



**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**

Procuradoria Geral do Estado

**BANCO INTERNACIONAL PARA RECONSTRUÇÃO
E DESENVOLVIMENTO - BIRD (BANCO MUNDIAL)**

**Ministério da Integração Nacional - MI
Programa Nacional de Desenvolvimento
dos Recursos Hídricos - PROÁGUA NACIONAL -
Acordo de Empréstimo N.º.: 7420-BR - BID**

**Governo do Estado do Ceará
Projeto de Gestão Integrada dos
Recursos Hídricos PROGERIRH II
Acordo de Empréstimo N.º.: 7630-BR**

**ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E DO PROJETO EXECUTIVO
DO EIXO DE INTEGRAÇÃO DA IBIAPABA/CE PARA CONSTRUÇÃO DAS
BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU, DO CANAL/TÚNEL E DA
PENSTOCK/PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH.**

**ETAPA B3 – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM LONTRAS
VOLUME 1 - ESTUDOS BÁSICOS**

Tomo 4 - Estudos Geológicos e Geotécnicos



Integração
Ministério da Integração Nacional



**SECRETARIA DOS
RECURSOS HÍDRICOS**
Governo do Estado do Ceará



**PROÁGUA
NACIONAL**



**BANCO
MUNDIAL**



EngeSoft
Engenharia e Consultoria Ltda.



Yibi
ENGENHARIA
CONSULTIVA S/S.

consórcio

Revisão : Dezembro/2012

Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo do Eixo de Integração da Ibiapaba/Ce (Para Construção das Barragens Lontras e Inhuçu, do Canal/Túnel e da Penstock/Pequena Central Hidrelétrica - PCH)

Etapa B3 – Projeto Executivo da Barragem Lontras

Volume 1 – ESTUDOS BÁSICOS

Tomo 4 - Estudos Geológicos e Geotécnicos

Revisão: Dezembro de 2012

ÍNDICE

ÍNDICE

Páginas

ÍNDICE	2
APRESENTAÇÃO	12
1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	16
2 ESTUDOS GEOLÓGICOS	20
2.1 GEOLOGIA REGIONAL	21
2.2 GEOLOGIA LOCAL	25
2.2.1 <i>Estratigrafia</i>	25
2.2.2 <i>Aspectos fisiográficos do sítio</i>	26
2.2.3 <i>Erodibilidade e assoreamento</i>	34
2.2.4 <i>Estanqueidade do reservatório</i>	34
2.2.5 <i>Sismicidade</i>	34
3 INVESTIGAÇÕES NO BARRAMENTO	37
3.1 SONDAGENS REALIZADAS	38
3.2 SONDAGENS MISTAS	41
3.3 ENSAIOS DE CAMPO	42
4 INVESTIGAÇÕES NO SANGRADOURO	46
4.1 SONDAGENS REALIZADAS	47
4.2 ENSAIOS DE CAMPO	48
5 LEVANTAMENTO GEOFÍSICO	50
5.1 INTRODUÇÃO	51
5.2 PRINCÍPIOS DOS MÉTODOS EMPREGADOS	52
5.2.1 <i>Imageamento geolétrico (eletrorresistividade)</i>	52
5.2.2 <i>Arranjo Dipolo-Dipolo/Pseudo-seções de Resistividade</i>	54
5.2.3 <i>Sísmica de refração</i>	58
5.3 MATERIAIS E MÉTODOS	62
5.3.1 <i>Imageamento geolétrico</i>	62
5.3.2 <i>Sísmica de Refração</i>	63
5.4 LEVANTAMENTOS REALIZADOS	65
5.5 DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA	66
5.6 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO	71

5.6.1	Imageamento geométrico.....	72
5.6.2	Sísmica de Refração.....	79
5.6.3	Considerações sobre a Sísmica de Refração.....	82
5.6.4	Integração das Informações (Desenho 6L e 7L).....	88
6	ANÁLISE DAS CAMPANHAS DE SONDAGENS.....	89
6.1	CAMPANHA DE SONDAGENS MECÂNICAS.....	90
6.1.1	Solos de cobertura.....	92
6.1.2.1	Crerios de classificação.....	94
7	ESTUDO DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS.....	120
7.1	JAZIDAS DE SOLO.....	123
7.2	AREAL.....	155
7.3	PEDREIRAS.....	156
8.	ANEXOS.....	158

ÍNDICE FIGURA

Páginas

Figura 1.1 – Mapa de localização (contexto estadual).....	18
Figura 1.2 – Mapa de localização (contexto municipal)	19
Figura 2.1 - Uma extensa fossa tectônica afetou o embasamento cristalino e se refletiu também nos sedimentos devonianos da formação Serra Geral. A área de interesse aos empreendimentos, assinalada pela elipse, foi afetada pelo referido tectonismo (Mapa Geológico do CPRM - 2003).	21
Figura 2.2 - Configuração do terreno na região de interesse aos empreendimentos, onde se notam os reflexos do tectonismo nas atuais formas de relevo, mesmo na área com cobertura sedimentar da formação Serra Geral (Mapas Google).	22
Figura 2.3 - Assinalam-se em azul alguns lineamentos importantes, que coincidem provavelmente com extensos planos de falhamento. As sucessivas etapas de tectonismo regional acarretaram deslocamentos relativos entre blocos, tanto verticais, quanto horizontais, além de basculamentos.	24
Figura 2.4 - Trilha aberta ao longo do eixo de barramento, na ombreira esquerda.	26
Figura 2.5 - Grande quantidade de blocos se acumula, de maneira desordenada, logo abaixo de juma quebra no relevo, motivada pela presença de uma camada de arenito mais coerente (Coord. UTM 9.499.050 N 283.640 E, 24M).	27
Figura 2.6 - Placas de arenito coerente, levantadas e basculadas por processo generalizado de rastejo. Este mecanismo afeta toda a ombreira esquerda e constitui um importante fator condicionante do projeto.....	28
Figura 2.7 - Vista do rio Inhuçu a partir da margem esquerda. O leito do rio exhibe poças, alimentadas por “olhos d’água” que afloram no fundo do leito. De outra forma, o rio estaria seco, porque não há alimentação por montante (Coord. UTM 9.499.320 N 283.200 E, 24M).	29
Figura 2.8 - Este bloco de arenito exhibe estratificação cruzada, com mergulho acentuado, cerca de 300 para montante. O acamamento geral, entretanto, é sub-horizontal, como pode ser visto na foto seguinte. A seta é indicativa do fluxo.	30
Figura 2.9 - Medição de nível d’água no furo da SMB-09, na ombreira direita, estaca 12+00, onde foi encontrada a ocorrência de rocha ígnea extrusiva, provavelmente diabásio.	31
Figura 2.10 - Ao longo da ombreira direita, saindo da área mais aplainada, que corresponde a um terraço de origem fluvial, depara-se com este trecho, recoberto por seixos e blocos de arenito.	32

Figura 2.11 - No alto da ombreira direita, no local da SMB-05. Os afloramentos de arenito muito coerente exibem um leve mergulho para o interior da própria ombreira (Coord. UTM 9.499.590 N 287.780 E, 24M).	33
Figura 2.12 - Mapa da distribuição de eventos sísmicos no Nordeste do Brasil (Fonte: Oliveira, P.H.S. – 2010). O círculo vermelho assinala a área de localização dos empreendimentos.	36
Figura 3.1 - Localização dos Furos na Barragem	40
Figura 5.1 - Princípio do método da eletrorresistividade. Os eletrodos externos injetam corrente (eletrodos de corrente) enquanto os eletrodos centrais (eletrodos de potencial) efetuam a leitura da diferença de potencial estabelecida entre eles.	53
Figura 5.2 - Diagramação do arranjo dipolo-dipolo e posição dos pontos amostrados.	55
Figura 5.3 - Exemplo de uma pseudo-seção obtida com a execução de Caminhamento Elétrico onde (+) indicam as posições aparentes dos pontos de leituras. Cada ponto representa um valor da resistividade elétrica aparente.	56
Figura 5.4 - Exemplo de apresentação de uma pseudo-seção com os valores das resistividades elétricas aparentes associadas a uma escala de cores.	56
Figura 5.5 - Modelo final dos estratos geoeletricos, chamado de Seção de Imageamento Geoeletrico (SIG). Esta SIG foi gerada a partir da entrada dos dados apresentados na Figura 5 (Pseudo-Seção de Resistividade Elétrica) num software de inversão.	58
Figura 5.6 - Ilustração da geração e da propagação de ondas sísmicas.	58
Figura 5.7 - Esquema ilustrativo do princípio da refração sísmica.	59
Figura 5.8 - Esquema ilustrativo da teoria de refração descrita pela Lei de Snell.	60
Figura 5.9 - Curva tempo-distância (dromocrônica) para um modelo de duas camadas V1 e V2.	60
Figura 5.10 - Exemplo de um modelo com quatro camadas e a respectiva curva tempo-distância (dromocrônica).	61
Figura 5.11 - Syscal Switch Pro - Eletrorresistivímetro digital multi-eletrodo utilizado durante a aquisição.	62
Figura 5.12 - Diagrama de aquisição de dados. Programação das leituras em alta densidade que foi coletada em campo (295m de extensão) - Sistema multieletrodos em caminhamento roll-along.	63
Figura 5.13 - Sismógrafo GEODE e notebook utilizado nos trabalhos. A tela do computador apresenta o software que controla e gerencia as coleta dos dados sísmicos permitindo o controle de qualidade.	64
Figura 5.14 - Feição geral da área de estudos, com vegetação característica e afloramentos.	66

Figura 5.15 - Feição geral da área de estudos, com vegetação característica e a cidade de Croatá - CE ao fundo na imagem.....	67
Figura 5.16 - Equipamento de aquisição de dados geoeletricos SYSCAL PRO de 48 canais conectado aos cabos multieletrodos e à bateria.....	67
Figura 5.17 - Instalação do eletrodo de “Papel alumínio” visando melhorar o acoplamento galvânico com o solo.	68
Figura 5.18 - Detalhe do eletrodo de “Papel alumínio” conectado ao cabo multieletrodo.....	69
Figura 5.19 - Detalhes de blocos de rochas aflorante.....	69
Figura 5.20 - Membro da equipe estendendo o cabo sismográfico e acoplado os geofones.....	70
Figura 5.21 - Detalhe do cabo sismográfico e de um dos geofones instalados ao longo do alinhamento.....	70
Figura 5.22 - Equipamento sísmico (Geode – Geometrics Inc.) e técnico da Alta Resolução acompanhando a aquisição de dados.....	71
Figura 5.23 - Escala cromática das resistividades elétricas utilizadas nas Seções de Imageamento(valores em Ohm.m).....	73
Figura 5.24 - Legenda apresentada nas seções de Imageamento Geoeletrico com indicações das principais feições anômalas mapeadas e delimitadas, indicação das sondagens, bem como a integração com a sísmica de refração.....	74
Figura 5.25 - Variação da escarificabilidade com a velocidade das ondas P para um intervalo de litologias.....	80
Figura 5.26 – Correlação entre velocidades de onda	83
Figura 6.1 - Seção sísmica a jusante do eixo da barragem. Entre as estacas E5 e E8, a camada V1, com velocidades entre 0,5 e 1,0 km/s, alcança relevante espessura, de até 20 metros em alguns trechos.....	94
Figura 6.2 – Arenito medianamente coerente (C2). O risco da ponta do martelo	95
Figura 6.3 - Arenito pouco coerente (C3). O risco da ponta do martelo produz um sulco profundo.	95
Figura 6.4- Trecho da sondagem SMB-04, com foco de 10,79 a 11,00 m, onde aparenta existir uma junta de alívio, caracterizada pelo aspecto discoide dos fragmentos rochosos	97
Figura 6.5- A SMB-04 exibe, entre 12,40 e 25,60 m (final do furo), um fraturamento muito intenso, que pode ser atribuído a tectonismo, visto que a sondagem se localiza no fundo do vale, em possível área de interferência de um importante falhamento geológico	98

Figura 6.6 - Os trechos de material incoerente (C5) a pouco coerente (C4) ocorrem em praticamente todas as sondagens, com extensão que varia entre poucas dezenas de centímetros a diversos metros. A título de exemplo, vê-se na foto um tramo da SMB-01 (caixas 5 e 6), onde podem ser observados dois trechos C4/C5, assinalados.....	99
Figura 6.7 - Indicação das passagens de arenito incoerente (C5) a pouco coerente (C4) nas sondagens realizadas ao longo do eixo de barramento. Seção vista de jusante para montante.	102
Figura 6.8 – As seções geolétricas confirmaram a existência de uma anomalia geológica, na ombreira direita, no trecho identificado como de baixa resistividade (tons de azul), constituída provavelmente por um dique de rocha básica, de atitude subvertical e continuidade montante- jusante.....	108
Figura 6.9 – A seção geolétrica estudada 100 metros a jusante do eixo da barragem confirmou a presença de uma anomalia geológica, com valores de resistividade muito baixos (tons de azul).....	110
Figura 6.10 – Na seção geolétrica ao longo do eixo do vertedouro, a metade inferior do perfil, entre as estacas E11 e E20, difere muito da metade superior e exhibe material de resistividade alta a muito alta.....	112
Figura 6.11 – No alto da ombreira direita, o horizonte V2 alcança as maiores espessuras. Entre as estacas E9+10 e E12, a maior espessura coincide, provavelmente, com a anomalia geológica detectada pela sondagem SM-09.	113
Figura 6.12 – Seção sísmica a jusante do eixo da barragem. Entre as estacas E5 e E7, a camada V1, com velocidades entre 0,5 e 1,0 km/s, alcança espessura da ordem de 20 metros.	114
Figura 6.13 – A seção sísmica ao longo do eixo do vertedouro indicou, entre as estacas E13 e E15, a presença de rocha sã a pequena profundidade, favorecendo a idéia de implantação da bacia de dissipação neste local.	117
Figura 6.14 – Na ombreira direita, ao longo do eixo da barragem, existem áreas de baixa resistividade elétrica (tons de azul) cortadas por diversas camadas sísmicas (V1 a V3), em aparente conflito de informações.....	118
Figura 7.1 - Localização das jazidas em estudo para utilização no maciço da barragem Lontras.....	123
Figura 7.2 - Jazida 01	125
Figura 7.3 - Jazida 02.....	126
Figura 7.4 – Jazida 02A.....	127
Figura 7.5 - Jazida 03 e 3A	128
Figura 7.6 - Jazida 03A.....	129

Figura 7.7 - Jazida 04	130
Figura 7.8 - Jazida 04A.....	131
Figura 7.9 - Jazida 05.....	132
Figura 7.10 - Jazida 08	133
Figura 7.11 - Jazida 09	134
Figura 7.12 - Possível área-fonte de rocha para enrocamento.....	157

ÍNDICE QUADRO

Páginas

Quadro 3.1 - Sondagens Mistas no Eixo da Barragem Lontras.....	41
Quadro 3.2 - Ensaio de infiltração (tipo Lefranc) no eixo da barragem Lontras	42
Quadro 3.3 - Ensaio de perda d'água sob pressão (Lugeon) no eixo da barragem Lontras	43
Quadro 4.1 – Sondagens mistas no Sangradouro Lontras.....	47
Quadro 4.2 – Ensaio de Infiltração (tipo Lefranc) no Sangradouro Lontras.....	48
Quadro 4.3 - Ensaio de perda de água sob pressão (Ensaio Lugeon) no Sangradouro Lontras	48
Quadro 5.1 - Correlação entre velocidades sísmicas e escarificabilidade.....	80
Quadro 5.2 - Exemplos de valores de velocidades de propagação de ondas sísmicas longitudinais (ondas P).....	81
Quadro 5.3 - Valores Padrão adotado pela Caltrans (Departamento de Transporte da Califórnia. Leeds 2001.)	82
Quadro 6.1– Relação de sondagens executadas pela STS	90
Quadro 6.2– Relação de sondagens executadas pela TECNORD	91
Quadro 6.3- Classificação de rochas sedimentares quanto a sua coerência	94
Quadro 6.4- Classificação das rochas quanto à resistência	96
Quadro 6.5- Níveis de baixa coerência e/ou baixa recuperação nas sondagens.....	100
Quadro 7.1 - Volume de Materiais das Jazidas	124
Quadro 7.2 - Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 02.....	152
Quadro 7.3 - Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 03A	152
Quadro 7.4 - Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 04.....	152
Quadro 7.5 - Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 04A	153
Quadro 7.6 - Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 05.....	153
Quadro 7.7 - Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 08.....	153

Quadro.7.8 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 09.....	153
Quadro 7.9 –Cisalhamento direto – Jazida 01	154
Quadro 7.10 –Cisalhamento direto – Jazida 02	154
Quadro 7.11 –Cisalhamento direto – Jazida 03	154
Quadro 7.12 –Cisalhamento direto – Jazida 03A.....	154
Quadro 7.13 –Cisalhamento direto – Jazida 08	155
Quadro 7.14 –Ensaio triaxial – Jazida 08.....	155
Quadro 7.15 - Valores Médios dos Ensaios do Areal Jatobá.....	155

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O objetivo geral da Política Estadual dos Recursos Hídricos do Ceará é promover o uso racional dos recursos hídricos e gerenciar os mesmos de uma maneira integrada e descentralizada. Neste contexto se insere o Eixo de Integração da Ibiapaba, o qual se constitui em um dos projetos empreendidos pelo Governo do Estado do Ceará para alcançar as metas de aproveitamento integrado dos recursos hídricos.

O Eixo de Integração da Ibiapaba, então concebido pelo PROGERIRH – Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos, está localizado na região noroeste semi-árida do Estado do Ceará. Neste sistema, estão compreendidas as Bacias dos Rios Acaraú, Coreaú e Poti, sendo que esta última se estende também ao Estado do Piauí, onde constitui uma parte da Bacia do Parnaíba. Diferencia-se por ser o primeiro sistema complexo deste tipo a ser estudado, sendo que nele se prevê a transferência de águas da Bacia do Rio Poti (Parnaíba) para as Bacias dos Rios Acaraú e Coreaú.

O documento aqui apresentado integra os serviços de consultoria para ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E DO PROJETO EXECUTIVO DO EIXO DE INTEGRAÇÃO DA IBIAPABA/CE (PARA CONSTRUÇÃO DAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU DO CANAL/TÚNEL E PENSTOCK/PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH), objeto do contrato 02/PROGERIRH 2011 firmado entre o Consórcio ENGESOFT/IBI e a SRH/CE.

Referidos estudos visam promover o controle dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Inhuçu.

Conforme estabelecem os Termos de Referência contratuais, a finalidade principal com o desenvolvimento dos estudos contratados é aprofundar mais detalhadamente o atendimento às demandas de água das regiões de influências; proporcionar um aproveitamento racional das águas acumuladas nos reservatórios, para o abastecimento urbano e rural e para uso com o desenvolvimento da irrigação em áreas aptas a este tipo de atividade, e para a geração de energia elétrica, caso se mostre viável.

O estudo é composto pelas seguintes Fases e Etapas:

FASE A: ESTUDO DE VIABILIDADE

- Etapa A1 - Relatório de Identificação de Obras - RIO

- Etapa A2 - Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA do Sistema (Barragens Lontras e Inhuçu, Canal/Túnel e Penstock/PCH)
- Etapa A3 - Estudos Básicos e Concepções Gerais dos Projetos das Barragens, Canal/Túnel e Penstock/PCH
- Etapa A4 - Relatório Final de Viabilidade - RFV.

FASE B: PROJETO EXECUTIVO

- Etapa B1 - Estudos de Impactos no Meio Ambiente EIA / RIMA
- Etapa B2 - Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento das Barragens Lontras e Inhuçu.
- Etapa B3 - Projeto Executivo das Barragens Lontras e Inhuçu e Perímetro de Irrigação
- Etapa B4 - Manuais de Operação e Manutenção do Sistema
- Etapa B5 - Avaliação Financeira e Econômica Final do Sistema – Barragens e Perímetro de Irrigação.

O presente documento faz parte da **Etapa B3 – Projeto Executivo da Barragem Lontras**.

O Projeto da **Barragem Lontras** é constituído de dois volumes, como discriminado a seguir:

• **Volume 1 – Estudos Básicos**

- Tomo 1: Relatório Geral;
- Tomo 2: Estudos Cartográficos;
- Tomo 2A: Estudos Cartográficos - Desenhos;
- Tomo 3: Estudos Hidrológicos;
- **Tomo 4: Estudos Geológicos e Geotécnicos;**
- Tomo 4A: Estudos Geológicos e Geotécnicos – Anexos dos estudos nos locais do barramento e sangradouro;
- Tomo 4B: Estudos Geológicos e Geotécnicos – Anexos dos estudos das jazidas;
- Tomo 5: Estudos Pedológicos;

• **Volume 2 – Projeto Executivo**

- Tomo 1: Relatório de Concepção Geral;
- Tomo 2: Desenhos;
- Tomo 3: Memória de Calculo;
- Tomo 3A: Memória de Calculo – Dimensionamento hidráulico do sangradouro;
- Tomo 3B: Memória de Calculo – Dimensionamento estrutural;
- Tomo 4: Especificações técnicas e normas de medição e pagamento;
- Tomo 5: Quantitativos e Orçamento;
- Tomo 5A: Calculo de Quantitativos;
- Tomo 6: Relatório Síntese;

O presente documento é nomeado como **Tomo 4: Estudos Geológicos e Geotécnicos do Volume 1- Estudos Básicos** e aborda os seguintes capítulos:

- **Apresentação**
- **Localização e acesso**
- **Estudos Geológicos**
- **Investigações no barramento**
- **Investigações no sangradouro**
- **Levantamento geofísico**
- **Análise das campanhas de sondagens**
- **Estudos dos materiais construtivos**

/

1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A Barragem Lontras é parte integrante do Eixo de Integração da Ibiapaba, localizando-se na bacia do rio Inhuçu. As obras integrantes da referida barragem de integração encontram-se integralmente inseridas no território da sub-bacia do Poti, afluente de primeira ordem do rio Parnaíba, mais especificamente na sua região de alto curso, no Estado do Ceará.

A Barragem Lontras será formada pelo barramento do rio Inhuçu, afluente do Poti, tendo sua bacia hidráulica abrangendo terras dos municípios de Ipueiras e Croatá. A barragem fechará o boqueirão existente imediatamente a montante da localidade de São José das Lontras, no município de Ipueiras, distando 15 km da sede do município de Croatá.

O acesso se dá a partir de Fortaleza tomando-se a BR-020 até a cidade de Canindé (113,0 km). Toma-se, então, a rodovia CE-257 por cerca de 181,0 km até a bifurcação com a CE-187. Percorre-se 17 km até a cidade de Ipueiras e 26,0km até uma estrada carroçável para acesso ao eixo da barragem, após um percurso de 18,0 km.

O acesso aéreo a área do empreendimento pode ser feito através dos aeródromos de Ipueiras, Ipu, Tianguá e Hidrolândia. O mapa de localização e acessos da área de abrangência do estudo encontra-se apresentado nas **Figuras 1.1 e 1.2**.

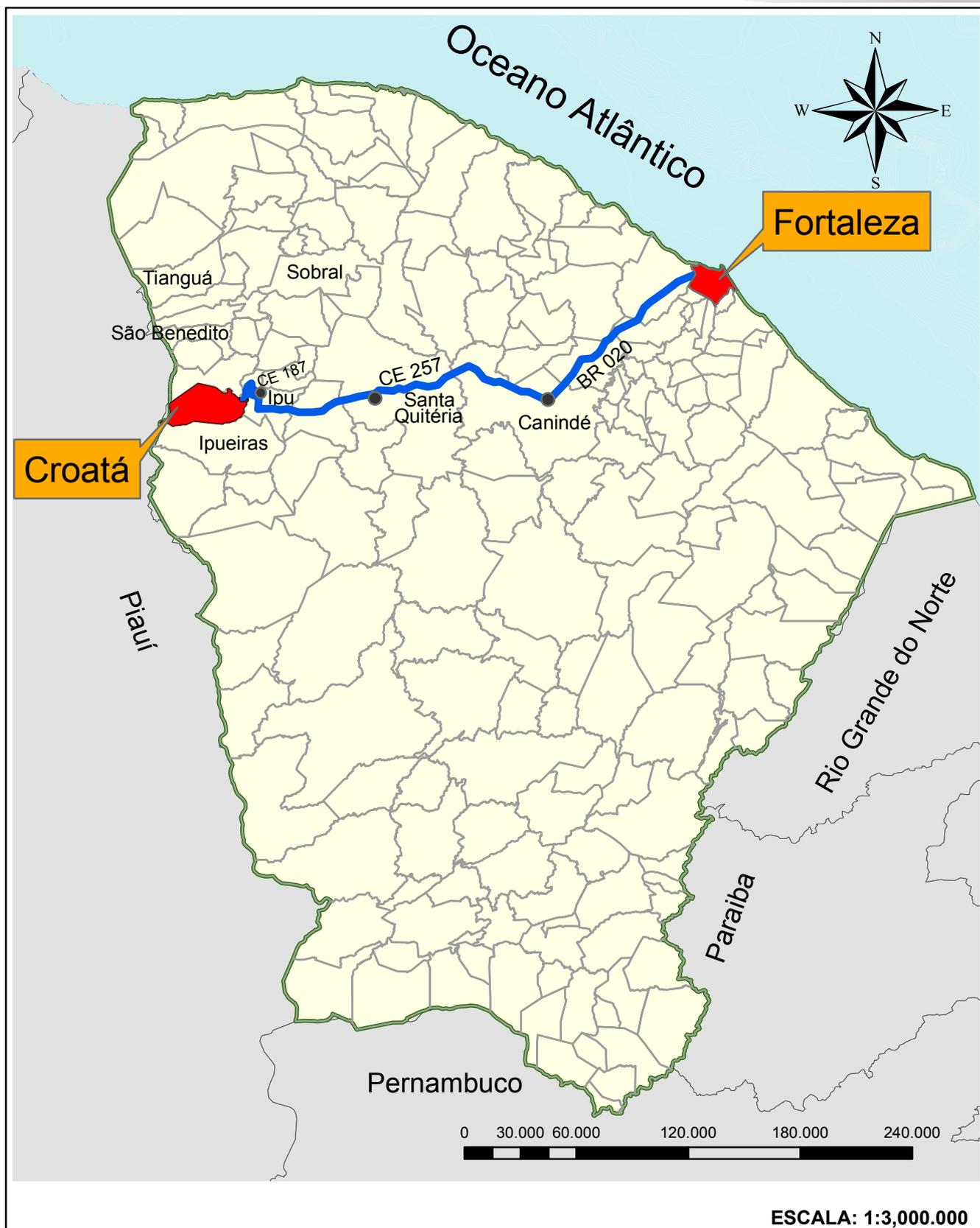


Figura 1.1 - Mapa de localização (contexto estadual)

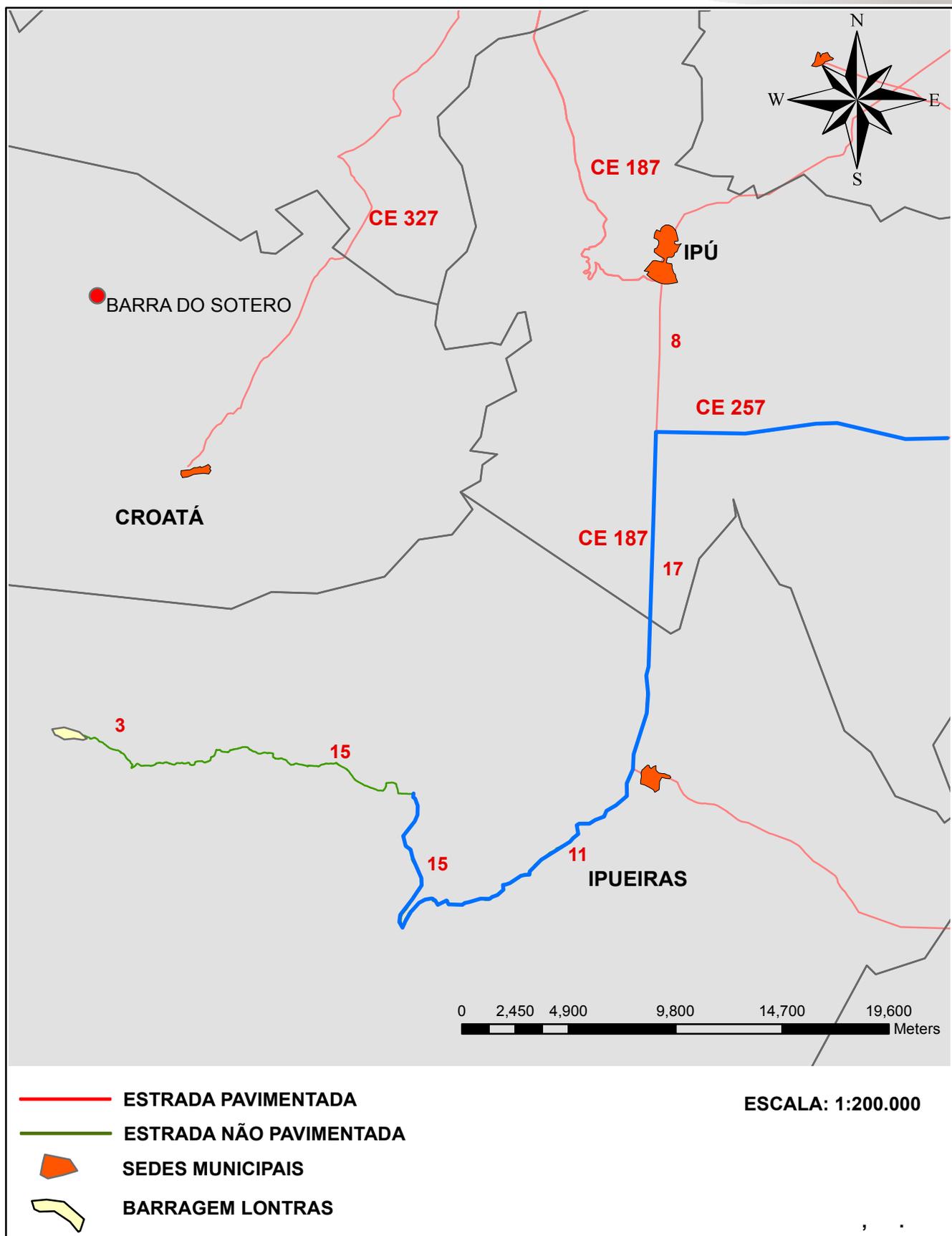


Figura 1.2 - Mapa de localização (contexto municipal)

2 ESTUDOS GEOLÓGICOS

2. ESTUDOS GEOLÓGICOS

2.1 Geologia Regional

Na serra de Ibiapaba, os sedimentos paleozóicos da Bacia do Parnaíba encobrem o embasamento cristalino, que já foi sede de incontáveis eventos tectônicos. A maior parte desses eventos antecedeu a formação da bacia sedimentar, mas alguns ocorreram em etapa posterior e deixaram sua marca gravada nos próprios sedimentos.

No Mesozóico, extensas falhas foram reativadas, dentre elas o Lineamento Sobral-Pedro II, que constitui uma das principais estruturas rúpteis, em escala regional e continental (**Figura 2.1**). Na região entre os municípios de Santana do Acaraú e Morrinhos e adjacente ao já referido lineamento, ocorre uma faixa com cerca de 30 km de extensão, orientada no sentido NE, composta por arenitos e arenitos conglomeráticos, correlacionados à seção basal do Grupo Serra Grande, de idade siluro-devoniana, que constituem um marcador por excelência da deformação ocorrida.

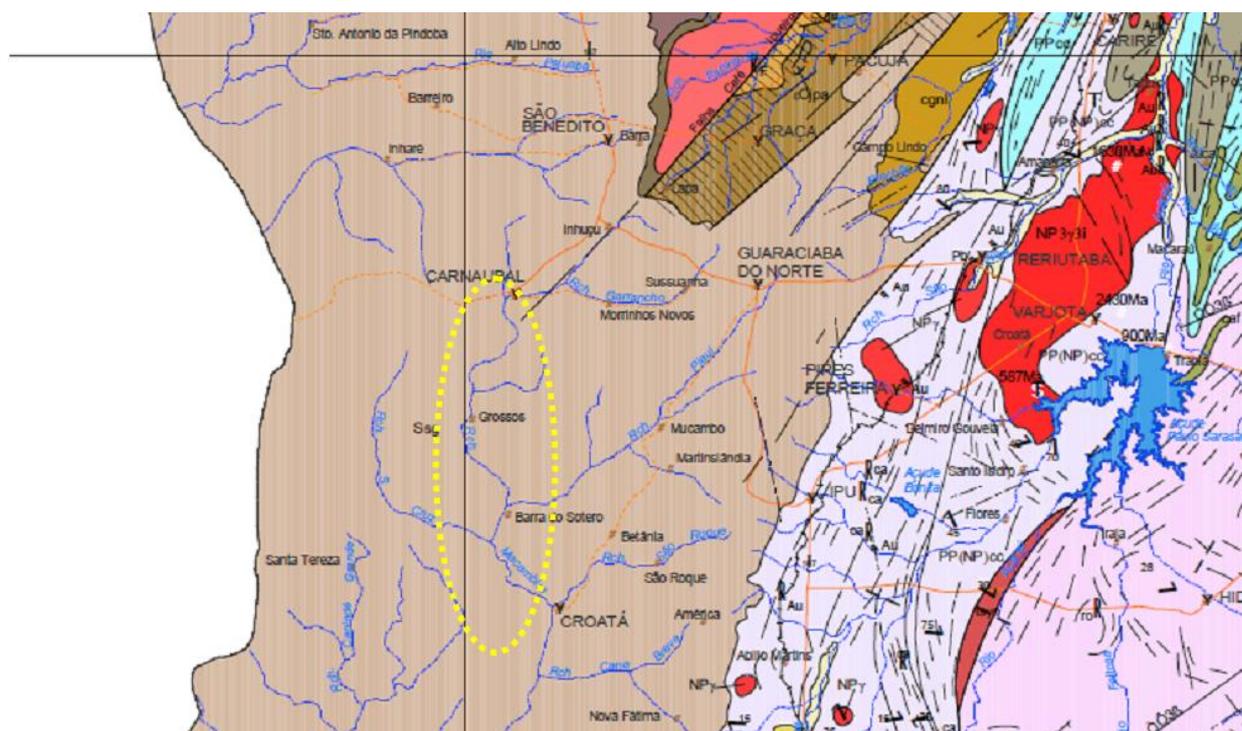


Figura 2.1 - Uma extensa fossa tectônica afetou o embasamento cristalino e se refletiu também nos sedimentos devonianos da formação Serra Geral. A área de interesse aos empreendimentos, assinalada pela elipse, foi afetada pelo referido tectonismo (Mapa Geológico do CPRM - 2003).

O espesso pacote de sedimentos da formação Serra Grande, no alto da chapada, foi submetido ao mesmo tectonismo que atingiu o embasamento cristalino, ao longo de uma faixa de território que se prolonga no sentido NE-SW e que possui uma largura de algumas dezenas de quilômetros. Esta faixa é delimitada pelo lineamento Sobral-Pedro II, que passa pela cidade de Guaraciaba do Norte e por outro lineamento importante, paralelo ao primeiro, denominado Falha Café-Ipoeiras, que passa próximo à cidade de Carnaubal.

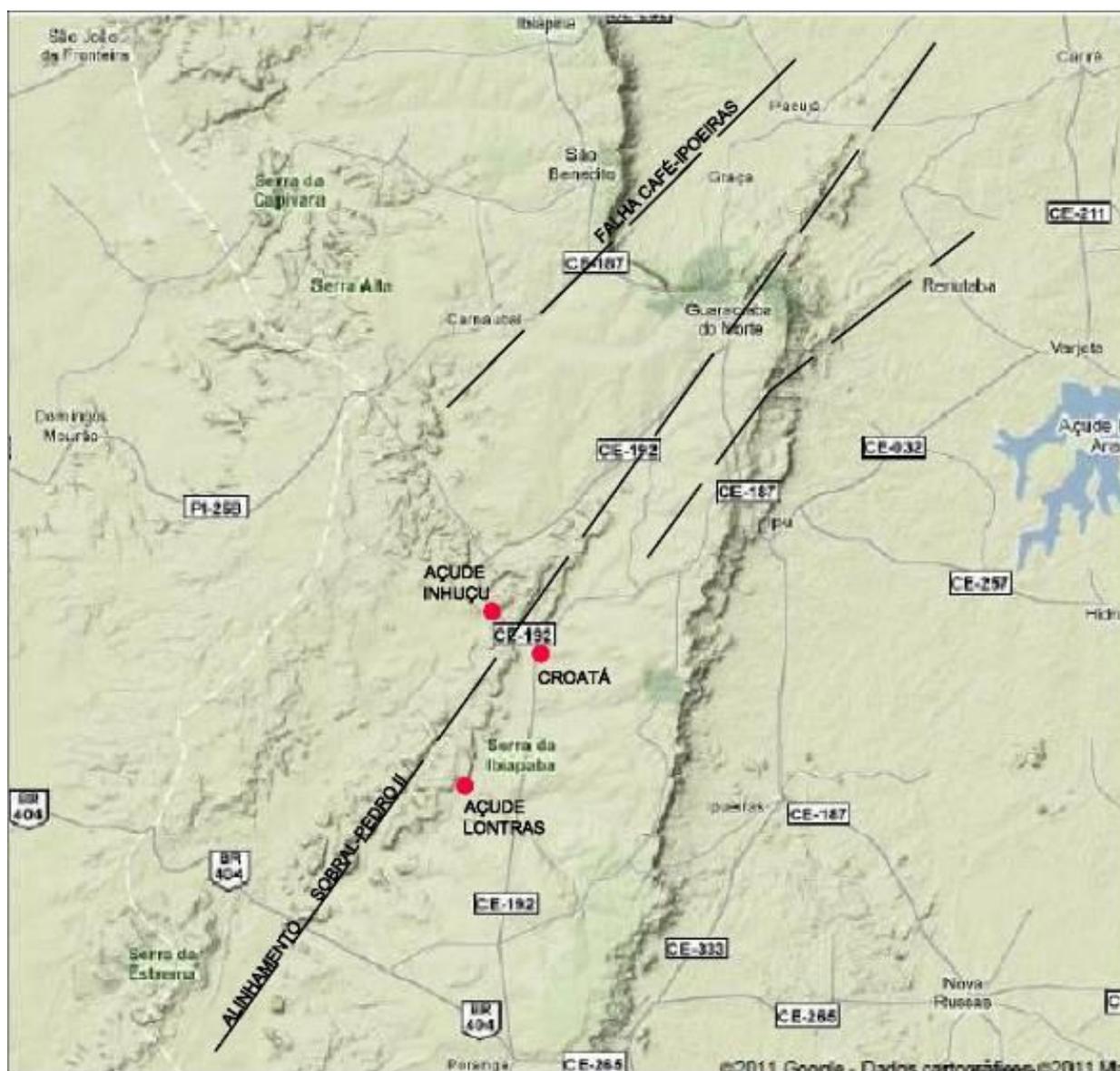


Figura 2.2 - Configuração do terreno na região de interesse aos empreendimentos, onde se notam os reflexos do tectonismo nas atuais formas de relevo, mesmo na área com cobertura sedimentar da formação Serra Geral (Mapas Google).

O mapa fisiográfico da região de interesse mostra que os sítios de barramento previstos se situam dentro de uma faixa afetada, conforme referido acima, por eventos tectônicos ocorridos após a sedimentação da formação Serra Grande.

Uma nova etapa de tectonismo se manifestou em época posterior à da reativação do lineamento Sobral-Pedro II, com desenvolvimento de um sistema de falhamentos transcorrentes, alinhados na direção aproximada NW-SE, que induziu deslocamentos relativos entre blocos, configurando uma fossa tectônica.

