03



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM MISSI

ESCALA: 1: 3.000

DATA: JAN./2002

FIGURA N° : 3.7



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 N° 3.9 a 3.11 são mostrados os resultados dos ensaios de laboratório.

TABELA 3.9: Quadro Resumo dos Ensaios – Jazida J-01									
Furos	01	03	15	17	29	31	32	35	39
GRANULOMETRIA									
2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1"	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1/2"	100	100	100	99	100	99	100	100	98
3/8"	99	99	98	97	99	98	100	100	98
N° 4	97	98	96	95	97	96	99	99	98
N° 10	95	97	93	92	95	94	96	96	97
N° 40	88	92	87	87	89	91	81	78	95
N° 100	79	85	79	78	79	83	59	62	82
N° 200	68	73	67	66	68	71	46	51	68
<0,005			32			34			34
LIMITES DE ATTERBERG									
LL	31,1	33,3	31,2	32,1	32,1	33,1	31,2	32,1	34,0
LP	17,7	17,3	18,2	20,3	18,5	17,4	21,0	19,3	18,4
IP	13,4	16,0	13,0	11,8	13,6	15,7	10,2	12,8	15,6
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.									
U.S.C.S.	CL	CL	CL	CL	CL	CL	SC	CL	CL
COMPACTAÇÃO									
Densidade Seca - γ_s (g/cm ³)	1,725	1,705	1,740	1,745	1,730	1,714	1,796	1,751	1,735
Umidade Ótima (%)	17,40	17,90	17,00	16,80	17,20	17,70	15,00	16,50	17,30
ENSAIOS IN SITU									
Umidade Natural (%)		4,1							3,5
Peso Específico Natural (g/cm ³)		1,323							1,387
PERMEABILIDADE									
Permeabilidade (cm/s)	8,2E-07		8,3E-07		8,0E-07				7,9E-07

**TABELA 3.10: Quadro Resumo dos Ensaios - Jazida J-02**

Furos	2	3	4	12	16	20	22	27	32	45	49	60	61	65	78	81	89	92	96	101	103	105
GRANULOMETRIA																						
2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1/2"	98	100	100	100	99	98	97	99	96	99	99	99	97	98	100	99	100	99	100	100	99	98
3/8"	95	99	98	99	97	96	93	96	93	97	95	98	95	96	98	98	99	96	98	97	96	94
Nº 4	93	97	95	97	94	94	89	92	88	93	91	95	91	93	94	95	94	93	96	94	92	90
Nº 10	90	94	91	94	91	92	86	89	83	89	85	91	87	90	89	91	89	88	92	90	87	85
Nº 40	77	82	80	81	78	80	73	76	70	74	72	79	74	77	76	79	76	74	80	78	76	74
Nº 100	69	72	69	71	68	70	63	66	62	65	63	70	65	69	69	71	68	68	72	71	68	66
Nº 200	64	66	63	66	62	65	58	61	58	59	56	63	58	61	63	66	62	63	67	65	60	58
<0,005	34		33	31	27	29		28	23	22	21	27										
LIMITES DE ATTERBERG																						
LL	34,1	35,3	34,3	35,2	34,3	35,2	35,3	34,1	34,1	34,2	33,0	34,0	33,2	33,0	34,0	35,1	34,2	34,0	36,1	35,2	35,1	34,1
LP	19,9	19,1	20,9	20,3	21,1	19,9	22,0	20,8	22,2	21,2	22,4	20,2	23,1	21,2	20,1	19,1	21,1	17,9	19,2	20,1	21,2	21,0
IP	14,2	16,2	13,4	14,9	13,2	15,3	13,3	13,3	11,9	13,0	10,6	13,8	10,1	11,8	13,9	16,0	13,1	16,1	16,9	15,1	13,9	13,1
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																						
U.S.C.S.	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL
COMPACTAÇÃO																						
Densidade Seca - γ_s (g/cm ³)	1,730	1,712	1,735	1,718	1,750	1,720	1,769	1,759	1,770	1,766	1,780	1,738	1,770	1,766	1,740	1,720	1,755	1,729	1,708	1,724	1,740	1,765
Umidade Ótima (%)	16,80	17,60	16,50	17,00	16,20	16,90	15,80	16,00	15,60	15,80	15,40	16,50	15,60	16,00	16,70	17,20	16,40	16,90	17,60	17,10	16,20	15,50
ENSAIOS IN SITU																						
Umidade Natural (%)		3,1					3,4			3,1			3,9		3,9	4,1	4,1			3,5		3,9
Peso Específico Natural (g/cm ³)		1,421					1,422			1,470			1,463		1,389	1,469	1,317			1,452		1,547
PERMEABILIDADE																						
Permeabilidade (cm/s)	7,8E-07			7,5E-07			8,5E-07			8,3E-07			8,7E-07			7,9E-07			8,2E-07			8,6E-07



TABELA 3.11: Quadro Resumo dos Ensaios - Jazida J-03						
Furos	01	08	14	18	21	25
GRANULOMETRIA						
2"	100	100	100	100	100	100
1 1/2"	100	100	100	100	100	100
1"	100	100	100	100	100	100
3/4"	100	100	100	100	100	100
1/2"	100	94	97	99	100	99
3/8"	98	93	95	97	99	98
Nº 4	96	91	93	94	99	95
Nº 10	94	89	91	93	98	93
Nº 40	89	83	85	87	94	88
Nº 100	80	66	70	74	77	82
Nº 200	68	54	59	65	63	74
<0,005			33		36	41
LIMITES DE ATTERBERG						
LL	32,1	33,1	32,1	32,2	32,3	33,3
LP	18,5	21,0	19,9	19,1	19,0	18,3
IP	13,6	12,1	12,2	13,1	13,3	15,0
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.						
U.S.C.S.	CL	CL	CL	CL	CL	CL
COMPACTAÇÃO						
Densidade Seca - γ_s (g/cm ³)	1,725	1,753	1,740	1,730	1,735	1,717
Umidade Ótima (%)	17,20	16,30	16,60	17,00	16,80	17,50
ENSAIOS IN SITU						
Umidade Natural (%)	3,1	3,5	3,1	3,9	3,1	3,1
Peso Específico Natural (g/cm ³)	1,400	1,365	1,300	1,333	1,396	1,495
PERMEABILIDADE						
Permeabilidade (cm/s)	6,5E-07		6,8E-07			6,3E-07

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

- Permeabilidade de Carga Variável.
- Triaxial

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

Tabela Nº 3.12: Valores Médios dos Ensaios Especiais das Jazidas			
Jazida	Coefficiente de Permeabilidade (cm/s)	Triaxial	
		Coesão (kgf/cm²)	ϕ (°)
J-01	8,1x10E-7	0,22	26,3
J-02	8,2x10E-7	0,05 e 0,17	24,2 e 26,9
J-03	6,5x10E-7	0,18	27,3



3.6.2. Areal

O areal foi identificado no leito do riacho Missi e estudado para a execução do filtro vertical, dreno horizontal, e concreto. A tabela 3.13 apresenta um resumo das características gerais do areal.

Tabela 3.13: Características Gerais do Areal	
Área Estudada (m²)	36.238,33
Nº de poços executados	15
Espessura média de material utilizável (m)	1,15
Volume de material utilizável (m³)	41.674,08
Distância ao eixo da barragem (m)	2.372,63

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

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

Na Tabela Nº 3.14 são mostrados os resultados médios dos ensaios de laboratório realizados no Areal.