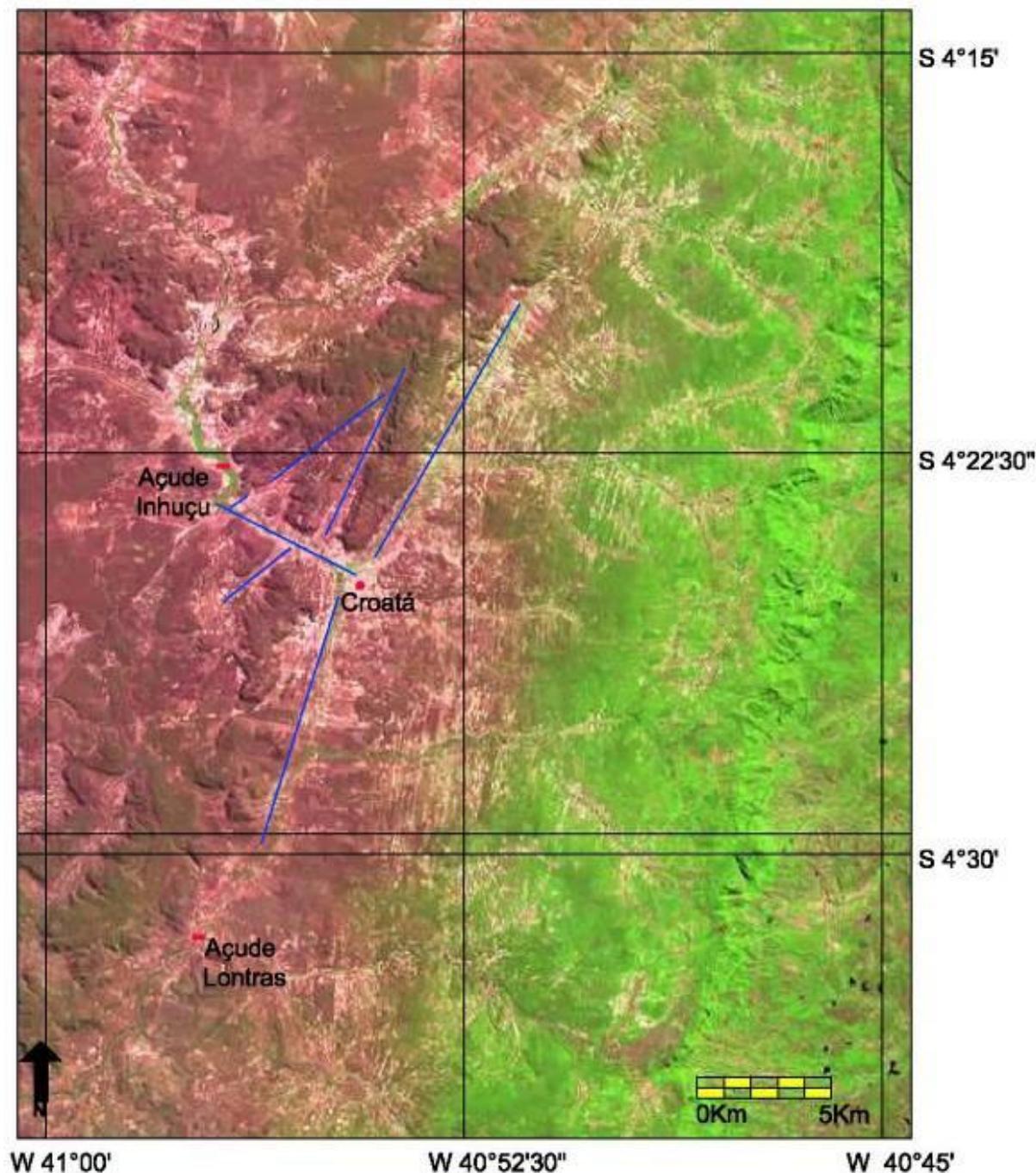


Figura 2.3 - Assinalam-se em azul alguns lineamentos importantes, que coincidem provavelmente com extensos planos de falhamento. As sucessivas etapas de tectonismo regional acarretaram deslocamentos relativos entre blocos, tanto verticais, quanto horizontais, além de basculamentos.

Deslocamentos relativos entre blocos, tanto verticais, quanto horizontais, além de basculamentos, podem ser observados no terreno, graças à presença de horizontes-guias, claramente visíveis nas elevações que delimitam os vales dos principais cursos d'água.

2.2 Geologia Local

2.2.1 Estratigrafia

No sítio da barragem Inhuçu ocorrem sedimentos da formação Serra Grande, que integra a sequência de unidades sedimentares da Bacia do Parnaíba (ou bacia do Maranhão-Piauí) e compreende um pacote de arenitos finos a grosseiros, às vezes conglomeráticos, com intercalações siltosas e arenosas, bem definidas, cuja presença pode ser observada tanto nos afloramentos das escarpas da Serra de Ibiapaba, quanto nos testemunhos das sondagens feitas no local do empreendimento.

A posição da formação Serra Grande é basal, em relação à estratigrafia da bacia, apoiando-se diretamente sobre o substrato cristalino. Quando não perturbado por tectonismo, o acamamento dos sedimentos mergulha suavemente para oeste, isto é, para o interior da bacia sedimentar.

A sequência sedimentar local se caracteriza pela atitude sub-horizontal das camadas, com mergulhos de amplitude restrita a poucos graus. Localmente, encontram-se afloramentos com mergulhos um pouco mais acentuados, de no máximo 150 a 200, sem uma orientação preferencial, voltados praticamente para todos os quadrantes e que persistem por distâncias relativamente curtas, na escala das dezenas de metros.

No sítio, o arenito é geralmente fino e se apresenta associado a estratos sub-horizontais de siltito e folhelho intercalados, sendo finamente estratificado, friável e frequentemente pouco consistente, de cor cinza claro, amarelado e, às vezes, vermelho ferruginoso, ou cinza escuro, quando coerente.

É frequente a presença de estruturas de estratificação cruzada, que podem exibir mergulhos mais acentuados (300 a 400), mas que não possuem continuidade significativa. Trata-se de estruturas secundárias, com extensão limitada a poucos metros, no máximo.

Os afloramentos rochosos são frequentes, embora não contínuos, concentrando-se nas duas ombreiras e no leito do rio. Nas ombreiras, observa-se a presença de degraus mais acentuados na topografia, sustentados por camadas de arenito muito coerente, normalmente silicificadas, verdadeiros quartzitos.

Grandes acúmulos de blocos, das mais variadas dimensões, são observados logo abaixo dos referidos degraus e refletem o processo de evolução e recuo das encostas.

Cada degrau está associado à presença, em sua base, de camadas de arenito e/ou siltito menos coerentes, frequentemente brandos e facilmente erodíveis. A remoção desses horizontes pouco coerentes, pela ação dos agentes externos, deixa os blocos de arenito coerente em balanço, até que a perda da base de sustentação provoca sua queda. Este é o mecanismo de evolução do relevo local.

A cobertura de solos é, em geral, escassa ou inexistente. Na porção inferior das encostas, em áreas de menor declividade, ela se limita a poucas dezenas de centímetros, ou, no máximo, a um ou dois metros e é formada por solos essencialmente siltosos e arenosos finos, não coesivos, com relevante presença de pequenos blocos e seixos imersos.

2.2.2 Aspectos fisiográficos do sítio

2.2.2.1 Ombreira esquerda

A existência de afloramentos rochosos na ombreira esquerda induz a presença de bruscos degraus na topografia, sustentados por camadas de arenito muito coerente, normalmente silicificado, adquirindo o aspecto e características de quartzito. Acúmulos de blocos, das mais variadas dimensões, são observados logo abaixo dos referidos degraus e refletem o processo de evolução e recuo das encostas (Figuras 2.4 e 2.5).



Figura 2.4 - Trilha aberta ao longo do eixo de barramento, na ombreira esquerda.



Figura 2.5 - Grande quantidade de blocos se acumula, de maneira desordenada, logo abaixo de juma quebra no relevo, motivada pela presença de uma camada de arenito mais coerente (Coord. UTM 9.499.050 N 283.640 E, 24M).

A ombreira esquerda apresenta um aspecto peculiar, com possíveis reflexos significativos no projeto da barragem. A alternância de camadas de arenito coerente com estratos de siltito inconsolidado e incoerente, associada ao discreto mergulho das camadas para o fundo do vale, proporciona o aparecimento de um processo de rastejo. Trata-se de um movimento lento das camadas de arenito, que “flutuam” e se movimentam rumo ao fundo do vale. O processo é acumulativo e é perceptível pelo afastamento entre as placas de arenito, culminando, às vezes, com o basculamento dos blocos (Figura 2.6).



Figura 2.6 - Placas de arenito coerente, levantadas e basculadas por processo generalizado de rastejo. Este mecanismo afeta toda a ombreira esquerda e constitui um importante fator condicionante do projeto.

A cobertura de solos, nesta ombreira, é escassa, ou inexistente. Na porção inferior da encosta, em áreas de menos declividade, ela se limita a poucas dezenas de centímetros ou, no máximo, a um ou dois metros e é formada por solos essencialmente siltsosos e arenosos, finos, não coesivos, com relevante presença de pequenos blocos e seixos imersos.

2.2.2.2 Margem esquerda

Próximo à margem esquerda, encontra-se uma área aplainada, recoberta por solos, própria para o plantio. Nesta área foi feita a sondagem SMB-13, que registrou a presença de 3,5 m de solo arenoso, amarelado, provavelmente de origem aluvionar.

Por serem as sondagens pontuais e afastadas entre si, recomendou-se a realização de estudos geofísicos, para averiguar a possível existência de algum paleocanal soterrado.

2.2.2.3 Leito do rio

O leito do rio é uma área de afloramentos rochosos. O trecho é de baixa declividade e uma pequena seção de controle represa as águas, que permanecem empoçadas no local (Figura 2.7).

No depoimento dos moradores, ocorrem neste trecho do rio surgências de água, que independem da vazão do rio, seco na época da visita, mas estão vinculadas à rede de fluxo subterrâneo ao longo das encostas do vale. Este aspecto é de interesse e deverá ser ulteriormente investigado, em uma futura etapa de trabalho, para melhor entendimento.



Figura 2.7 - Vista do rio Inhuçu a partir da margem esquerda. O leito do rio exibe poças, alimentadas por “olhos d’água” que afloram no fundo do leito. De outra forma, o rio estaria seco, porque não há alimentação por montante (Coord. UTM 9.499.320 N 283.200 E, 24M).



Figura 2.8 - Este bloco de arenito exhibe estratificação cruzada, com mergulho acentuado, cerca de 300 para montante. O acamamento geral, entretanto, é sub-horizontal, como pode ser visto na foto seguinte. A seta é indicativa do fluxo.

Os afloramentos rochosos no leito do rio revelam a atitude sub-horizontal das camadas, mas exibem trechos do maciço em que a estratificação cruzada em arenitos imprime localmente mergulhos mais acentuados, da ordem de 200 a 300 (Figura 2.8).

2.2.2.4 Margem direita

Na margem direita, ocorre uma faixa de terreno aplainada, com declividade variável entre 20 e 40, que se estende entre as estacas E10 e E30, abrangendo os locais das sondagens SMB-12 a SMB-09 e que se alonga no sentido montante-jusante. Aparentemente, os solos locais são de origem diversificada, gerados tanto por processos de coluvionamento recente, quanto por sedimentação fluvial mais antiga. Somam-se a isso os solos provenientes da desintegração das próprias camadas sedimentares que constituem o substrato rochoso.

O caráter aplainado da área poderia acobertar a presença de alguma estrutura de origem erosiva, antiga, hoje soterrada, visto que o rio Inhuçu divagava em toda a largura do fundo do vale. Em função disso, foi recomendada a realização de estudos geofísicos, capazes de tirar as dúvidas a esse respeito. Os resultados constam dos itens 5.6.1 e 5.6.2 e mostram que tal suspeita resultou infundada.



Figura 2.9 - Medição de nível d'água no furo da SMB-09, na ombreira direita, estaca 12+00, onde foi encontrada a ocorrência de rocha ígnea extrusiva, provavelmente diabásio.

Nas vizinhanças da estaca E12, na aproximação à porção em que a declividade da ombreira direita se acentua, a sondagem SMB-09 identificou uma anomalia geológica, representada por uma massa de rocha ígnea extrusiva, de coloração escura, possivelmente um diabásio (Figura 2.9). Na superfície do terreno, neste mesmo local, foi observado um bloco de rocha constituído por uma brecha muito coerente, em que fragmentos de arenito silicificado se encontram imersos em uma matriz silicosa, com poros cujas cavidades se encontram preenchidas por cristais de quartzo.

É provável que se esteja na presença de uma estrutura de origem tectônica, possivelmente um dique, intrudida nos sedimentos paleozóicos. O bloco brechóide seria o reflexo de uma manifestação secundária, decorrente da intrusão e sua origem estaria associada a enriquecimento em sílica trazida por soluções hidrotermais. Recomendou-se o emprego de geofísica, para melhor entendimento da estrutura da anomalia, de sua origem, bem como dos possíveis reflexos no projeto das fundações do barramento. Os resultados dos estudos geofísicos constam dos itens **5.6.1.** e **5.6.2.**

2.2.2.5 Ombreira direita

A partir da estaca 10, rumo ao alto da ombreira, a declividade do terreno se acentua, passando a situar-se entre 120 e 140 até além do coroamento da barragem, com um estreito trecho aplainado entre as estacas E6 e E8, aproximadamente.

Aqui também, a semelhança de todas as encostas circundantes, horizontes de arenito endurecido sustentam as formas topográficas e introduzem uma sequência de degraus, de altura variável, ao longo do perfil do terreno.

A presença de blocos e matacões se acentua à medida que a topografia se eleva, assim como aumentam suas dimensões (Figura 2.10). Os afloramentos de rocha são mais frequentes e contínuos. Em um ou outro local, como nas proximidades da sondagem SMB-05 (estaca E8), observa-se uma ligeira inversão na inclinação das camadas, que passam a mergulhar para o interior da ombreira (Figura 2.11).



Figura 2.10 - Ao longo da ombreira direita, saindo da área mais aplainada, que corresponde a um terraço de origem fluvial, depara-se com este trecho, recoberto por seixos e blocos de arenito.



Figura 2.11 - No alto da ombreira direita, no local da SMB-05. Os afloramentos de arenito muito coerente exibem um leve mergulho para o interior da própria ombreira (Coord. UTM 9.499.590 N 287.780 E, 24M).

2.2.2.6 Área do vertedouro

Na área de implantação do sangradouro, prevalecem os afloramentos contínuos de rocha e a topografia é acidentada, condicionada provavelmente aos principais traços estruturais, como o acamamento, a compartimentação do maciço, além de eventuais feições de origem tectônica.

2.2.3 Erodibilidade e assoreamento

Os contextos geológicos regional e local propiciam que a erodibilidade ao longo das encostas que circundam a área do futuro reservatório seja acentuada, em decorrência da própria natureza dos sedimentos paleozóicos, em parte constituídos por frações arenosas finas e siltsas, incoerentes e facilmente carreáveis pela ação da gravidade, ventos, oscilações térmicas e águas pluviais, além da atuação antrópica.

As frações finas, uma vez mobilizadas e arrastadas para o interior do lago, estão sujeitas a transporte e sedimentação diferenciados, em função de sua granulometria, atuando o reservatório como um grande decantador. As dimensões avantajadas do reservatório de Lontras e a espessa coluna d'água gerada pela barragem, com altura máxima superior a 50 metros, devem minimizar os eventuais problemas decorrentes desses processos, de maneira a assegurar uma vida útil duradoura para o empreendimento.

2.2.4 Estanqueidade do reservatório

O reservatório de Lontras é bem confinado ao longo dos vales do rio Inhuçu e não há indícios de possíveis fugas d'água para as bacias adjacentes.

Verifica-se, entretanto que na vertente direita, logo a jusante do eixo, a configuração do relevo se modifica substancialmente, visto que o vale sofre um alargamento. Esta frente desconfinada, situada além do vertedouro, pode servir como área de atração da rede de fluxo do reservatório pela ombreira direita.

Para segurança do projeto, deverão ser realizados estudos de percolação pela ombreira direita, para verificar a necessidade de monitoramento daquela área, bem como avaliar a eventual adoção de medidas de controle do fluxo d'água.

2.2.5 Sismicidade

A região noroeste do Ceará é uma das principais áreas sísmicas do Nordeste brasileiro e sua atividade sísmica é conhecida desde o século passado. Esta região possui importantes estruturas tectônicas mapeadas, já referidas no item anterior.

A região é atravessada por uma megasutura, que atuou na formação do supercontinente Gondwana, entre o final do Proterozóico e o início do Paleozóico, denominada Megalinhamento Transbrasiliano. Este alinhamento se estende do litoral do Ceará, através da bacia do Parnaíba e da Província Tocantins, até o Norte do Paraguai. As marcas deste

alinhamento, que se desenvolve segundo NE-SW, afetam o relevo continental e podem ser percebidas no controle estrutural das escarpas abruptas e retilíneas das serras da Meruoca e do Rosário, no noroeste cearense.

Um significativo número de eventos sísmicos ocorreram no noroeste do Ceará (Figura 2.12). Esses eventos se encontram relacionados na Tabela 2-1 (Fonte: Oliveira, P.H.S. – 2010 – Ref. 3).

Tabela 2-1 - Principais sismos de magnitude $\geq 3,0$ ocorridos no nordeste do Ceará

LOCALIDADE	ANO	MAGNITUDE (m_b)	FONTE
Granja	1942	3,0	RBGf
São Luis do Curú	1974	3,3	RBGf
Itapajé	1987	3,0	RBGf
Groaíras	1988	3,9 e 4,1	RBGf
Frecheirinha	1989	3,2	RBGf
Irauçuba	1991	4,8	RBGf
Groaíras	1995	3,4	RBGf
Frecheirinha	1997	3,2	RBGf
Senador Sá	1997	3,0 e 3,2	RBGf
Sobral	2008	3,1; 3,7; 3,9 e 4,2	RBGf

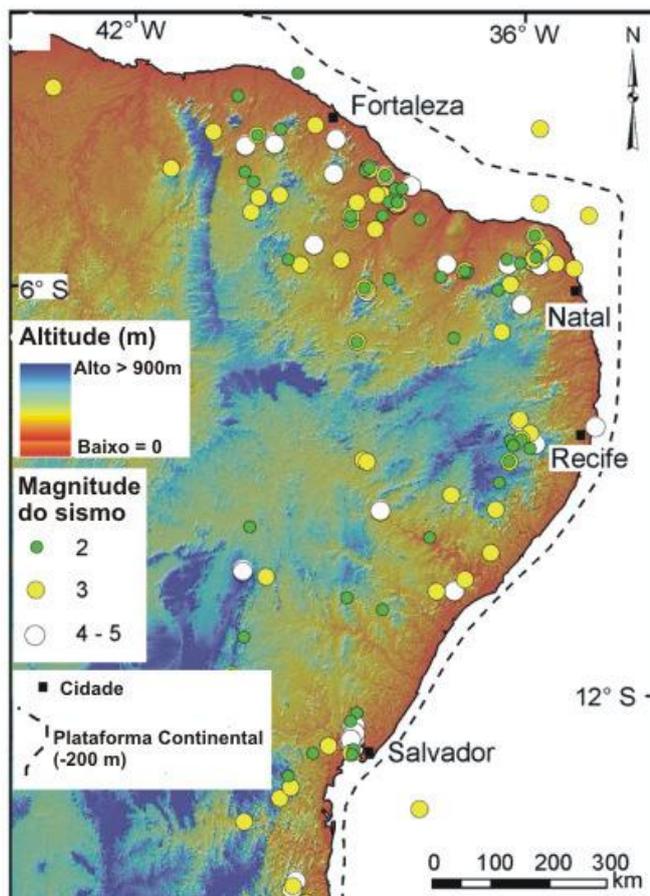


Figura 2.12 - Mapa da distribuição de eventos sísmicos no Nordeste do Brasil (Fonte: Oliveira, P.H.S. – 2010). O círculo vermelho assinala a área de localização dos empreendimentos.

Apesar da proximidade com as megaestruturas referidas, a sismicidade no noroeste do Ceará não foi correlacionada diretamente ao Lineamento Sobral-Pedro II, ou à falha Café-Ipueiras. Para se estabelecer uma correlação confiável entre atividade sísmica e as estruturas geológicas, seria necessário dispor de um conjunto mais abrangente de dados sismológicos, geológicos e geofísicos.

Mesmo assim, a sismicidade regional está longe de poder ser tida como desprezível, tendo sido levada em consideração, em função de sua magnitude histórica, no estudo da barragem Lontras.

3 INVESTIGAÇÕES NO BARRAMENTO

3 INVESTIGAÇÕES NO BARRAMENTO

3.1 Sondagens realizadas

Os estudos geotécnicos da Barragem Lontras constituem a realização de prospecções mecânicas de superfície no local do barramento, aos ensaios in situ executados nestas prospecções. Além disso, foram realizadas investigações nas áreas de ocorrências de materiais construtivos e os ensaios laboratoriais executados a partir de amostras representativas extraídas das ocorrências.

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 à concepção de um maciço tecnicamente adequado e seguro além, de economicamente viável.

No eixo adotado foram realizadas 15 prospecções mecânicas, na região do barramento, 25 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa). A localização de todos os furos da campanha de sondagens é indicada na Figura 3.1, apresentada a seguir.

Com o intuito de avaliar a permeabilidade dos solos da fundação e obter informações qualitativas sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso, foram realizados ensaios de campo em furos de sondagens no eixo da barragem. No trecho em solo das sondagens mistas e nas percussivas, estes testes consistiram de ensaios de infiltração de carga e vazão constante (Lefranc) e, no trecho perfurado com sonda rotativa, de ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon).

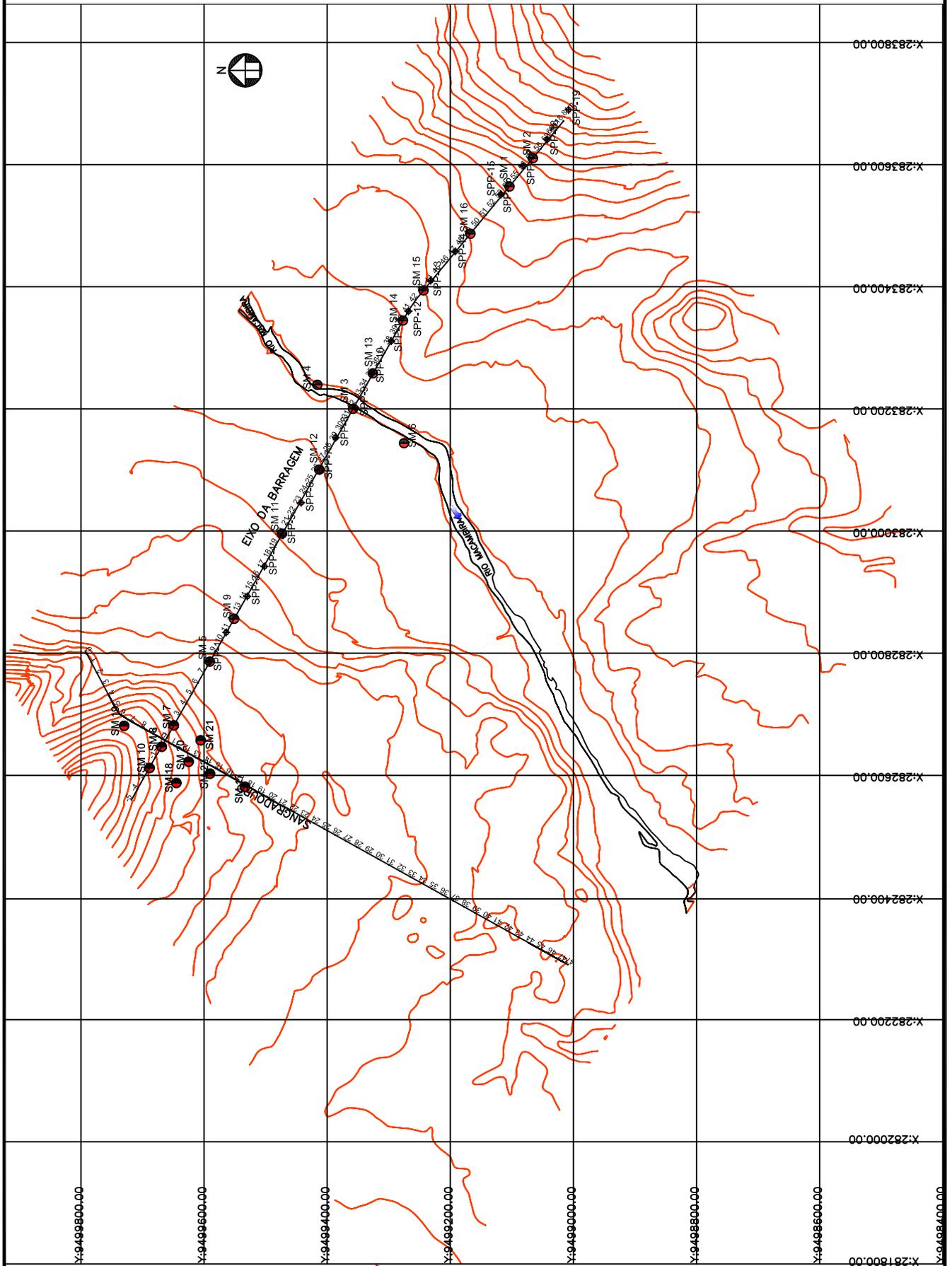
Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

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.

Além das sondagens mecânicas, também foram realizadas um levantamento Geofísico por Métodos do Imageamento Geoelétrico e Sísmica de Refração no eixo barrável e no eixo do canal de restituição do sangradouro. Estes métodos de investigação geotécnica indireta

tiveram por finalidade de complementar as sondagens realizadas e localizar possíveis anomalias que não foram identificadas pelas demais investigações.

Campanha de sondagens - Barragem Lontras



3.2 Sondagens Mistas

No local do eixo da barragem, foram executadas 15 sondagens mistas, sendo 30,86 m de sondagem percussiva e 102,60m de sondagem rotativa, totalizando 133,46m.

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

No **Quadro 3.1**, mostrado 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.

Quadro 3.1 - Sondagens Mistas no Eixo da Barragem Lontras

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	EMPRESA
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SMB-1	54+00	9.499.104	283.564	511,11	-	26,15	Arenito c/ intercalações siltito	TECNORD
SMB-2	57+00	9.499.066	283.611	521,87	1,45	28,55	Arenito	TECNORD
SMB-3	31+15	9.499.355	283.205	486,71	2,40	27,90	Arenito c/ intercalações siltito	STS
SMB-4	32+00(70m MONTANTE)	9.499.416	283.239	483	1,68	28,32	Arenito c/ intercalações siltito	TECNORD
SMB-5	8+00	9.499.591	282.786	518,11	-	20,00	Arenito c/ intercalações siltito	TECNORD
SMB-6	31+15(100m JUSANTE)	9.499.275	283.144	487,09	3,20	27,90	Arenito c/ intercalações siltito	STS
SMB-9	12+00	9.499.551	282.856	505,43	2,45	17,70	Arenito c/ intercalações siltito	STS
SMB-11	20+00	9.499.473	282.996	494,6	3,07	17,06	Arenito	STS
SMB-12	26+00	9.499.414	283.100	492,2	1,20	19,97	Arenito	STS
SMB-13	35+00	9.499.326	283.257	487,68	3,55	21,45	Arenito	STS
SMB-14	40+00	9.499.277	283.345	490,03	0,46	24,64	Arenito	STS
SMB-	43+00	9.499.243	283.394	494,95	2,00	18,50	Arenito	STS

15								
SMB-16	49+00	9.499.167	283.487	500,14	1,65	18,35	Arenito	STS
SMB-23	12+00(60m JUSANTE)	9499499	282827	504,97	7,75	4,55	Diabásio	TECNORD
SMB-24	16+00	9499512	282926	499,94	0,75	17,37	Arenito	TECNORD

3.3 Ensaios de Campo

Nas sondagens mistas, trecho em solo, e nas sondagens percussivas foram executados ensaios de infiltração do tipo Lefranc, para a determinação do coeficiente de permeabilidade “*in situ*” do substrato terroso. O número de ensaios e a permeabilidade máxima (cm/s) encontradas por furo são relacionadas no **Quadro 3.2**, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais e em fichas de cálculo no **Tomo 4 A**.

Também 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. O número de ensaios e a perda específica máxima encontrada por furo são relacionadas, também, no Quadro 3.3, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais no **Tomo 4 A**.

Quadro 3.2 - Ensaios de infiltração (tipo Lefranc) no eixo da barragem Lontras

Furo	Estaca	Cota (m)			Profundidade (m)		K (cm/s)
		Boca do Furo	Superior	Inferior	Superior	Inferior	
SMB-04	32+00(70m MONTANTE))	483,00	482,32	481,32	0,68	1,68	1,22x10 ⁻³

Quadro 3.3 - Ensaio de perda d'água sob pressão (Lugeon) no eixo da barragem Lontras

Furo	Estaca	Cota(m)		Profundidade (m)		PE (l/min/m/kg/cm²)	K (cm/s)
		Boca do Furo	Obt.	Superior	Inferior		
SM-02	57+00	521.87	517.87	4.00	7.00	5.07	5,3x10-4
			514.87	7.00	10.00	1.97	2,1x10-4
			513.87	8.00	10.31	Não obturou	-
			512.87	9.00	10.31	0.28	2,4x10-5
			511.56	10.31	13.31	0.92	9,6x10-5
			508.56	13.31	16.31	Não obturou	-
			507.56	14.31	16.31	Não obturou	-
			506.56	15.31	16.31	1.39	1,1x10-4
			505.56	16.31	19.14	0.46	4,7x10-5
			502.87	19.00	22.00	0.11	1,2x10-5
			499.87	22.00	25.00	3.15	3,3x10-4
			496.87	25.00	27.50	0.14	1,4x10-5
794.37	27.50	30.00	0.29	2,9x10-5			
SMB-03	31+15	486.71	519.47	2.40	5.10	Não obturou	-
			516.77	5.10	8.10	2.3	2,4x10-4
			513.77	8.10	11.10	0.748	7,8x10-5
			510.77	11.10	14.10	0.312	3,3x10-5
			507.77	14.10	17.10	1.558	1,6x10-4
			504.77	17.10	20.10	0.623	6,5x10-5
			501.77	20.10	23.10	0.187	1,9x10-5
			498.77	23.10	26.10	0.109	1,1x10-4
SM-04	32+00(70m MONTANTE)	483	481.00	2.00	4.78	11.26	1,1x10-3
			478.22	4.78	7.78	23.55	2,3x10-3
			475.22	7.78	10.78	2.14	2,1x10-4
			472.20	10.80	13.89	0.97	9,5x10-5
			469.11	13.89	16.89	45.69	4,4x10-3
			466.11	16.89	19.67	0.13	1,3x10-5
			463.33	19.67	22.67	0.14	1,4x10-5
			460.33	22.67	25.67	Não obturou	-
			459.33	23.67	25.67	203.49	1,9x10-5
			458.33	24.67	25.67	Não obturou	-
			457.00	26.00	30.00	0.31	3,4x10-5

SMB-06	31+15(100m JUSANTE)	487.09	490,69	3.60	6.60	0.952	9,9x10 ⁻⁵
			480,49	6.60	9.60	0.34	3,5x10 ⁻⁵
			477,49	9.60	12.60	0.126	1,3x10 ⁻⁵
			474,49	12.60	15.60	0.237	2,5x10 ⁻⁵
			471,49	15.60	18.60	1.25	1,3x10 ⁻⁴
			468,49	18.60	21.60	1.012	1,1x10 ⁻⁴
			465,49	21.60	24.60	0.074	7,7x10 ⁻⁶
			462,49	24.60	27.60	0.833	8,7x10 ⁻⁵
			459,49	27.60	31.10	0.155	1,6x10 ⁻⁵
SMB-12	26+00	492.2	489,10	3.1	6.1	3.3	3,4x10 ⁻⁴
			486,10	6.1	9.1	0.797	8,3x10 ⁻⁵
			483,10	9.1	12.1	12.193	1,3x10 ⁻³
			480,10	12.1	15.1	0.089	9.3x10 ⁻⁶
			477,10	15.1	18.1	0.201	2,1x10 ⁻⁵
			474,10	18.1	21.17	0.174	1,8x10 ⁻⁵
SMB-13	35+00	487.68	484,13	3.55	6.55	0.804	8,4x10 ⁻⁵
			481,08	6.6	9.6	0.595	6,2x10 ⁻⁵
			478,08	9.6	12.6	0.595	6,2x10 ⁻⁵
			475,08	12.6	15.6	0.595	6,2x10 ⁻⁵
			472,08	15.6	18.6	1.429	1,5x10 ⁻⁴
			469,08	18.6	21.6	0.387	4,0x10 ⁻⁵
SMB-14	40+00	490.03	484,81	5.22	8.22	0.072	7,5x10 ⁻⁶
			481,81	8.22	11.22	0.107	1,1x10 ⁻⁵
			478,81	11.22	14.22	0.173	1,8x10 ⁻⁵
			475,81	14.22	17.22	0.123	1,3x10 ⁻⁵
			472,81	17.22	20.22	0.347	3,6x10 ⁻⁵
			467,81	22.22	25.1	0.794	8,2x10 ⁻⁵
SMB-15	43+00	494.95	492.45	2.5	5.5	Não obturou	-
			489.45	5.5	8.5	0.256	2,7x10 ⁻⁵
			486.45	8.5	11.5	0.157	1,6x10 ⁻⁵
			483.45	11.5	14.5	0.129	1,4x10 ⁻⁵
			480.45	14.5	17.5	0.161	1,7x10 ⁻⁵
			477.45	17.5	20.5	0.167	1,7x10 ⁻⁵
SMB-16	49+00	500.14	496.29	3.85	6.85	0.64	6,7x10 ⁻⁵
			493.29	6.85	9.85	0.157	1,6x10 ⁻⁵
			490.29	9.85	12.85	0.226	2,4x10 ⁻⁵
			487.29	12.85	15.85	0.673	7,0x10 ⁻⁵
			484.29	15.85	18.85	0.705	7,4x10 ⁻⁵
			481.29	18.85	20	0.716	7,5x10 ⁻⁵

SM-23	12+00(60m JUSANTE)	504.97	495.97	9	12.3	1.432	1,4X10-4
SM-24	16+00	499.94	495.94	4	7	16.75	1,6X10-3
			492.94	7	10	0.228	2,2X10-5
			489.94	10	13	0.848	8,2X10-5
			486.94	13	16	0.683	6,6X10-5
			483.94	16	18.2	0.93	8,3X10-5

4 INVESTIGAÇÕES NO SANGRADOURO

4. INVESTIGAÇÕES NO SANGRADOURO

4.1 Sondagens realizadas

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

Ao longo do eixo e dos canais de aproximação e restituição foram realizadas 10 sondagens mistas, com 102,18 m, sendo 2,95 m com percussão e 99,23 m com sonda rotativa.

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.

No **Quadro 4.1** são apresentadas as sondagens mistas realizadas na região do sangradouro.

Quadro 4.1 – Sondagens mistas no Sangradouro Lontras

N°	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	EMPRESA
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SMB-7	2+00	9.499.647	282.684	534,47		15	Arenito	TECNORD
SMB-8	0	9.499.669	282.647	542,89	0,7	19,3	Arenito	TECNORD
SMB-10	-2	9.499.689	282.612	548,7	0,43	21,07	Arenito	STS
SMB-17	0 (150m JUSANTE)	9.499.534	282.581	519,8	0,6	24,4	Arenito	TECNORD
SMB-18	-2 (50m JUSANTE)	9.499.645	282.588	537,57	0,5	14,69	Arenito	STS
SMB-19	0(70m JUSANTE)	9.499.730	282.681	522,18		20	Arenito	TECNORD
SMB-20	0(50m JUSANTE)	9.499.625	282.622	534,76	0,9	14,2	Arenito	TECNORD
SMB-21	2+00(50m JUSANTE)	9.499.606	282.657	528,44		10	Arenito	TECNORD
SMB-22	0(90m JUSANTE)	9.499.590	282.602	526,86	0,8	9,2	Arenito	TECNORD
SMB-25	0(280m JUSANTE)	9.499.425	282.509	514,01	1,3	11	Arenito	TECNORD

4.2 Ensaios de Campo

Foi executado um ensaio de infiltração do tipo Lefranc na sondagem SMB-07, para a determinação do coeficiente de permeabilidade “*in situ*” do substrato terroso, representado no Quadro 4.2 a seguir:

Quadro 4.2 – Ensaios de Infiltração (tipo Lefranc) no Sangradouro Lontras

	Estaca	Cota (m)			Profundidade (m)		K (cm/s)
		Boca do Furo	Superior	Inferior	Superior	Inferior	
SMB-07	2+00	534,47	533,51	532,51	0,96	1,96	5,6x10 ⁻⁵
			532,47	531,47	2,00	3,00	1,9x10 ⁻⁴

Também 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. O número de ensaios e a perda específica máxima encontrada por furo são relacionadas, também, no **Quadro 4.3**, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais no **Tomo 4 A**.

Quadro 4.3 - Ensaios de perda de água sob pressão (Ensaio Lugeon) no Sangradouro Lontras

Furo	Estaca	Cota(m)		Profundidade (m)		PE (l/min/m/kg/cm ²)	K (cm/s)
		Boca do Furo	Obt.	Superior	Inferior		
SM-07	2+00	534.47	530,97	3,5	6,73	1,91	1,9x10 ⁻⁴
			527,77	6,7	9,7	3,83	3,7x10 ⁻⁴
			524,77	9,7	12,78	0,13	1,2x10 ⁻⁴
			521,77	12,7	15	0,17	1,5x10 ⁻⁵
SMB-10	-2	548.7	546,2	2,5	5,5	Não obturou	-
			546,2	2,5	4,5	3,13	2,9x 10 ⁻⁴
			543,2	5,5	8,5	1,42	1,4x10 ⁻⁴
			540,2	8,5	11,5	1,5	1,5x10 ⁻⁴
			537,2	11,5	14,5	0,89	9,3x10 ⁻⁵
			534,2	14,5	17,5	0,74	7,7x10 ⁻⁵
			531,2	17,5	20,5	0,57	6,1x10 ⁻⁵
			528,2	20,5	21,5	0,29	2,2x10 ⁻⁵

SM-25	00(280m JUSANTE)	514.01	512,61	1,4	4.4	4,12	4,01x10-4
			509,61	4,4	7.3	2,12	2,05x10-4
			506,71	7,3	10.3	3,25	3,16x10-4
			503,71	10,3	12.3	62,61	5,42x10-3

5 LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

5. LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

5.1 Introdução

As técnicas geofísicas foram especialmente escolhidas, pois permitem investigar a subsuperfície ao longo de perfis (linhas de estudos), de modo a fornecer uma imagem da distribuição dos materiais que a compõem, possibilitando inferir o contato entre solos/rocha e eventuais estruturas geológicas tipo falhas/fraturas/alterações objetivando otimizar a campanha de investigação direta ou antever eventuais porções da subsuperfície que possam representar dificuldades ao projeto.

Neste sentido, a campanha geofísica foi realizada através da implantação de dois alinhamentos os quais foram levantados pela técnica eletrorresistiva (Seções de Imageamento Geométrico) e pela técnica sísmica (Sísmica de Refração). Os alinhamentos geofísicos foram definidos de forma a investigar a área de interesse do projeto conforme planta de localização em anexo a este relatório.

O levantamento geofísico visou subsidiar os estudos geológicos e geotécnicos a serem desenvolvidos e teve os seguintes objetivos gerais:

IMAGEAMENTO GEOELÉTRICO

- Detalhar eventuais descontinuidades geológicas que possam ocorrer ao longo das linhas a serem estudadas;
- Identificar possíveis zonas de alteração e/ou fraturamento no interior do maciço rochoso, estruturas estas facilitadoras à percolação de água;
- Associado a sondagens diretas correlacionar os estratos geométricos com as espessuras do solo e material rochoso;
- Indicar os locais para a execução de investigação direta por meio de sondagens, a fim de esclarecer feições geométricas (geológicas) anômalas;

SÍSMICA DE REFRAÇÃO

- Estimar as espessuras do capeamento sobreposto ao topo rochoso;
- Delimitar a profundidade do topo rochoso, bem como o seu contorno ao longo das linhas a serem levantadas;
- Definir as velocidades dos estratos sísmicos e a partir deles fornecer uma primeira avaliação quanto às características de resistência mecânica e escarificabilidade dos materiais da subsuperfície local.

Deve-se se ter em mente, todavia, que a integração de métodos geofísicos é importante para se obter um melhor imageamento da subsuperfície, uma vez que as propriedades físicas dos estratos litológicos podem ser melhores mapeados dependendo da metodologia aplicada, ou seja, os métodos utilizados, neste projeto, são complementares.

O presente capítulo apresenta uma breve introdução aos métodos geofísicos utilizados, uma descrição e considerações dos levantamentos executados, interpretação dos resultados, as Seções Sísmicas e de Imageamento Geoelétrico obtidas, bem como as considerações e conclusões.

5.2 Princípios dos métodos empregados

5.2.1 Imageamento geoelétrico (eletrorresistividade)

Os diferentes materiais que compõem a superfície e subsuperfície da Terra (solos e rochas) apresentam características físicas distintas, já bastante estudadas e conhecidas no meio científico. Dentre elas ressalta-se a capacidade que os materiais apresentam de conduzir corrente elétrica; condutividade elétrica, ou seu inverso, resistividade elétrica. Diferentes solos e rochas apresentam valores contrastantes nos valores das resistividades e, apesar da grande variabilidade desta capacidade, os diferentes materiais podem ser identificados por esta propriedade que fundamenta o método eletrorresistivo.

O principal mecanismo de condução elétrica pelos materiais da subsuperfície é, sem dúvida, a condução iônica, ou eletrolítica. Neste mecanismo, o fluxo da corrente ocorre através de íons presentes nos fluidos intersticiais nos poros dos solos e rochas. Em alguns casos, a condução eletrônica também ocorre em materiais que apresentam elétrons livres, como é o caso de materiais metálicos e sulfetos metálicos.

Desta forma, o método da eletrorresistividade baseia-se nesta propriedade que os materiais possuem de conduzir eletricidade. O método tem origem na década de 20, a partir dos trabalhos realizados pelos irmãos Schlumberger.

O levantamento eletrorresistivo fornece uma feição da distribuição da resistividade elétrica em subsuperfície. Para converter esta informação de resistividade em informação geológica, algum conhecimento da geologia da área e de valores de resistividade elétrica típicos de alguns materiais é importante.

A resistividade aparente é o parâmetro físico fornecido pelo método da eletrorresistividade. Seu princípio é baseado na passagem pelo solo de uma corrente elétrica contínua de intensidade I , transmitida por um par de eletrodos denominados A e B, ligado a um emissor E (baterias ou grupo-gerador). Mede-se a diferença de potencial V entre outros dois eletrodos denominados M e N, conforme ilustra a **Figura 5.1**.

A resistividade aparente (ρ_a) é dada pela seguinte equação:

$$\rho_a = K \frac{V}{I}$$

onde K é um coeficiente que depende das dimensões do arranjo do quadripolo **AMNB**.

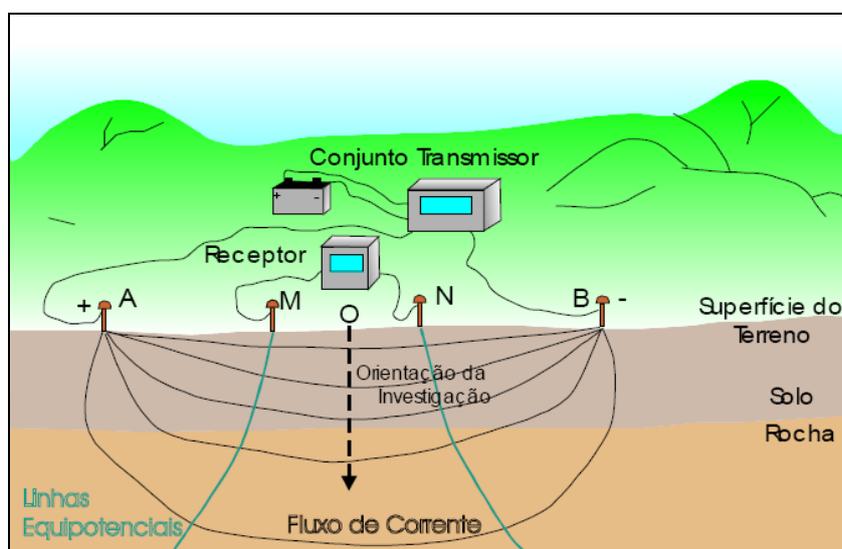


Figura 5.1 - Princípio do método da eletrorresistividade. Os eletrodos externos injetam corrente (eletrodos de corrente) enquanto os eletrodos centrais (eletrodos de potencial) efetuam a leitura da diferença de potencial estabelecida entre eles.

São dois os empregos mais usuais de medidas das resistividades elétricas aparentes para investigarmos a subsuperfície: informação pontual, com valores tomados na vertical (Sondagens Elétricas Verticais - SEV) e informação bidimensional (Caminhamento Elétrico ou Imageamento Elétrico) com medidas obtidas na vertical e na horizontal.

O Imageamento Geométrico é uma técnica de investigação em duas dimensões (2D), a partir de medidas tomadas na superfície do terreno. A finalidade é estudar as variações laterais da resistividade do subsolo, sendo muito adequado para detectar contatos geológicos verticais ou inclinados, mineralizações, diques, fraturamentos e/ou falhamentos, blocos de rochas, contaminações por produtos inorgânicos ou orgânicos e outros corpos ou estruturas que se apresentem como heterogeneidades laterais deste parâmetro.

As investigações efetuadas pelo Imageamento Geométrico, geralmente, são efetuadas ao longo de perfis e os resultados obtidos se relacionam entre si através de um estudo em planta a uma profundidade determinada, ou ainda, através de seções com várias profundidades de investigação.

5.2.2 Arranjo Dipolo-Dipolo/Pseudo-seções de Resistividade

No Caminhamento Elétrico, os eletrodos são deslocados lateralmente, mantendo-se constante a geometria do arranjo. Comparativamente a uma sondagem elétrica vertical, seria o mesmo que se executar várias SEV's com seus centros próximos uns dos outros e ao longo de um mesmo perfil. A grande vantagem é a possibilidade de se reconhecer as variações laterais deste parâmetro físico (resistividade) a diferentes níveis de profundidades definidos pelos espaçamentos entre os eletrodos (levantamento 2D). O arranjo eletródico mais usual, devido à sua praticidade de implementação em campo, bem como a qualidade nas aquisições dos dados eletrorresistivos é o dipolo-dipolo. Sua diagramação é apresentada na **Figura 5.3**.

O arranjo dipolo-dipolo sintetizado na **Figura 5.2** mostra que os eletrodos deste arranjo devem ser implantados em pontos equidistantes ($a = AB = MN$) e alinhados ao longo de um mesmo perfil (disposição colinear). As medidas são tomadas fixando-se os pares de eletrodos AB e executando sucessivas trocas de pares MN até o máximo nível (n) previsto (n =nível de investigação: $n=1$ indica ser o primeiro par de eletrodos MN, $n=2$ indica ser o segundo par MN, e assim sucessivamente até o máximo nível investigado), que comumente

varia em números inteiros de 1 a 10 (n=1 a n=10). A profundidade de investigação cresce com R e, teoricamente, corresponde a $\frac{1}{2} R$.

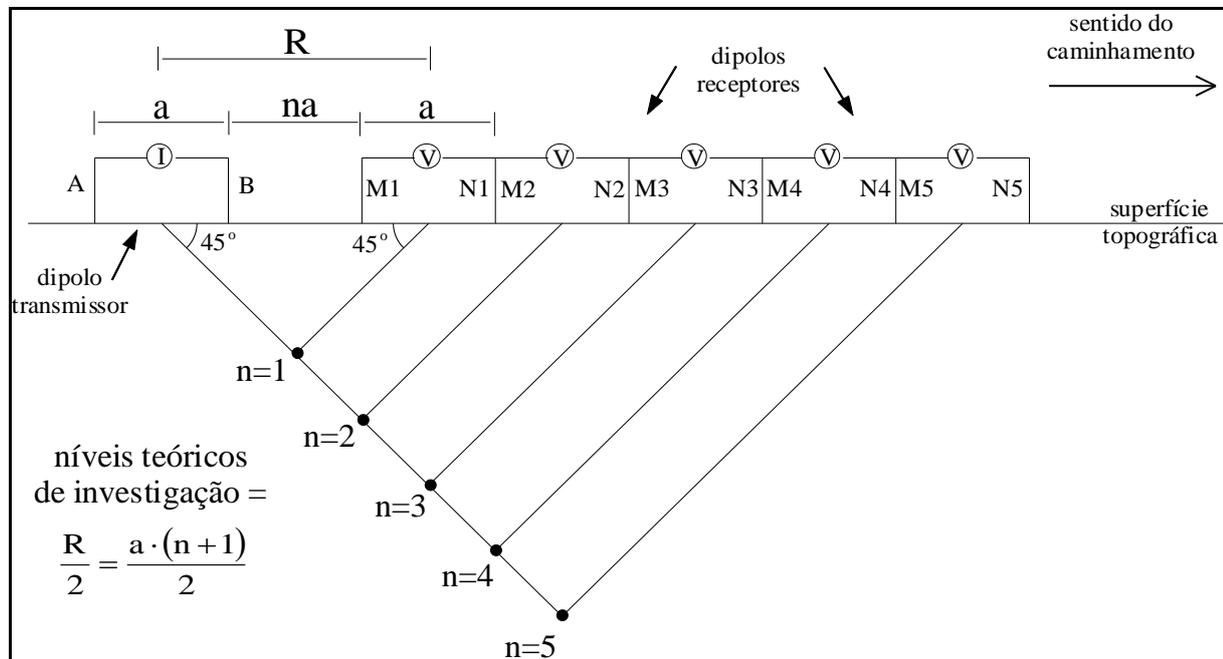


Figura 5.2 - Diagramação do arranjo dipolo-dipolo e posição dos pontos amostrados.

Os perfis (seções elétricas) obtidos pelo levantamento por caminhamento elétrico também são chamados de pseudo-seções. Isto se dá porque os dados obtidos, de diferentes níveis de investigação, não correspondem aos valores reais do parâmetro resistividade elétrica, mas se refere a valores aparentes. Analogamente, as profundidades na seção vertical são também apenas qualitativas. A **Figura 5.3** apresenta uma pseudo-seção e seus pontos amostrados em diferentes posições da subsuperfície.

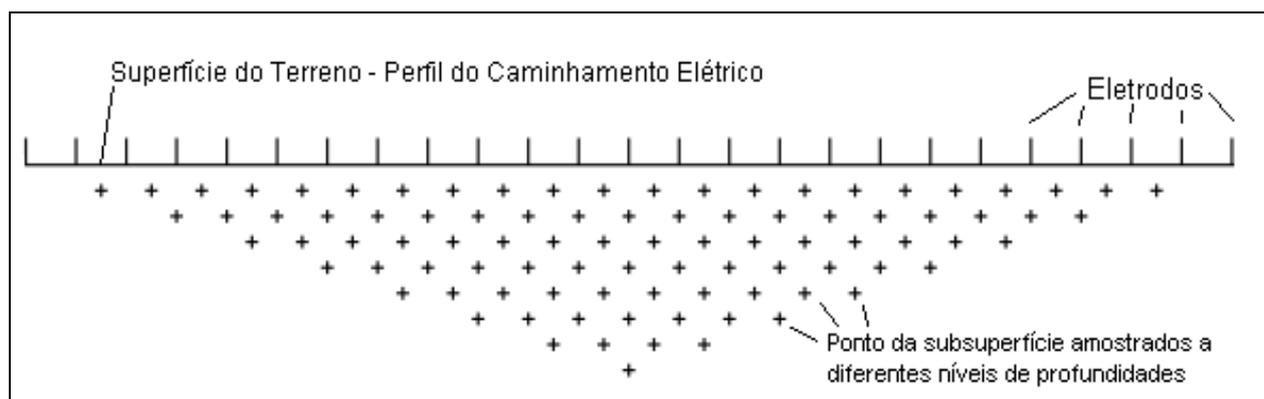


Figura 5.3 - Exemplo de uma pseudo-seção obtida com a execução de Caminhamento Elétrico onde (+) indicam as posições aparentes dos pontos de leituras. Cada ponto representa um valor da resistividade elétrica aparente.

Comumente a visualização de uma pseudo-seção se dá por uma associação dos valores das resistividades elétricas aparentes a uma escala cromática. Este procedimento facilita sobremaneira a observação das variações, ao longo do perfil, deste parâmetro físico. A Figura 5.4 apresenta uma pseudo-seção associada à escala cromática.

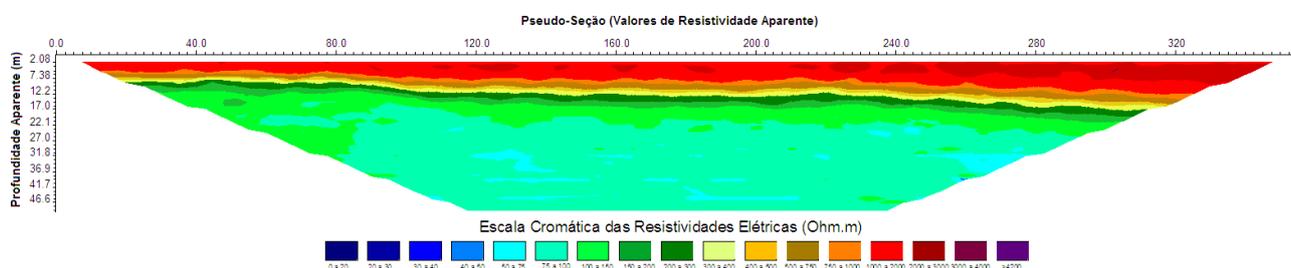


Figura 5.4 - Exemplo de apresentação de uma pseudo-seção com os valores das resistividades elétricas aparentes associadas a uma escala de cores.

Na interpretação dos dados das pseudo-seções obtêm-se informações qualitativas sobre a posição espacial dos corpos e, mais raramente, pode-se estimar o seu mergulho. Como decorrência, as informações são tão mais precisas quanto melhor a definição de uma anomalia de resistividade.

Deve-se lembrar, também, que todos os tipos de dados observados na natureza referem-se a algum fenômeno para o qual existe uma descrição formal (modelo). O modelo estabelece uma relação entre as grandezas observáveis e não observáveis. Na verdade, o modelo é representado em forma de uma função matemática que relaciona os parâmetros

físicos (p.e. resistividade, velocidade, densidade, etc.) com os dados obtidos. Desta forma, uma pseudo-seção de resistividades aparentes (dados observados), é modelada por um processo denominado de inversão, o qual procura corrigir as distorções inerentes ao método e tende a aproximar a imagem 2D à situação real, de forma a facilitar sua interpretação. O processo de inversão, por envolver um grande número de cálculos matemáticos, também se utiliza de softwares especiais que permitem variar o número de iterações até que se chegue a um resultado aceitável e relativamente coerente com o prévio conhecimento geológico.

Com o advento de equipamentos digitais e dispositivos multieletrodos, tornou-se viável a integração entre os levantamentos na vertical e também na horizontal. Além disto, permitem a aquisição de muito mais pontos amostrados em subsuperfície. Tais procedimentos elevam o levantamento convencional de um determinado perfil (caminhamento elétrico) para o *Imageamento Geoelétrico*, que nada mais é que um avanço de uma técnica de investigação consagrada, *caminhamento elétrico*, mas com elevada quantidade de medidas das resistividades elétricas representativas dos materiais da subsuperfície. Este aumento de leituras tornou-se operacionalmente possível graças à evolução e precisão dos equipamentos geofísicos com tecnologias que fazem a comutação automática dos eletrodos. Em adição, os dados digitalizados são armazenados em arquivo com formato compatível aos principais softwares de inversão.

A título de ilustrar o que foi citado acima, os dados de campo apresentados na Figura 6 (Pseudo-seção), após serem processados pelo software de inversão, geraram um perfil apresentado na **Figura 5.5**. Este perfil modelado recebe o nome de Seção de Imageamento Geoelétrico (SIG), onde os valores de resistividade elétrica, bem como suas posições espaciais foram corrigidos para o real.

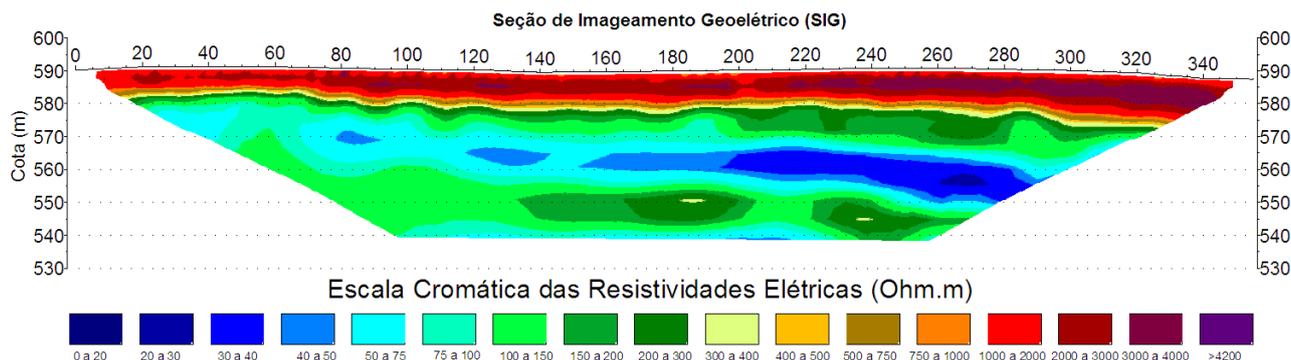


Figura 5.5 - Modelo final dos estratos geolétricos, chamado de Seção de Imageamento Geolétrico (SIG). Esta SIG foi gerada a partir da entrada dos dados apresentados na Figura 5 (Pseudo-Seção de Resistividade Elétrica) num software de inversão.

5.2.3 Sísmica de refração

O método de refração sísmica é baseado no princípio de se gerar uma frente de ondas sísmicas por uma fonte de energia (marreta, explosivo, queda de peso) e registrar este sinal através de diversos sensores (geofones) os quais são cravados no terreno ao longo de uma linha. As ondas compressoriais (ondas P) viajam nas rochas analogamente à propagação de ondas sonoras no ar. Frentes de ondas esféricas emanam da fonte, podendo-se imaginar as ondas sísmicas como raios sísmicos, os quais são normais à superfície esférica da onda (Figura 5.6 - Ilustração da geração e da propagação de ondas sísmicas.).

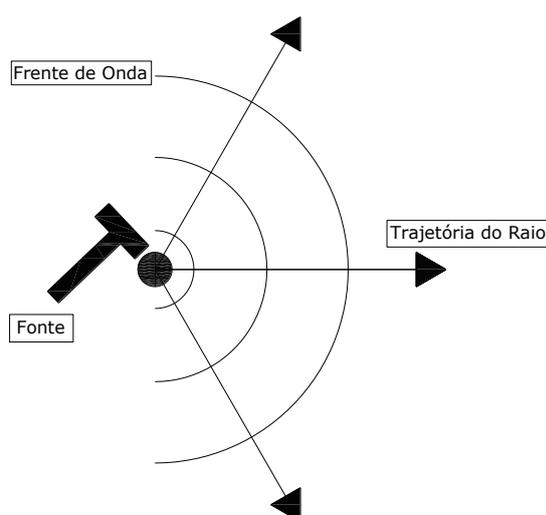


Figura 5.6 - Ilustração da geração e da propagação de ondas sísmicas.

A velocidade com que a onda P se propaga no meio depende das propriedades físicas (p.e rigidez, grau de saturação, densidade) e do grau de homogeneidade e de fraturamento das rochas. Desta forma, o método de refração sísmica mede o tempo que uma onda compressional (onda P) ou cisalhante (onda S), gerada por uma fonte sísmica (marreta, explosivo, queda de peso, etc), leva para viajar através das camadas da Terra e retornar aos sensores (geofones) instalados ao longo de uma linha na superfície do terreno (Figura 8).

Medindo-se o tempo de percurso da frente de onda e aplicando leis da física que governam a propagação de ondas, os diferentes horizontes geológicos podem ser inferidos em termos de velocidade e profundidade da interface. Os dados de campo, portanto, consistem em medir distâncias entre a fonte sísmica e os sensores, e o tempo de percurso das ondas sísmicas (desde a geração do pulso até sua chegada aos sensores). Da informação tempo-distância, podem ser calculadas e modeladas as velocidades e profundidades das camadas individuais.

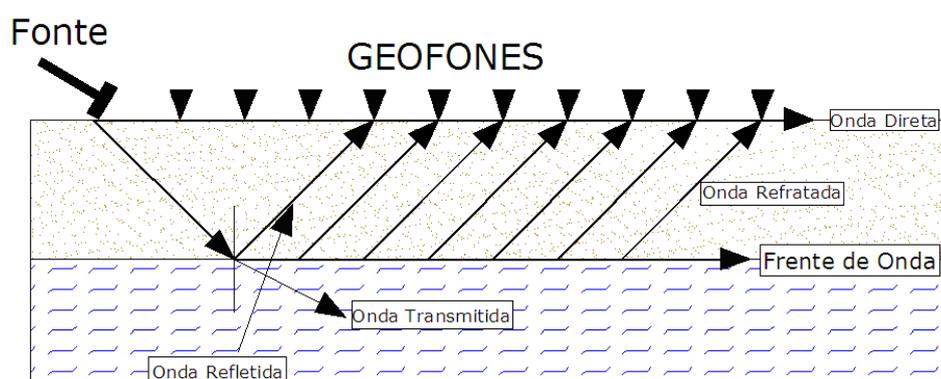


Figura 5.7 - Esquema ilustrativo do princípio da refração sísmica.

Os fundamentos da teoria da refração sísmica baseiam-se na Lei de Snell, a qual governa a refração das ondas tanto sonoras como luminosas quando atravessam interfaces entre camadas possuindo diferentes velocidades. Quando uma onda se propaga através de uma camada e encontra outra camada com maior velocidade, parte da energia é refratada e parte é refletida de volta à superfície. Quando o ângulo de incidência iguala ao ângulo crítico, a energia compressional é transmitida ao longo da interface superior da segunda camada com uma velocidade igual à da segunda camada (**Figura 5.8**).

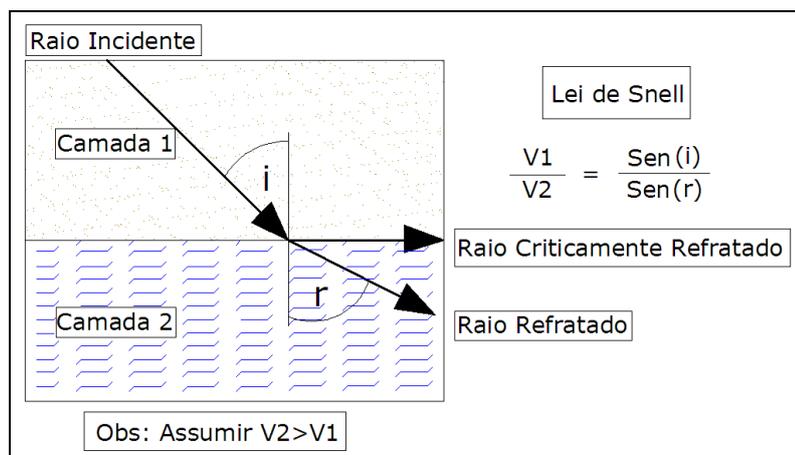


Figura 5.8 - Esquema ilustrativo da teoria de refração descrita pela Lei de Snell.

Como esta energia se propaga ao longo da superfície da 2ª camada, ela gera novas ondas no meio superior, pois de acordo com o princípio de Huygens, o qual diz que quando um raio encontra alguma heterogeneidade em sua trajetória, por exemplo, algum contato litológico, o raio incidente transforma-se em diversas novas fontes de raios sísmicos. Esta “nova” onda se propaga de volta à superfície através da camada 1, em um ângulo igual ao ângulo crítico e com velocidade igual à da camada 1. Quando esta onda refratada atinge a superfície, a energia captada pelo geofone é registrada em um sismograma.

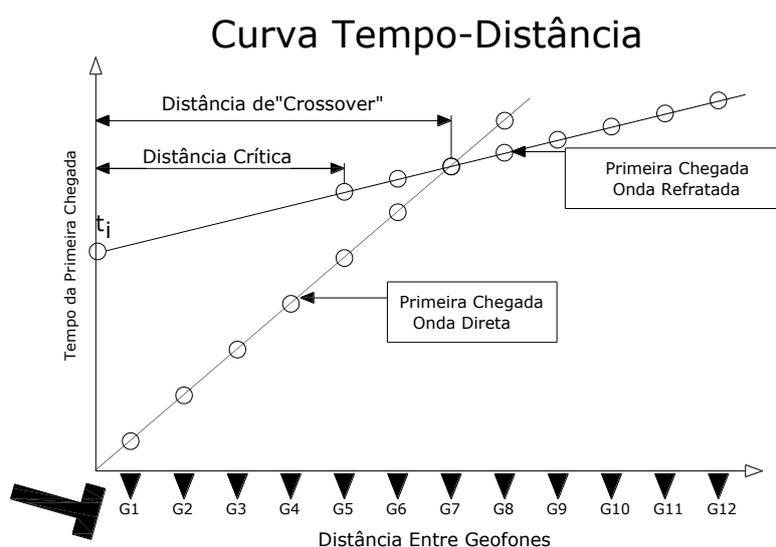


Figura 5.9 - Curva tempo-distância (dromocrônica) para um modelo de duas camadas $V1$ e $V2$.

Se uma série de geofones é espalhada ao longo de uma linha na superfície, o tempo de chegada da onda pode ser registrado *versus* a distância da fonte ao geofone, resultando em uma curva tempo-distância (dromocrônica), conforme o gráfico do tempo em função da distância mostrado na Figura 5.9. Nesta figura pode ser visto que em qualquer distância menor do que a distância de “crossover” (x_c), a trajetória da onda é direta da fonte ao receptor. Esta onda compressional percorre uma distância conhecida em um determinado tempo. Desta forma, a velocidade da camada 1 pode ser diretamente calculada por $V_1 = x/t$, onde V_1 é a velocidade da camada 1 e x é a distância que a onda percorre na camada 1 no tempo t .

Para geofones posicionados além da distância de “crossover”, a onda P refratada chega aos geofones antes da onda P direta, que se propaga pela camada 1. Para todos os geofones posicionados além da distância de “crossover”, a primeira chegada de ondas será devida às ondas refratadas da 2ª Camada (de maior velocidade). Quando estes pontos são colocados na curva tempo-distância, eles não interceptam o eixo de tempo no zero, mas em algum tempo chamado de “intercept time (t_i)” (Figura 5.9). O “intercept time” e a distância de “crossover” são diretamente dependentes da velocidade de propagação das duas camadas e da espessura da primeira camada e , portanto, podem ser usados para determinar a espessura da primeira camada (z). Esta simplificação para o caso de duas camadas pode ser extrapolada para o caso de várias camadas, conforme é mostrado na Figura 5.10.

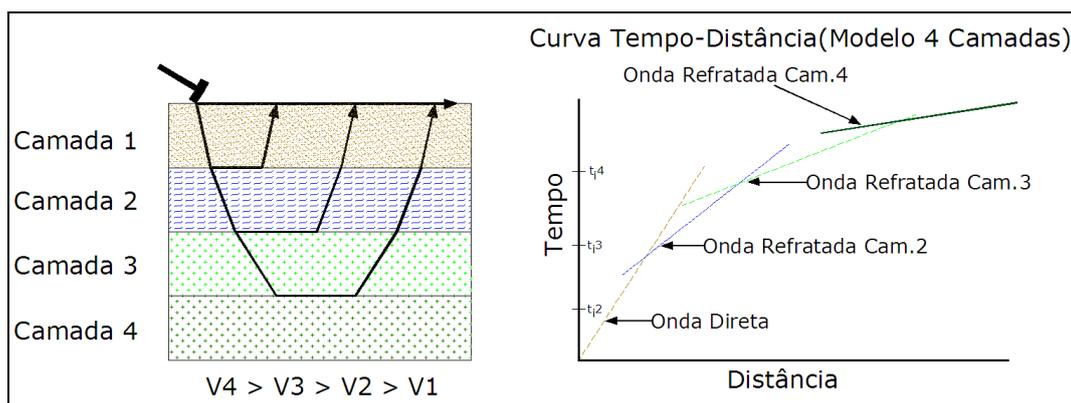


Figura 5.10 - Exemplo de um modelo com quatro camadas e a respectiva curva tempo-distância (dromocrônica).

5.3 Materiais e métodos

5.3.1 Imageamento geoeétrico

Os trabalhos foram realizados utilizando-se o equipamento de última geração Syscal Switch Pro multieletrodo de 48 canais, fabricado pela IRIS Instruments (**Figura 5.11**).



Figura 5.11 - Syscal Switch Pro - Eletroresistivímetro digital multi-eletrodo utilizado durante a aquisição.

O emprego do eletroresistivímetro multieletrodos permitiu programar o software de aquisição de modo a varrer o perfil investigado através de vários Dp-Dp de modo a coletar dados de campo em alta densidade (pontos de leituras), além da otimização da máxima profundidade de investigação. Desta forma, o espaçamento adotado entre eletrodos de 5m permitiu varrer desde as porções mais rasas da subsuperfície, até cerca de 40m, a máxima profundidade investigada. O diagrama de aquisição de dados encontra-se na **Figura 5.12**.

Todas as medidas de resistividade elétricas adquiridas ao longo de um perfil através dos vários Dp-Dp adotados foram totalmente integradas em um único arquivo de dados. Este procedimento tornou o levantamento de cada linha muito mais confiável e com alta densidade de dados (alta resolução), além de permitir a total integração dos arranjos para a construção de um único perfil geoeétrico.

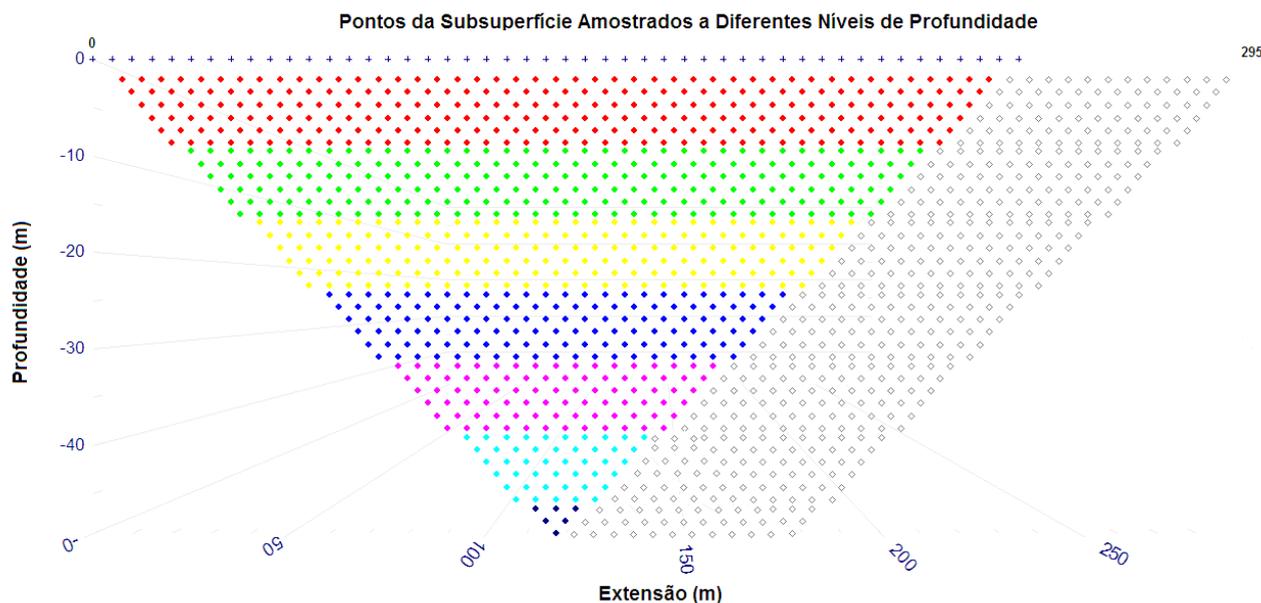


Figura 5.12 - Diagrama de aquisição de dados. Programação das leituras em alta densidade que foi coletada em campo (295m de extensão) - Sistema multieletrodos em caminhamento roll-along.

As medidas de campo recebem o nome de resistividade elétrica aparente e necessitam passar por processos chamados de inversão de dados de resistividade aparente. Tais processos buscam estabelecer um modelo com a real situação da subsuperfície em termos tanto dos valores de resistividade elétrica dos estratos, quanto a sua posição espacial. O produto final desse processo é a Seção de Imageamento Geoelétrico (SIG). Para a modelagem das Pseudo-Seções de resistividade, de forma a gerar tais Seções, foi usado o software RES2DINV (Loke, 1997), comumente empregado para inversão de dados de resistividade elétrica.

5.3.2 Sísmica de Refração

O equipamento consistiu num sismógrafo digital com 12 canais, composto por amplificadores, filtros analógicos e conversor analógico/digital de 24 bits, modelo GEODE da Geometrics Inc. (USA-2010), e um microcomputador tipo notebook (**Figura 5.13**). O controle do sistema é obtido por meio de software que controla a taxa de amostragem, tempo total de registro e demais parâmetros de aquisição, assim como apresenta os dados

na tela, em forma de sismogramas. Os dados são gravados em arquivos no próprio disco rígido do microcomputador. O sistema possibilita aplicar-se ganho (amplificação) diferenciado para cada geofone, permitindo melhorar a relação sinal/ruído do registro. Neste trabalho utilizou-se amplificação vertical diferenciada, aumentando para os geofones mais distantes do ponto de geração de ondas. Adotou-se, para cada canal, uma frequência de amostragem de 8.000 Hz, com comprimento de registro de 2.048 amostras. O filtro corta altas (também anti-alias) foi de 125 Hz.



Figura 5.13 - Sismógrafo GEODE e notebook utilizado nos trabalhos. A tela do computador apresenta o software que controla e gerencia as coleta dos dados sísmicos permitindo o controle de qualidade.

Utilizaram-se geofones eletromagnéticos como sensores, com frequência de ressonância de 10 Hz (Geospace Corporation, modelo Digiphone) e conectores polarizados. O cabo sismográfico dispõe de 12 conectores e utilizaram-se espaçamentos de 5m entre geofones. Como fonte sísmica foi empregado o impacto de marreta em placa de aço acoplada ao solo. Em todas as bases sísmicas foram efetuados 5 pontos de geração de ondas sísmicas (tiros), a saber:

- ✓ Um Tiro direto e reverso, com distância máxima de 30m dos geofones das extremidades;
- ✓ Um Tiro direto e um reverso, a 5m dos geofones das extremidades;
- ✓ Um tiro central, no ponto médio entre os geofones 6 e 7.

O software usado para a inversão das curvas tempo x distância e confecção das seções sísmicas foi o SEISIMAGER/2D Refraction da empresa Geometrics Inc.

5.4 Levantamentos realizados

A programação dos trabalhos geofísicos bem como os posicionamentos dos alinhamentos de investigação foi definida pela CONTRATANTE, totalizando **quatro alinhamentos**. Barragem Lontras (Eixo do Barramento, Eixo do Vertedouro, Jusante e Montante). Nesses alinhamentos foram executados os levantamentos utilizando as técnicas eletrorresistiva (**Seções de Imageamento Geoelétrico**) e sísmica (**Sísmica de Refração**).

A medição total, contabilizando o **levantamento** das duas técnicas, pode ser encontrada na **Tabela 5-1** abaixo.

Tabela 5-1 – Seções Geoelétricas e Sísmicas efetivamente executadas e suas respectivas extensões (m).

Barragem	Eixo	Seção Geoelétrica Extensão (m)	Seção Sísmica Extensão (m)
Lontras	Barramento	715	605
Lontras	Vertedouro	475	385
Lontras	Jusante	235	220
Lontras	Montante	235	220
Total		1.690	1.430

O montante total foi de **1.690 metros lineares de seções geoelétricas** e **1.430 metros lineares de seções sísmicas**.

5.5 Documentação fotográfica

Alguns procedimentos de campo e as principais feições do local investigado foram fotografados e são apresentados a seguir.



Figura 5.14 - Feição geral da área de estudos, com vegetação característica e afloramentos.



Figura 5.15 - Feição geral da área de estudos, com vegetação característica e a cidade de Croatá - CE ao fundo na imagem.



Figura 5.16 - Equipamento de aquisição de dados geolétricos SYSCAL PRO de 48 canais conectado aos cabos multieletrodos e à bateria.



Figura 5.17 - Instalação do eletrodo de “Papel alumínio” visando melhorar o acoplamento galvânico com o solo.



Figura 5.18 - Detalhe do eletrodo de “Papel alumínio” conectado ao cabo multieleleto.



Figura 5.19 - Detalhes de blocos de rochas aflorante.



Figura 5.20 - Membro da equipe estendendo o cabo sismográfico e acoplando os geofones.



Figura 5.21 - Detalhe do cabo sismográfico e de um dos geofones instalados ao longo do alinhamento.



Figura 5.22 - Equipamento sísmico (Geode – Geometrics Inc.) e técnico da Alta Resolução acompanhando a aquisição de dados.

5.6 Resultados do levantamento

Todas as seções foram demarcadas em campo com uso de estacas topográficas, a cada 20 m. Estas posições foram utilizadas para a construção das plantas de localização das seções, bem como na geração dos modelos sísmicos e geolétricos. Todas as informações topográficas foram fornecidas pela CONTRATANTE.

Os resultados obtidos pelos processos interpretativos geraram como produtos finais as *Seções Sísmicas* e *Seções de Imageamento Geolétrico*. Estes documentos são desenhos autoexplicativos e contém:

- **Seções Sísmicas:** Superfície topográfica, as delimitações dos estratos sísmicos interpretados, as velocidades sísmicas obtidas, as tabelas com as espessuras e as legendas explicativas;

- **Seções Geoelétricas:** Superfície topográfica, os intervalos de resistividades elétricas associados a uma escala cromática, as principais feições geoelétricas delimitadas, interpretadas e apresentadas nas legendas dos desenhos.