Tabela Nº 3.14 Valores Médios dos Ensaios do Areal										
Granulometria (% que passa)								D_{max} (mm)	M.F.	USC
1"	3/8"	Nº4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100			
100	100	96	85	63	28	6	1	4,8	3,50	SP

Além dos ensaios geotécnicos de laboratório anteriormente mencionados, foi realizado o ensaio de permeabilidade de carga constante. Como este ensaio não se encontra normalizado, foi realizado por técnicas usuais, recomendados por literatura. O valor médio encontrado é mostrado na Tabela Nº 3.15.

Tabela Nº 3.15 Valores Médios dos Ensaios Especiais do Areal
Coefficiente de Permeabilidade (cm/s)
6,9x10 ⁻³



3.6.3. Pedreira

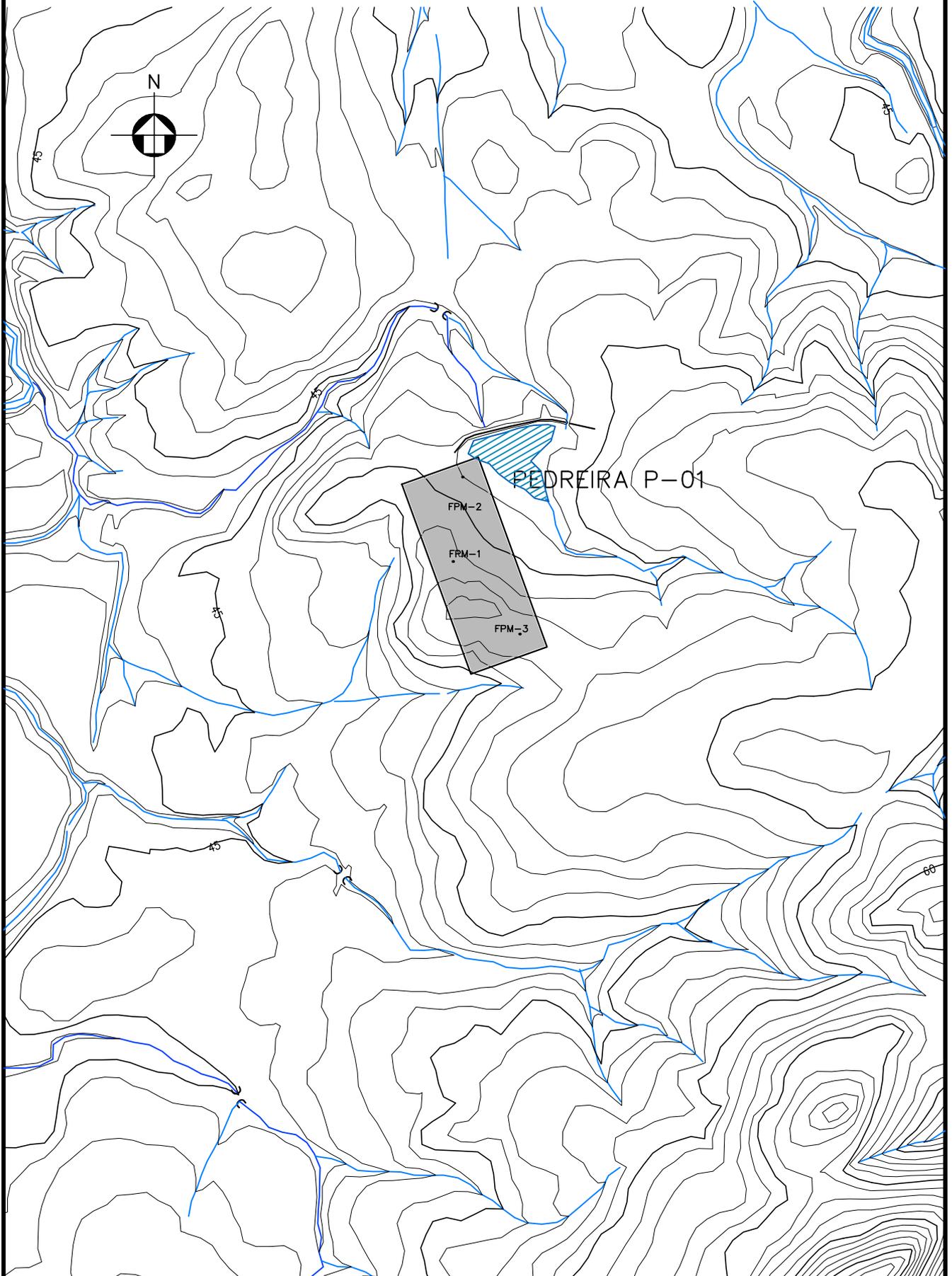
As pedreiras foram identificadas e estudadas para a execução das transições, rip-rap e concreto.

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

A tabela 3.16 apresenta um resumo de características gerais pedreira P-01.

Tabela 3.16: Características Gerais da Pedreira P-01	
Proprietário	Francisco Magno Neto
Área Estudada (m²)	14.223
Nº de poços executados	03
Espessura média de decapagem (m)	0,87
Espessura média de material utilizável (m)	5,77
Volume de decapagem (m³)	12.326
Volume de material utilizável (m³)	82.019
Distância ao eixo da barragem (m)	1.315

LOCALIZAÇÃO DA PEDREIRA



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM MISSI

ESCALA:

1: 5.000

DATA:

JAN./2002

FIGURA Nº :