Para sintetizar as informações apresentadas nas seções individuais de cada técnica geofísica, também foram compiladas as *Seções Geofísicas* que apresentam, numa única prancha de desenhos, as informações fornecidas pela Sísmica de Refração, Imageamento Geoelétrico bem como as Sondagens Mistas. Estes documentos são apresentados como anexos do relatório e estão organizados da seguinte forma:

Desenho 1L - PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES GEOFÍSICAS – Barragem Lontras

Desenho 2L – SEÇÕES DE IMAGEAMENTO GEOELÉTRICO (SIG) – Barragem Lontras (Eixo Barramento e Eixo Vertedouro);

Desenho 3L – SEÇÕES DE IMAGEAMENTO GEOELÉTRICO (SIG) – Barragem Lontras (Eixo Jusante e Eixo Montante);

Desenho 4L – SEÇÕES SÍSMICAS – Barragem Lontras (Eixo do Barramento e Eixo do Vertedouro);

Desenho 5L – SEÇÕES SÍSMICAS – Barragem Lontras (Eixo Jusante e Eixo Montante);

Desenho 6L – INTEGRAÇÃO DAS INFORMAÇÕES - Barragem Lontras (Eixo Barramento e Eixo Vertedouro);

Desenho 7L – INTEGRAÇÃO DAS INFORMAÇÕES - Barragem Lontras (Eixo Jusante e Eixo Montante);

5.6.1 Imageamento geoelétrico

Como citado anteriormente as Seções de Imageamento Geoelétrico (SIG) são resultantes de um processo de inversão 2-D e buscam estabelecer um modelo da provável distribuição real dos valores e posições das resistividades elétricas em subsuperfície.

Foi empregado o método eletrorresistivo de modo a gerar uma imagem da subsuperfície em termos das propriedades elétricas dos materiais. O parâmetro medido é a resistividade elétrica do meio, sendo a unidade de medida da propriedade resistividade elétrica expressa

por Ohm.m. É recorrente em levantamentos geofísicos por Imageamento Geométrico encontrar valores da ordem de unidades de Ohm.m até dezenas de milhares de Ohm.m, de acordo com as variações litológicas existentes em subsuperfície.

Uma vez que os locais investigados apresentam dentro de um mesmo contexto geológico, a fim de uma melhor compreensão dos resultados, e para efeito de comparação, a escala cromática apresentada nos desenhos (Seções Geométricas) foi padronizada, variando de *unidades* de Ohm.m a >20.000 Ohm.m (Figura 15). Estes limites foram determinados respeitando-se os valores mínimos e máximos dos dados de resistividade elétrica. *Portanto, os termos, baixas, intermediárias e altas resistividades, citados neste relatório se enquadram ao intervalo de valores desse trabalho especificamente.*

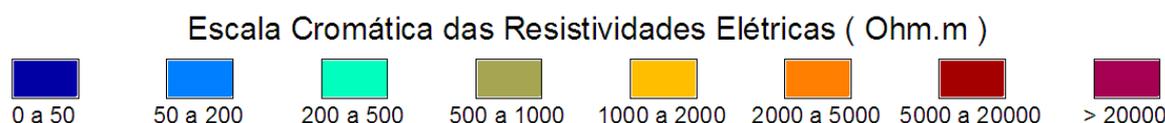


Figura 5.23 - Escala cromática das resistividades elétricas utilizadas nas Seções de Imageamento(valores em Ohm.m).

As principais feições geométricas observadas nos perfis individuais foram assinaladas e sintetizadas nas legendas apresentadas nos desenhos do *Imageamento Geométrico*. Para facilitar o entendimento da legenda, as principais feições geométricas destacadas nas seções são apresentadas na **Figura 5.24**.

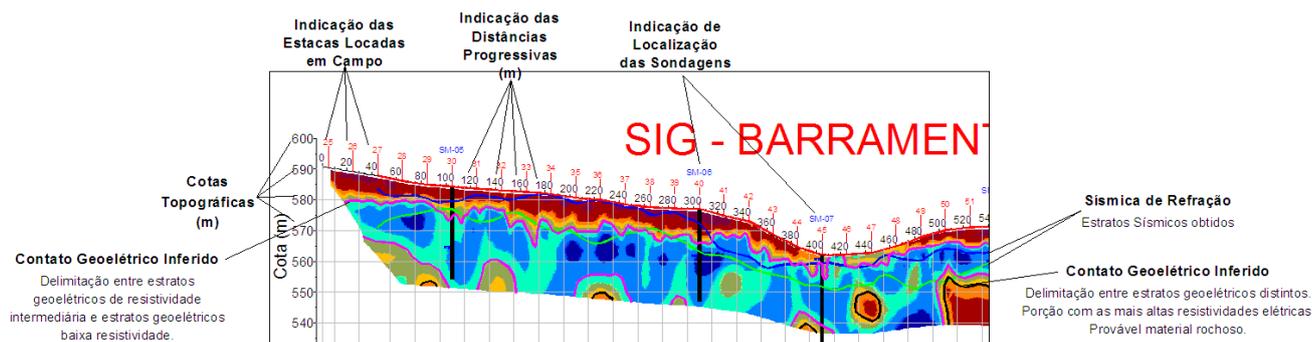


Figura 5.24 - Legenda apresentada nas seções de Imageamento Geolétrico com indicações das principais feições anômalas mapeadas e delimitadas, indicação das sondagens, bem como a integração com a sísmica de refração.

O Imageamento Geolétrico possibilitou a investigação do interior dos maciços terrosos/rochosos e evidenciou significativos contrastes nas resistividades elétricas permitindo o mapeamento em profundidades da ordem de até 40 m. De uma forma geral, nas quatro Seções Geolétricas investigadas, apresentaram um comportamento geolétrico bastante com intenso contraste de resistividade elétrica.

A seguir serão tecidas algumas considerações sobre cada uma das SIG's.

SIG do Eixo do Barramento

Esta SIG possui 715 m de extensão. Ao longo do alinhamento foram realizadas cinco sondagens mecânicas, a saber: SM-09, SM-11, SM-12, SM-03, SM-13. Todas elas foram lançadas no perfil nas suas respectivas posições.

Nesta SIG foram registrados intensos contrastes de resistividade desde a superfície até a máxima profundidade de investigação, entorno de 35 m abaixo da superfície topográfica.

No início da SIG, entre as estacas E7 e E9, foi mapeada uma pequena lente superficial de altíssima resistividade, mas logo foi estabelecido um abrupto contato geolétrico, passando de alta para baixíssima resistividade elétrica.

Com exceção dessa pequena lente de alta resistividade, pode-se considerar que no intervalo compreendido entre as estacas E7 e E14 houve um predomínio absoluto do estrato de baixa resistividade, interessante que este estrato perdura desde a superfície até a máxima profundidade de investigação.

Na estaca E10 (Progressiva 100 m) foi realizada a sondagem SM-09. O boletim da SM-09 descreve um material bastante heterogêneo, composto por blocos de rocha fragmentados de rocha, ainda existe uma passagem de solo de alteração, enfim o material é descrito como sendo de baixa porcentagem de RQD, com grau de alteração entre A3 e A5 e grau de faturamento F5. Ressalta-se que neste local foi registrado os menores valores de resistividade de toda a SIG, com valores sempre abaixo de 50 Ohm.m. Saliente-se que, somente nas SIG's paralelas realizadas a jusante e montante, realizadas a 100 m de cada lado do Eixo do Barramento, também registraram valores dessa ordem de grandeza. Desta forma, pressupõe que haja uma continuidade lateral desse material de baixa resistividade, podendo ser um grande lineamento geológico de falhamento.

A partir da estaca E13 até o final da SIG um fino estrato de alta resistividade elétrica foi mapeado próximo da superfície. Porém, na porção central da SIG, mais precisamente entre as estacas E20 e E31 (Progressiva 260 e 480 m) esse estrato superficial se aprofunda, formando uma região bastante heterogênea do ponto de vista geoeletrico, onde o estrato de alta resistividade elétrica prevalece, mas também existem lentes de baixa resistividade inseridas.

Próximo da estaca E20 um abrupto contato geoeletrico subverticalizado foi registrado, passando de estratos de baixa para alta resistividade elétrica. Exatamente na interface desse contato geoeletrico foi realizada a SM-11, a qual parou 20,1 m abaixo da superfície. Observando as informações do boletim da sondagem, nota-se que a composição litológica do material é o mesmo nesses 20,1 m, porém os outros parâmetros, como grau de fraturamento, o R.Q.D da rocha e principalmente o grau de coerência, são muito variáveis,.

O grau de coerência, por exemplo, tem passagens de C3 (pouco coerente) para C1 (Coerente) sem uma transição para C2. De maneira que, muito provavelmente, a heterogeneidade no comportamento geomecânico da rocha arenítica tenha influenciado sobremaneira os valores de resistividade elétrica. Nesse caso, pela correlação com a informação da sondagem pressupõe-se que os locais com as maiores resistividades estejam refletindo os locais onde a rocha arenítica esteja mais preservada, mais densa, com menor grau de porosidade/permeabilidade, enquanto os locais de baixa resistividade sejam reflexos da maior alteração sofridas pelo material rochoso, e possivelmente também da maior concentração d'água nos seus poros intersticiais da rocha.

Outra sondagem posicionada na região central de alta resistividade foi a SM-12. Situada na estaca E26 (Progressiva 380 m), o boletim da SM-12 evidencia um material mais

homogêneo e os parâmetros físicos refletem a presença de um material mais preservado e coerente, quando comparado a SM-11. Contudo ainda existem, principalmente nos primeiros 10 m, trechos com baixa porcentagem do R.Q.D, um pequeno intervalo com grau de coerência C3 e grau de fraturamento F5. A presença de uma feição de baixa resistividade, totalmente inserida nessa região de alta resistividade, mapeada entre as estacas E25 e E26 (Progressivas 360 e 380 m) pode estar refletindo a região mais alterada do maciço rochoso nesse local.

Nota-se que nessa região central, embora haja predomínio do estrato de alta resistividade, ainda há significativas variações. Prova disso pode ser encontrada abaixo da estaca E27, onde existe um estrato geológico com resistividade elétrica entre 500 e 1.000 Ohm.m (tons de amarelo) separando duas porções de alta resistividade elétrica.

A partir da estaca E30, até o final da SIG, na estaca E42, o estrato de alta resistividade passa a ser encontrado somente em pequenas lentes próximo da superfície. Nesse trecho que se estende da Progressiva 460 até 715 m, ou seja, 255 m de extensão houve um predomínio do estrato geológico com valor entre 200 e 500 Ohm.m (cor esverdeada) com restritas regiões com valores entre 50 e 200 Ohm.m (tons de azul) e entre 500 e 1.000 Ohm.m (tons de amarelo). Nesse intervalo três sondagens mecânicas foram realizadas a saber: SM-03, SM-13, SM-14.

A SM-03 o material é descrito como arenito e classificado com grau de coerência C2 praticamente desde os 3,55 m da superfície até a profundidade máxima de perfuração que foi de 30,3m. Essa sondagem situa-se posicionada exatamente na estaca E32-5m, onde o intervalo de resistividade foi de 200 a 500 Ohm.m por toda sua extensão, o que de certo modo, nos permite pressupor que esse mesmo tipo litológico e comportamento geomecânico apresentado na SM-03 se estendam até o final da SIG. E isso, em parte é comprovado pelas SM-13 e SM-14 as quais se apresentam muito parecidas com a SM-03, talvez ligeiramente menos coerente, com algumas passagens classificadas como C4 (rocha com material incoerente) e também e menor porcentagem do R.Q.D.

Para finalizar, chama a atenção o corpo de alta resistividade elétrica mapeado entre as estacas E15 e E18 (Progressiva 160 e 220 m) da SIG. Este corpo encontra-se totalmente envolvido por um estrato de baixa resistividade. A princípio esse corpo deve apresentar as mesmas características daquelas encontradas na região central e descritas pelas sondagens SM-11 e SM-12, de qualquer maneira, como a assinatura típica de uma cavidade vazia é uma anomalia de altíssima resistividade, envolta por um estrato de menor resistividade,

recomenda-se que seja realizada ao menos uma sondagem mecânica, preferencialmente onde situa a estaca E16, de forma a dirimir qualquer probabilidade da feição geolétrica de alta ser devido a uma grande cavidade.

SIG do Eixo do Vertedouro (Desenhos 2L e 6L)

Esta SIG possui 475 m de extensão e sentido de realização de NE- SW, ou seja, de montante para jusante (vide Desenho 1L). Existem quatro sondagens mecânicas próximas, porém, fora do alinhamento do Eixo. As projeções delas foram lançadas no perfil.

As considerações sobre esta SIG podem ser divididas em duas partes, a primeira do início até a estaca E11-5m (Progressiva 245 m), e a segunda da estaca E11-5m até o final (Progressiva 245 m até 475 m).

Na metade inicial da SIG foram mapeados dois estratos geolétricos bem definidos. O primeiro corresponde a uma fina camada de altíssima resistividade elétrica superficial, com valores sempre acima de 5.000 Ohm.m e atingindo valores superiores a 20.000 Ohm.m. A espessura desse primeiro estrato geolétrico ficou entorno de 5 m. O segundo estrato foi mapeado logo abaixo e se estendeu até a máxima profundidade de investigação, o valor predominante ficou entre 200 e 500 Ohm.m (tons de verde) e entre 500 e 1.000 Ohm.m (tons de amarelo).

As quatro sondagens próximas, SM-08, SM-20, SM-22 e SM-17, situam nessa primeira metade da SIG. Em todas elas foi descrita como rocha arenítica e tiveram elevada recuperação conforme demonstrado pela alta porcentagem do R.Q.D, o grau de coerência em todas elas variou bastante com a profundidade, possuindo desde trechos classificados como C1 até C5 e o quanto ao grau de fraturamento, de modo geral, se mostrou pouco fraturado, todas elas classificadas como F1 e F2. Desta forma, pressupõe-se que a diferenciação ocorrida entre o estrato de alta resistividade, mapeado na porção superficial do terreno, para o estrato geolétrico de baixa resistividade, localizado logo abaixo, seja em decorrente da maior ou menor concentração d'água nos poros intersticiais da rocha arenítica. Tal pressuposto se torna ainda mais plausível quando observado que o estrato de alta resistividade superficial está praticamente todo inserido na camada de baixa velocidade sísmica V1, ou seja, alta resistividade não está correlacionada ao material mais resistente do ponto de vista geomecânico, enquanto o estrato geolétrico de baixa resistividade apresenta-se com intervalo de velocidade V2 e V3, considerado um material mais coerente, de maior resistência mecânica.

A metade final inicia-se na estaca E11-5m, quando um abrupto contato geolétrico subverticalizado foi mapeado, passando de um estrato de baixa resistividade para um estrato de altíssima resistividade em poucos metros. A partir dessa estaca houve um predomínio do estrato de alta resistividade, com valores acima de 5.000 Ohm.m e superando os 20.000 Ohm.m em determinados trechos. Chamou a atenção a redução na resistividade elétrica abaixo da estaca E16, praticamente subdividindo a região de alta resistividade em duas partes. A princípio, no trecho abaixo da estaca E16, é de se esperar que o material encontre-se mais alterado do que nas porções laterais, onde o material aprestou maior resistividade. Praticamente toda essa segunda metade da SIG a camada de baixa velocidade V1 deixou de existir, sendo o material desde muito próximo da superfície com velocidade V2 e um pouco mais abaixo com velocidade V3. Neste caso, reforça o pressuposto que o estrato de alta resistividade que se aprofunda até a máxima profundidade de investigação seja um reflexo da rocha arenítica estar mais preservada, mais densa, onde a porosidade/permeabilidade da rocha seja menor e o fator água não foi determinante para que houvesse uma redução na resistividade elétrica da rocha arenítica.

SIG JUSANTE (Desenhos 3L e 7L)

Esta Seção foi realizada paralela ao Eixo do Barramento, também foi realizada no sentido NW-SE. Possui extensão de 235 m e seu início está praticamente alinhando com o início da SIG do Barramento, de maneira que varreu o terreno paralelamente ao Eixo do Barramento nos seus primeiros 235 m.

Nota-se ao longo de toda a seção um predomínio absoluto de valores de baixíssima a baixa resistividade (tons de azul) sendo interrompidos somente nos primeiros 60 m por pequenas lentes superficiais, em trechos isolados da SIG, com valores de intermediária resistividade elétrica.

Interessante notar que valores considerados de baixíssima resistividade estão semi-aflorando entre as estacas E5 e E9, sendo uma excelente oportunidade de observação “in-loco” do tipo de material que deve estar ocasionando esses baixos valores de resistividade elétrica.

Outra observação cabível é que, mesmo distante de aproximadamente 100 m do Eixo do Barramento, os baixos valores também foram registrados na porção inicial da SIG do Barramento, conforme já foi discutido e também foram registradas na SIG realizada a montante do Barramento. Tal observação permite pressupor que uma vasta área do terreno

possua o mesmo tipo de material, e se isso for verdadeiro devem apresentar o mesmo comportamento revelado pela sondagem SM-09.

Por fim, somente nos níveis mais profundos da investigação registrou um ligeiro aumento nos valores da resistividade elétrica, possivelmente associado a alguma mudança litológica ou ao comportamento geomecânico do material rochoso.

SIG MONTANTE (Desenhos 3L e 7L)

Esta Seção Geolétrica foi realizada a montante do Barramento, possui 235 m de extensão e também foi realizada no sentido NW-SE. Ela teve seu início praticamente alinhado e seguiu paralelo com as SIG's do Eixo do Barramento e com a SIG Jusante.

Novamente houve um predomínio absoluto dos estratos de baixíssima a baixa resistividade, valores de 0 a 50 Ohm.m e 50 a 200 Ohm.m, respectivamente (tons de azul). Próximos da superfície foram registradas delgadas lentes de material com intermediária resistividade, valores entre 1.000 e 5.000 Ohm.m. Assim como na SIG Jusante, somente nos níveis mais profundos foi registrado um ligeiro aumento da resistividade elétrica.

5.6.2 Sísmica de Refração

O parâmetro medido por este método é a velocidade de propagação da onda P, a qual é uma função das constantes elásticas e da densidade do material, ou seja, este parâmetro está intimamente ligado à propriedade mecânica do meio, e é de se esperar que quanto maior a velocidade de um estrato, maior também seja a sua resistência mecânica (dureza, densidade, etc.).

Para o uso em projetos de geotecnia, um parâmetro importante da rocha é sua resistência à escavação. Se a rocha pode ser removida por escavação mecânica, ela é chamada de escarificável, e não é necessário seu desmonte com explosivos. Na literatura específica é possível encontrar tabelas empíricas relacionando velocidades sísmicas de ondas P à escarificabilidade das rochas para distintas escavadeiras mecanizadas, (usualmente tratores D8 e D9). A **Figura 5.25** mostra um exemplo típico de tais tabelas. O intervalo de velocidades considerado escarificável varia para diferentes litologias, baseado em médias empíricas de fatores importantes como seus graus de cimentação e a densidade de fraturas.

Os estratos sísmicos deste levantamento podem ser agrupados em três classes, procurando caracterizá-los de acordo com a velocidade e o grau de escarificabilidade, conforme a correlação existente entre velocidades sísmicas e escarificabilidade (**Quadro 5.1**) estabelecidas por Redaelli & Cerrelo, 1998.

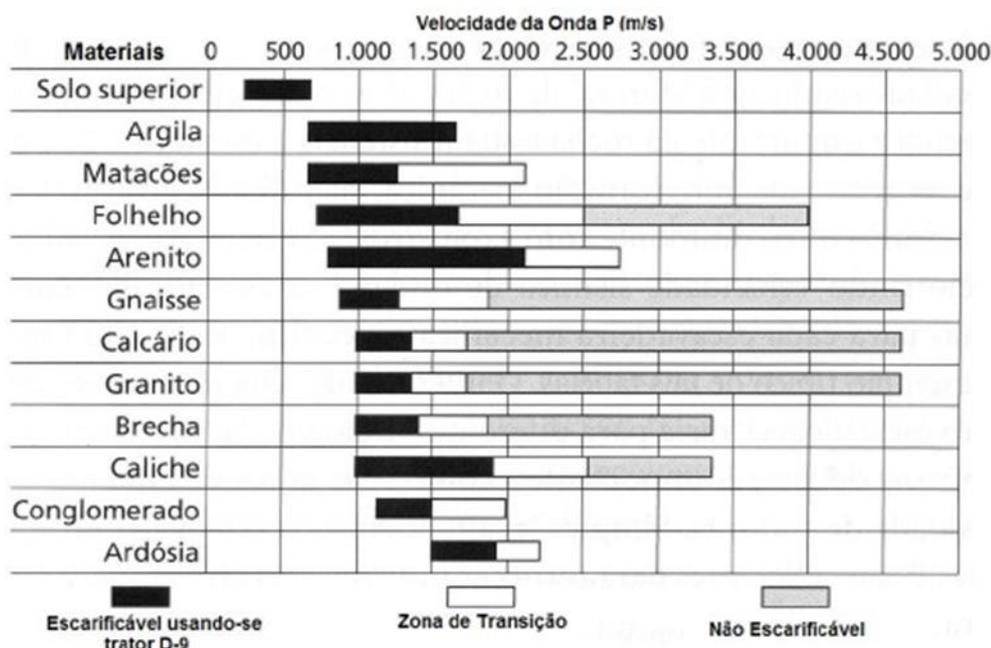


Figura 5.25 - Variação da escarificabilidade com a velocidade das ondas P para um intervalo de litologias.

Quadro 5.1 - Correlação entre velocidades sísmicas e escarificabilidade

Velocidade de Ondas sísmicas (m/s)	Característica do material	Categoria do material
300 a 800	Escavável (equipamento normal)	1 ^a
800 a 2200	Escarificável (trator D-9)	1 ^a
2200 a 2600	Transição	2 ^a
>2600	Escavação por explosivo	3 ^a

Redaelli & Cerello, 1998

O termo escarificabilidade deve ser entendido como “a capacidade da rocha ser desagregada pelos chamados escarificadores (rippers), equipamentos de acionamento hidráulico, compostos de um ou mais dentes montados na traseira de tratores e patrols. É

característica de rochas relativamente brandas, mas que não seriam escaváveis pelos métodos comuns e depende principalmente da região de transição, da presença e orientação de juntas, acamamento ou xistosidade da rocha, que impõem direções preferenciais de escavação, bem como determinam a possibilidade ou não de sua execução de forma econômica” (Redaelli & Cerello, 1998).

No **Quadro 5.2** é apresentada uma classificação da velocidade de propagação da onda sísmica em relação a alguns materiais frequentemente encontrados durante os levantamentos sísmicos.

Quadro 5.2 - Exemplos de valores de velocidades de propagação de ondas sísmicas longitudinais (ondas P)

VELOCIDADE (m/s)	PROVÁVEL TIPO DE MATERIAL
200 – 400	Solos, depósitos superficiais de sedimentos não-consolidados, colúvio
400 - 1.400	Argilas e areias, não-consolidadas a pouco consolidadas
1.400 – 1.800	Areias saturadas, argilas compactadas, rocha bastante alteradas
1.800 – 2.400	Sedimentos consolidados e provavelmente saturados, rochas metamórficas ou ígneas, altamente fraturadas e/ou alteradas, arenito e folhelhos
2.400 – 3.700	Folhelhos, arenitos, rochas ígneas e metamórficas alteradas e/ou fraturadas
3.700 – 4.500	Rochas ígneas e metamórficas fracamente alteradas e/ou fraturadas
4.500 – 6.000	Rochas ígneas e metamórficas sãs, não fraturadas

Deve-se lembrar que a análise da escarificabilidade do material deve levar em consideração não só as velocidades de propagação de ondas elásticas, mas também uma detalhada verificação de campo, de forma a criar uma classificação específica para o local de interesse.

A título de conhecimento, num dos trabalhos realizados por nossa equipe no nordeste, mais precisamente no sertão de Pernambuco e Piauí, gerou-se um impasse entre o contratante da obra e a empresa encarregada da escavação. Uma camada com velocidade sísmica da ordem de 1.800 m/s, considerada escarificável para a maioria das tabelas de velocidade sísmica versus escarificabilidade, durante o corte para o contratante deveria ser removida por escarificador, já o executante dono dos maquinários alegou que, mesmo conseguindo remover o material com escarificadores, os seus maquinários estavam sendo muito exigidos, desgastando-os acima do normal e com produção extremamente baixa, sugerindo que o material deveria ser removido por fogo, ou pelo menos um “fogacho” para desagregação do material antes de sua remoção. Este impasse reforça a idéia de que as

tabelas acima apresentadas são *genéricas* e uma classificação específica para cada local seria a melhor solução.

O Departamento de Transporte da Califórnia (Caltrans) usa seu próprio mapa correlacionando velocidade sísmica com escarificabilidade em vez de referências comumente referidos (por exemplo, Caterpillar, 2001).

O **Quadro 5.3** apresenta os valores adotados pela Caltrans para escarificabilidade. A experiência da Caltrans é que os valores adotados são mais conservadores do que aqueles apresentados pela tabela da Caterpillar, por exemplo, e provou ser mais fiável para a avaliação de uma vasta gama de materiais, limitando o número de pedidos de alteração de contratos e reivindicações de redução de custos durante a construção.

Os valores adotados pela Caltrans foram obtidos a partir de estudos publicados Caltrans (Stephens, 1978) e segue abaixo:

Quadro 5.3 - Valores Padrão adotado pela Caltrans (Departamento de Transporte da Califórnia. Leeds 2001.)

VELOCIDADE (m/s)	ESCARIFICABILIDADE
< 1050	Facilmente Escarificável
1050 a 1500	“Moderadamente” Escarificável
1500 a 2000	Difícil de Escarificar / Fogo Leve
>2000	Desmonte por Explosivo

5.6.3 Considerações sobre a Sísmica de Refração

A fim de facilitar o entendimento dos documentos apresentados e para padronização dos resultados foram compiladas sínteses das informações para os estratos sísmicos. Estas sínteses são apresentadas na **Figura 5.26**, onde correspondem às amplitudes de variação das velocidades sísmicas das seções da Barragem Lontras. As velocidades, para cada seção sísmica apresentada, obedeceram às reais variações observadas em cada trecho dos terrenos estudados, porém mantendo-se dentro das faixas apresentadas na síntese.



Figura 5.26 – Correlação entre velocidades de onda

Após a análise de todas as seções, verificou-se que um modelo composto por **três camadas sísmicas (V1, V2 e V3)** ajustou melhor os dados observados para o Eixo do Barramento, do Eixo do Vertedouro e da Seção Paralela a Montante do Barramento e um modelo composto por **duas camadas sísmicas (V1, V2)** para a Seção Paralela a Jusante do Barramento. Faz-se a ressalta que a Seção a Montante embora modelada com três camadas, o intervalo de velocidade V2 e V3 são menores do que aqueles registrados nas Seções do Eixo do Barramento e Eixo do Vertedouro. Por esse motivo a hachura adotada para a camada com velocidade V3 na Seção a Montante foi o mesmo adotado para a camada V2.

Em síntese, as camadas sísmicas possuem os seguintes intervalos de velocidade: **Camada superficial V1** (intervalo de velocidade entre 0,5 e 1,2 km/s), típico de solos superficiais pouco compactados a compactados. Primeira Categoria – Escavável;

Camada intermediária V2 (intervalo de velocidade entre 1,4 a 2,2 km/s). Primeira Categoria – Escarificável;

Camada de Alta Velocidade V3 (velocidade entre 2,8 a 5,0 km/s). Terceira categoria (desmonte somente por explosivos).

Na parte inferior das Seções Sísmicas estão as tabelas com as delimitações dos estratos sísmicos, onde constam a superfície topográfica, profundidade e cota da transição entre os

materiais com velocidade V1 e V2, e a profundidade e a cota da transição entre os materiais com velocidade V2 e V3.

Desta forma o levantamento por sísmica de refração atendeu um dos objetivos principais do levantamento geofísica que é estimar a profundidade da rocha incoerente/pouco coerente ou extremamente fraturada que seja possível remover com uso de trator D8 ou D9, dotado de ripper entre as estacas E42 e E65 do Eixo do Barramento.

Pelos resultados da sísmica, pode-se dizer que é de se esperar que até profundidade da transição da camada com intervalo de velocidade V1 para V2 seja composta por material rochoso incoerente/pouco coerente, sendo possível ser removível por escavação e escarificação, ou seja, material de primeira categoria.

A camada com intervalo de velocidade V2, cujo intervalo de valores vai até 2,2 km/s, muito provavelmente seja decorrente de um material pouco coerente ou extremamente fraturado e espera-se que seja possível removê-lo com escarificadores D8 ou D9 dotados de ripper. Porém, é de se esperar que à medida que se aprofunda nessa camada o material pode-se tornar mais resistente do ponto de vista mecânico, talvez necessitando de fogacho para desagregar o material antes de sua remoção.

Por fim, abaixo da transição da camada de velocidade V2 para V3 a rocha arenítica deve ser bastante coerente e pouco fraturada, sendo removível por uso de picão, ou desmonte por explosivo.

Os perfis sísmicos foram realizados através de bases sísmicas sucessivas com 55 m de extensão cada. As bases foram compostas por 12 geofones espaçados de 5 m. O pequeno espaçamento entre geofones permitiu um bom detalhamento da profundidade dos refratores sísmicos. Além disso, permitiu inferir o intervalo das velocidades sísmicas para cada base sísmica, possibilitando que se obtivesse uma correlação das camadas sísmicas com o grau de escarificabilidade dos materiais. A seguir são tecidas algumas considerações sobre cada umas das Seções Sísmicas executadas.

SS do Eixo do Barramento (Desenho 3L)

Ao longo do Eixo do Barramento a espessura camada de baixa velocidade V1 (velocidade entre 0,5 e 1 km/s) variou consideravelmente, sendo que em alguns trechos teve espessura desprezível ou mesmo deixou de existir. É de se esperar que até o topo da camada de velocidade V2 o material possa ser removido através de escavação.

A maior espessura foi registrada no começo a Seção, porém faz-se a ressalta que, por ser borda de seção torna-se o local mais suscetível a incertezas devido ao menor recobrindo dos raios sísmicos.

A camada de velocidade V2 (velocidade entre 1 e 2 km/s), de modo, geral foi bastante espessa. Observe que o intervalo de velocidade V2 variou consideravelmente de base sísmica para base sísmica. De qualquer, maneira é de se esperar que o material desta camada de velocidade intermediária V2 possa ser removido por escarificador D8 e D9, sendo esperado também que, o grau de dificuldade na remoção seja maior ou menor, de acordo com o intervalo de velocidade conferido para cada trecho.

Por fim, foi detectada uma camada de velocidade V3. Nota-se que a transição de V2 para V3 apresentou-se bastante irregular, onde topo estabelecido tem um comportamento oscilatório num curto intervalo de distância. O que motivou esse comportamento foi a intensa variação registrada no tempo de trânsito dos geofones mais distantes do ponto de tiro. De modo geral, o tempo de chegada com velocidade V3 não se formou uma reta e foi bastante oscilatório, indicativo que abaixo de cada geofone a superfície do topo estava ora mais para cima, ora mais profunda. Inclusive, ressalta-se que nessas condições o topo rochoso inferido é uma representação simplificada (média) das condições reais do terreno.

Na porção final da seção, a camada de velocidade V2 deixou de existir, passando diretamente de uma delgada camada V1 para V3 e logo após a sondagem SM-13, o material de alta velocidade V3 praticamente aflora, evidenciando a presença de um material de alta velocidade sísmica subaflorante. Como há duas sondagens nesse trecho, SM-13 e SM-14 será possível visualizar (entender) o tipo de material que se apresentou com alta velocidade, no caso, com intervalo de velocidade classificado como de terceira categoria.

As profundidades e cotas das transições de V1 para V2 e de V2 para V3 encontram-se na tabela abaixo do perfil sísmico.

SS do Eixo do Vertedouro (Desenho 4L)

O modelo sísmico do Eixo do Vertedouro é bastante similar ao apresentado para o Eixo do Barramento, tanto no que tange ao intervalo de velocidades quanto da espessura das camadas.

A camada de baixa velocidade V1, com velocidades entre 0,6 e 1,0 km/s, é bastante delgada, em alguns trechos deixando de existir e aflorando o material com velocidade V2,

como no trecho entre as estacas E5 e E7, próximo das sondagens SM-22 e SM-17. É de se esperar que os materiais da camada V1 possam ser removidos através de escavação.

Logo abaixo adentrou numa camada de velocidade V2, entre 1,4 e 1,8 km/s, com exceção do final, a partir da estaca E16 até E19, onde o intervalo V2 ficou entre 1,2 e 1,6 km/s. A princípio essa camada deve ser removida por escarificador, sendo possível existir algumas passagens (lentes) de materiais mais resistentes, a qual necessitará de um fogacho para que haja uma desagregação do material mais coerente.

Assim como ocorreu no Eixo do Barramento transição da camada V2 para V3 também apresentou bastante variável. A velocidade V3 também foi ajustada para cada base sísmica, por isso o intervalo estimado varia ao longo da Seção, de qualquer forma considera-se que abaixo da transição entre V2 e V3 seja necessário o emprego de explosivo para desmonte, sendo V3 classificado como material de terceira categoria.

Respondendo umas das questões do Contratante, a qual era estimar a profundidade da rocha sã mais coerente entre as estacas E10 e E14 para receber uma bacia de dissipação de concreto, ficou bastante nítido que houve uma elevação do material de velocidade V3 exatamente na estaca E14, sendo considerado o trecho entre as estacas E13 e E15 os mais indicados para receber essa estruturada, uma vez que exigirá menos escavação para atingir a rocha sã.

As profundidades e cotas das transições de V1 para V2 e de V2 para V3 encontram-se na tabela abaixo do perfil sísmico.

SS Paralela ao Barramento – Montante (Desenho 5L)

Os dados da SS a Montante do Barramento foi ajustada por um modelo de três camadas, porém os intervalos de velocidades são diferentes aqueles adotados para as SS do Barramento e do Vertedouro.

A camada V1 registrou velocidades entre 0,5 e 0,7 km/s, sua espessura varia desde centimétrica até cerca de 8 m, próximo da estaca E8. Esta camada é classificada como primeira categoria e deve ser possível remover por escavação.

Logo abaixo mapeou uma camada com velocidade V2, com velocidades entre 1,0 e 1,4 km/s. Essa camada deve ser reflexo de uma maior compactação do material, e pelo valores apresentados, deve ser escarificável com certa facilidade.

Alguns metros abaixo foi mapeado uma terceira camada, com velocidade V3 entre 1,5 e 2,2 km/s. Esse material deve estar mais coerente do que a camada acima, porém apresenta-se ainda com elevado grau de alteração, sendo a princípio escarificável, porém com certa dificuldade.

Uma das questões a ser elucidada era a identificação e delimitação de uma eventual intrusão de rocha ígnea (dique ou sill) entre as estacas E10 e E15 do Eixo do Barramento, a qual no alinhamento corresponde às estacas E3 e E9 da SS Montante. A resposta é que nenhuma evidência foi registrada da presença desse corpo, pois era de esperar que um corpo de rocha ígnea gerasse uma elevação na velocidade sísmica, fato não verificado.

Por outro lado, o que pode concluir observando as velocidades das camadas sísmicas é que o material da sub-superfície, muito provavelmente, encontra-se ainda mais alterado do que aquele existente ao longo do Eixo do Barramento, portanto mais facilmente removível.

SS Paralela ao Barramento – Jusante (Desenho 5L)

Os dados da SS a Jusante do Barramento foi ajustada por um modelo de duas camadas.

A camada de V1, com velocidade entre 0,5 e 1,0 km/s, apresentou dos flancos descendente, formando uma bacia espécie de bacia, onde a porção central, entre as estacas E5 e E7 com espessura acima de 20 m. Tal comportamento sugere que pode ser devido a um paleo canal. Essa camada deve ser possível remover através de escavação.

A camada de V2, com velocidade entre 1,8 e 2,4 km/s, muito provavelmente esteja correlacionado a presença de um material rochoso alterado, classificado como zona de transição.

Assim como na SS a Montante, não foi registrada nenhuma região de alta velocidade sísmica que evidenciasse a presença de uma rocha intrusiva ígnea.

Vale lembrar que a representação do meio em estratos sísmicos é uma representação simplificada da natureza, onde os contatos sísmicos inferidos são pontuais e interpolados, no caso a cada 05 m (predominantemente), de modo a gerar as Seções Sísmicas. Portanto, é de se esperar em tais circunstâncias uma tolerância nas profundidades estimadas, principalmente abaixo dos geofones situados nas extremidades das linhas onde ocorre uma menor densidade de informações sísmicas.

5.6.4 Integração das Informações (Desenho 6L e 7L)

De modo a facilitar o acompanhamento dos estratos geofísico mapeados pelas duas técnicas, todas as informações obtidas no presente estudo (Imageamento Geoelétrico e Sísmica de Refração) foram integradas, ou seja, os estratos sísmicos foram inseridos nos perfis geoelétricos, bem como a posição das sondagens. Conforme pode se ver as sondagens quando distantes do perfil geoelétrico foram projetadas para o perfil e sua distância assinaladas.

A primeira vista, fica nítido que os métodos estão medindo propriedades distintas, e não houve uma correlação direta entre as propriedades geoelétricas e as propriedades geomecânicas dos materiais amostrados. Existem trechos de baixa resistividade elétrica, desde a superfície até a máxima profundidade de investigação, como é o trecho compreendido entre as estacas E9 e E14, sendo cortados pelas três camadas sísmicas V1, V2 e V3, assim como existem estratos de alta resistividade elétrica, geralmente próximo à superfície, inseridos totalmente na camada de baixa velocidade sísmica V1.

6 ANÁLISE DAS CAMPANHAS DE SONDAGENS

6. ANÁLISE DAS CAMPANHAS DE SONDAGENS

6.1 Campanha de sondagens mecânicas

Foram utilizadas no campo as seguintes formas de investigação:

- sondagens a trado;
- sondagens a percussão;
- sondagens mistas (iniciadas a percussão e prosseguidas por rotativa);
- ensaios de infiltração em solo;
- ensaios de perda d'água sob pressão, em rocha.

A campanha de investigações de subsuperfície, no sítio de barramento, consistiu na execução de 27 sondagens rotativas e/ou mistas, numeradas de SMB-01 a SMB-25. Coube às empresas TECNORD e STS a realização dos trabalhos. Para tanto, o lote de sondagens foi subdividido em dois. À STS coube a execução de 13 sondagens (**Quadro 6.1**) e à TECNORD 14 sondagens (**Quadro 6.2**).

Quadro 6.1– Relação de sondagens executadas pela STS

SONDAGENS MISTAS	ENSAIOS DE	ENSAIOS DE
SMB-01 (Est. 54 - Eixo)	-	-
SMB-02 (Est. 57 - Eixo)	-	-
SMB-03 (Est. 31 + 15,00 - Eixo)	1	9
SMB-06 (31 + 15,00 à 100m Jusante)	1	9
SMB-09 (Est. 12 - Eixo)	-	-
SMB-10 (Est. -2 - Eixo)	-	8
SMB-11 (Est. 20 - Eixo)	-	-
SMB-12 (Est. 26 - Eixo)	-	6
SMB-13 Est. 35 - Eixo)	1	7
SMB-14 (Est. 40 - Eixo)	-	6
SMB-15 (Est. 43 - Eixo)	-	6
SMB-16 (Est. 49 - Eixo)	-	6
SMB-18 (Est. -2 a 50m Jusante)	-	-

Quadro 6.2– Relação de sondagens executadas pela TECNORD

Local	Sondagem	Estaca	Coord. UTM		Cota (m)	Prof. (m)	Início	Final
			NORTE	ESTE				
Eixo da Barragem	SM-01	2+10 (eixo)	9.521.167	283.205	637,74	30,00	17/01/12	25/01/12
	SM-02	9+10 (eixo)	9.521.082	283.317	618,14	23,00	07/02/12	09/02/12
	SM-03	12+00 (eixo)	9.521.046	283.365	581,85	30,00	16/01/12	25/01/12
	SM-04	20+00 (eixo)	9.520.984	283.495	504,38	30,00	12/12/11	11/01/12
	SM-05	30+00 (eixo)	9.520.978	283.694	584,26	30,00	01/12/11	09/12/11
	SM-06	40+00 (eixo)	9.520.971	283.894	577,04	30,00	18/11/11	28/11/11
	SM-07	44+10 (eixo)	9.520.968	283.985	563,26	30,00	08/11/11	15/11/11
	SM-08	52+00 (eixo)	9.520.934	284.123	571,31	30,00	10/03/12	22/03/12
	SM-09	60+00 (eixo)	9.520.827	284.241	569,13	30,00	05/03/12	22/03/12
	SM-10	68+00 (eixo)	9.520.720	284.360	564,95	30,20	27/03/12	12/04/12
	SM-11B	77+00 (eixo)	9.520.603	284.493	579,09	30,00	03/10/11	10/10/11
	SM-12	82+00 (eixo)	9.520.525	284.575	582,42	30,50	17/09/11	30/09/11
	SM-13	92+10 (eixo)	9.520.390	284.723	596,57	30,00	17/10/11	28/10/11
	SM-23	12+00 (60m jus)	9.499.499	282.827	504,97	12,30	12/12/12	15/12/12
	SM-24	16+00 (eixo)	9.499.512	282.926	499,94	18,12	24/11/12	29/11/12
Vertedouro	SM-14	11+00 (50m mont)	9.521.104	283.371	608,88	12,00	10/02/12	11/02/12
	SM-15	13+00 (90m mont)	9.521.113	283.427	608,65	12,00	13/02/12	14/02/12
	SM-16	14+00 (50m jus)	9.520.988	283.359	606,78	12,00	16/02/12	29/02/12
	SM-17	14+00 (140m jus)	9.520.916	283.304	596,63	12,00	09/02/12	11/02/12
	SM-18	16+10 (100m jus)	9.520.924	283.360	595,11	10,00	13/02/12	14/02/12
	SM-19	17 + 00 (eixo)	9.520.984	283.431	601,64	12,00	08/12/11	08/12/11
	SM-20	17+00 (170m jus)	9.520.856	283.334	591,10	10,00	07/02/12	08/02/12
	SM-21	18+00 (80m jus)	9.520.906	283.452	591,50	10,00	03/02/12	04/02/12
	SM-22	21+00 (60m mont)	9.521.104	283.517	595,98	10,00	15/02/12	15/02/12
		SM-25	00+00 (280m jus)	9.499.425	282.509	514,01	12,30	03/02/12

Observe-se que as sondagens SMB-01 e SMB-02 foram executadas pelas duas empresas, embora com profundidades diversas. De um modo geral, as sondagens foram de boa qualidade, por ambas as empresas. A forma de apresentação dos perfis individuais não é a mesma pelas duas empresas, mas contém, de qualquer maneira, as informações solicitadas.

As sondagens a percussão foram feitas segundo os procedimentos recomendados nas normas brasileiras da ABNT, seguindo as orientações da NBR 6484 – Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento do Solo.

Nos trechos de sondagem a percussão foram usados dois processos para avanço do furo. Inicialmente foi empregado o trado concha de 4". Ao encontrar-se o nível d'água, ou material impenetrável à ferramenta, o furo foi revestido e prosseguido por lavagem. Para extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2" e 1 3/8", de diâmetros externo e interno, respectivamente, o qual era cravado no terreno por meio de golpes de um martelo de 65 kg, com altura de queda de 75 cm. Durante a cravação do amostrador foram registrados os números de golpes necessários para fazer o amostrador penetrar cada 15 cm no terreno, até uma penetração total de 45 cm. A soma dos golpes das duas últimas parcelas de 15 cm, ou seja, dos 30 cm finais de cravação, é apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens. Este número de golpes é denominado de "Standard Penetration Test (SPT)".

Nos locais onde a camada resistente, ou rocha, ocorre muito próxima da superfície, a sondagem foi executada a trado até o impenetrável, tendo sido deslocada duas vezes de forma triangular, a uma distância de aproximadamente 3,0 m do primeiro furo, para confirmação da profundidade. Nestes casos, o furo recebeu a nomenclatura ST, com a mesma numeração, sendo que, nos furos subsequentes, a numeração foi acrescida das letras "A" e "B" (no quadro resumo foram apresentados os furos com maior profundidade). Nos locais onde a rocha aflorava não foi possível a execução da sondagem a percussão prevista na programação (esta situação está indicada no quadro resumo como "Aflor.>").

Nos trechos de sondagem rotativa utilizou-se uma perfuratriz hidráulica, marca MAQUESONDA, modelo MACH-850. Por decisão do contratante, via de regra, a perfuração foi iniciada utilizando-se um barrilete duplo móvel, diâmetro HWM e coroas impregnadas e ou microcravadas com caixa de mola HWM (diâmetro externo 98,8 mm). Em alguns furos de sondagem, nos trechos onde a qualidade da rocha era inferior, e ao ser encontrada rocha de melhor qualidade, o diâmetro da sondagem foi reduzido, utilizando-se um barrilete diâmetro NWM e coroas impregnadas com caixa de mola NWM (diâmetro externo 75,31mm).

6.1.1 Solos de cobertura

Numa região em que ocorrem exclusivamente rochas sedimentares brandas, de constituição areno-siltosa, os sedimentos aluvionares recentes apresentam a mesma composição granulométrica do substrato rochoso e são de difícil identificação e distinção, em relação aos solos residuais e coluvionares.

No caso dos solos de origem aluvionar recente, uma vez ultrapassado o delgado horizonte superficial enriquecido por matéria orgânica e restos vegetais, somente a presença de seixos arredondados (cascalho) ou de estruturas de sedimentação, irá permitir sua identificação.

Os solos coluvionares, possuindo a mesma origem das demais frações, somente podem ser identificados quando são portadores de coloração secundária, ou se contém concreções e nódulos de frações granulométricas maiores, ou se existe alguma linha de seixos basal, assinalando seu contato inferior com o material “in situ”.

Os solos residuais, maduros ou jovens, essencialmente areno-siltosos, são descontínuos e apresentam espessura variável, centimétrica a métrica, confundindo-se facilmente com os solos de outras origens (coluviais e aluviais). Em comum, existe o fato que podem ser escavados com facilidade.

Na área da barragem, o conjunto de solos de capeamento alcança espessuras não superiores a dois a três metros, com exceção da área em torno da sondagem SMB-09, onde o horizonte de solos alcançou a dezena de metros. Nesta mesma área, o levantamento geofísico por sísmica de refração, feito na seção a jusante do eixo mostrou que, em um trecho compreendido entre as estacas E5 e E8, aproximadamente, o horizonte superficial de solos alcança 20 metros, sugerindo a possível existência de uma antiga depressão soterrada (**Figura 6.1**).

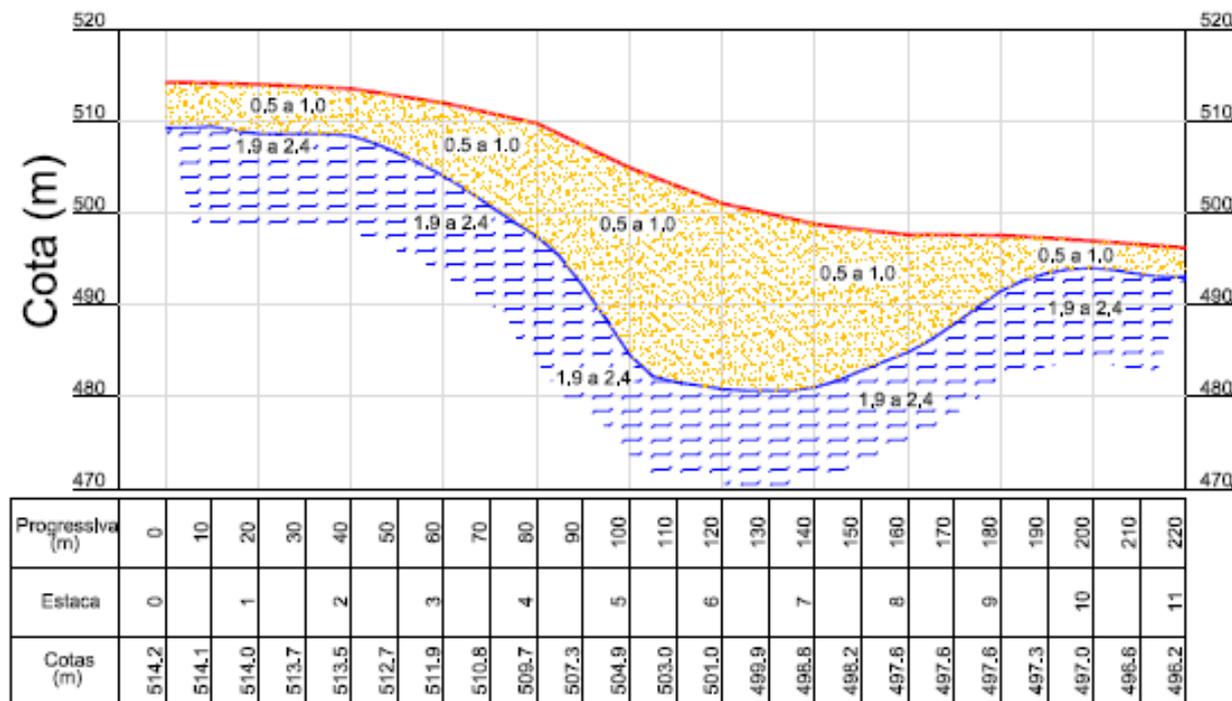


Figura 6.1 - Seção sísmica a jusante do eixo da barragem. Entre as estacas E5 e E8, a camada V1, com velocidades entre 0,5 e 1,0 km/s, alcança relevante espessura, de até 20 metros em alguns trechos.

Esta ocorrência merece ser investigada, visto que pode corresponder a alguma feição erosiva antiga, que tenha sido soterrada.

6.1.2 Características do maciço rochoso

6.1.2.1 Critérios de classificação

Para classificação de rochas sedimentares, prioriza-se o uso do termo “coerência”, que traduz o comportamento do material rochoso ao impacto do martelo (tenacidade), risco por lâmina de aço (dureza) e desbastamento das bordas com a pressão dos dedos (friabilidade). O **Quadro 6.3** descreve o procedimento para caracterização do grau de coerência de rochas.

Quadro 6.3- Classificação de rochas sedimentares quanto a sua coerência

DENOMINAÇÃO	CLASSE	CARACTERÍSTICAS
Coerente	C1	Quebra com dificuldade ao golpe do martelo, produzindo poucos fragmentos de bordas cortantes. Superfície dificilmente riscável por lâmina de aço

Medianamente coerente	C2	Quebra com relativa facilidade ao golpe do martelo, produzindo fragmentos com bordas quebradiças por pressão dos dedos. Superfície riscável por lâmina de aço, deixando sulcos leves.
Pouco coerente	C3	Quebra com muita facilidade ao golpe do martelo (esfarela), produzindo fragmentos que podem ser partidos manualmente. Superfície facilmente riscável por lâmina de aço, deixando sulcos profundos.
Friável	C4	Quebra facilmente com pressão dos dedos, desagregando-se. Pode ser cortada com lâmina de aço.

A título de exemplo, as fotos das **Figura 6.2** e Figura 6.3 retratam testemunhos de uma mesma sondagem em arenitos, em que se utilizou a ponta do martelo para um teste de dureza (resistência ao risco), evidenciando graus de coerência diversos, C2 e C3.



Figura 6.2 – Arenito medianamente coerente (C2). O risco da ponta do martelo

Figura 6.3 - Arenito pouco coerente (C3). O risco da ponta do martelo produz um sulco profundo.

Não existe uma correlação direta entre a coerência e a resistência de uma rocha, devendo essa ser estabelecida em cada caso. No **Quadro 6.4** é apresentada uma classificação das rochas sedimentares quanto a sua resistência. Na tabela é dada ênfase ao campo das rochas sedimentares de baixa resistência.

Quadro 6.4- Classificação das rochas quanto à resistência

DENOMINAÇÃO (ROCHA/RESISTÊNCIA)	CLASSE	QUANTIFICAÇÃO Σ_c (MPa)
Muito resistente/muito alta	R1	>100
Resistente/alta	R2	50 - 100
Medianamente resistente/média	R3	20 - 50
Branda/baixa	R4	5 - 20
Muito branda/muito baixa	R5	2 - 5
Extremamente branda/extremamente baixa	R6	0,5 a 2

Nota - Abaixo de R6, entra-se nitidamente no campo da mecânica dos solos.

Uma tentativa de correlação entre esses dois parâmetros, com ênfase para as rochas brandas, de baixa resistência, pode ser obtida a partir dos resultados dos ensaios de compressão simples, em amostras de testemunhos de sondagens. Uma vez estabelecidas as possíveis correlações citadas acima, o grau de coerência passa a ser um bom índice de identificação da classe da rocha, graças a sua fácil aplicabilidade.

6.1.2.2 Características de coerência

As sondagens investigaram a faixa superficial do maciço, até uma profundidade máxima da ordem de 30 metros, suficiente para definição das condições de contorno do projeto da barragem e das obras anexas.

A cobertura de solos é modesta, variando entre inexistente até a espessura máxima da ordem de 3,5 metros, observada na SMB-13, próximo à margem esquerda do rio.

Prepondera no sítio um arenito coerente, com estratificação incipiente e um sistema de fraturas predominantemente sub-horizontais, secundado por fraturas oblíquas a subverticais. A coerência do arenito aumenta, de um modo geral, com a profundidade, alcançando os níveis C1/C2 em longos trechos, em que o grau de faturamento diminui para F1/F2.

A homogeneidade do pacote sedimentar é interrompida, com frequência, por níveis muito fraturados, ou em fragmentos e por trechos em que o material rochoso perde consistência, tornando-se pouco coerente e friável (C3/C4), até incoerente (C5).

Com relação à queda de coerência, a presença desses níveis decorre, em geral, da conjugação dos efeitos do intemperismo superficial com fatores ligados à gênese dos sedimentos, em que o processo de diagênese, ou consolidação dos sedimentos, não foi suficientemente intenso para produzir a litificação dos mesmos.

Já, a presença de níveis de rocha muito fraturada e/ou em fragmentos (F4/F5) se deve, basicamente, a esforços mecânicos oriundos de fatores externos, quais:

- a) A formação de juntas de alívio, decorrentes do desconfinamento das camadas superficiais pela evolução das formas de relevo. É o caso, por exemplo, da sondagem SMB-04, que aparenta ter uma junta de alívio na profundidade de 10,79 a 11,00 m (**Figura 6.4**). Neste caso, o faturamento se diferencia pela intensidade e pelo aspecto discoide dos fragmentos. As juntas de alívio são uma contingência em todos os maciços rochosos, mesmo nos sedimentares e ocorrem paralelamente à superfície do terreno, acompanhando as formas de relevo. Sua intensidade diminui com a profundidade, até não serem mais perceptíveis.



Figura 6.4- Trecho da sondagem SMB-04, com foco de 10,79 a 11,00 m, onde aparenta existir uma junta de alívio, caracterizada pelo aspecto discoide dos fragmentos rochosos

- b) O tectonismo regional, que atinge porções localizadas do maciço rochoso, fragmentando e moendo o material, em coincidência a caixas de falha. No sítio da barragem de Lontras, um plano de falha, de grande continuidade, parece estar presente no fundo do vale, sendo responsável pelo entalhe do curso do rio. A origem do intenso faturamento da mesma sondagem, a SMB-04, no trecho de 12,40 m a 25,60 m (final do furo), pode ser consequência da interceptação dessa caixa de falha (**Figura 6.5**).



Figura 6.5- A SMB-04 exibe, entre 12,40 e 25,60 m (final do furo), um fraturamento muito intenso, que pode ser atribuído a tectonismo, visto que a sondagem se localiza no fundo do vale, em possível área de interferência de um importante falhamento geológico

Além da SMB-04, já referida, a sondagem SMB-09, situada na ombreira direita do barramento, evidenciou um grau de fraturamento dos testemunhos extremamente intenso, com recuperação global muito baixa (<25%). Os fragmentos de material recuperado foram descritos, no perfil individual da SMB-09, como sendo de “rocha escura”. Trata-se, ao que tudo indica, de uma rocha ígnea extrusiva (possivelmente diabásio) na forma de um dique, intrudido nos sedimentos, o que deverá ter reflexos no projeto.

De um modo geral, o quadro geológico exposto pelas sondagens é bastante repetitivo, visto que, praticamente, todas as sondagens exibem níveis de coerência baixa ou nula, em trechos com extensões variáveis.

Em geral, os trechos pouco coerentes ou incoerentes apresentam espessuras que variam entre poucas dezenas de centímetros até diversos metros. A título de exemplo, reproduz-se abaixo (**Figura 6.6**) um tramo da SMB-01 (caixas 5 e 6), onde se observam dois trechos de material C4/C5, intercalados a trechos de rocha mais coerente.

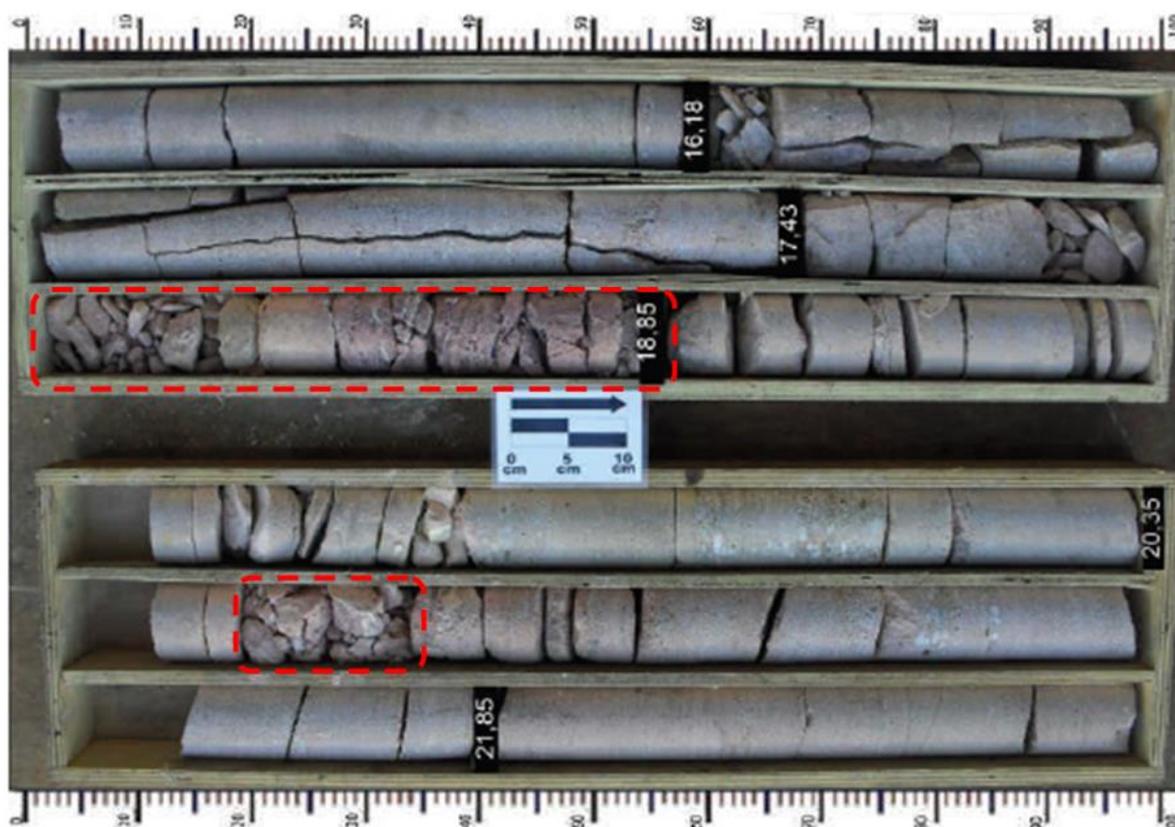


Figura 6.6 - Os trechos de material incoerente (C5) a pouco coerente (C4) ocorrem em praticamente todas as sondagens, com extensão que varia entre poucas dezenas de centímetros a diversos metros. A título de exemplo, vê-se na foto um tramo da SMB-01 (caixas 5 e 6), onde podem ser observados dois trechos C4/C5, assinalados.

Uma avaliação dos níveis de coerência realizada nas caixas de testemunhos das sondagens mostrou que horizontes de baixa coerência (C4/C5) ocorrem em quase todas as sondagens, em qualquer profundidade, com espessuras variáveis entre algumas dezenas de centímetros até muitos metros (SM-04, SM-08). O **Quadro 6.5** apresenta um resumo das observações feitas a esse respeito.

Quadro 6.5- Níveis de baixa coerência e/ou baixa recuperação nas sondagens

SONDAGEM	PROFUNDIDADE		RECUPER.	OBSERVAÇÕES	EMPRESA
SMB-01	0,00	1,80	20	perdas não localizadas	Tecnord
	4,50	9,40	50	trechos incoerentes	
	11,30	11,75	90	em fragmentos	
	12,75	13,05	20	pouco coerente	
	17,70	18,85	90	pouco coerente	
	20,40	20,60	90	pouco coerente	
	22,70	24,50	80	em fragmentos	
SMB-02	7,80	9,50	80	pouco coerente	Tecnord
	11,00	13,80	60	muito fraturado	
	25,00	26,50	60	muito fraturado	
SMB-03	2,40	4,20	60	perda não localizada	STS
SMB-04	5,20	6,60	50	em fragmentos	Tecnord
	10,80	11,00	75	em discos (junta?)	
	12,40	25,60	<25	em fragmentos	
SMB-05	2,60	3,60	50	perda não localizada	Tecnord
	8,50	8,90	60	pouco coerente	
	9,50	10,70	20	perda não localizada	
	15,80	17,00	80	pouco coerente	
SMB-06	5,10	5,40	80	pouco coerente	STS
	17,90	18,00	50	em fragmentos	
	18,40	20,10	50	pouco coerente	
	29,10	29,40	80	em fragmentos	
	30,10	30,60	90	pouco coerente	
SMB-07	0,20	3,10	0	incoerente	Tecnord
	10,75	10,95	75	em discos	
SMB-08	11,00	11,40	90	em fragmentos	Tecnord
SMB-09	0,00	20,15	<25	em fragmentos (rocha)	STS
SMB-10	2,50	6,30	35	em fragmentos	STS
SMB-11	4,10	4,20	80	em fragmentos	STS
	8,10	12,20	40	em fragmentos	
SMB-12	10,10	12,15	80	em fragmentos	STS
SMB-13	5,70	5,90	100	em fragmentos	STS
	7,20	8,30	20	em fragmentos	
	9,10	9,60	50	em fragmentos	
	10,20	10,80	60	em fragmentos	
	16,70	17,00	40	pouco coerente	
	17,80	18,80	30	pouco coerente	
	0,60	1,60	40	em fragmentos	

SMB-14	1,90	2,20	50	em fragmentos	STS
	4,50	5,60	55	muito friável	
	7,90	8,10	25	em fragmentos	
	8,50	9,00	80	muito fraturado	
	12,80	13,00	90	em fragmentos	
	19,70	20,20	70	em fragmentos	
	23,20	24,20	10	material incoerente	
SMB-15	3,60	5,10	50	em fragmentos	STS
	14,20	15,10	65	pouco coerente	
SMB-16	2,80	3,15	60	em fragmentos	STS
	6,80	7,20	70	pouco coerente	
	13,30	15,80	35	pouco coerente	
	18,00	20,00	75	trechos incoerentes	
SMB-17	4,25	4,60	80	em fragmentos	Tecnord
	7,70	8,00	70	em fragmentos	
	10,00	10,15	50	pouco coerente	
	12,15	12,40	40	pouco coerente	
	13,40	13,80	50	pouco coerente	
	20,00	20,70	100	pouco coerente	
SMB-18	0,80	6,50	50	trechos incoerentes	STS
	11,80	12,20	10	incoerente	
SMB-19	0,00	1,60	75	perda não localizada	Tecnord
	1,60	2,80	30	em fragmentos	
	13,85	14,25	80	pouco coerente	
	16,60	17,00	100	em fragmentos	
SMB-20	2,10	3,60	75	perda não localizada	Tecnord
	9,20	9,70	80	em fragmentos	
SMB-21	0,65	1,88	70	perda não localizada	Tecnord
	3,38	5,93	50	trechos incoerentes	
SMB-22	5,00	5,20	100	em fragmentos	Tecnord
	6,80	6,90	100	em fragmentos	
	9,00	9,10	100	em fragmentos	

Na seção geológica reproduzida na figura abaixo (**Figura 6.7**), foram inseridos os trechos de material incoerente (C5) e/ou pouco coerente (C4), identificados visualmente nas fotos das caixas de sondagens. Na referida figura, a representação dos trechos C4/C5 foi feita com traços horizontais (sobrepostos ao desenho), sem levar em conta o eventual mergulho das camadas.

A origem dos trechos muito fraturados e/ou em fragmentos resulta, provavelmente, dos seguintes fatores: a) falhamentos geológicos regionais, com reflexos na atitude das camadas e b) processos superficiais de alívio de tensões, com formação de extensas juntas de alívio.

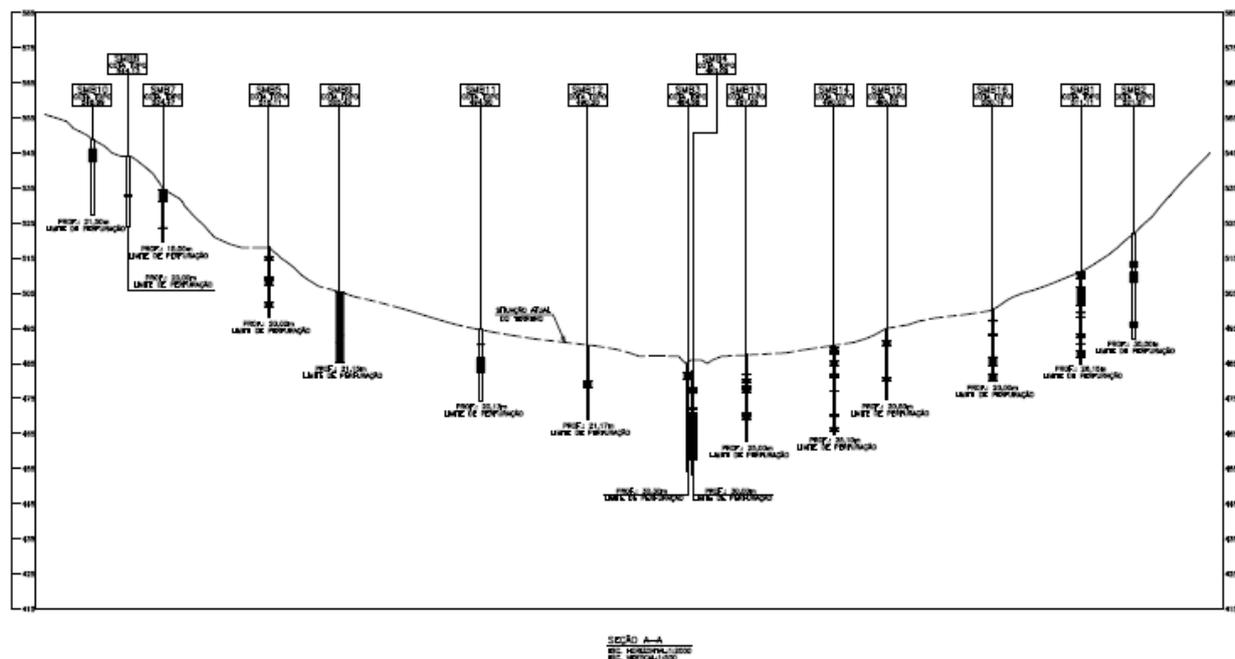


Figura 6.7 - Indicação das passagens de arenito incoerente (C5) a pouco coerente (C4) nas sondagens realizadas ao longo do eixo de barramento. Seção vista de jusante para montante.

Não parece haver possibilidade de correlação entre as camadas de materiais C4/C5 detectadas em sucessivas sondagens, mesmo próximas.

Quando próximos à superfície, esses trechos C4/C5 se confundem com os solos de alteração e podem ser facilmente escavados por meios mecânicos. Quando, entretanto, ocorrem sotopostos a horizontes de arenito coerente, são de difícil alcance, somente facultado por escavações a fogo.

6.1.2.3 Permeabilidade do maciço rochoso

Para determinação da permeabilidade do maciço rochoso foram executados, nos trechos de sondagem rotativa, ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon). Na realização dos ensaios foram seguidas as diretrizes do Boletim 02 da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.

Para a realização dos ensaios foi utilizada bomba tríplice modelo MT-100, de fabricação da Maquesonda, com capacidade de vazão de 100 l/min. Nos casos de perda d'água com vazão

total da bomba, o ensaio foi refeito com o obturador em níveis mais abaixo, em segmentos reduzidos no mesmo trecho, com o intuito de se detectar a camada de maior permeabilidade.

Os ensaios foram realizados à medida que a sondagem avançava, com obturação no topo do trecho ensaiado, que geralmente era de 3,00 m, limitado inferiormente pelo fundo do furo e superiormente pelo obturador. Quando houve dificuldades tais como algum obstáculo, ou impossibilidade de obturação, o comprimento do trecho ensaiado teve que ser reduzido, ou aumentado.

Os cerca de 120 ensaios de permeabilidade realizados nas sondagens revelaram que a fundação da barragem é, em média, bastante permeável. Em diversos casos, os ensaios não puderam ser feitos, pela dificuldade em obturar-se o trecho, devido à fragilidade do material. Em algumas sondagens foi constatada a perda d'água de circulação, durante o avanço do equipamento de perfuração.

Na **Tabela 6-1** são resumidos os resultados obtidos nos ensaios de permeabilidade realizados nas sondagens, com os valores de permeabilidade (K) em cm/s.

Tabela 6-1 – Resultados dos ensaios de permeabilidade versus profundidade

	PERMEABILIDADE (K)				
	NÃO	PERDA	$K > 1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-4} > K$	IMPERM.
0,3 A 3	---	---	1	6	---
3 A 6	---	5	9	1	1
6 A 9	1	1	3	7	---
9 A 12	---	1	3	13	---
12 A 15	2	---	2	12	---
15 A 18	---	---	2	12	---
18 A 21	---	1	1	11	---
21 A 24	---	---	3	6	---
>24	2	1	---	7	---
TOTAL	5	9	24	80	1

Os maiores valores de permeabilidade são encontrados na porção superficial do maciço rochoso, preponderando a faixa de três a seis metros de profundidade. Chama a atenção, entretanto, a sondagem SMB-04, situada no fundo do vale, a montante do eixo da barragem, que revelou características de alta permeabilidade em profundidade, entre 22 e

26 metros, aproximadamente (uma perda total e dois casos de não obturação). As características de elevado faturamento dos testemunhos entre 12 e 26 metros induzem a suspeitar que esta sondagem tenha interceptado um falhamento geológico (Foto 10). As outras sondagens feitas no fundo do vale (SMB-03 e SMB-06) não apresentaram o mesmo padrão de comportamento, em profundidade.

Como regra geral, dada a granulometria extremamente fina dos arenitos locais, infere-se que a permeabilidade do maciço rochoso está vinculada às características de condutividade hidráulica das descontinuidades, uma vez que a matriz é praticamente impermeável.

Essas descontinuidades, tal como referido anteriormente, resultam basicamente de:

- a) Compartimentação primária do maciço sedimentar, com preponderância de fraturas paralelas ao acamamento, isto é, de atitude sub-horizontal,
- b) Descontinuidades secundárias, decorrentes do processo de alívio de tensões, normalmente de elevada persistência,
- c) Fraturas de origem tectônica, associadas a falhamentos geológicos de caráter regional, também de grande persistência.

O caráter errático da permeabilidade do maciço rochoso local favorece o fluxo d'água pela fundação da futura barragem. Ainda que os horizontes de rocha coerente (C1 a C3) possam ser submetidos a tratamento de impermeabilização por cortinas de vedação convencionais, constituídas por injeções de calda de cimento, os horizontes menos coerentes (C4/C5) não são passíveis de tratamento pelo referido processo, visto que o cimento não penetra no solo, apresentando baixa eficiência em termos de impermeabilização.

Sendo assim, a redução localizada de permeabilidade na fundação da barragem dificilmente pode ser alcançada com a implantação de uma cortina de vedação convencional, mesmo constituída por várias linhas de injeção, o que acarretou, no projeto, a adoção de medidas voltadas para minimizar o fluxo d'água pela fundação da barragem, conforme exposto adiante.

6.1.2.4 Caracterização do lençol freático

A medição do nível d'água nos furos de sondagem foi feita individualmente, ao término da execução de cada uma delas, supondo-se a estabilização do referido nível. Entretanto, o prazo de execução da campanha de sondagens cobriu o período de dezembro/2011 (SMB-

02) a maio/2012 (SMB-17), equivalendo a primeira data ao final da estação de estiagem e a segunda ao quase final do período de chuvas. Considerando-se, ainda, a reduzida quantidade de medidas disponíveis, o quadro referente à localização do lençol freático resulta um tanto fragmentário, embora indicativo de tendências.

Dentre as sondagens feitas ao longo do eixo de barramento, somente seis revelaram a presença de nível d'água na extensão perfurada, cobrindo o trecho do eixo de barramento que vai da SMB-12, na estaca E19+10, à meia altura na ombreira direita, até a SMB-15, na estaca E43, na ombreira esquerda, além da sondagem SMB-08, realizada na estaca E0, no alto da ombreira direita. As demais sondagens, realizadas nas ombreiras, resultaram secas, até a profundidade final, com exceção da SMB-19, feita no canal de aproximação ao vertedouro.

Em resumo, o lençol freático somente foi detectado nas sondagens realizadas no centro do vale, em sua porção mais baixa (com exceção da SMB-08), oscilando o nível d'água no intervalo de cotas 483 m a 490 m e dando a impressão que, em alguns casos, este se situava em cota inferior à do leito do rio. Caso isso fosse verdade, o rio estaria alimentando as margens e não vice-versa, como seria de se esperar. As informações, entretanto, são escassas e essa observação pode não corresponder ao real. Somente um acompanhamento periódico nos furos de sondagem convertidos em medidores de nível d'água poderá dar suporte a considerações mais embasadas.

6.1.3 Condições de fundação

6.1.3.1 Barragem

O maciço arenítico é adequado a servir de fundação para a barragem, após remoção do horizonte de solos superficiais, que alcança, em média, a espessura de um a dois metros, estando praticamente ausente em diversos trechos da área de implantação da barragem. Na presença de horizonte superficial de solos residuais de arenito, as escavações irão avançar até atingir níveis de consistência/compacidade que reflitam a boa capacidade de suporte.

Os levantamentos por sísmica de refração e eletrorresistividade contribuíram para a definição das características do subsolo, preenchendo os hiatos entre as sondagens mecânicas. A sísmica de refração, em particular, estabeleceu uma diferenciação entre materiais escaváveis por meios mecânicos, escarificáveis e não escarificáveis, cujo cunho de praticidade deverá ser aferido no início dos trabalhos construtivos.

A heterogeneidade dos sedimentos da formação Serra Geral se reflete nas características geotécnicas e geomecânicas dos materiais de fundação das estruturas de barramento, nos aspectos de resistência, deformabilidade e permeabilidade. Em particular, a presença de horizontes arenosos não consolidados pode acarretar sérios riscos no controle de percolação d'água pela fundação das estruturas, o que exigiu que o projeto se cercasse de todos os possíveis cuidados e dispositivos, para evitar processos de arraste de partículas, com consequente aparecimento de cavidades e surgências de água do lado jusante do barramento.

Dadas as características de heterogeneidade do arenito referidas anteriormente, com a ocorrência de níveis e estratos inconsolidados, o projeto da barragem teve que lançar mão de diversos dispositivos para redução dos gradientes hidráulicos e controle de fluxo pela fundação.

6.1.3.2 Sangradouro e canais associados

A área do sangradouro, que inclui o canal de aproximação, a faixa do Creager, o rápido de restituição das águas e uma bacia de dissipação, se localiza na ombreira direita e foi investigada de forma bastante intensa pela campanha de sondagens (nove sondagens), além de ter sido feito o mapeamento geológico de superfície. Entretanto, as sondagens se concentraram na parte mais alta da ombreira e não forneceram subsídios para a área de implantação da bacia de dissipação.

As sondagens SMB-07, SMB-08 e SMB-10, as mais próximas do Creager, indicaram que na cota de assentamento da estrutura ocorre arenito coerente (C1/C2), medianamente fraturado (F2/F3). Este quadro é favorável ao assentamento das estruturas, mas poderão ser necessários aprofundamentos localizados da superfície de fundação, para eliminação de bolsões de material inadequado.

Na área do canal de aproximação, onde serão implantados os muros laterais e que foi investigada pela sondagem SMB-19, as condições do maciço não são bem conhecidas. A real situação do piso do canal e da fundação dos muros somente será conhecida com o avanço das escavações, devendo-se prever que trechos de fundação em que ocorra material incoerente deverão ser aprofundados, no caso dos muros, ou protegidos com camada de concreto, no caso do piso do canal. A esse respeito, vale a pena relembrar a experiência da barragem de Jaburu, onde o piso do canal de aproximação ao vertedouro foi alvo de erosões intensas e diferenciadas, entre camadas de arenito de baixa e de alta coerência.

A jusante da área de implantação do Creager, no trecho de encosta onde se desenvolve o rápido, que termina em uma bacia de dissipação, foram realizadas cinco sondagens (SMB-17, SMB-18, SMB-20 e SMB-21 e SMB-22). Trata-se de sondagens com 10 a 25 metros de extensão que, invariavelmente, mostram a alternância de trechos de rocha competente (C1 a C3), com trechos de material friável (C4/C5). Isso acarretou a necessidade de revestimento integral do rápido por laje de concreto, com a implantação de um sistema de drenagem sob a laje, em espinha de peixe, além da ancoragem da própria laje.

As técnicas de investigação por geofísica buscaram respostas para questões relacionadas com a definição da cota de assentamento da bacia de dissipação, bem como para definição da profundidade de rocha removível com escarificador. Os dados obtidos com sísmica indicaram que o melhor local se situa na porção final do perfil investigado, entre as estacas 13 e 15 (estaqueamento do desenho da geofísica), onde o topo da rocha sã se aproxima da superfície do terreno. Esta área, entretanto, carece de investigações diretas (sondagens mecânicas), que é recomendável sejam feitas com o prosseguimento dos estudos.

6.2 Imageamento geolétrico

O imageamento geolétrico possibilitou a investigação do interior dos maciços terrosos/rochosos e evidenciou significativos contrastes de resistividade elétrica, permitindo o mapeamento até profundidades da ordem de 40 metros.

6.2.1 Seção pelo eixo de barramento

Esta SIG (seção de imageamento geofísico) possui 715 metros de extensão. Ao longo deste alinhamento, anteriormente aos estudos geofísicos, foram realizadas cinco sondagens mecânicas, a saber: SM-09, SM-11, SM-12, SM-03, SM-13, todas lançadas no perfil, em suas respectivas posições. A seguir, apresenta-se um resumo das principais observações decorrentes dos resultados obtidos.

Nesta seção geolétrica foram registrados intensos contrastes de resistividade, desde a superfície até a máxima profundidade de investigação, em torno de 35 m. No trecho compreendido entre as estacas E7 e E14, registra-se o predomínio absoluto de materiais de baixa resistividade, desde a superfície até a profundidade máxima de investigação.