3.8



MONTGOMERY WATSON



4. ESTUDOS HIDROLÓGICOS



4. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

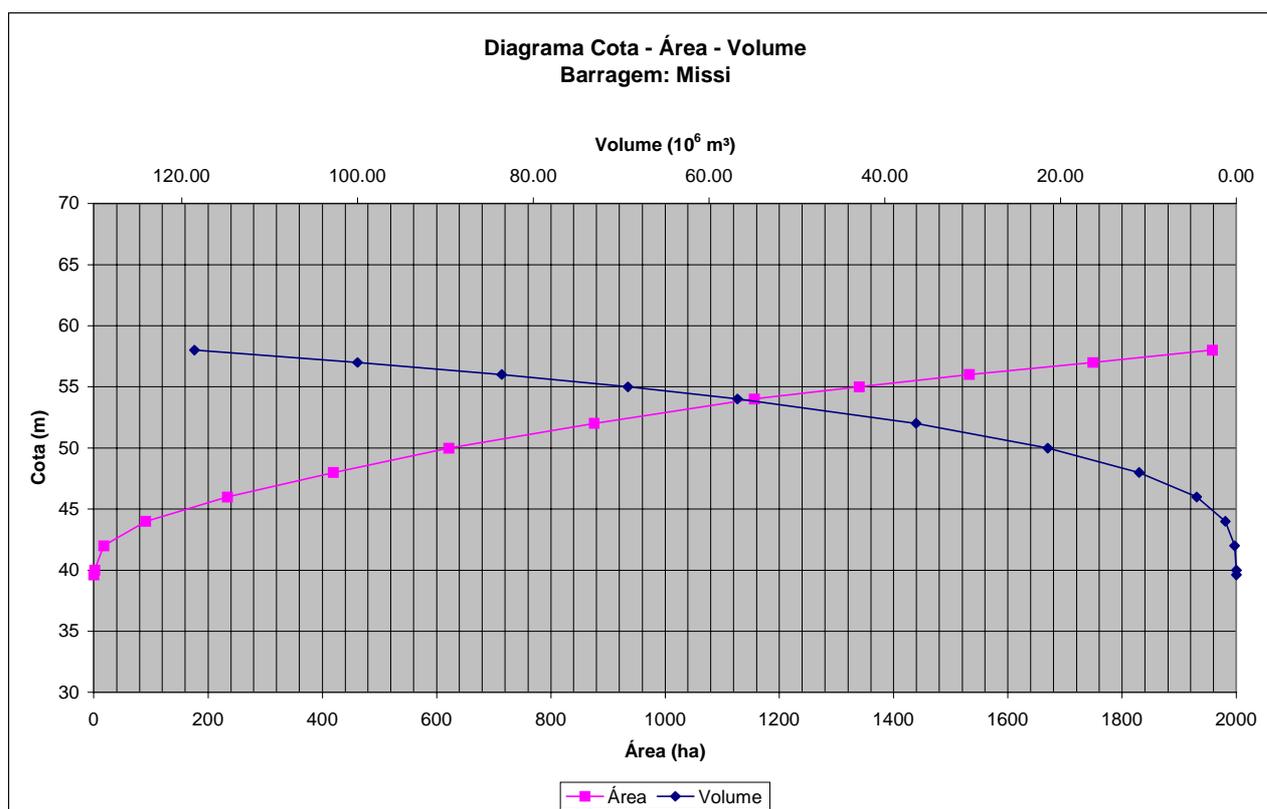
4.1. FICHA HIDROLÓGICA

Município	Miraima
Rio ou Riacho Barrado.....	Missi
Área da Bacia Hidrográfica	652,6 km ²
Comprimento do Talvegue Principal.....	57,57 km
Desnível do Talvegue Principal.....	360 m
Precipitação Média Anual	884,7 mm
Escoamento Médio Anual	66 mm
Evaporação Média Anual(Tanque Classe A)	2489 mm
Vertedouro Tipo.....	Perfil Creager
Cota do Vertedouro.....	54,70 m
Largura do vertedouro	150 m
Vazão Máxima de Cheia - TR = 1.000 anos.....	584 m ³ /s
Lâmina Máxima de Sangria - TR = 1.000 anos.....	1,51 m
Vazão Máxima de Cheia - TR = 10.000 anos.....	858 m ³ /s
Lâmina Máxima de Sangria - TR = 10.000 anos.....	1,95 m
Vazão Regularizada a 90% de garantia.....	0,330 m ³ /s
Vazão Regularizada a 95% de garantia.....	0,265 m ³ /s
Vazão Regularizada a 99% de garantia.....	0,205 m ³ /s



TABELA COTA X ÁREA X VOLUME

Cota(m)	Área (ha)	Volume (hm ³)	Volume Acum.(hm ³)
39.610	0.00	0.000	0.000
40.000	1.48	0.003	0.003
42.000	17.05	0.185	0.188
44.000	91.13	1.082	1.270
46.000	233.93	3.251	4.521
48.000	419.65	6.536	11.056
50.000	621.29	10.409	21.466
52.000	876.07	14.974	36.439
53.000	1,015.99	9.460	45.900
54.000	1,155.90	10.859	56.759
55.000	1,340.04	12.480	69.239
56.000	1,532.53	14.363	83.602
57.000	1,748.55	16.405	100.007
58.000	1,957.73	18.531	118.538





4.2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

O açude Missi barra riacho homônimo nas coordenadas UTM N 9.616.160 e E 404.400. A barragem situa-se próxima à localidade Fazenda Conceição, no município de Miraima, pertencendo à microrregião geográfica de Itapipoca.

A bacia hidrográfica do açude Missi é formada por rio homônimo, que tem como principais tributários, pela margem direita, rio Riachão, Americano e Missizinho, e, pela margem esquerda, riacho do Formigueiro, do Berimbau e Caetano, abrangendo uma área de contribuição de 656,6 Km². O rio Missi se estende na direção sul-norte, perfazendo, aproximadamente, 54,12 Km do ponto mais a montante do sistema de drenagem até o eixo da barragem.

A Figura 4.1 apresenta o sistema de drenagem da bacia contribuinte ao açude Missi e região adjacente. Observa-se que o rio Aracatiaçu, principal curso d'água da região, recebe as águas do rio Missi a montante da cidade de Amontada.

Os solos presentes na bacia de drenagem do açude Missi são predominantemente associações de Planossolo Solódico + Solonetz Solodizado (PLS10), abrangendo em torno de 38% da área da bacia hidrográfica. Em seguida tem-se a presença de associação de solos Litólicos Eutróficos + Afloramentos Rochosos (Re22, Re35 e Re48), os quais cobrem cerca de 31% da bacia. Tais solos se caracterizam pelo alto potencial de escoamento superficial, com baixa taxa de infiltração e transmissão da água.

Com menor representatividade tem-se associações de solos Bruno Não Cálcico + Planossolo Solódico + Solonetz Solodizado (NC46), associações de Solonetz Solodizado + Planossolo Solódico (SS3), solos Bruno Não Cálcico (NC5) e Afloramentos Rochosos (AR1), abrangendo em conjunto cerca de 3% da bacia hidrográfica do açude Missi.

Ressalta-se que a bacia hidráulica do açude Missi inundará região cujo solo dominante é associação de Planossolo Solódico+ Solos Litólicos Eutrófico (PLS12), como pode ser visto na Figura 4.2, a qual apresenta mapa com a distribuição das manchas de solos presentes na bacia hidrográfica do açude Missi.

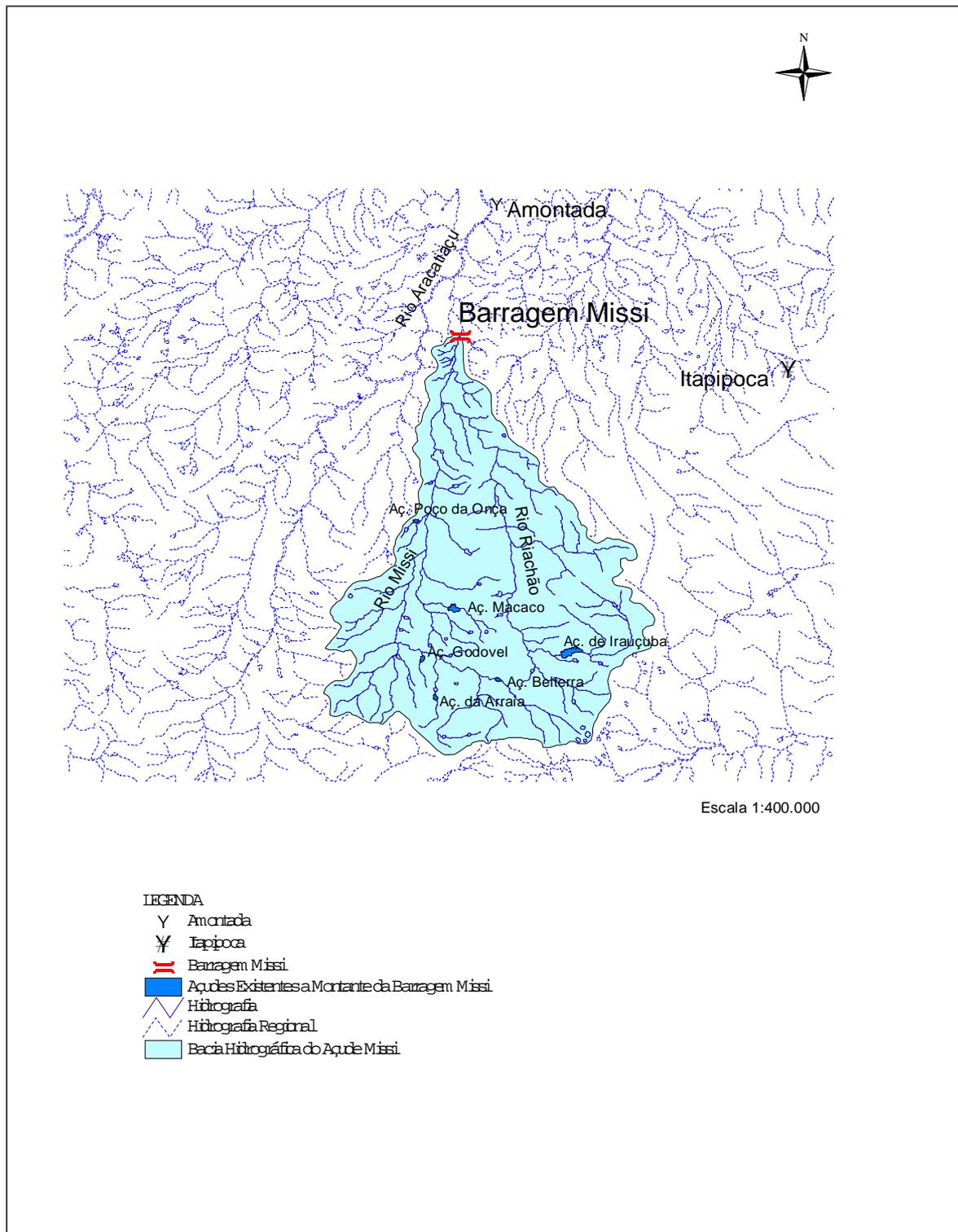


Figura 4.1 – Sistema de drenagem e açudes existentes na bacia hidrográfica do açude Missi.