No local da SM-09, executada na estaca E12, foram registrados os menores valores de resistividade de toda a seção, sempre inferiores a 50 Ohm.m. Com base no fato que as SIGs paralelas, realizadas a montante e jusante, também registraram valores da mesma ordem

de grandeza, o relatório conclui pela existência de um grande lineamento geológico de falhamento na área (**Figura 6.8**).

Análise: a partir dos resultados obtidos na sondagem SM-09 foi tomada a decisão de realizar estudos geofísicos na área. A SM-09 indicou a presença de um litotipo diferente dos arenitos locais, identificado como sendo uma rocha básica, possivelmente diabásio. Como a sondagem revelou, essa rocha se encontra decomposta e transformada em solo de alteração até profundidade que ultrapassa a dezena de metros, para em seguida ocorrer em fragmentos quase até a profundidade final da sondagem (20,15 m). Portanto, a baixa resistividade encontrada nas seções geoeletricas não está vinculada à integridade e coerência da rocha, mas sim a sua natureza mineralógica/petrográfica, provavelmente por ser rica em minerais metálicos, que são bons eletrocondutores.

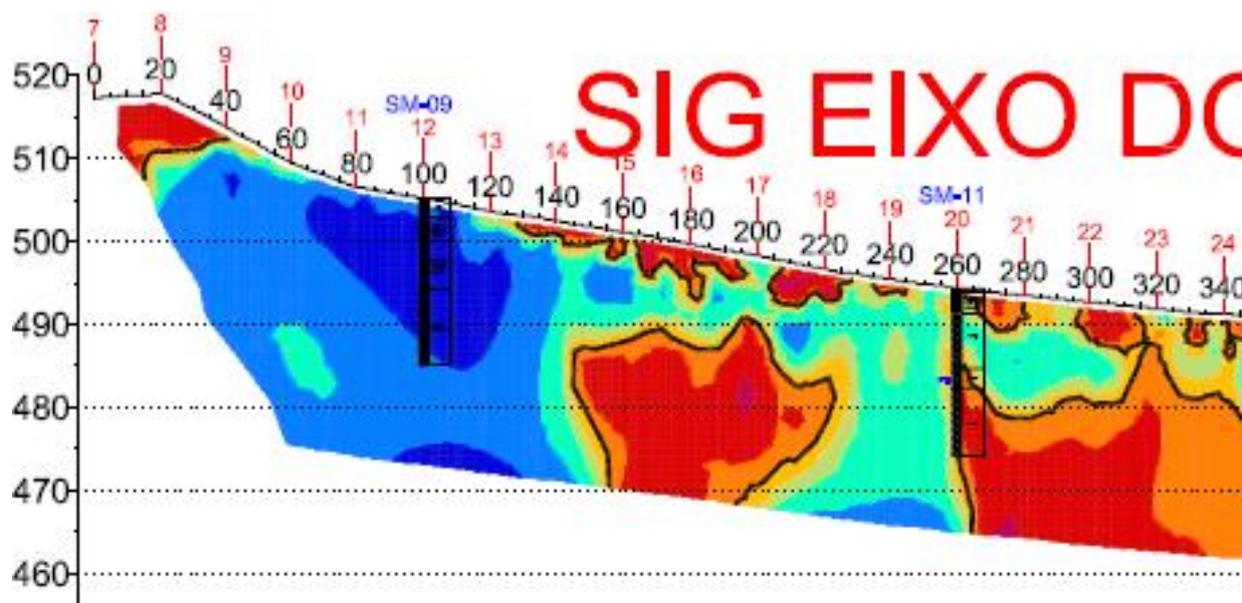


Figura 6.8 – As seções geoeletricas confirmaram a existência de uma anomalia geológica, na ombreira direita, no trecho identificado como de baixa resistividade (tons de azul), constituída provavelmente por um dique de rocha básica, de atitude subvertical e continuidade montante-jusante.

Segundo o relatório, a seção geoeletrica no eixo, em conjunto com as outras duas, paralelas, confirmou a presença de uma estrutura geológica anômala, provavelmente um dique subvertical intrudido nas camadas de arenito, de relevante continuidade no sentido montante-jusante.

Análise: a interpretação de um lineamento geológico de falhamento, apresentada pelo estudo geofísico, não conflita com o conceito de dique intrudido nos sedimentos, visto que os dois processos podem ser geneticamente complementares, ambos associados ao mesmo episódio de tectonismo. Seja qual for sua verdadeira natureza, esta anomalia geológica deve ser incorporada ao projeto e as condições de apoio da seção da barragem e de tratamento da fundação devem ser objeto de cuidados especiais.

A partir da estaca E13 até o final da SIG, um fino estrato de alta resistividade elétrica foi mapeado próximo da superfície. Porém, na porção central da seção, mais precisamente entre as estacas E20 e E31 (Progressivas 260 m e 480 m) esse estrato superficial se aprofunda, formando uma região bastante heterogênea do ponto de vista geoeletrico, onde o estrato de alta resistividade elétrica prevalece, mas também existem lentes de baixa resistividade inseridas.

Próximo à estaca E20, foi registrado um contato geoeletrico abrupto, subverticalizado, entre estratos de baixa e alta resistividade elétrica. Neste local foi realizada a SM-11, que avançou até 20,1 m de profundidade. O perfil da sondagem indica que a litologia é a mesma em toda a extensão, enquanto os parâmetros de grau de fraturamento, RQD da rocha e, principalmente, o grau de coerência são muito variáveis. É provável que os valores de resistividade elétrica tenham sido influenciados pela heterogeneidade geomecânica da rocha arenítica. Nesse caso, pela correlação com a sondagem, pressupõe-se que as maiores resistividades estejam refletindo a maior preservação do arenito, mais denso e com menor grau de porosidade/permeabilidade, enquanto os locais de baixa resistividade refletiriam a maior alteração sofrida pelo material rochoso e, possivelmente, também a maior concentração d'água nos poros intersticiais da rocha.

A partir da estaca E30, até o final da SIG, na estaca E42, o estrato de alta resistividade passa a ser encontrado somente em pequenas lentes próximo da superfície.

Para finalizar, o relatório chama a atenção para o corpo de alta resistividade elétrica mapeado entre as estacas E15 e E18 (Progressivas 160 m e 220 m) da SIG, que se encontra totalmente envolvido por um estrato de baixa resistividade. A princípio esse corpo deve apresentar as mesmas características daquelas encontradas na região central e descritas pelas sondagens SM-11 e SM-12. De qualquer maneira, como a assinatura típica de uma cavidade vazia é uma anomalia de altíssima resistividade, envolta por um estrato de menor resistividade, o relatório recomenda que seja realizada ao menos uma sondagem mecânica,

preferencialmente onde se situa a estaca E16, de forma a dirimir qualquer dúvida da feição geolétrica de alta resistividade ser devida a uma grande cavidade.

6.2.2 Seção a jusante do eixo

Realizada paralela ao eixo do barramento, esta seção possui extensão de 235 m e seu início está praticamente alinhando com o início da SIG do barramento, de maneira que varreu o terreno paralelamente ao eixo em seus primeiros 235 m.

Nota-se, ao longo de toda a seção, um predomínio absoluto de valores de baixíssima a baixa resistividade (tons de azul), interrompidos somente nos primeiros metros por pequenas lentes superficiais. Os valores de baixíssima resistividade ocorrem muito próximos à superfície do terreno e estão semi-aflorando entre as E5 e E9 (**Figura 6.9**).

Conforme já foi referido, os baixos valores de resistividade também foram registrados na porção inicial da SIG do barramento, bem como na seção feita a montante do barramento. Isso leva a supor que uma faixa contínua de terreno possua o mesmo tipo de material, interpretado como pertencente a uma estrutura de grande continuidade lateral, possivelmente um lineamento geológico de falhamento.

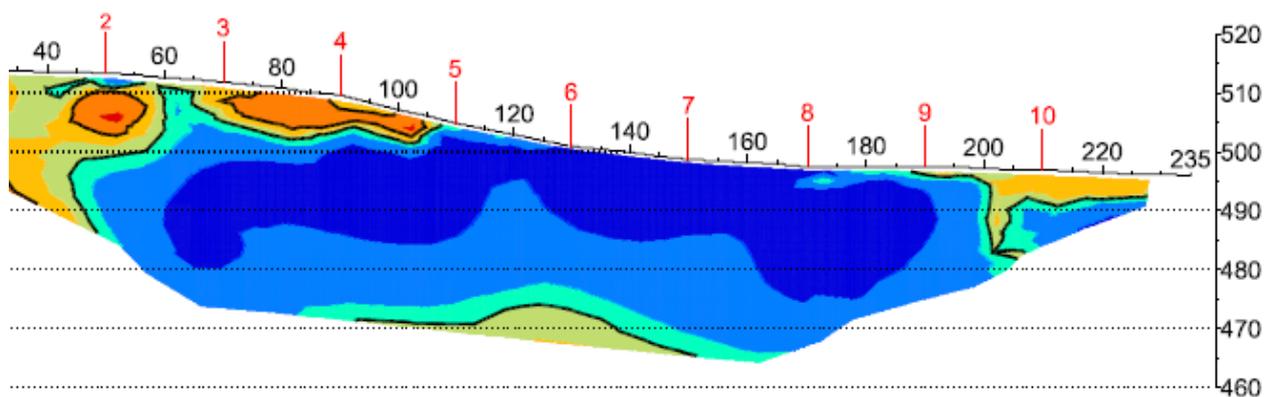


Figura 6.9 – A seção geolétrica estudada 100 metros a jusante do eixo da barragem confirmou a presença de uma anomalia geológica, com valores de resistividade muito baixos (tons de azul).

6.2.3 Seção a montante do eixo

Esta seção geométrica, realizada a montante do barramento, possui 235 metros de extensão e teve seu início praticamente alinhado e paralelo às SIG's do eixo de barramento e de jusante.

Novamente, houve um predomínio absoluto dos estratos de baixíssima a baixa resistividade, valores de 0 a 50 Ohm.m e 50 a 200 Ohm.m, respectivamente. Próximas à superfície foram registradas delgadas lentes de material com resistividade intermediária, entre 1.000 e 5.000 Ohm.m. Assim como na SIG de jusante, somente nos níveis mais profundos foi observado um ligeiro aumento da resistividade elétrica.

6.2.4 Seção pelo eixo do vertedouro

Esta seção possui 475 metros de extensão. Existem quatro sondagens mecânicas próximas, embora fora do alinhamento do eixo do vertedouro. A projeção das mesmas foi lançada no perfil. As considerações sobre esta SIG podem ser divididas em duas partes, a primeira do início até a estaca E11+5 e a segunda da estaca E11+5 até o final.

Na metade inicial (superior) da SIG foram mapeados dois estratos geométricos bem definidos. O primeiro corresponde a uma fina camada de altíssima resistividade elétrica superficial. A espessura desse primeiro estrato geométrico ficou em torno de cinco metros. O segundo estrato foi mapeado logo abaixo e se estendeu até a máxima profundidade de investigação, com valores intermediários de resistividade.

As quatro sondagens mecânicas próximas (SM-08, SM-20, SM-22 e SM-17) situam-se nessa primeira metade da seção. Em todas elas foi descrita como rocha arenítica, com níveis de recuperação elevada. Segundo o relatório, o contraste entre o estrato superficial de alta resistividade e estrato geométrico de baixa resistividade, localizado logo abaixo, pode decorrer da maior ou menor concentração d'água nos poros intersticiais da rocha arenítica.

A metade final se inicia na estaca E11+5, onde foi mapeado um contato geométrico abrupto, subverticalizado, passando de um estrato de baixa resistividade para um estrato de altíssima resistividade em poucos metros. A partir dessa estaca houve um predomínio do estrato de alta resistividade (**Figura 6.10**).

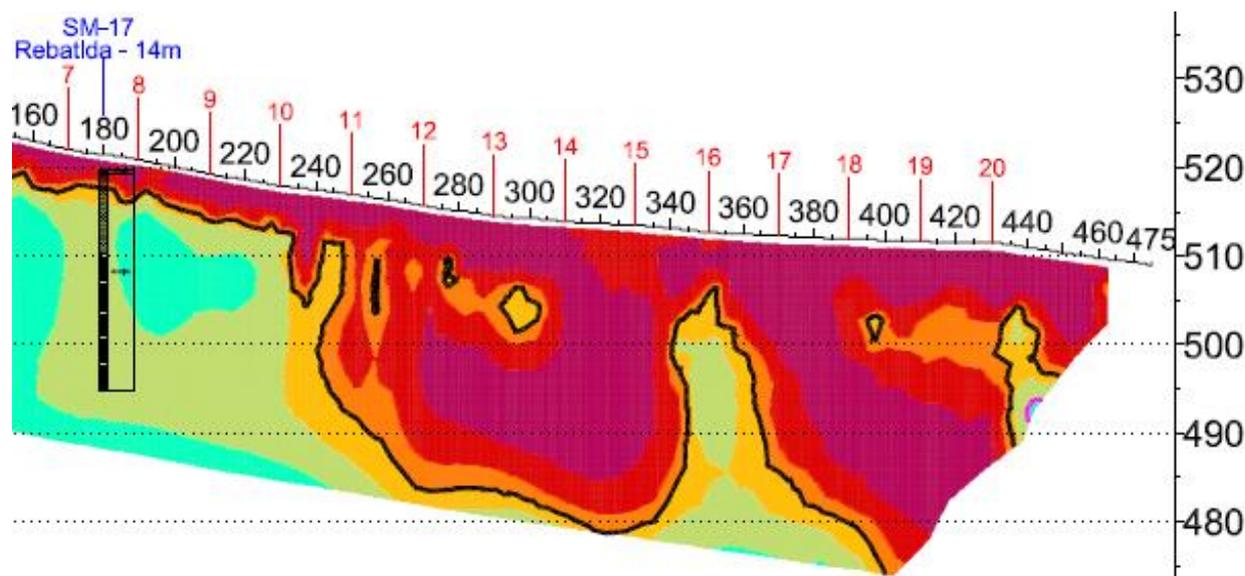


Figura 6.10 – Na seção geoeletrica ao longo do eixo do vertedouro, a metade inferior do perfil, entre as estacas E11 e E20, difere muito da metade superior e exibe material de resistividade alta a muito alta.

Reforça-se aqui o pressuposto que o estrato de alta resistividade que se aprofunda até a máxima profundidade de investigação seja um reflexo da rocha arenítica estar mais preservada, mais densa, onde a porosidade/permeabilidade da rocha seja menor e o fator água não foi determinante para que houvesse uma redução na resistividade elétrica da rocha arenítica.

6.3 Sísmica de refração

O levantamento por sísmica de refração atendeu um dos objetivos, que consistia em estimar a profundidade da rocha incoerente/pouco coerente ou extremamente fraturada, capaz de ser removida com o uso de trator D8 ou D9, dotado de “ripper”, entre as estacas E42 e E65 do eixo de barramento.

Pelos resultados da sísmica, pode-se dizer que é de se esperar que até profundidade da transição da camada com intervalo de velocidade V1 para V2 seja composta por material rochoso incoerente/pouco coerente, sendo removível por escavação e escarificação, como material de primeira categoria.

A camada de velocidade V2, cujo intervalo de valores vai até 2,2 km/s, é provavelmente constituída por um material pouco coerente, ou extremamente fraturado que se espera seja possível remover com escarificadores D8 ou D9, dotados de “ripper”. Porém, é de se esperar

que, à medida que se aprofunda nessa camada, o material se torne mais resistente do ponto de vista mecânico, talvez necessitando de fogacho antes de sua remoção.

Por fim, abaixo da transição da camada de velocidade V2 para V3, a rocha arenítica deve ser bastante coerente e pouco fraturada, sendo removível por uso de picão, ou desmonte por explosivo.

6.3.1 Seção pelo eixo de barramento

Ao longo do eixo do barramento, a espessura da camada de baixa velocidade V1 (velocidade entre 0,5 e 1 km/s) variou consideravelmente, sendo que em alguns trechos teve espessura desprezível ou mesmo deixou de existir. É de se esperar que, até o topo da camada de velocidade V2, o material possa ser removido através de escavação mecânica.

A camada de velocidade V2 (velocidade entre 1 e 2 km/s), de modo geral, resultou bastante espessa. O intervalo de velocidade V2 variou consideravelmente nas sucessivas bases sísmicas, mas a expectativa é de que este material possa ser removido por escarificador D8 e D9, embora com grau de dificuldade variável.

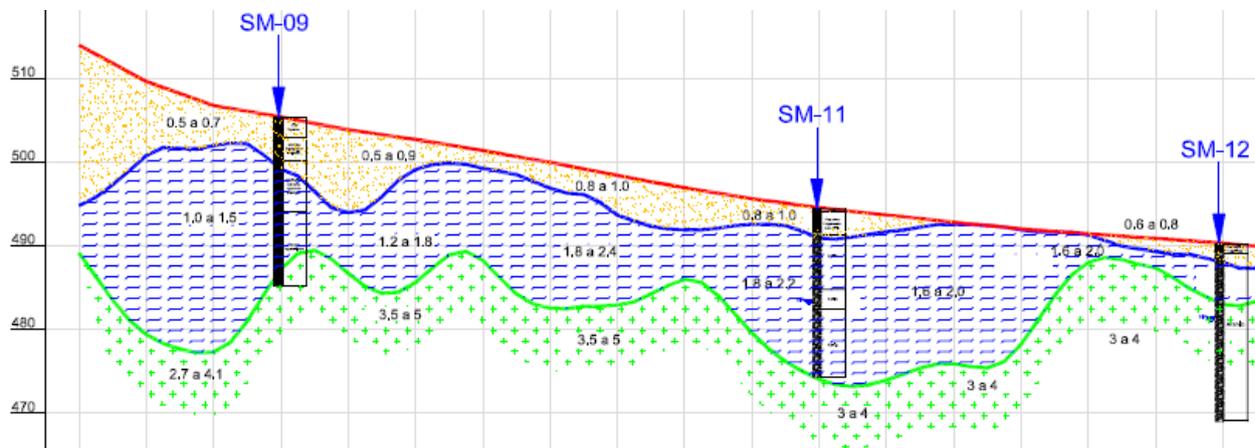


Figura 6.11 – No alto da ombreira direita, o horizonte V2 alcança as maiores espessuras. Entre as estacas E9+10 e E12, a maior espessura coincide, provavelmente, com a anomalia geológica detectada pela sondagem SM-09.

As maiores espessuras da camada V2 foram encontradas no alto da ombreira direita, nos trechos compreendidos entre as estacas E9+10 e E12 e entre E19 e E23. O primeiro trecho corresponde, provavelmente, à anomalia geológica detectada pela sondagem SM-09 (**Figura 6.11**).

Por fim, em maior profundidade foi detectada a camada de velocidade V3. A transição de V2 para V3 apresenta-se bastante irregular, com grandes oscilações num curto intervalo de distância. Na porção final da seção, entre as estacas E36 e E41, a camada de velocidade V2 deixa de existir, passando diretamente de uma delgada camada V1 para V3 e logo após a sondagem SM-13 o material de alta velocidade V3 praticamente aflora.

6.3.2 Seção a jusante do eixo

Os dados da sondagem sísmica a jusante do barramento foram ajustados por um modelo de duas camadas (V1 e V2). A camada V1, com velocidade entre 0,5 e 1,0 km/s, apresenta um forte espessamento, alcançando, entre as estacas E5 e E7, espessura da ordem de 20 m. Segundo o relatório, tal comportamento sugere que pode ser devido a um paleocanal. Essa camada deve ser escavável por meios mecânicos (**Figura 6.12**).

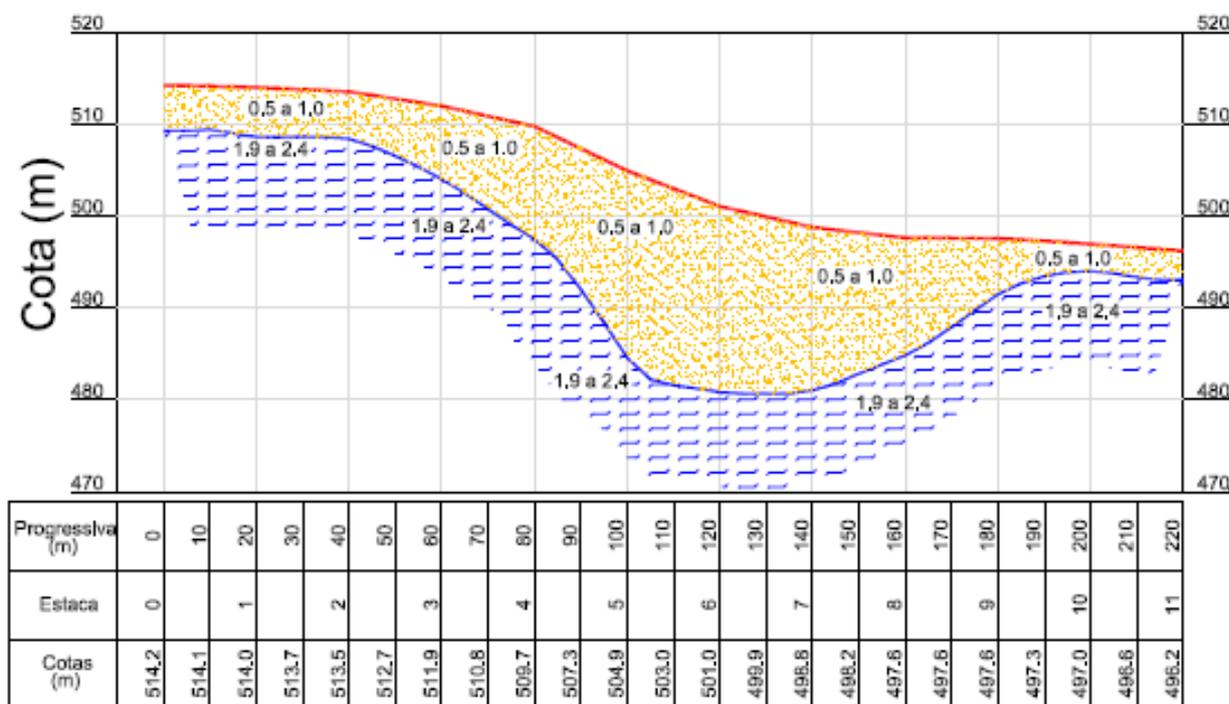


Figura 6.12 – Seção sísmica a jusante do eixo da barragem. Entre as estacas E5 e E7, a camada V1, com velocidades entre 0,5 e 1,0 km/s, alcança espessura da ordem de 20 metros.

A camada V2, com velocidade entre 1,8 e 2,4 km/s, muito provavelmente está correlacionada à presença de um material rochoso alterado, classificado como zona de transição.

O relatório conclui que, assim como na seção sísmica de montante, não foi registrada nesta seção de jusante qualquer região de alta velocidade sísmica que evidenciasse a presença de uma rocha intrusiva ígnea.

6.3.3 Seção a montante do eixo

Os dados da seção sísmica a montante do barramento foram ajustados por um modelo de três camadas, porém os intervalos de velocidade são diferentes daqueles adotados para as seções sísmicas do barramento e do vertedouro.

A camada V1, com velocidades entre 0,5 e 0,7 km/s, apresenta espessura variável entre poucos centímetros até cerca de oito metros, próximo à estaca E8. Esta camada é considerada como de primeira categoria e deve ser passível de remoção por escavação mecânica.

Logo abaixo, mapeou-se uma camada V2, com velocidades entre 1,0 e 1,4 km/s. Essa camada deve refletir uma maior compacidade do material e, pelos valores apresentados, deve ser escarificável com certa facilidade.

Alguns metros abaixo foi mapeada uma terceira camada, com velocidade V3, entre 1,5 e 2,2 km/s. Esse material deve estar mais coerente do que a camada acima, porém apresenta-se ainda com elevado grau de alteração, sendo a princípio escarificável, porém com certa dificuldade.

Uma das questões a ser elucidada dizia respeito à identificação e delimitação de uma eventual intrusão de rocha ígnea (dique ou sill) entre as estacas E10 e E15 do eixo do barramento, cujo alinhamento corresponderia às estacas E3 e E9 da seção sísmica de montante. Segundo o relatório, a resposta é que nenhuma evidência da presença desse corpo foi registrada, pois era de esperar que um corpo de rocha ígnea gerasse uma elevação na velocidade sísmica, fato não verificado.

Análise: uma elevação da velocidade sísmica ocorreria caso o material rochoso da intrusão ígnea estivesse constituído por rocha sã. Como a sondagem SM-09 mostrou, os dez primeiros metros superficiais consistem em solo de alteração e os dez metros seguintes correspondem a um maciço rochoso extremamente alterado e em fragmentos. Nessas condições, dificilmente se observaria um aumento da velocidade sísmica.

6.3.4 Seção pelo eixo do vertedouro

O modelo sísmico para o eixo do vertedouro é bastante similar ao apresentado para o eixo do barramento, tanto no que tange ao intervalo de velocidades quanto da espessura das camadas.

A camada de baixa velocidade V1, com velocidades entre 0,6 e 1,0 km/s, é bastante delgada, em alguns trechos deixando de existir e aflorando o material com velocidade V2, como no trecho entre as estacas E5 e E7, próximo das sondagens SM-22 e SM-17. É de se esperar que os materiais da camada V1 possam ser removidos através de escavação.

Logo abaixo se adentrou numa camada de velocidade V2, entre 1,4 e 1,8 km/s, com exceção do final, a partir da estaca E16 até E19, onde o intervalo V2 ficou entre 1,2 e 1,6 km/s. A princípio essa camada pode ser removida por escarificador, sendo possível existir algumas passagens (lentes) de materiais mais resistentes, que necessitarão do uso de fogachos, para que haja uma desagregação do material mais coerente.

Assim como ocorreu no eixo do barramento, a transição da camada V2 para V3 também se apresentou bastante variável. Considera-se que abaixo desta transição seja necessário o emprego de explosivos para desmonte, sendo V3 classificado como material de terceira categoria.

Respondendo uma das questões do Contratante, a de estimar a profundidade da rocha sã e coerente entre as estacas E10 e E14, apta a alojar uma bacia de dissipação em concreto, ficou nítido que ocorre uma elevação do material de velocidade V3 exatamente na estaca E14, sendo considerado o trecho entre as estacas E13 e E15 como o mais indicado para receber a referida estrutura, uma vez que exigirá menos escavação para atingir a rocha sã (**Figura 6.13**).

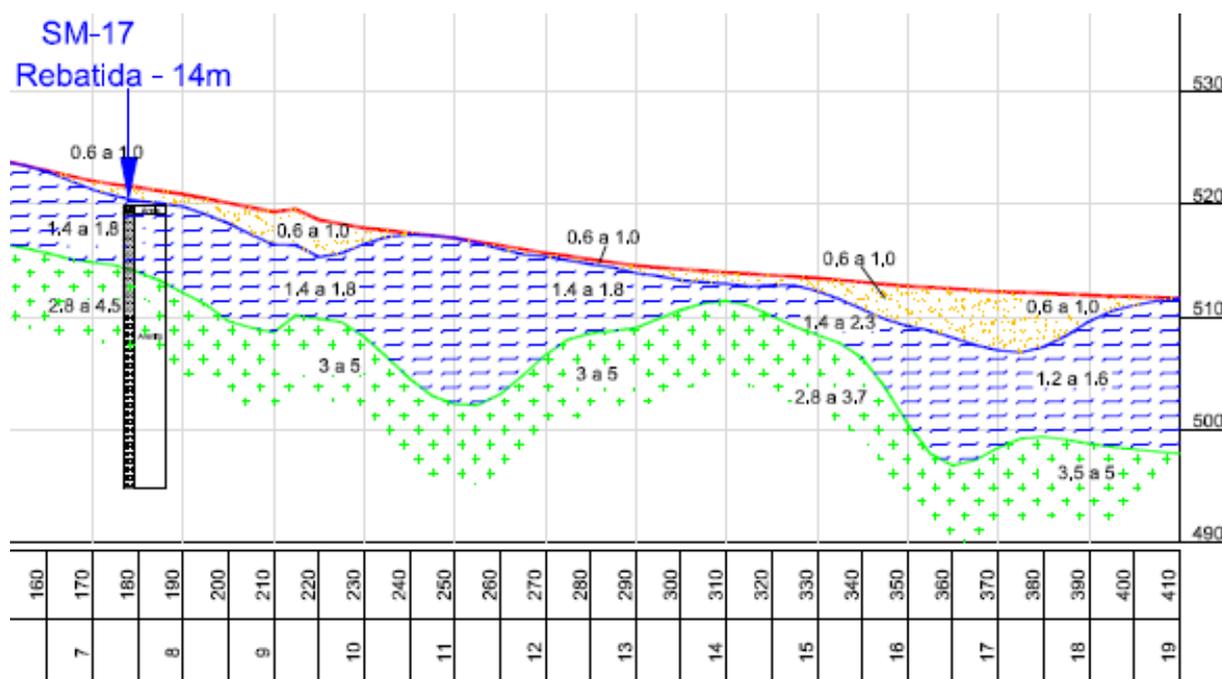


Figura 6.13 – A seção sísmica ao longo do eixo do vertedouro indicou, entre as estacas E13 e E15, a presença de rocha sã a pequena profundidade, favorecendo a idéia de implantação da bacia de dissipação neste local.

6.4. Integração dos dados dos estudos geofísicos

O relatório dos estudos geofísicos, em seu item final, apresenta uma integração das informações obtidas pelas duas metodologias, sobrepondo as camadas sísmicas no perfil geolétrico e conclui dizendo que, a primeira vista, os dois métodos de investigação geofísica estão medindo propriedades distintas e que não houve uma correlação direta entre as propriedades geolétricas e as propriedades geomecânicas.

Existem trechos de baixa resistividade elétrica, desde a superfície até a máxima profundidade de investigação, como é o trecho compreendido entre as estacas E9 e E14 (**Figura 6.14**), sendo cortados pelas três camadas sísmicas V1, V2 e V3, assim como existem estratos de alta resistividade elétrica, geralmente próximo à superfície, inseridos totalmente na camada de baixa velocidade sísmica V1.

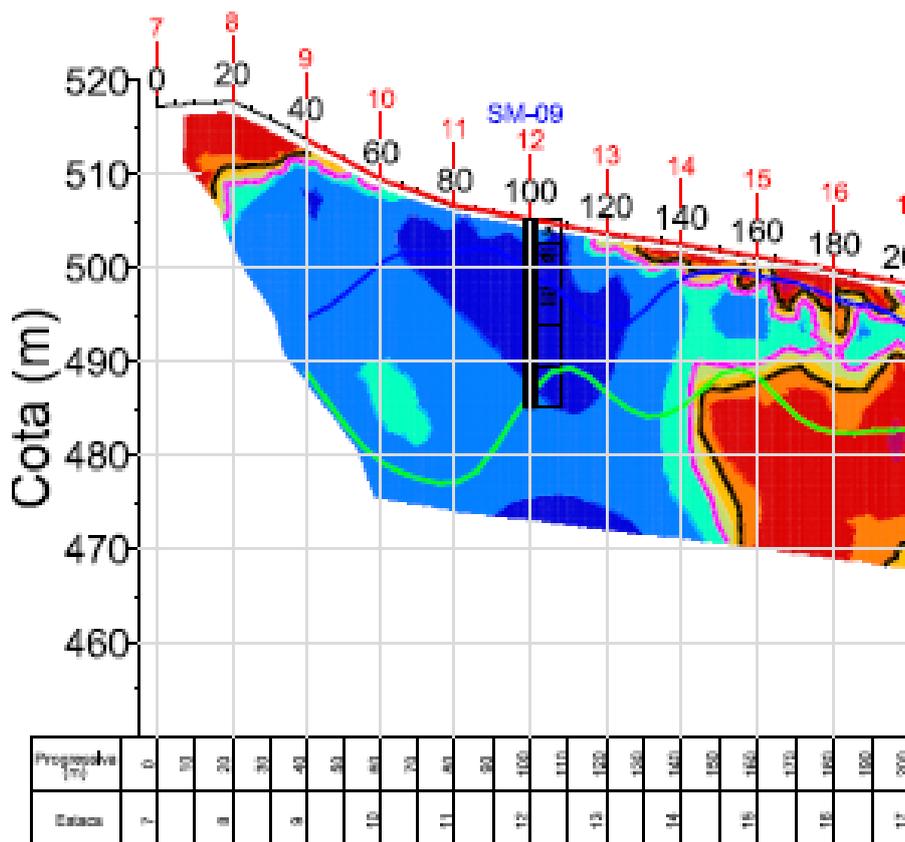


Figura 6.14 – Na ombreira direita, ao longo do eixo da barragem, existem áreas de baixa resistividade elétrica (tons de azul) cortadas por diversas camadas sísmicas (V1 a V3), em aparente conflito de informações.

O relatório finaliza comentando que a grande variabilidade encontrada nas características geoeletricas dos diferentes estratos subsuperficiais, em uma litologia bastante homogênea, composta por materiais com a mesma matriz geológica e, a princípio, com a mesma composição mineralógica, deve ser creditada à presença de água nos poros intersticiais dos materiais e/ou a variações nas concentrações de argilominerais.

6.5. Considerações finais sobre os estudos geofísicos

O emprego conjugado das técnicas de eletrorresistividade e sísmica de refração levou à identificação de algumas estruturas geológicas de interesse, a saber:

a) confirmou-se a presença de um lineamento geológico de falhamento na ombreira direita, na área em que foi realizada a sondagem SM-09, provavelmente associado à presença de um dique de rocha básica, subvertical, intrudido nas camadas de arenito, de relevante continuidade no sentido montante-jusante. Seja qual for sua verdadeira natureza, esta

anomalia geológica deve ser incorporada ao projeto e as condições de apoio da seção da barragem e de tratamento da fundação devem ser objeto de cuidados especiais.

b) na seção sísmica a jusante do barramento foi observado o forte espessamento da camada superficial V1 (velocidade de 0,5 a 1,0 km/s), alcançando, entre as estacas E5 e E7, espessura da ordem de 20 m. Segundo o relatório, tal comportamento sugere que pode ser devido a um paleocanal.

c) na área do vertedouro, ao longo do eixo do rápido, foi verificada uma elevação do material de velocidade V3 na estaca E14, sendo considerado o trecho entre as estacas E13 e E15 como o mais indicado para alojar a bacia de dissipação, uma vez que exigirá menos escavação para atingir a rocha sã.

Essas indicações a respeito da natureza do subsolo foram obtidas por métodos de prospecção indiretos e carecem de confirmação por técnicas diretas (sondagens, trincheiras, poços).

Quanto à utilização da geofísica na definição dos horizontes passíveis de escavação por meios mecânicos, com ou sem o auxílio de escarificador, os resultados obtidos não são condizentes com as observações feitas através da análise das sondagens rotativas.

Verificam-se discrepâncias entre os dois processos de avaliação (direto e indireto), sendo que a espessura dos horizontes escaváveis (com ou sem escarificação) apontada pelos métodos geofísicos resulta invariavelmente superior àquela indicada pelas sondagens mecânicas.

Diante das discrepâncias observadas na questão escavabilidade, é recomendável que a definição dos limites por meios mecânicos seja feita com base nas observações diretas nos testemunhos das sondagens. De outra forma, corre-se o risco de fornecer um quadro excessivamente otimista a respeito do alcance das escavações por meios mecânicos, o que pode resultar em contestações entre as partes, durante a construção das obras.

7 ESTUDO DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS

7. 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 8 jazidas de solo misturados com blocos (J-01; J-02; J-02A; J-03; J-03A; J-04; J-04A; J-05), 2 jazidas de solo argiloso (J-08; J-09) um areal, uma pedreira de origem granítica e uma pedreira de material de arenito.

Na ocorrência J-01, distante 2,1 km para o eixo da barragem, foram realizados 90 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,80 m, demarcando uma área de 21,33 ha e um volume estimado de 153.576 m³.

Na ocorrência J-02, distante cerca de 3,60 km para o eixo da barragem, foram realizados 87 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,66 m, demarcando uma área de 87 ha e um volume estimado de 135.921 m³.

Na ocorrência J-02A, distante cerca de 4,20 km para o eixo da barragem, foram realizados 30 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 0,90 m, demarcando uma área de 54 ha e um volume estimado de 195.264 m³.

Na jazida J-03, próxima a localidade de Xique-Xique e distante 1,0 km para o eixo da barragem, foram realizadas 49 sondagens investigativas, com profundidade média de 1,83 m, demarcando uma área de 69 ha e um volume estimado de 502.372 m³.

Na ocorrência J-03A, distante cerca de 1,60 km para o eixo da barragem, foram realizados 36 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,10 m, demarcando uma área de 11,7 ha e um volume estimado de 51.524 m³.

Na ocorrência J-04, distante cerca de 11,40 km para o eixo da barragem, foram realizados 97 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,60 m, demarcando uma área de 65,60 ha e um volume estimado de 621.698 m³.

Na ocorrência J-04A, distante cerca de 9,2 km para o eixo da barragem, foram realizados 105 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,70 m, demarcando uma área de 67,4 ha e um volume estimado de 675.749 m³.

Uma área denominada jazida J-05, objeto de uma investigação exploratória, foi selecionada como reserva. Esta ocorrência situa-se a 7,00 Km do maciço, e teve demarcada uma área de 59,70 ha, com presença de solos areno argilosos, onde estimou-se um volume de cerca de 608.736 m³.

Na jazida J-08, próxima a localidade de Xique-Xique e distante 21,8 km para a barragem, foram realizadas 185 sondagens investigativas, com profundidade média de 1,70 m, demarcando uma área de 73,74 ha e um volume estimado de 1.016.652 m³.

Na ocorrência J-09, distante cerca de 28,10 km para o eixo da barragem, foram realizados 234 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,70 m, demarcando uma área de 98,6 ha e um volume estimado de 1.172.745 m³.

Para a fonte de material para produção de brita, estudou um afloramento de rocha do tipo Gnaisse no município de Ipueiras, a cerca de 36 km do eixo do barramento. Denominou-se este local de afloramento de Pedreira 02.

Para fonte de material pétreo destinado a possíveis volumes complementares de enrocamentos, estudou um afloramento de rocha arenítica com presença de horizontes mais silidificados, na ombreira esquerda, distando cerca de 1,9 km a montante do local do barramento. Denominou-se este local de afloramento de Pedreira 01.

Os bancos de areia que ocorrem no rio Inhuçu, a montante da cidade de Croatá, apresentam-se com uma granulometria fina a média, no entanto a avaliação do potencial volumétrico não estimulou seu uso, nem como fonte auxiliar de suprimento. Por este motivo foi-se estudar os bancos do rio Jatobá, a jusante da cidade de Ipueiras. O areal apresenta volume suficiente para suprir as necessidades da barragem Lontras, no entanto dista cerca de 45,5 km do local das obras. No rio Jatobá foram realizados 30 poços com trado e retiradas amostras para ensaios.

A localização das jazidas em estudo, para aplicação no maciço da barragem Lontras, encontra-se apresentada na imagem seguinte.