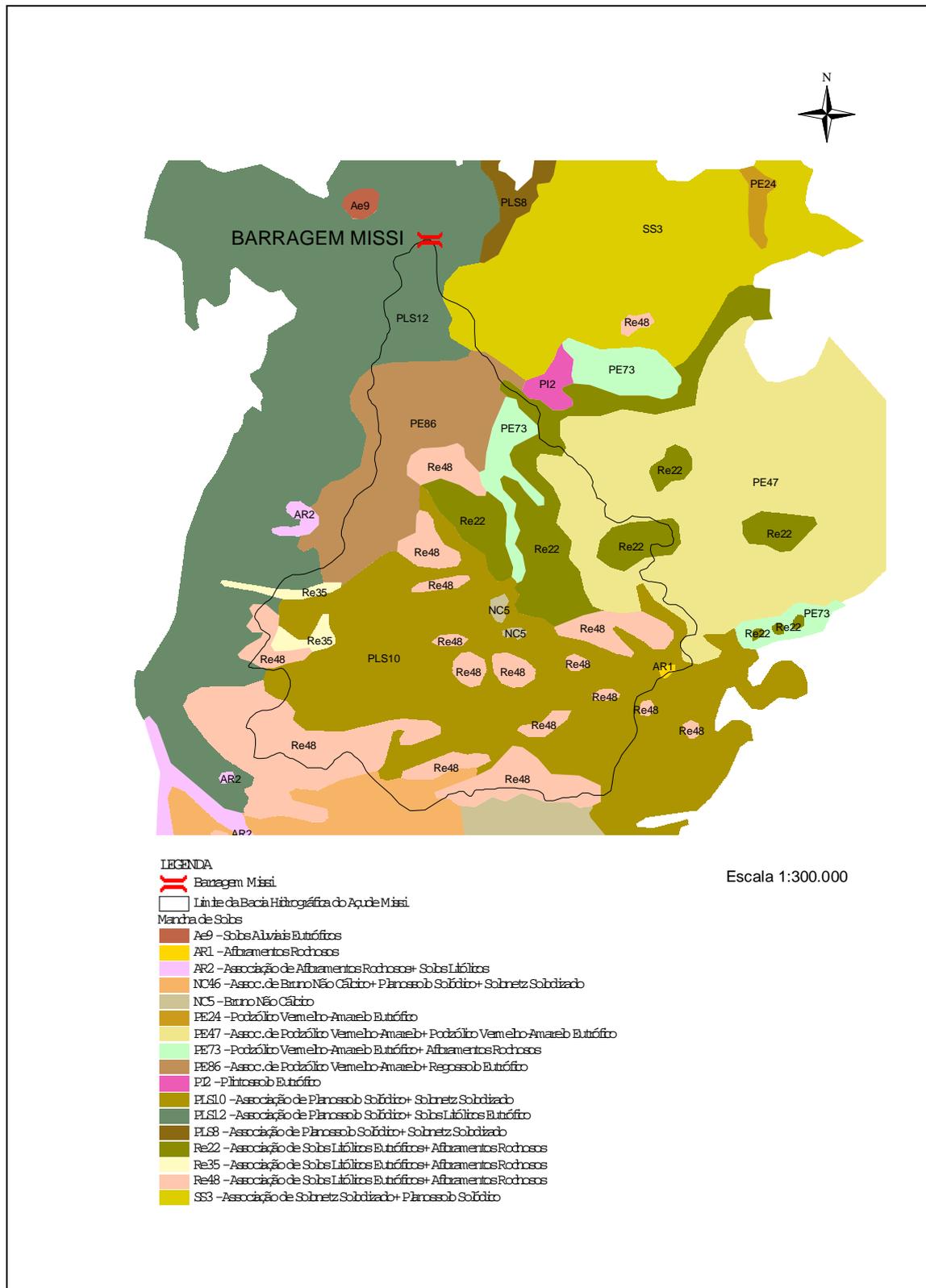


Figura 4.2 - Manchas de Solos na bacia hidrográfica do açude Missi.



A cobertura vegetal da bacia hidrográfica do açude Missi é predominantemente caatinga herbáceo arbustiva (cerrado), aparecendo algumas áreas isoladas de caatinga arbórea densa. Com relação à ocupação do solo por áreas urbanas, tem-se como principal área urbana a cidade de Irauçuba, localizada na parte alta do rio Riachão.

O projeto está localizado no Complexo Nordeste caracterizado por rochas meta-sedimentares do Pre-Cambriano Superior não diferenciados. O maciço rochoso está constituído de um complexo cristalino migmatito de gnaiss, granito, amfibolito, quartzito, calcário cristalino, metarcoseas, xisto, Itabirita, calcosilicatas e rochas cataclásticas. A estrutura da região está mal definido mas é caracterizada por uma série de dobras paralela com direção nordeste. A Falha do Forquilha atravessa a região também em direção nordeste, um pouco á noroeste do local da barragem.

4.3. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

Para a caracterização climática da região foram utilizadas as informações da estação meteorológica de Sobral, a qual é a estação geograficamente mais próxima do local da barragem, localizada nas coordenadas UTM N 9.590.915 e E 350.070. As informações com relação à temperatura, insolação, umidade relativa, ventos e evaporação foram extraídas das *Normais Climatológicas - 1961 a 1990* - do INEMET (1992), para a estação meteorológica de Sobral.

Para os dados de precipitação e de evapotranspiração foi utilizado o posto pluviométrico próximo ao lago a ser formado, sendo que a evapotranspiração foi calculada segundo *Hargreaves* (1974)¹. Identificou-se como posto a ser utilizado nos estudos a estação Miraíma (código 2870109), já que é o mais próximo à área, pois não existe nenhum posto pluviométrico dentro dos limites da bacia

¹ HARGREAVES, G. H. (1974) *Potencial Evapotranspiration and Irrigation Requirements for Northeast Brazil*, Utah State University.



hidrográfica e o mesmo é o que se situa mais próximo ao lago a ser formado. Este posto pluviométrico tem coordenadas 3°35' Sul de Latitude e 39°58' Oeste de Longitude.

Em síntese, o clima da bacia em estudo é caracterizado pelos indicadores do quadro a seguir.