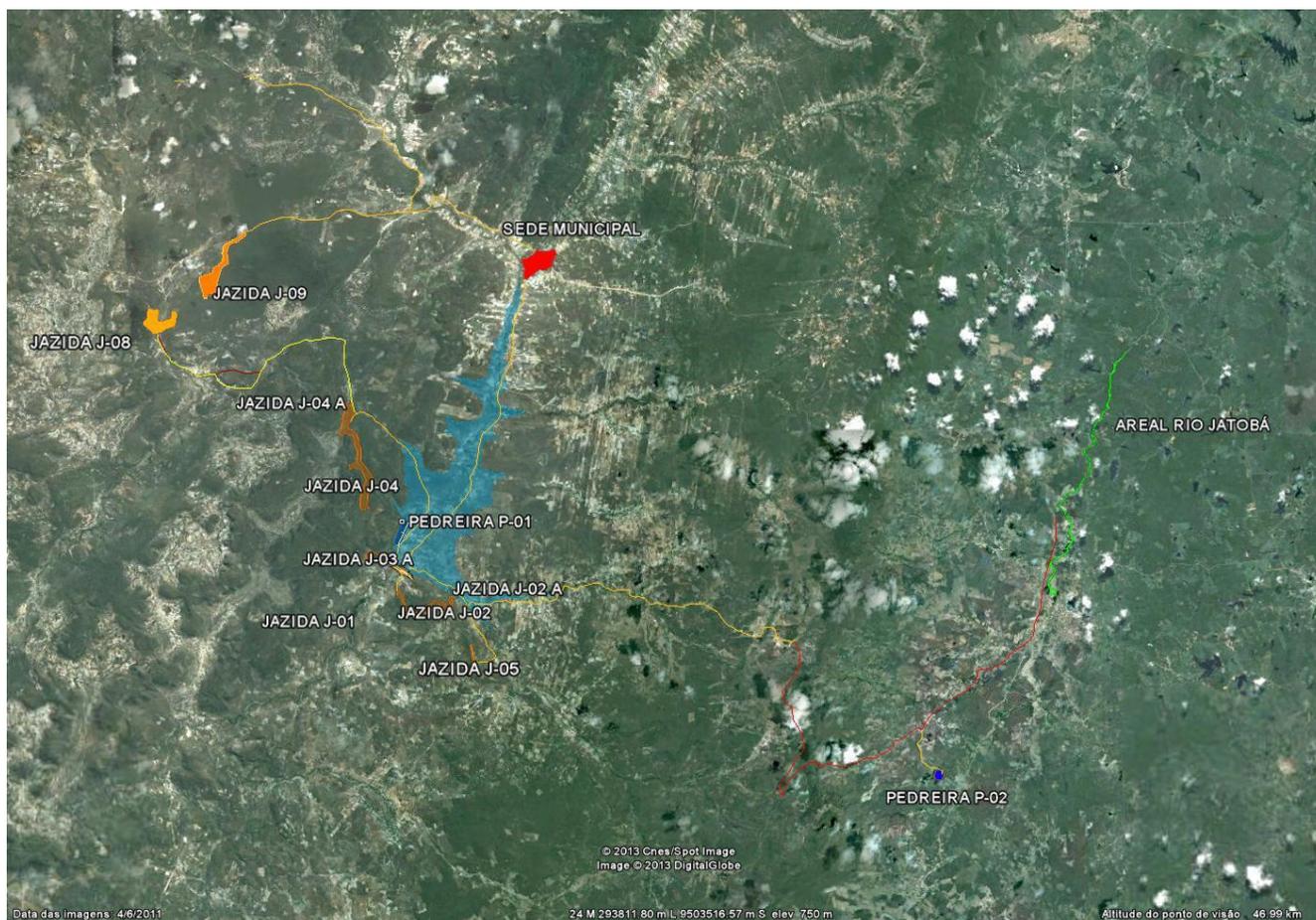


Figura .7.1 - Localização das jazidas em estudo para utilização no maciço da barragem Lontras

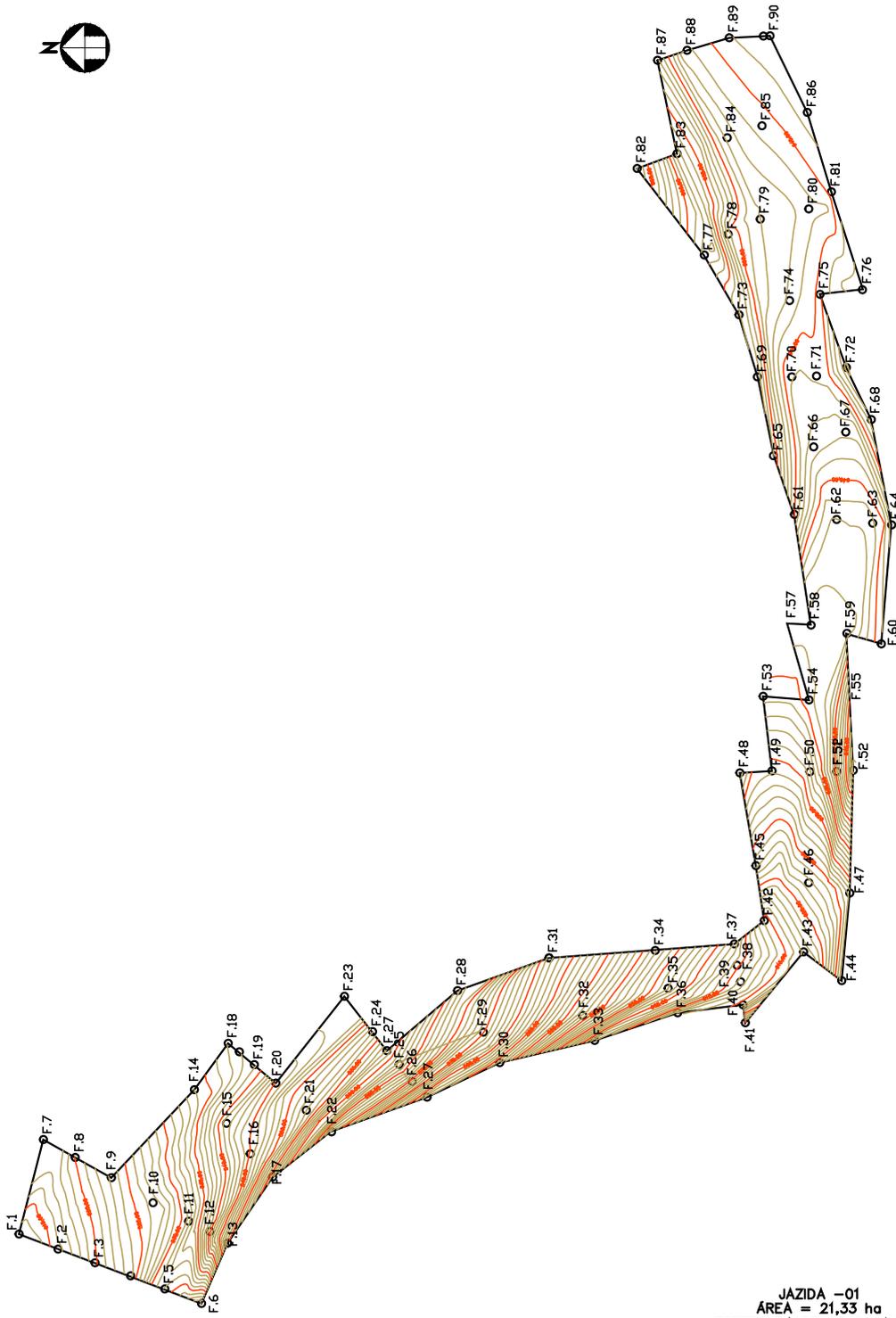
7.1 Jazidas de solo

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 n°s 7.2 a 7.4, a seguir. Os horizontes encontrados nestes furos foram identificados, classificados tátil visualmente e medidas suas espessuras, conforme apresentado nos boletins de campo no Tomo 4 A- Geologia e Geotecnia- Anexos.

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

Quadro 7.1 - Volume de Materiais das Jazidas

Local	Volume (m ³)		
	Utilizável	Expurgável	Total
Jazida J - 01	153.576	21.330	174.906
Jazida J - 02	135.921	20.470	156.391
Jazida J - 02A	195.264	54.240	249.504
Jazida J - 03	502.372	68.630	571.002
Jazida J - 03A	51.524	11.710	63.234
Jazida J - 04	621.698	65.580	687.278
Jazida J - 04A	675.749	67.440	743.189
Jazida J - 05	608.736	59.680	668.416
Jazida J - 08	1.016.652	254.163	1.270.815
Jazida J - 09	1.172.745	98.550	1.271.295



JAZIDA -01
AREA = 21,33 ha
ESPESSURA DE SOLO = 1,80m
VOLUME = 383.940,00 m3



BARRAGEM LONTRAS

ESCALA:
1:7.500

DATA:
DEZEMBRO/2012

FIGURA N° :
7.2



JAZIDA -02
 ÁREA = 20,47 ha
 ESPESSURA DE SOLO = 1,66m
 VOLUME = 339.802,00 m³

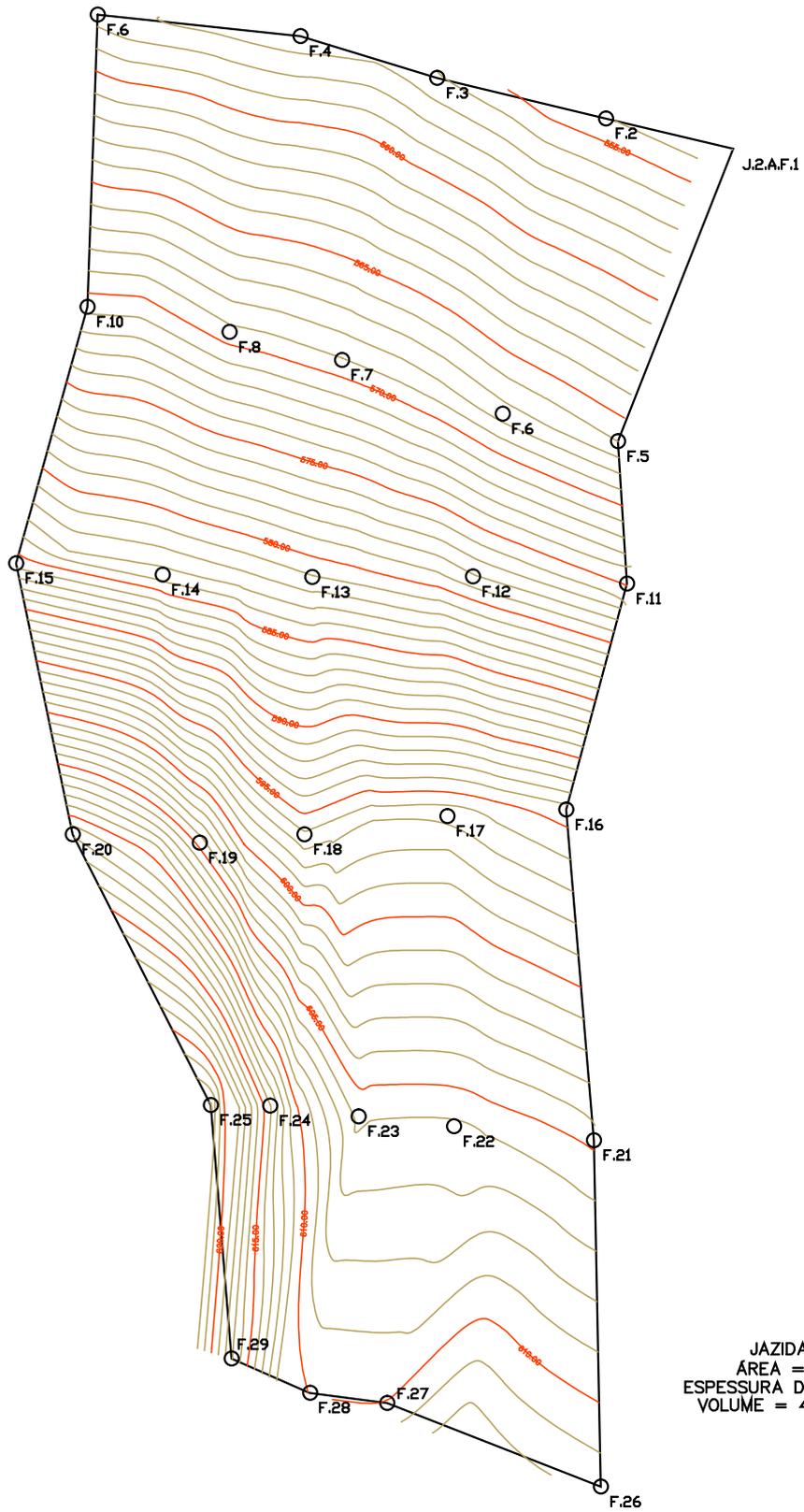


BARRAGEM LONTRAS

ESCALA:
 1:5.000

DATA:
 DEZEMBRO/2012

FIGURA N° :
 7.3



JAZIDA -02 A
ÁREA = 54,24 ha
ESPESSURA DE SOLO = 0,90m
VOLUME = 488.260,00 m³

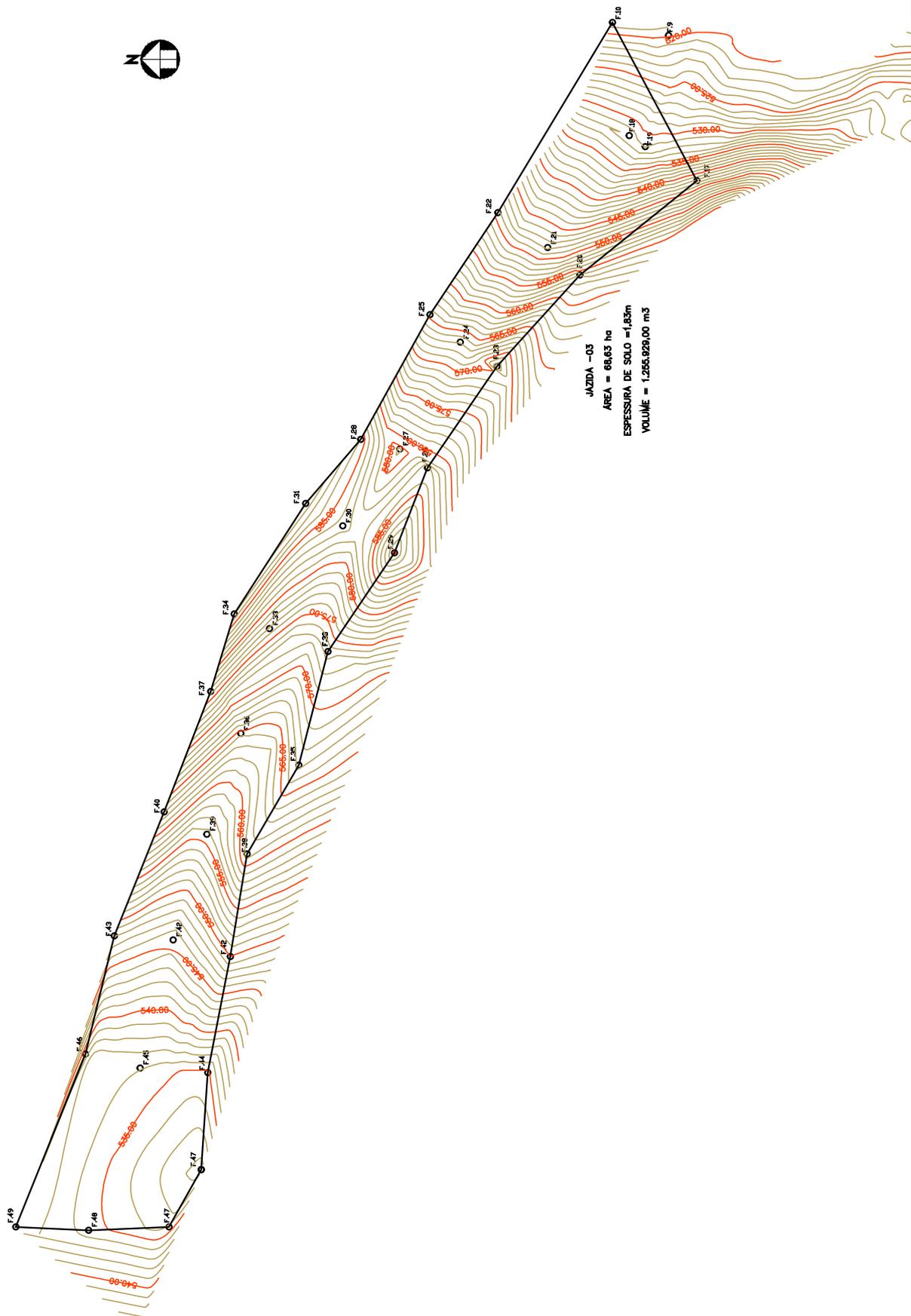


BARRAGEM LONTRAS

ESCALA:
1:2.000

DATA:
DEZEMBRO/2012

FIGURA N° :
7.4

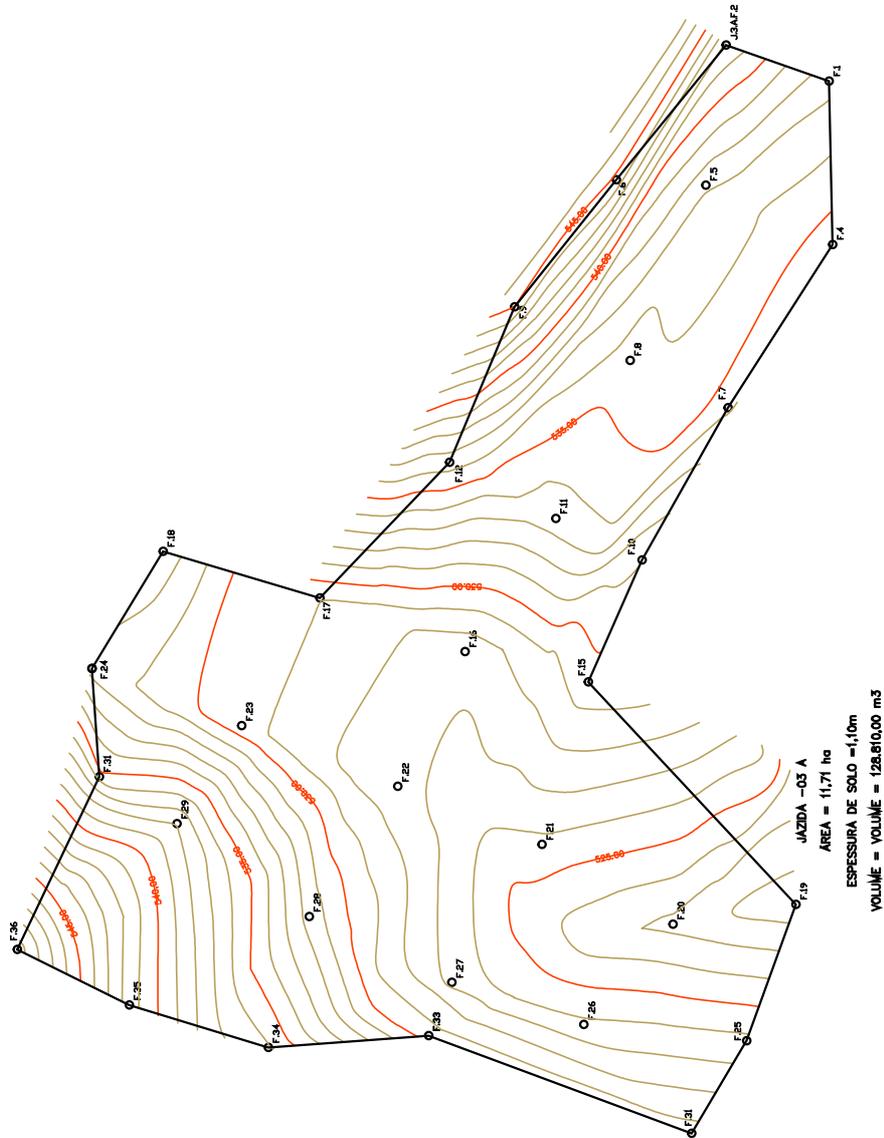


BARRAGEM LONTRAS

ESCALA:
1:4.000

DATA:
DEZEMBRO/2012

FIGURA N° :
7.5



JAZIDA -03 A
 AREA = 11,71 ha
 ESPESURA DE SOLO = 1,10m
 VOLUME = 128.810,00 m³

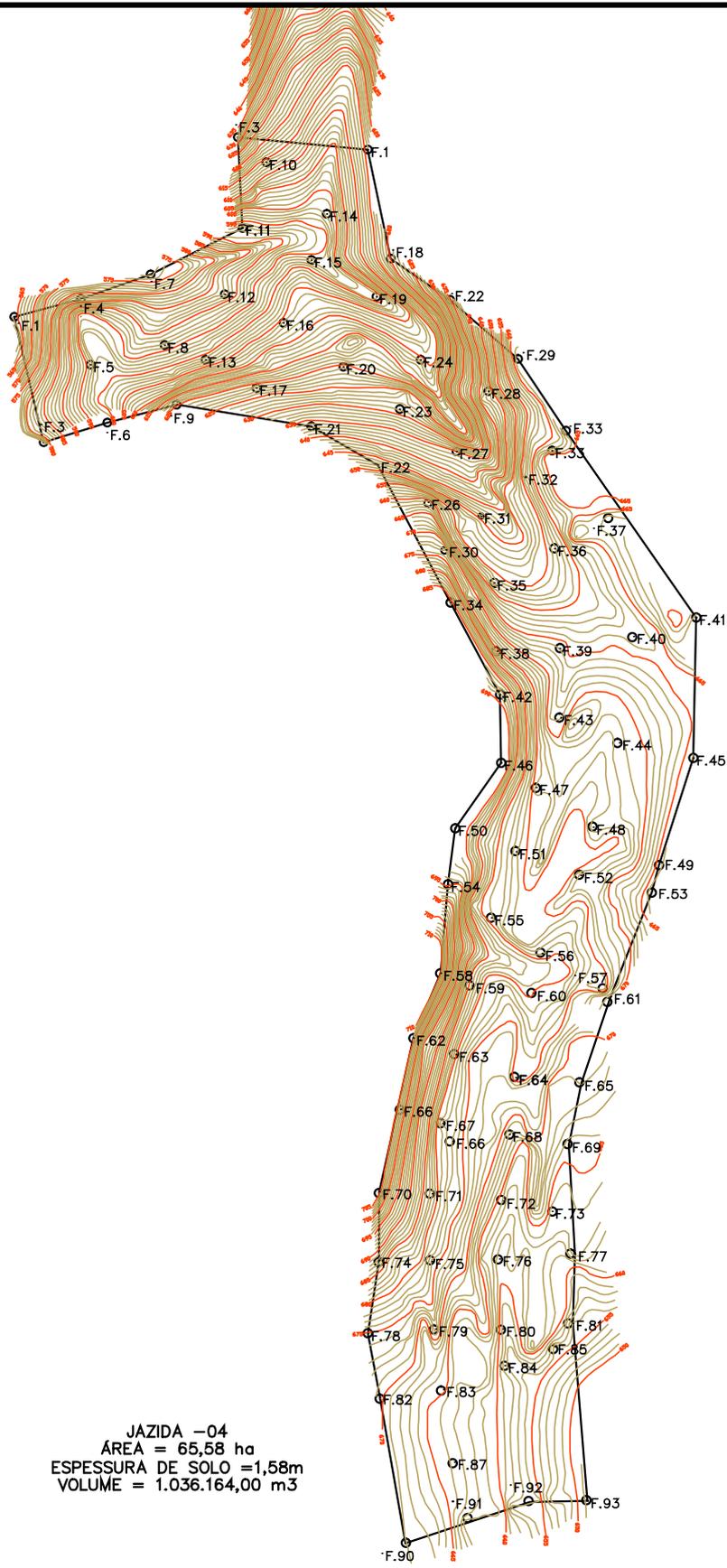


BARRAGEM LONTRAS

ESCALA:
 1:4.000

DATA:
 DZEMBRO/2012

FIGURA N° :
 7.6



JAZIDA -04
 ÁREA = 65,58 ha
 ESPESSURA DE SOLO = 1,58m
 VOLUME = 1.036.164,00 m³

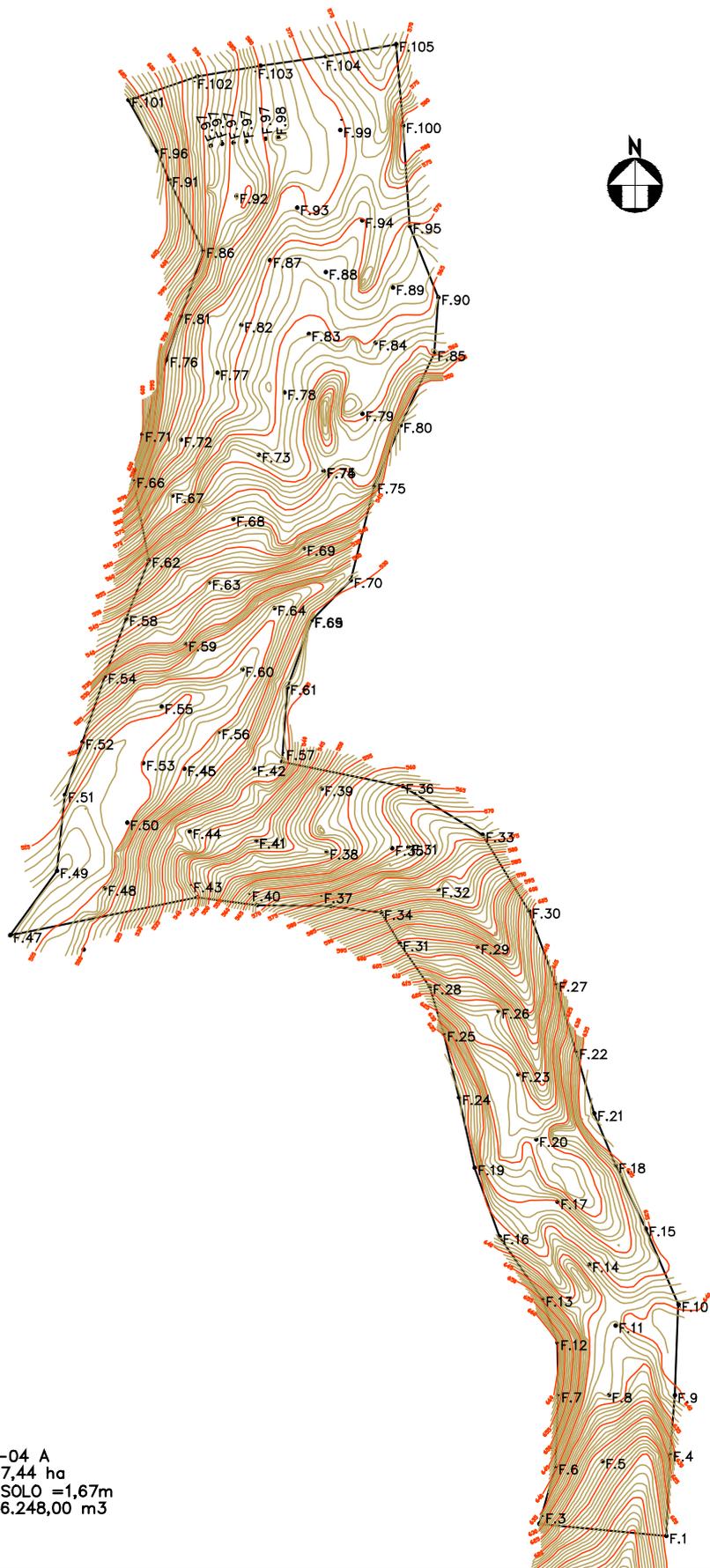


BARRAGEM LONTRAS

ESCALA:
 1:10.000

DATA:
 DEZEMBRO/2012

FIGURA N° ·
 7.7



JAZIDA -04 A
 ÁREA = 67,44 ha
 ESPESSURA DE SOLO = 1,67m
 VOLUME = 1.126.248,00 m³

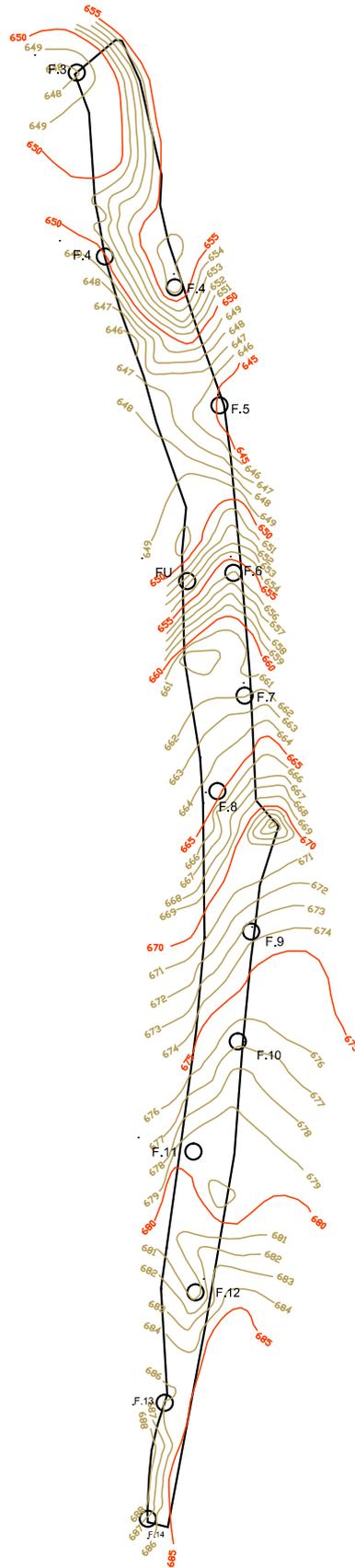


BARRAGEM LONTRAS

ESCALA:
 1:10.000

DATA:
 DEZEMBRO/2012

FIGURA N° :
 7.8



JAZIDA -05 (RESERVA)
ÁREA = 59,68 ha
ESPESSURA DE SOLO = 1,70m
VOLUME = 1.014.560,00 m³

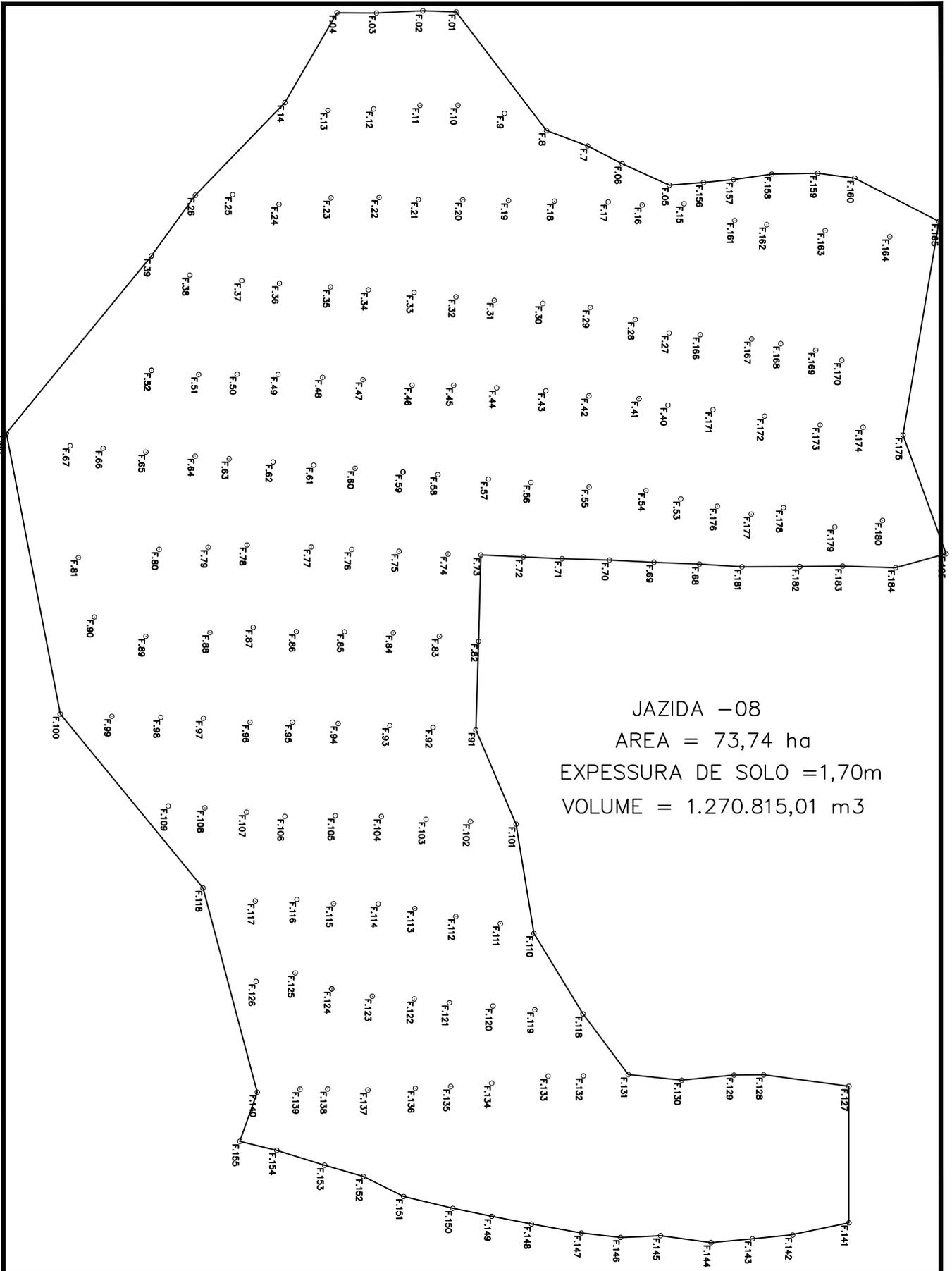


BARRAGEM LONTRAS

ESCALA:
1:6.000

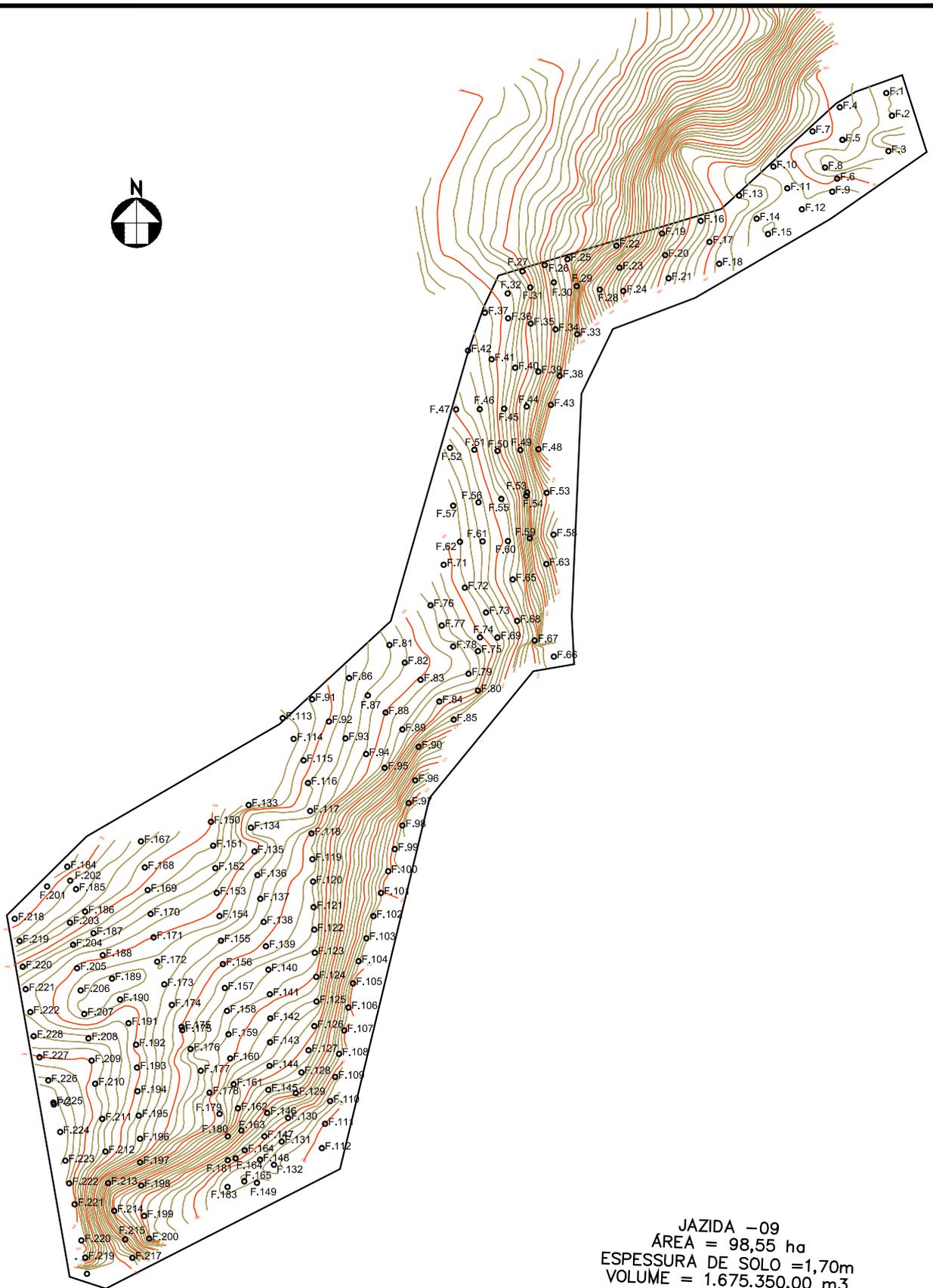
DATA:
DEZEMBRO/2012

FIGURA N°
7.9



JAZIDA -08
 AREA = 73,74 ha
 EXPESSURA DE SOLO = 1,70m
 VOLUME = 1.270.815,01 m3

	<p>BARRAGEM LONTRAS</p>	<p>ESCALA: 1:12.500</p>	<p>DATA: DEZEMBRO/2012</p>	<p>FIGURA N° : 7.10</p>
--	-------------------------	-----------------------------	--------------------------------	-----------------------------



JAZIDA -09
ÁREA = 98,55 ha
ESPESSURA DE SOLO = 1,70m
VOLUME = 1.675.350,00 m³



BARRAGEM LONTRAS

ESCALA:
1:12.500

DATA:
DEZEMBRO/2012

FIGURA N° :
7.11

Em furos representativos das jazidas foram coletadas amostras, as quais foram enviados ao laboratório e submetidas à 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)

Nos quadros a seguir são mostrados os resultados dos ensaios de laboratório.