INDICADOR	ÍNDICE
Pluviometria média anual	884,7 mm
Semestre chuvoso e índice de concentração	Jan/Jun
Trimestre úmido	Fev/Abril
Trimestre seco	Ago/Out
Mês de maior pluviosidade	Março
Temperatura média anual	26,6 °C
Média das temperaturas mínimas	22,0 °C
Média das temperaturas máximas	33,3 °C
Amplitude das médias extremas	24,6 °C
Umidade relativa média anual	67,9 %
Período de maior umidade relativa	Abril
Período de menor umidade relativa	Agosto/Setembro
Insolação anual	2417 h
Período de maior insolação	Outubro
Período de menor insolação	Abril
Ventos de 1ª predominância	Nordeste/Sudeste
Velocidade média dos ventos	2,7 m/s
Evaporação média anual em tanque classe A	2489 mm
Período de maior evaporação	Out/Nov
Período de menor evaporação	Mar/Abr
ETP média anual	1926 mm



4.4. ESTUDOS DE CHUVAS INTENSAS

4.4.1. Chuvas Máximas Diárias

Diversas distribuições podem ser utilizadas como teóricas para as frequências observadas. Depois de comparar diversas distribuições, foi escolhida a Lognormal de 3 parâmetros como a que melhor se ajustou, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no Quadro 4.3.1. Os ajustes e os testes de aderência podem ser observados nas saídas computacionais mostradas nas páginas a seguir.

Quadro 4.3.1 - Análise de Frequência de Máximos Diários de Chuva Posto Pluviométrico: 2870109

TR (anos)	P(1dia)
100	132
1.000	170
10.000	214

4.4.2. Chuvas Intensas

Na área em estudo não existem registros de pluviógrafos, o aparelho mais comum nas estações pluviométricas é o pluviômetro, que é capaz de registrar a “precipitação de 1 dia”. Isto impossibilita o uso da metodologia convencional, na qual, a partir de chuvas intensas de várias durações registradas em pluviogramas, estabelece-se uma equação que relaciona intensidade-duração-frequência para a área de representatividade do aparelho.

Como alternativa ao método tradicional (através de pluviógrafos), têm-se o Método das Isozonas (Taborga Torrico, 1975).

Os resultados são apresentados nos quadros a seguir.



Estudo de Chuvas Intensas - Precipitações em mm Posto Pluviométrico: 2870109 ISOZONA: C

TR (anos)	P(1dia)	P(24h)	P(1h)	P(6min)
100	132	145	56	13
1.000	170	187	70	16
10.000	214	235	85	21

Deve-se reduzir a chuva pontual para a chuva em toda bacia pela relação:

$$Pa/Po = [1 - 0,20 \cdot \log(A/Ao)]$$

sendo:

Pa - Precipitação na área da bacia

Po - Precipitação pontual no posto pluviométrico

A - Área da bacia (km²)

Ao - Área de influência do posto pluviométrico (25 km²)

Para o açude têm-se:

$$Pa/Po = [1 - 0,20 \cdot \log(652,6/25)] = 0,73$$

O Quadro de precipitações intensas para a Bacia Hidrográfica fica então, multiplicando-se os valores acima pelo coeficiente encontrado:

Precipitações na Bacia do Açude Riacho da Serra

TR (anos)	P(1dia)	P(24h)	P(1h)	P(6min)
100	96	105	40	9
1.000	123	136	50	12
10.000	155	171	62	15

Os valores marcados do quadro são então plotados no papel especial, obtendo-se o gráfico a seguir.

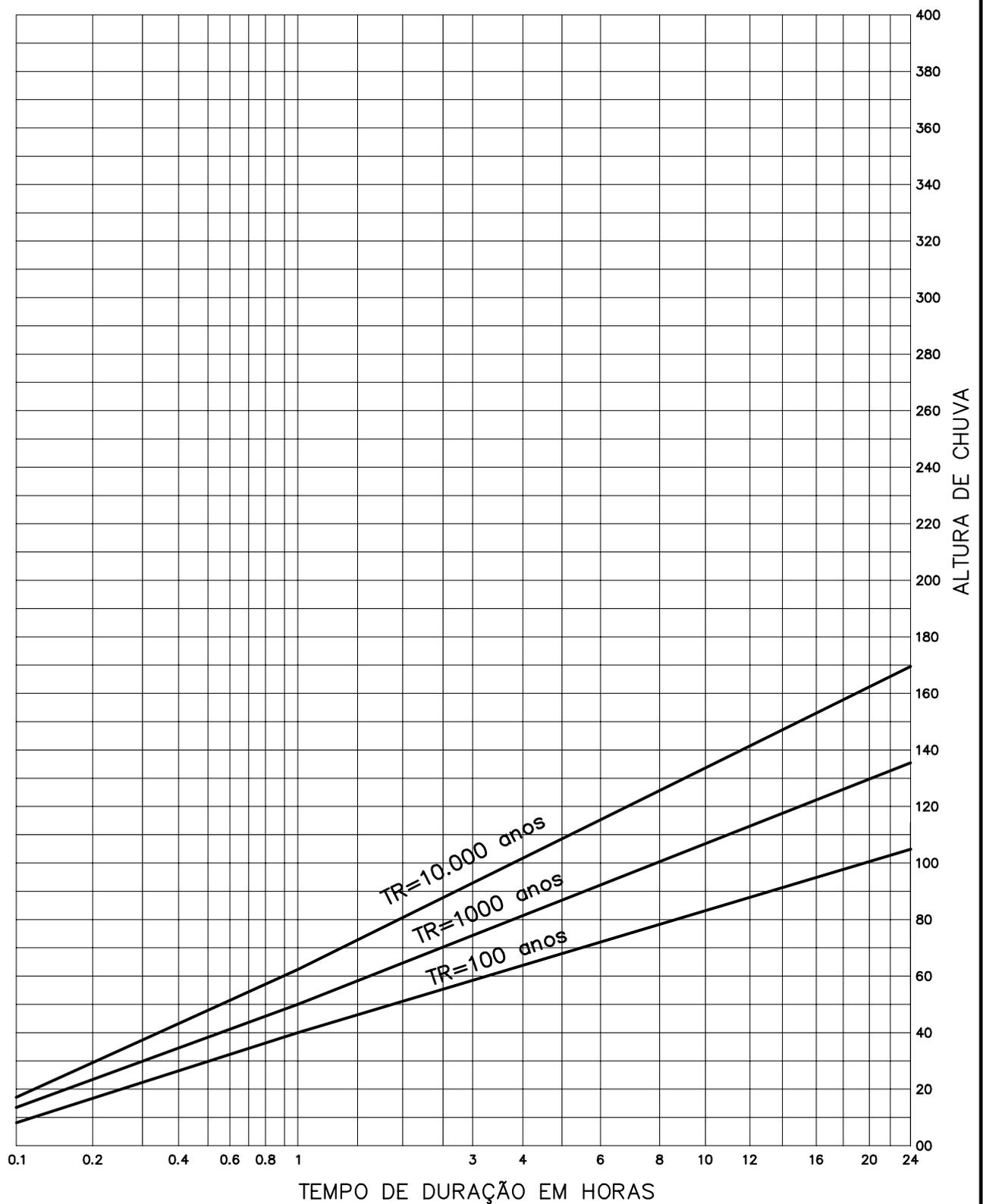


FIGURA 4.3 – BACIA AÇUDE MISSI (POSTO: 2870109)
 CURVAS PRECIPITAÇÃO–DURAÇÃO–FREQUÊNCIA
 MÉTODO DAS ISOZONAS



4.5. Estudo De Deflúvios

A estimativa das vazões afluentes mensais ao açude foi realizada objetivando fornecer elementos para a simulação da operação e, conseqüentemente, o dimensionamento do reservatório.

A bacia hidrográfica do açude Missi não possui estação fluviométrica. O Plano Estadual dos Recursos Hídricos estudou as séries em toda a bacia e sub-bacias do Aracatiaçu, inclusive a bacia do Missi. A série do açude, portanto, foi retirada do referido estudo.

A série, em m³/s, pode ser visualizada no Quadro 4.4.1 a seguir.

**Quadro 4.4.1 - Vazões Mensais Afluentes ao Açude Missi (m³/s)**

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1932	3.63	0.00	4.30	20.51	0.14	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	2.38
1933	0.01	0.02	0.07	26.52	1.73	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40
1934	0.00	0.05	35.74	5.92	4.87	3.19	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.23
1935	0.00	0.16	0.46	29.24	10.53	2.80	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.67
1936	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1937	0.00	0.01	0.09	0.08	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
1938	0.00	0.00	7.07	13.44	2.45	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96
1939	0.00	2.78	12.22	1.45	0.85	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.44
1940	0.00	0.01	0.12	0.63	0.73	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
1941	0.00	0.01	0.16	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
1942	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1943	0.00	0.01	0.02	0.22	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
1944	0.00	0.00	11.16	1.13	1.39	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.17
1945	0.01	0.17	4.47	1.49	4.21	1.58	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
1946	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1947	0.00	1.43	1.61	1.18	1.51	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
1948	0.00	0.00	0.07	0.04	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
1949	0.00	0.05	0.04	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
1950	0.00	0.00	3.73	10.13	2.15	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45
1951	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
1952	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
1953	0.00	0.01	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
1954	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1955	0.03	0.22	0.01	10.99	5.16	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.39
1956	0.00	0.00	0.04	2.94	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
1957	0.00	0.00	5.18	10.02	1.49	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.42
1958	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1959	0.00	0.01	0.10	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
1960	0.00	0.00	8.78	0.79	0.94	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88
1961	0.01	1.86	0.89	5.17	1.98	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88
1962	0.00	0.01	3.07	0.74	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36
1963	0.00	0.01	20.41	14.06	2.71	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.15

**Quadro 4.4.1 - Vazões Mensais Afluentes ao Açude Missi (m³/s)**

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1964	0.00	4.00	0.92	32.20	5.55	2.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.73
1965	0.00	0.00	0.02	26.02	2.20	1.29	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.46
1966	0.00	0.09	0.00	0.02	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
1967	0.00	0.07	0.58	14.44	27.01	1.89	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.67
1968	0.00	0.00	5.80	6.52	20.21	1.96	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.88
1969	0.02	0.00	0.03	4.22	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42
1970	0.00	0.00	0.01	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
1971	0.01	0.00	0.01	11.43	12.93	1.93	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.25
1972	0.00	0.00	0.00	0.02	0.32	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
1973	0.02	0.00	0.20	8.89	1.66	1.33	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01
1974	1.57	0.53	15.57	32.15	50.79	6.20	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.01
1975	0.01	0.01	0.18	0.50	0.83	1.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
1976	0.00	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
1977	0.00	0.01	0.00	1.32	0.74	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19
1978	0.03	1.93	5.23	0.80	0.94	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75
1979	0.00	0.01	0.08	0.09	0.17	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
1980	0.00	0.01	2.77	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
1981	0.00	0.00	8.43	1.50	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86
1982	0.00	0.01	0.20	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
1983	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1984	0.00	0.00	0.06	7.47	7.80	1.56	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.41
1985	0.01	13.40	21.37	61.71	10.48	3.09	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	9.27
1986	0.05	0.27	32.32	16.62	5.47	2.71	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.82
1987	0.00	0.00	26.90	1.74	1.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.48
1988	0.00	0.02	0.20	24.27	10.92	1.89	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.11
MÉDIA	0.10	0.48	4.23	7.18	3.59	0.70	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.36
D. P	0.52	1.89	8.21	11.79	8.16	1.17	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.98
CV	5.42	3.95	1.94	1.64	2.27	1.66	2.91	-	7.55	-	-	4.36	1.45



4.6. ESTUDO DAS CHEIAS DE PROJETO

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Açude Missi foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, um modelo projetado para simular o escoamento superficial em uma bacia, sendo esta representada como um sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Para esta bacia foi estudada a sua resposta ao hietograma de projeto correspondentes a 1000 anos e 10.000 anos de tempo de retorno.

O Quadro 4.5.1 apresenta a chuva de projeto, obtida a partir das curvas precipitação-duração-freqüência com a precipitação associada aos tempos de retorno de 1000 e 10000 anos e às durações de 5 min, 15 min, 60 min, 2 h, 3 h, 6h, 12h e 24h.

Quadro 4.5.1 - Chuva de Projeto na Bacia do Açude Missi

Intervalo de Tempo	P(mm) 1.000 Anos	P(mm) 10.000 Anos
5 min	12	15
15 min	27	32
1 h	50	62
2 h	65	80
3 h	73	92
6 h	92	115
12 h	112	142
24 h	136	171

O hietograma de projeto tem uma duração superior ao tempo de concentração da bacia, estimado aqui em $T_C = 10,6$ h .

Utilizou-se o modelo do SCS (Soil Conservation Service) para a obtenção dos hidrogramas afluentes para 1.000 e 10.000 anos.

A laminação das enchentes de projeto foi realizada pelo método de Puls.

O CN para a bacia do Missi foi estimado em 80, de acordo com a avaliação do tipo de solo e do uso da bacia realizada visualmente.

A curva-chave do vertedouro, um Perfil Creager, foi estimada com base na equação $Q=C.L.H^{3/2}$, sendo $C=2,1$; $L=150$; e H a altura da lâmina.



A largura do sangradouro da barragem Missi foi definida em função de limitações físicas das ombreiras em 150 m.

Foram simuladas condições de operação para as seguintes cotas de sangria: 52 m, 53 m, 54 m, e 54,70 m. Esta última é a cota máxima permitida pelas ombreiras.

Essas simulações permitiram a estimativa de custos da barragem para cada cota de sangria, dados utilizados para a confecção da curva custo do m³ regularizado anual x volume armazenado apresentada no Capítulo 7.

Para o tempo de concentração da bacia adotou-se uma chuva de duração igual a 24 horas.

Os picos de vazão efluyente e lâminas de sangria são mostrados no Quadro 4.5.2 a seguir, para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

Quadro 4.5.2 - Vazões e lâminas de sangria

COTA DE SANGRIA (m)	TR = 1.000 ANOS		TR = 10.000 ANOS	
	Q(m ³ /s)	h(m)	Q(m ³ /s)	h(m)
52	706.2	1.71	1033.3	2.21
53	657.8	1.63	969.2	2.12
54	608.7	1.55	904	2.02
54,7	583.8	1.51	857.5	1.95

4.7. DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

4.7.1. Disponibilidade hídrica

Foi utilizada a série de vazões já apresentada para obtenção das vazões regularizadas com 90%, 95% e 99% de garantia a partir do uso do modelo HEC-3. Os resultados destas simulações estão sumarizados no Quadro 4.5.3 e na Figura 4.4 a seguir. Simulou-se para diversas dimensões possíveis do açude para subsidiar-se os estudos de dimensionamento do reservatório.

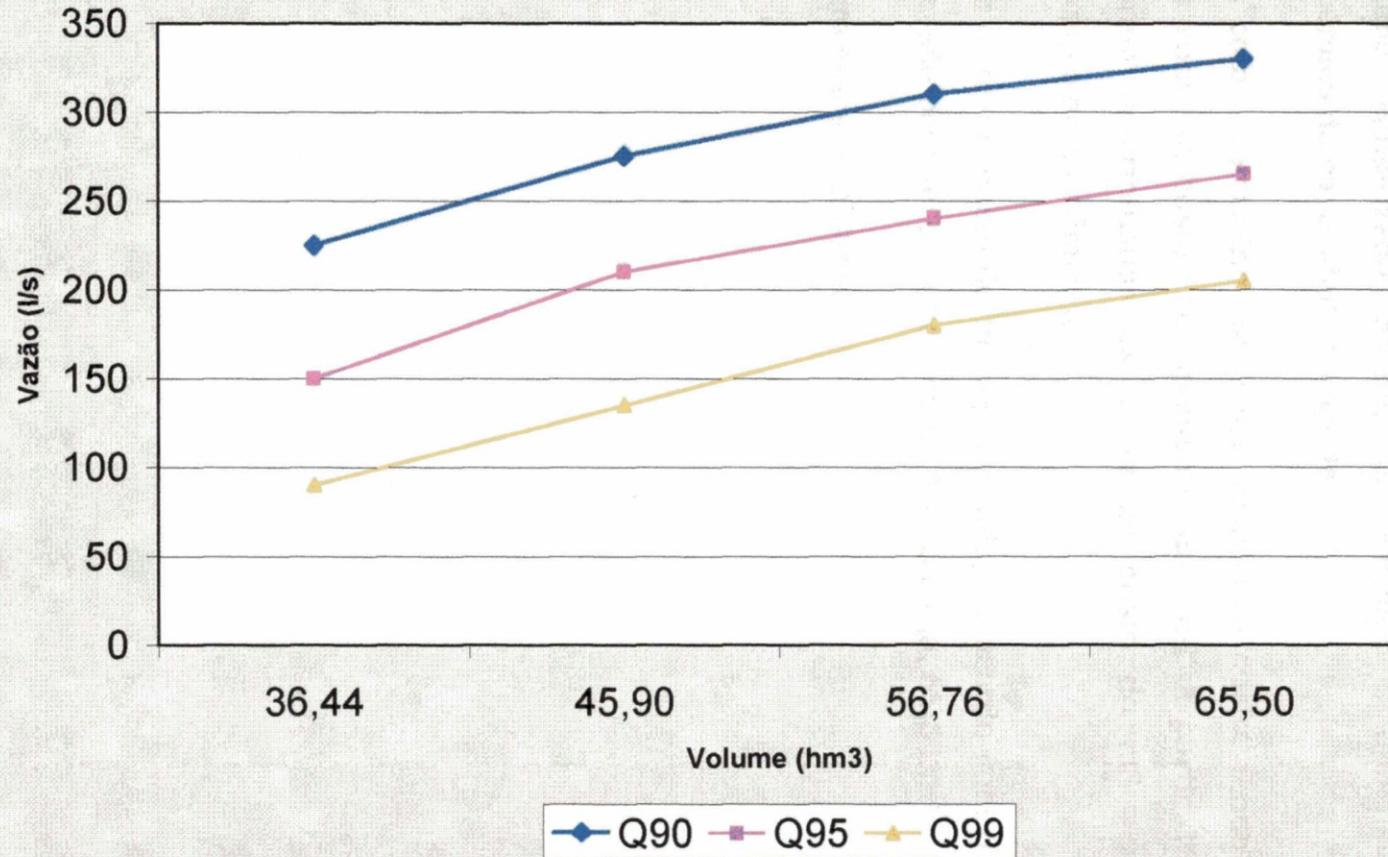


Quadro 4.5.3 - Estudo incremental de capacidades do Açude (HEC-3)

V=36.44hm³		V=45.90hm³		V=56.76hm³		V=65.50hm³	
Q(l/s)	GAR(%)	Q(l/s)	GAR(%)	Q(l/s)	GAR(%)	Q(l/s)	GAR(%)
225	90%	275	90%	310	90%	330	90%
150	95%	210	95%	240	95%	265	95%
90	99%	135	99%	180	99%	205	99%



Figura 4.4 - Gráfico Volume acumulado x Vazão regularizada





4.7.2. Estudo da Capacidade Econômica do Reservatório

A determinação do tamanho do reservatório foi realizada tendo como base o custo mínimo do volume regularizado. Assim, foi realizado o dimensionamento hidrológico - econômico da capacidade do açude.

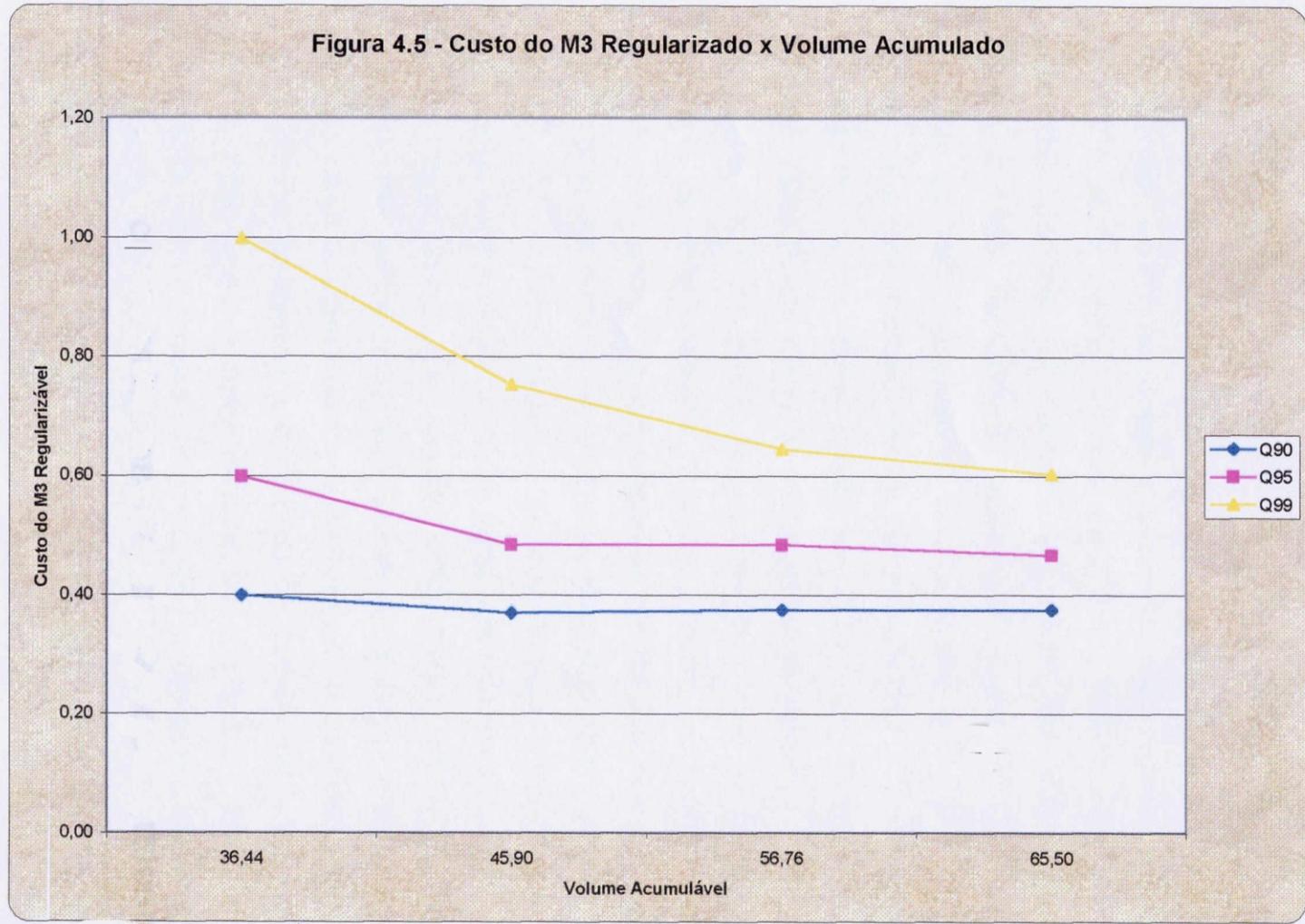
Para as diversas cotas, determinou-se o seu respectivo custo, tendo-se assim associado a cada cota um custo correspondente da obra. A partir deste pares (cota, custo), foram determinadas as curva de custo do m³ regularizado associado às garantias de atendimento.

Foi verificado que o menor custo do m³ regularizado, de acordo com o gráfico, é para a maior dimensão possível do açude (cota 54,7), ou seja, 65,5 hm³.

A Figura 4.5 mostra esses resultados.



Figura 4.5 - Custo do M3 Regularizado x Volume Acumulado





MONTGOMERY WATSON



5. CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS



5. CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS

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

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



indicando percolação de água em consequência da abertura de algumas fraturas.

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



o substrato rochoso na região da calha do rio e partes altas das ombreiras não deve apresentar valores preocupantes de condutibilidade hidráulica. Na ombreira esquerda, próxima da calha do rio, os valores obtidos sugerem atenções quanto a possíveis fluxos pelas trincas ou fraturas nos primeiros 9 metros da fundação rochosa, principalmente considerando-se que nesta extensão a rocha apresentou uma frequência igual ou superior a 20 fraturas por metro de perfuração.

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

A partir dos dados obtidos nas investigações do sangradouro pode-se fazer as seguintes considerações:

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



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

- c) A sondagem SM-12 apresentou de 0,00m a 2,00m silte arenoso micáceo, com pedregulhos e seixos de quartzo, cinza e amarelo variegado. De 2,00m a 8,14m o furo foi feito com sonda rotativa e foi encontrado biotita sericita xisto, com intercalações de veio de pegmatito muito dura. O grau de intemperismo variou de são a levemente intemperizado. O RQD variou nas seis manobras de 0% a 70%.
- d) A sondagem SM-13 apresentou de 0,00m a 0,60m silte arenoso micáceo com pedregulhos caracterizando o solo residual. De 0,60m a 1,00m foi atravessado um veio de pegmatito. De 1,00m a 2,11m foi encontrado uma rocha decomposta e a partir daí biotita sericita xisto, a qual apresentou grau de intemperismo medianamente intemperizado. O RQD variou de 0% a 70%, nas seis manobras realizadas.
- e) Com base nos resultados destas sondagens observa-se que a rocha de melhor competência para resistir à erosão, causada pelos fluxos de sangria previstos, ocorre, aproximadamente, a partir da cota 47 m.
- f) Fixando o foco nas sondagens do local onde será implantado o sangradouro, SM-10, SM-11, SM-12 e SM-13, verifica-se que nas duas primeiras sondagens, ou seja, SM-10 e SM-11, foram feitos inicialmente um trecho a percussão, com profundidade de 5,00m e 5,10m, respectivamente, encontrando-se na sondagem SM-10 um capeamento de 1,05m de espessura de silte areno-argiloso micáceo com pedregulhos, vermelho e amarelo variegado. Abaixo dessa camada, vem até 5,00m, silte arenoso micáceo, com pedregulhos, cinza e amarelo variegado. A partir de 5,00m o furo foi feito com sonda rotativa até



11,00m. Foi encontrado biotita sericita xisto, com grau de intemperismo variando de levemente intemperizada a medianamente intemperizada. O RQD variou nas seis manobras de 0% a 60%.

- g) A sondagem SM-11 apresentou de 0,00m a 2,00m silte areno-argiloso micáceo, com pedregulhos, cinza e amarelo variegado. De 2,00m a 5,10m foi encontrado silte arenoso, cinza e amarelo, caracterizando o solo residual. De 5,10m a 11,50m o furo foi feito com sonda rotativa e encontrou-se biotita sericita xisto, com grau de intemperismo medianamente intemperizado. O RQD variou de 0% a 70% nas sete manobras.
- h) A sondagem SM-12 apresentou de 0,00m a 2,00m silte arenoso micáceo, com pedregulhos e seixos de quartzo, cinza e amarelo variegado. De 2,00m a 8,14m o furo foi feito com sonda rotativa e foi encontrado biotita sericita xisto, com intercalações de veio de pegmatito muito dura. O grau de intemperismo variou de são a levemente intemperizado. O RQD variou nas seis manobras de 0% a 70%.
- i) A sondagem SM-13 apresentou de 0,00m a 0,60m silte arenoso micáceo com pedregulhos caracterizando o solo residual. De 0,60m a 1,00m foi atravessado um veio de pegmatito. De 1,00m a 2,11m foi encontrado uma rocha decomposta e a partir daí biotita sericita xisto, a qual apresentou grau de intemperismo medianamente intemperizado. O RQD variou de 0% a 70%, nas seis manobras realizadas.
- j) Com base nos resultados destas sondagens observa-se que a rocha de melhor competência para resistir à erosão, causada pelos fluxos de sangria previstos, ocorre, aproximadamente, a partir da cota 47 m.



Calcado nas investigações de campo e nos ensaios laboratoriais realizados em amostras, dos materiais estudados para serem utilizados nas obras da barragem, pode-se fazer as seguintes observações:

- a) Os solos das jazidas J-01 e J-03 por possuírem um percentual significativo de fragmentos de rocha quartzítica, em diversas dimensões, devem ser indicados para zonas mais permeáveis do maciço, como por exemplo o espaldar de jusante. Os fragmentos com dimensões maiores que a espessura da camada indicada para a confecção do aterro, devem ser excluídos.
- b) Os solos da jazida J-02 apresentam características geotécnicas que favorecem o uso destes em qualquer zona do maciço da barragem. No entanto a jazida, por apresentar uma maior distância de transporte, deve ser usada apenas em zonas mais impermeáveis do maciço.
- c) O material pétreo necessário para as proteções dos taludes do maciço, transições e enrocamento de pé tem como fonte de obtenção prioritária a escavação do substrato rochoso no sangradouro, que apresenta formações rochosas apropriadas para tais fins. Como complementação desta fonte indicou-se a pedreira P-01, constituída de gnaisses são muito duros.
- d) Os bancos de areia do riacho Missi, com permeabilidade média de 7×10^{-3} , são apropriados como fonte de suprimento de agregado miúdo para os concretos e para elemento drenante/filtrante do sistema de drenagem interna do maciço.

Os estudos hidrológicos elaborados para a barragem Missi permitem tecer as seguintes considerações:

- a) A largura do sangradouro da barragem Missi foi definida em função de limitações físicas das ombreiras em 150 m.



- b) Foram simuladas condições de operação para as seguintes cotas de sangria: 52 m, 53 m e 54m. Esta última é a cota máxima permitida pelas ombreiras. Essas simulações permitiram a estimativa de custos da barragem para cada cota de sangria, dados utilizados para a confecção da curva custo do m³ regularizado anual x volume armazenado. Por essa curva chegou-se ao volume máximo de 56,76hm³ (cota 54m) para o açude Missi.
- c) Os picos de vazão efluyente e lâminas de sangria são mostrados no Quadro 6.1 a seguir, para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

Quadro 6.1 - Vazões e lâminas de sangria

TR = 1.000 ANOS		TR = 10.000 ANOS	
Q(m ³ /s)	h(m)	Q(m ³ /s)	h(m)
608.7	1.55	904	2.02

- d) As vazões regularizadas com 90%,95% e 99% de garantia foram obtidas a partir do uso do modelo HEC-3. Os resultados destas simulações estão sumariados no Quadro 6.2 a seguir. Simulou-se para diversas dimensões possíveis do açude para subsidiar-se os estudos de dimensionamento do reservatório.

Quadro 6.2 - Vazões Regularizadas (l/s)

V=56.76hm ³	
Q(l/s)	GAR(%)
310	90%
240	95%
180	99%

Consórcio



MONTGOMERY WATSON