RESUMO DOS ENSAIOS														
TRECHO: JAZIDA 01														
FURO		01	04	06	12	16	18	20	22	23	25	27	28	
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
	(m) ATÉ	1,45	2,30	1,00	2,20	2,20	1,10	1,30	2,00	1,80	1,30	1,60	1,50	
GRANULOMETRIA														
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		1"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	92%	92%	96%	92%	100%	95%
		3/8"	98%	98%	98%	97%	86%	97%	71%	86%	82%	89%	98%	91%
		Nº 4	97%	95%	95%	96%	72%	97%	66%	84%	78%	87%	97%	89%
		Nº 10	96%	91%	91%	95%	70%	95%	64%	83%	75%	83%	92%	88%
		Nº 40	84%	76%	71%	78%	57%	85%	54%	69%	63%	71%	78%	74%
		Nº 200	24%	49%	49%	26%	36%	49%	34%	25%	34%	48%	50%	26%
LIMITES DE ATTERBERG														
LL		30,1	35,0	35,0	31,8	35,0	32,0	35,2	34,4	36,1	35,2	34,3	31,8	
LP		20,8	21,2	21,2	22,1	23,0	20,0	23,6	24,6	24,4	21,5	20,1	22,1	
IP		9,3	13,8	13,8	9,7	12,0	12,0	11,6	9,8	11,7	13,7	14,2	9,7	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S														
HRB		A-2-4	A-2-6	A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-4	
CLASSIFICAÇÃO UCS		SM/SC	SC	SC	SM/SC	SC	SC	SC	SM/SC	SC	SC	CL	SM/SC	
COMPACTAÇÃO														
Hótima (%)		15,4	14,1	14,2	15,2	12,8	14,4	14,2	14,4	12,3	13,0	15,8	13,9	
Dmáx (g/cm ³)		1.880	1.740	1.750	1.850	1.730	1.740	1.720	1.830	1.820	1.770	1.740	1.790	
UMIDADE														
Umidade de Natural		1,4	3,4	3,1	3,0	3,1	3,0	1,4	1,7	2,6	4,4	4,4	2,2	

RESUMO DOS ENSAIOS

TRECHO: JAZIDA 01

FURO		33	35	37	41	42	43	47	49	50	53	55	59	61	
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
(m)	ATÉ	2,20	1,10	2,10	2,00	1,10	1,70	2,20	2,20	1,80	2,20	2,10	1,60	1,50	
GRANULOMETRIA															
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		1"	96%	100%	95%	100%	96%	100%	97%	96%	100%	100%	90%	100%	88%
		3/8"	91%	96%	64%	86%	91%	98%	95%	95%	97%	87%	79%	100%	81%
		Nº 4	89%	95%	61%	85%	89%	97%	94%	94%	96%	83%	77%	99%	75%
		Nº 10	88%	94%	60%	84%	88%	96%	93%	93%	93%	80%	76%	96%	70%
		Nº 40	79%	82%	54%	72%	78%	85%	83%	83%	76%	72%	68%	80%	61%
		Nº 200	41%	48%	33%	24%	37%	37%	48%	31%	37%	25%	34%	37%	24%
LIMITES DE ATTERBERG															
LL		34,2	33,2	33,2	26,2	32,0	37,0	34,0	31,4	31,8	34,4	33,2	34,3	34,0	
LP		21,3	21,2	21,8	16,9	19,2	26,4	22,0	20,3	19,2	25,6	21,8	21,7	24,7	
IP		12,9	12,0	11,4	9,3	12,8	10,6	12,0	11,1	12,6	8,8	11,4	12,6	9,3	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S															
HRB		A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-2-6	A-2-4	
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC	SC	SC	SM/SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC/SM	SC	SC	SC	
COMPACTAÇÃO															
Hótima (%)		14,4	15,2	15,1	14,9	14,4	16,2	14,7	14,2	13,5	14,0	14,2	15,4	14,8	
D _{máx} (g/cm ³)		1.830	1.820	1.830	1.820	1.800	1.880	1.730	1.840	1.790	1.940	1.830	1.760	1.930	
UMIDADE															
Umidade de Natural		4,3	5,2	6,1	4,9	4,1	6,1	5,3	2,2	6,4	1,8	5,8	4,3	2,6	

RESUMO DOS ENSAIOS
TRECHO: JAZIDA 01

FURO		64	69	71	72	74	71	81	84	87	90	Tratamento Estatístico dos resultados				
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	X	σ	Xmín	Xmáx	
(m)	ATÉ	2,10	1,90	1,70	2,30	1,80	1,90	1,00	1,80	1,30	1,00		\square			
GRANULOMETRIA																
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-	
		1"	96%	95%	100%	96%	100%	90%	100%	93%	97%	100%	96,9%	3,6%	93,7%	100,0%
		3/8"	95%	77%	97%	94%	93%	85%	97%	90%	74%	85%	89,7%	8,8%	81,7%	97,6%
		Nº 4	94%	71%	96%	91%	91%	84%	90%	82%	58%	63%	85,9%	11,6%	75,5%	96,3%
		Nº 10	93%	69%	95%	89%	89%	83%	86%	78%	55%	58%	83,7%	11,9%	73,0%	94,3%
		Nº 40	77%	63%	85%	78%	76%	71%	76%	66%	49%	45%	72,0%	10,6%	62,5%	81,5%
	Nº 200	39%	26%	47%	48%	48%	40%	27%	41%	26%	28%	36,5%	9,2%	28,2%	44,7%	
LIMITES DE ATTERBERG																
	LL	33,0	31,4	33,4	40,0	34,0	34,5	31,0	32,0	35,0	31,8	33,5%	2,3%	31,4%	35,5%	
	LP	20,2	22,1	19,9	21,0	23,0	21,3	21,4	19,2	25,6	21,2	21,8%	0,3%			
	IP	12,8	9,3	13,5	19,0	11,0	13,2	9,6	12,8	9,4	10,6	11,7%	2,0%	9,9%	13,5%	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S																
	HRB	A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-7-6	A-2-6	A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-2-4	A-2-6	-	-	-	-	
	CLASSIFICAÇÃO UCS	SC	SC/SM	SC	SC	SC	SC	SC/SM	SC	SC/SM	SC	-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO																
	Hótima (%)	14,2	12,2	13,4	15,2	14,3	13,6	13,0	12,2	12,6	12,4	14,11	1,06	-	-	
	Dmáx (g/cm ³)	1.835	1.810	1.730	1.720	1.720	1.805	1.870	1.940	1.940	1.980	1814,57	72,46	-	-	
UMIDADE																
	Umidade de Natural	4,3	1,8	2,4	5,6	4,8	4,8	1,9	1,8	1,4	2,6	3,55	1,56	-	-	

RESUMO DOS ENSAIOS																		
TRECHO: JAZIDA 02																		
FURO		01	03	05	07	09	12	14	16	18	21	23	24	26	29	31	32	
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
	(m)	ATÉ	2,10	1,30	2,10	1,30	0,50	1,20	1,15	1,10	1,30	0,70	1,50	1,20	1,20	1,40	1,40	1,80
GRANULOMETRIA																		
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%		100%	100%	100%	100%	100%		100%		100%	100%	100%		100%
		1"	100%	92%		100%	100%	100%	100%	100%		96%		100%	100%	100%		100%
		3/8"	100%	73%		100%	100%	100%	100%	96%		95%		98%	94%	100%		95%
		Nº 4	99%	64%		100%	99%	100%	99%	93%		94%		95%	91%	100%		93%
		Nº 10	98%	61%		99%	96%	99%	98%	90%		93%		94%	89%	99%		92%
		Nº 40	87%	54%		90%	78%	89%	82%	76%		83%		86%	82%	89%		82%
		Nº 200	40%	26%		27%	22%	45%	36%	33%		45%		32%	23%	41%	38%	
LIMITES DE ATTERBERG																		
	LL	35,0	34,1		34,5	NL	40,0	36,2	33,5		32,9		34,0	34,4	40,0		35,1	
	LP	23,0	24,7		24,6		26,5	24,5	21,8		19,6		22,9	25,6	26,5		22,4	
	IP	12,0	9,4		9,9	NP	13,5	11,7	11,7		13,3		11,1	8,8	13,5		12,7	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S																		
	HRB	A-2-6	A-2-4		A-2-4	A-1-a	A-7-6	A-2-6	A-2-6		A-2-6		A-2-6	A-2-4	A-7-6		A-2-6	
	CLASSIFICAÇÃO UCS	SC	SC/SM		SC/SM	SM	SC	SC	SC		SC		SC	SC/SM	SC		SC	
COMPACTAÇÃO																		
	Hótima (%)	14,0	15,6		15,8	13,8	15,6	14,1	15,7		14,6		13,0	14,6	14,8		12,8	
	Dmáx (g/cm ³)	1.810	1.680		1.720	1.750	1.660	1.740	1.800		1.760		1.760	1.760	1.880		1.780	
UMIDADE																		
	Umidade de Natural		4,3			6,3	6,8	6,1	2,8				6,9	3,5	6,2		5,7	

RESUMO DOS ENSAIOS																	
TRECHO: JAZIDA 02																	
FURO		35	38	40	42	45	48	49	52	54	56	59	61	63	65	66	
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
(m)	ATÉ	0,70	1,30	0,90	1,30	1,30	1,30	1,60	1,60	1,60	1,70	2,50	2,30	1,60	1,40	1,30	
GRANULOMETRIA																	
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%				100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		1"	100%				95%			98%	86%	95%	94%	100%	98%	100%	100%
		3/8"	99%				77%			94%	84%	78%	89%	94%	89%	100%	95%
		Nº 4	97%				71%			91%	77%	71%	87%	92%	74%	100%	94%
		Nº 10	96%				68%			88%	76%	68%	85%	91%	66%	98%	93%
		Nº 40	85%				61%			79%	59%	60%	78%	81%	57%	85%	86%
		Nº 200	38%				27%			36%	25%	28%	41%	38%	31%	49%	44%
LIMITES DE ATTERBERG																	
LL		34,0				34,1			31,8	34,0	36,3	29,8	35,0	35,4	34,1	29,7	
LP		22,9				23,6			19,2	24,7	25,4	16,1	23,0	24,2	20,0	16,1	
IP		11,1				10,5			12,6	9,3	10,9	13,7	12,0	11,2	14,1	13,6	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S																	
HRB		A-2-6				A-2-6			A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-6	
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC				SC			SC								
COMPACTAÇÃO																	
Hótima (%)		14,6				13,6			16,1	14,2	13,4	15,3	15,3	13,0	16,0	15,6	
Dmáx (g/cm ³)		1.920				1.860			1.760	1.700	1.870	1.690	1.770	1.720	1.680	1.810	
UMIDADE																	
Umidade de Natural		4,9				4,0			6,7	3,5	6,8	2,6	2,3	4,0	7,2	4,1	

RESUMO DOS ENSAIOS																
TRECHO: JAZIDA 02A																
FURO		02	07	09	14	18	22	25	26	29	Tratamento Estatístico dos resultados					
PROFUNDIDADE (m)	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10						
	ATÉ	0,60	1,20	0,70	1,20	1,20	0,70	1,20	0,70	1,20						
GRANULOMETRIA											X	σ	X _{min}	X _{máx}		
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-	
		1"	100%	100%	97%	95%	100%	100%	89%	100%	100%	100%	97,9%	3,8%	94,5%	100,0%
		3/8"	99%	95%	81%	91%	91%	95%	82%	97%	99%	99%	92,2%	6,7%	86,2%	98,3%
		Nº 4	97%	82%	65%	90%	62%	92%	79%	89%	89%	98%	83,8%	13,1%	72,1%	95,5%
		Nº 10	94%	77%	57%	89%	55%	89%	78%	82%	82%	97%	79,8%	15,1%	66,2%	93,3%
		Nº 40	80%	63%	51%	73%	47%	79%	72%	74%	74%	87%	69,6%	13,4%	57,5%	81,6%
		Nº 200	35%	32%	25%	37%	25%	37%	27%	27%	27%	37%	31,3%	5,3%	26,5%	36,1%
LIMITES DE ATTERBERG																
LL		31,2	35,0	26,2	35,0	35,1	34,0	31,4	31,8	31,8		32,4%	2,8%	29,8%	34,9%	
LP		19,3	24,3	16,9	23,2	25,7	22,1	21,7	22,2	19,1		21,6%				
IP		11,9	10,7	9,3	11,8	9,4	11,9	9,7	9,6	12,7		10,8%	1,3%	9,6%	12,0%	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S																
HRB		A-2-6	A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-2-4	A-2-4	A-2-6		-	-	-	-	
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC		-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO																
Hótima (%)		14,6	14,2	13,7	15,0	13,8	14,1	13,6	13,4	14,2		14,07	0,51	-	-	
D _{máx} (g/cm ³)		1.850	1.790	1.900	1.790	1.750	1.830	1.670	1.890	1.810		1808,89	71,14	-	-	
UMIDADE																
Umidade de Natural		2,8	2,7	2,8	3,4	4,6	3,9	2,5	2,2	3,7		3,18	0,77	-	-	

RESUMO DOS ENSAIOS														
TRECHO: JAZIDA 03														
FURO		01	05	07	09	11	13	16	18	19	20	21	23	
PROFUNDIDADE (m)	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
	ATÉ	1,80	2,10	1,10	1,70	1,70	2,00	1,70	1,90	2,30	2,30	1,00	2,40	
GRANULOMETRIA														
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"												
		1"	100%	100%	100%	97%	100%	100%	97%	100%	100%	100%	94%	100%
		3/8"	98%	100%	98%	95%	96%	99%	91%	100%	100%	80%	87%	91%
		Nº 4	83%	98%	97%	92%	92%	98%	85%	100%	100%	74%	85%	87%
		Nº 10	75%	96%	96%	89%	89%	97%	82%	98%	99%	73%	84%	56%
		Nº 40	57%	86%	86%	79%	77%	86%	72%	87%	88%	65%	77%	55%
	Nº 200	27%	43%	46%	48%	27%	39%	31%	33%	27%	45%	26%	28%	
LIMITES DE ATTERBERG														
	LL	36,8	32,0	36,2	34,0	32,2	35,0	33,8	36,3	34,4	31,6	32,0	28,4	
	LP	26,4	19,3	22,4	20,1	22,1	22,2	22,9	25,4	24,1	18,2	22,1	18,6	
	IP	10,4	12,7	13,8	13,9	10,1	12,8	10,9	10,9	10,3	13,4	9,9	9,8	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S														
	HRB													
	CLASSIFICAÇÃO UCS	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SM/SC	SC	SC	SC	SM	SC/SM	
COMPACTAÇÃO														
	Hótima (%)	13,4	14,1	16,3	14,1	13,8	12,7	14,2	14,2	15,3	13,7	16,1	13,5	
	Dmáx (g/cm ³)	1.742	1.865	1.760	1.830	1.760	1.860	1.800	1.790	1.730	1.820	1.760	1.850	
UMIDADE														
	Umidade de Natural	2,8	3,4	5,2	4,3	1,8		2,2	3,0		4,3	4,1		

RESUMO DOS ENSAIOS																				
TRECHO: JAZIDA 03																				
FURO		25	28	29	30	32	34	36	38	40	41	42	44	47	49	Tratamento Estatístico dos resultados				
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10					
(m)	ATÉ	2,40	1,50	1,90	1,90	1,80	1,90	1,70	1,60	2,00	1,70	2,00	1,50	1,20	1,20					
GRANULOMETRIA																X	σ	Xmín	Xmáx	
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"															-	-	-	-
		1"		100%	100%	100%	100%		93%	100%	100%	100%	100%	96%		100%	99,0%	2,1%	97,1%	100,0%
		3/8"		78%	97%	98%	100%		75%	100%	83%	83%	99%	95%		100%	93,2%	8,1%	85,9%	100,0%
		Nº 4		64%	96%	95%	97%		68%	99%	78%	74%	98%	87%		99%	89,0%	10,9%	79,1%	98,8%
		Nº 10		55%	94%	94%	96%		67%	98%	77%	69%	94%	85%		98%	85,3%	13,7%	73,0%	97,6%
		Nº 40		48%	84%	83%	84%		60%	89%	69%	55%	81%	71%		90%	75,2%	12,8%	63,7%	86,7%
		Nº 200		27%	41%	38%	45%		31%	33%	27%	24%	24%	27%		34%	33,5%	7,9%	26,5%	40,6%
LIMITES DE ATTERBERG																				
LL			37,0	34,7	37,2	41,0		30,3	31,5	35,0	30,3	34,0	31,6		37,4	34,0%	2,9%	31,4%	36,7%	
LP			27,1	21,7	24,4	27,5		19,2	20,3	24,2	21,8	24,9	21,1		24,8					
IP			9,9	13,0	12,8	13,5		11,1	11,2	10,8	8,5	9,1	10,5		12,6	11,4%	1,6%	9,9%	12,8%	
IG			0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	-	-	-	-	
HRB																-	-	-	-	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S																				
CLASSIFICAÇÃO UCS			SC/S M	SC	SC	SC		SC	SC	SC	SM/S C	SC/S M	SC		SC	-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO																				
Hótima (%)			16,7	15,5	15,6	15,4		16,3	15,4	15,9	14,0	14,0	12,1		16,6	14,73	1,29	-	-	
Dmáx (g/cm ³)			1.785	1.770	1.800	1.720		1.75 5	1.730	1.680	1.715	1.790	1.78 0		1.670	1772,26	52,47	-	-	
UMIDADE																				
Umidade de Natural			2,6	3,6	4,2	2,2		3,0		2,3					2,4	3,21	0,98	-	-	

RESUMO DOS ENSAIOS															
TRECHO: JAZIDA 03 A															
FURO		05	11	13	18	21	23	26	28	31	Tratamento Estatístico dos resultados				
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10					
(m)	ATÉ	1,60	1,40	1,60	0,80	1,20	1,40	0,70	1,40	1,30					
GRANULOMETRIA											X	σ	X _{mín}	X _{máx}	
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-
		1"	100%	100%	100%	86%	100%	100%	100%	97%	100%	98,1%	4,6%	93,9%	100,0%
		3/8"	100%	100%	100%	73%	100%	100%	81%	82%	100%	92,9%	10,9%	83,1%	100,0%
		Nº 4	98%	99%	99%	66%	100%	99%	74%	77%	99%	90,1%	13,6%	77,9%	100,0%
		Nº 10	96%	98%	98%	64%	99%	97%	72%	75%	98%	88,6%	14,0%	76,0%	100,0%
		Nº 40	81%	86%	87%	55%	86%	86%	63%	65%	81%	76,7%	12,2%	65,7%	87,7%
		Nº 200	23%	25%	22%	29%	26%	31%	21%	32%	33%	26,9%	4,5%	22,8%	30,9%
LIMITES DE ATTERBERG															
LL		27,0	34,4	NL	35,1	35,2	32,0	NL	27,0	30,0	31,5%	3,6%	28,3%	34,8%	
LP		20,0	25,6		25,6	25,6	20,9		20,0	19,5	22,5%				
IP		7,0	8,8	NP	9,5	9,6	11,1	NP	7,0	10,5	9,1%	1,6%	7,6%	10,5%	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S															
HRB		A-2-4	A-2-4	A-1-a	A-2-4	A-2-4	A-2-6	A-1-a	A-2-4	A-2-6	-	-	-	-	
CLASSIFICAÇÃO UCS		SM	SC	SM	SC/SM	SC	SC	SM	SC	SC	-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO															
Hótima (%)		12,2	11,8	11,9	13,6	12,5	12,5	12,5	11,6	12,0	12,29	0,59	-	-	
D _{máx} (g/cm ³)		1.835	1.810	1.735	1.740	1.885	1.810	1.850	1.890	1.825	1820,00	54,89	-	-	
UMIDADE															
Umidade de Natural		1,0	2,4	5,1	1,2	1,0	2,6	1,5	2,4		2,15	1,36	-	-	

RESUMO DOS ENSAIOS																					
TRECHO: JAZIDA Nº 04																					
FURO		03	04	08	10	12	17	36	48	60	72	80	84	Tratamento Estatístico dos resultados							
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10								
(m)	ATÉ	1,20	1,60	1,90	1,70	1,66	1,60	1,85	1,50	1,60	0,80	1,75	1,75								
GRANULOMETRIA														X	σ	Xmín	Xmáx				
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	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%	100,0%	0,0%	100,0%	100,0%			
		3/8"	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99,2%	2,9%	96,6%	100,0%			
		Nº 4	87%	100%	100%	98%	100%	100%	100%	96%	96%	96%	100%	95%	97,3%	3,8%	93,9%	100,0%			
		Nº 10	70%	97%	98%	96%	98%	98%	95%	93%	92%	89%	97%	93%	93,0%	7,8%	86,0%	100,0%			
		Nº 40	58%	86%	86%	84%	88%	88%	83%	72%	73%	72%	79%	75%	78,7%	9,0%	70,6%	86,7%			
		Nº 200	40%	43%	48%	39%	44%	38%	41%	40%	39%	41%	42%	42%	41,4%	2,7%	39,0%	43,9%			
LIMITES DE ATTERBERG																					
LL		37,0%	47,0%	41,2%	38,0%	41,1%	36,0%	38,0%	38,0%	33,0%	36,0%	38%	36%	38,3%	3,5%	35,1%	41,5%				
LP		24,0%	34,0%	27,0%	26,0%	27,0%	24,0%	26,0%	24,0%	21,0%	24,0%	25,0%	24,0%	25,5%							
IP		13,0%	13,0%	14,2%	12,0%	14,1%	12,0%	12,0%	14,0%	12,0%	12,0%	13%	12%	12,8%	0,9%	12,0%	13,6%				
IG		3	3	4	3	4	3	3	4	2	3	3	3	-	-	-	-				
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S																					
CLASSIFICAÇÃO SUCS		SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	-	-	-	-				
COMPACTAÇÃO																					
Hótima (%)		11,1	11,5	14,5	13,5	14,3	11,3	11,4	11,1	12,4	11,6	11,6	12,6	12,24	1,23	-	-				
Dmáx (g/cm ³)		1.760	1.900	1.930	1.870	1.960	1.810	1.940	1.870	1.900	1.880	1.820	1.850	1874,17	57,91	-	-				

RESUMO DOS ENSAIOS																					
TRECHO: JAZIDA Nº 04 A																					
FURO		02	16	11	20	29	34	40	45	50	54	64	74	79	83	Tratamento Estatístico dos resultados					
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10						
(m)	ATÉ	1,70	1,60	1,65	1,80	1,70	1,70	2,30	1,50	2,10	2,20	1,10	0,60	0,65	1,95						
GRANULOMETRIA																X	σ	Xmín	Xmáx		
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-	
		1"	100%	100%	100%	100%	89%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99,2%	2,9%	96,6%	100,0%
		3/8"	100%	100%	100%	100%	78%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97%	100%	100%	98,2%	5,9%	92,9%	100,0%
		Nº 4	100%	100%	100%	100%	73%	100%	100%	92%	92%	95%	100%	93%	100%	94%	95,6%	7,3%	89,0%	100,0%	
		Nº 10	98%	98%	99%	98%	72%	98%	94%	88%	83%	88%	97%	86%	92%	84%	91,1%	8,0%	83,9%	98,2%	
		Nº 40	91%	89%	86%	89%	65%	85%	69%	68%	61%	63%	78%	70%	71%	69%	75,3%	10,7%	65,7%	84,9%	
		Nº 200	46%	43%	39%	45%	45%	47%	34%	38%	32%	40%	40%	45%	39%	43%	41,1%	4,5%	37,1%	45,2%	
LIMITES DE ATTERBERG																					
LL	37%	33%	35%	40%	40%	36%	35%	29%	38%	41%	32%	30%	36%	29%	35,1%	4,0%	31,5%	38,7%			
LP	24%	21%	21%	27%	26%	25%	23%	19%	25%	27%	20%	17%	24%	17%	23%						
IP	13%	12%	14%	13%	14%	11%	12%	10%	13%	14%	12%	13%	12%	12%	12,5%	1,2%	11,5%	13,5%			
IG	4	3	2	4	4	3	2	1	2	4	2	3	2	2	-	-	-	-			
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S																-	-	-	-		
CLASSIFICAÇÃO SUCS	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	-	-	-	-		
COMPACTAÇÃO																					
Hótima (%)	12,8	13,4	13,0	12,2	13,6	13,7	12,4	14,0	12,8	13,8	12,4	12,5	13,4	12,8	13,06	0,59	-	-			
Dmáx (g/cm ³)	1.800	1.790	1.790	1.830	1.860	1.910	1.880	1.870	1.850	1.830	1.860	1.920	1.880	1.900	1855,00	42,56	-	-			

RESUMO DOS ENSAIOS										
TRECHO: JAZIDA Nº 05										
FURO		02	04	06	08	Tratamento Estatístico dos resultados				
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10					
(m)	ATÉ	1,80	1,80	1,55	1,80					
GRANULOMETRIA						X	σ	Xmin	Xmáx	
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"				-	-	-	-	
		1"	100%	100%	100%	100%	100,0%	0,0%	100,0%	100,0%
		3/8"	100%	98%	85%	100%	95,8%	7,2%	89,3%	100,0%
		Nº 4	100%	97%	82%	100%	94,8%	8,6%	87,0%	100,0%
		Nº 10	98%	96%	81%	98%	93,3%	8,2%	85,9%	100,0%
		Nº 40	88%	82%	69%	85%	81,0%	8,4%	73,5%	88,5%
		Nº 200	34%	37%	37%	43%	37,8%	3,8%	34,4%	41,1%
LIMITES DE ATTERBERG										
LL		38,0%	39,0%	35,0%	39,0%	37,8%	1,9%	36,1%	39,4%	
LP		25,0%	25,0%	21,0%	26,0%	24,3%				
IP		13,0%	14,0%	14,0%	13,0%	13,5%	0,6%	13,0%	14,0%	
IG		11	13	10	11	-	-	-	-	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S										
CLASSIFICAÇÃO SUCS		A-6	A-6	A-6	A-6	-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO										
Hótima (%)		13,8	14,2	14,5	12,9	13,85	0,70	-	-	
Dmáx (g/cm ³)		1.870	1.920	1.960	1.880	1907,50	41,13	-	-	

RESUMO DOS ENSAIOS																						
TRECHO: JAZIDA 8																						
FURO		02	10	14	16	26	30	40	46	50	57	61	68	74	93	99	101	107	110	116	122	
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
	(m) ATÉ	1,10	2,50	1,50	2,10	2,50	2,20	2,40	1,90	1,00	0,60	0,60	1,40	0,60	1,70	1,70	1,20	2,10	1,60	1,50	1,30	
GRANULOMETRIA																						
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
		1"	100%	96%	92%	100%	100%	98%	100%	100%	93%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	91%	98%
		3/8"	100%	89%	80%	95%	93%	92%	100%	100%	89%	97%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	99%	100%	89%	94%
		Nº 4	99%	86%	74%	94%	91%	88%	99%	99%	88%	97%	100%	99%	99%	100%	99%	100%	98%	99%	88%	93%
		Nº 10	99%	84%	70%	93%	89%	88%	98%	97%	88%	96%	99%	99%	98%	99%	99%	99%	97%	98%	88%	92%
		Nº 40	91%	75%	62%	84%	80%	80%	88%	79%	82%	89%	88%	91%	90%	88%	83%	75%	89%	87%	80%	83%
		Nº 200	50%	47%	28%	49%	50%	48%	51%	45%	51%	53%	49%	53%	42%	41%	48%	48%	52%	46%	48%	38%
LIMITES DE ATTERBERG																						
LL		29%	38%	34%	37%	30%	36%	29%	38%	29%	29%	33%	29%	38%	36%	33%	33%	29%	30%	29%	36%	
LP		15%	25%	24%	24%	16%	23%	15%	25%	15%	16%	20%	16%	26%	24%	21%	20%	16%	18%	16%	24%	
IP		14%	13%	10%	13%	14%	13%	14%	13%	14%	13%	13%	13%	12%	12%	12%	13%	13%	12%	13%	12%	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																						
CLASSIFICAÇÃO UCS		CL	SC	SC/SM	SC	CL	SC	CL	SC	CL	CL	SL	CL	SC	SC	SC	SC	CL	SC	SC	SC	
COMPACTAÇÃO																						
Hótima (%)		14,8	16,0	15,3	16,4	16,2	14,3	14,5	15,0	13,8	14,1	14,6	14,7	13,9	13,6	15,0	15,0	16,4	13,6	15,4	15,0	
D _{máx} (g/cm ³)		1.791	1.790	1.880	1.650	1.820	1.765	1.825	1.880	1.700	1.900	1.800	1.825	1.720	1.750	1.880	1.690	1.660	1.618	1.720	1.810	

RESUMO DOS ENSAIOS													
TRECHO: JAZIDA 8													
FURO		124	129	137	142	150	158	168	Tratamento Estatístico dos resultados				
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10					
(m)	ATÉ	1,50	2,20	2,10	1,60	1,80	1,80	2,20	X	σ	Xmín	Xmáx	
GRANULOMETRIA													
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-
		1"	85%	100%	100%	100%	100%	100%	97%	98,1%	94,0%	94,7%	100,0%
		3/8"	63%	100%	99%	100%	100%	95%	89%	94,9%	86,4%	87,3%	100,0%
		Nº 4	58%	99%	98%	99%	99%	94%	86%	93,4%	79,7%	84,7%	100,0%
		Nº 10	56%	98%	98%	99%	98%	93%	85%	92,5%	76,5%	83,3%	100,0%
		Nº 40	50%	91%	90%	94%	88%	85%	79%	83,0%	66,8%	74,2%	91,8%
		Nº 200	19%	36%	25%	35%	50%	32%	53%	44,0%	36,3%	35,4%	52,5%
LIMITES DE ATTERBERG													
LL	NL	36%	NL	34%	38%	34%	38%	33,4%	35,8%	30,1%	36,7%		
LP	-	24%	-	23%	26%	23%	24%	20,8%	4,0%				
IP	NP	12%	NP	11%	12%	11%	14%	12,6%	11,9%	11,7%	13,6%		
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.													
CLASSIFICAÇÃO UCS	SM	SC	SM	SC	CL	SC	CL	-	-	-	-		
COMPACTAÇÃO													
Hótima (%)	12,4	13,6	12,2	14,2	16,2	14,4	16,2	14,70	1,16	-	-		
Dmáx (g/cm ³)	1.930	1.730	1.780	1.890	1.780	1.700	1.780	1780,15	84,61	-	-		

RESUMO DOS ENSAIOS														
TRECHO: JAZIDA Nº 09														
FURO		03	14	25	39	50	61	63	84	89	108	115	120	
PROFUNDIDADE (m)	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,10	0,10	0,80	0,60	
	ATÉ	1,70	1,75	2,10	2,10	1,90	2,20	1,10		1,60	3,00	2,20	2,15	
GRANULOMETRIA														
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	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%
		3/8"	100%	100%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%	97%	100%
		Nº 4	100%	98%	78%	100%	100%	100%	98%	99%	100%	88%	96%	100%
		Nº 10	95%	93%	69%	100%	100%	100%	96%	98%	100%	74%	95%	100%
		Nº 40	86%	80%	59%	89%	89%	89%	83%	88%	89%	65%	83%	90%
		Nº 200	32%	29%	37%	31%	33%	38%	35%	35%	39%	37%	40%	32%
LIMITES DE ATTERBERG														
LL		33%	35%	37%	34%	35%	33%	35%		32%	35%	33%	32%	
LP		23%	25%	26%	23%	23%	21%	23%	0%	19%	22%	20%	21%	
IP		10%	10%	11%	11%	12%	12%	12%		13%	13%	13%	11%	
IG														
COMPACTAÇÃO														
Hótima (%)		10,6	10,6	11,7	11,9	12,5	11,2	11,6	13,2	12,6	12,5	13,3	11,7	
Dmáx (g/cm ³)		1.770	1.820	1.780	1.810	1.820	1.800	1.730	1.902	1.840	1.720	1.800	1.770	

RESUMO DOS ENSAIOS														
TRECHO: JAZIDA Nº 09														
FURO		140	161	167	175	193	202	212	222	Tratamento Estatístico dos resultados				
PROFUNDIDADE	DE	1,45	1,00	0,10	0,10	1,90	0,10	0,10	0,00					
(m)	ATÉ	2,10	2,50	1,50	1,85	2,20	1,85	3,00						
GRANULOMETRIA											X	σ	Xmín	Xmáx
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-
		1"	94%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99,7%	1,3%	98,5%	100,0%
		3/8"	82%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97,9%	5,1%	93,3%	100,0%
		Nº 4	73%	91%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	96,0%	7,8%	89,0%	100,0%
		Nº 10	63%	87%	94%	96%	98%	98%	98%	96%	92,5%	10,9%	82,7%	100,0%
		Nº 40	56%	77%	81%	84%	86%	89%	81%	86%	81,5%	10,0%	72,5%	90,5%
	Nº 200	41%	36%	28%	35%	36%	33%	39%	27%	34,7%	4,0%	31,1%	38,2%	
LIMITES DE ATTERBERG														
	LL	32%	38%	34%	35%	34%	36%	32%		34,2%	1,8%	32,6%	35,7%	
	LP	19%	26%	24%	24%	23%	24%	19%						
	IP	13%	12%	10%	11%	11%	12%	13%		11,7%	1,1%	10,7%	12,6%	
	IG									-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO														
	Hótima (%)	13,6	12,3	10,6	11,3	12,0	11,4	12,6	14,2	12,07	1,01	-	-	
	Dmáx (g/cm ³)	1.800	1.720	1.850	1.810	1.700	1.830	1.830	1.783	1794,25	49,65	-	-	

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

- Permeabilidade de Carga Variável.
- Cisalhamento direto
- Triaxial

Como os ensaios de permeabilidade de carga variável e o triaxial não são normalizados, foram realizados por técnicas usuais. A seguir serão apresentados o resumo dos resultados dos ensaios realizados.

ENSAIOS DE PERMEABILIDADE DE CARGA VARIÁVEL

Quadro.7.2 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 02

FURO	PERMEABILIDADE
16	6.9E-07
29	6.0E-07
48	7.4E-07
66	4.5E-07
68	4.7E-07
MÉDIA	5.9E-07

Quadro 7.3 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 03A

FURO	PERMEABILIDADE
31	5.5E-07
MÉDIA	5.5E-07

Quadro 7.4 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 04

FURO	PERMEABILIDADE
10	4.2E-06
17	9.9E-07
MÉDIA	2.6E-06

Quadro.7.5 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 04A

FURO	PERMEABILIDADE
20	7.7E-07
34	8.2E-07
MÉDIA	7.9E-07

Quadro.7.6 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 05

FURO	PERMEABILIDADE
8	8.8E-07
15	8.7E-07
MÉDIA	8.8E-07

Quadro.7.7 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 08

FURO	PERMEABILIDADE
10	3,0E-07
53	6,7E-07
61	3,2E-07
80	7,3E-07
137	8,9E-06
MÉDIA	2,19E-06

Quadro.7.8 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 09

FURO	PERMEABILIDADE
3	7.8E-07
50	6.9E-07
89	5.7E-07
212	5.3E-07
MÉDIA	6.4E-07

ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO

Quadro 7.9 –Cisalhamento direto – Jazida 01

FURO	COESÃO (kPa)	ATRITO (Φ)
14	5	33.6
24	10	32.1
57	6	32.5
69	6	35.6
MÉDIA	6.75	33.45

Quadro 7.10 –Cisalhamento direto – Jazida 02

JAZIDA 2		
FURO	COESÃO (kPa)	ATRITO (Φ)
16	14	31.9
29	6	30.4
66	7	27.3
68	8	31.2
MÉDIA	8.75	30.2

Quadro 7.11 –Cisalhamento direto – Jazida 03

JAZIDA 3		
FURO	COESÃO (kPa)	ATRITO (Φ)
9	18	32.9
29	13	33.5
38	11	33.9
44	9	31.3
MÉDIA	12.75	32.9

Quadro 7.12 –Cisalhamento direto – Jazida 03A

JAZIDA 3A		
FURO	COESÃO (kPa)	ATRITO (Φ)
31	11	30.2

Quadro 7.13 –Cisalhamento direto – Jazida 08

FURO	COESÃO (kPa)	ATRITO (Φ)
10	16	31,3
53	12	31,9
61	17	32,2
137	6	33,9
MÉDIA	12,75	32,325

Quadro 7.14 –Ensaio triaxial – Jazida 08

ENSAIOS TRIAXIAIS – JAZIDA 08					
Amostra	TIPO	COESÃO (kPa)		ÂNGULO DE ATRITO (ϕ)	
		TOTAL	EFETIVA	TOTAL	EFETIVO
JAZIDA 8 FURO 92	CU	25	23	18	20,5
JAZIDA 8 FURO 150	CU	25	35	20	22

7.2 Areal

O areal mais próximo identificado situa-se nos bancos do Rio Jatobá, nas proximidades da cidade de Ipueiras, numa distancia média de 46 km do eixo da barragem Lontras.

Foram coletadas amostras na área do rio para a realização dos seguintes ensaios de laboratório:

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

Nos quadros a seguir são mostrados os resultados médios dos ensaios de laboratório realizados no Areal.

Quadro 7.15 - Valores Médios dos Ensaios do Areal Jatobá

GRANULOMETRIA AREAL DO RIO JATOBÁ							
FURO	1"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 80	Nº 200
01	100%	100%	97,8%	80,1%	15,0%	2,4%	0,4%
02	100%	98,5%	94,5%	77,5%	16,4%	2,8%	0,8%

03	100%	100%	96,1%	78,4%	17,0%	2,9%	1,0%
04	100%	99,4%	94,3%	76,4%	15,8%	2,6%	0,8%
05	100%	98,1%	95,2%	78,2%	18,6%	3,6%	1,2%
06	100%	97,9%	94,2%	75,5%	15,9%	2,8%	0,9%
07	100%	97,0%	93,2%	79,0%	19,4%	3,3%	1,2%
08	100%	99,7%	96,1%	79,7%	18,1%	3,0%	1,3%
09	100%	100%	97,5%	83,4%	22,0%	4,0%	2,0%
10	100%	99,3%	96,4%	83,4%	21,8%	3,6%	1,2%
11	100%	98,3%	94,4%	80,3%	20,9%	3,0%	0,8%
12	100%	98,7%	95,7%	94,1%	23,4%	4,2%	1,6%
13	100%	99,0%	96,0%	78,0%	17,0%	3,0%	1,0%
14	100%	98,0%	95,0%	78,0%	19,0%	4,0%	1,0%
15	100%	98,0%	94,0%	80,0%	21,0%	3,0%	0,8%
MÉDIA	100%	99%	95%	80%	19%	3%	1%

7.3 Pedreiras

As pedreiras foram identificadas e estudadas para a execução das transições, espaldar de enrocamento de jusante e agregados dos concretos.

A pedreira 01 estudada para utilização nos espaldares da barragem, ficando uma situada no ponto de coordenadas UTM 283.233 e 9.500.912, com distância média de transporte de 1,9Km à montante do eixo da barragem, chamada de P-01.

Trata-se de um paredão em arenito aparentemente muito coerente, marcado por uma escarpa rochosa íngreme, com altura suficiente para comportar diversas bancadas de exploração superpostas e que oferece boas condições de aproximação e de frente de ataque. A imagem abaixo (Figura 7.12), extraída do Google Earth, mostra o local da possível fonte de rocha.

Oito ensaios de abrasão Los Angeles, de amostras da superfície retiradas do paredão arenítico, apresentaram valores variando de 36 a 43%, sendo a média de 40%

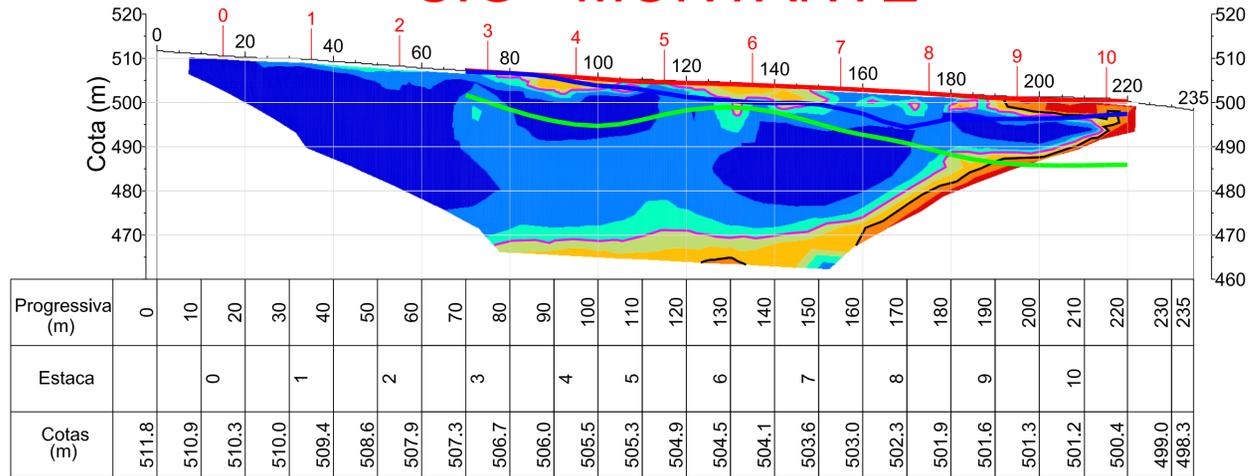


Figura 7.12 - Possível área-fonte de rocha para enrocamento

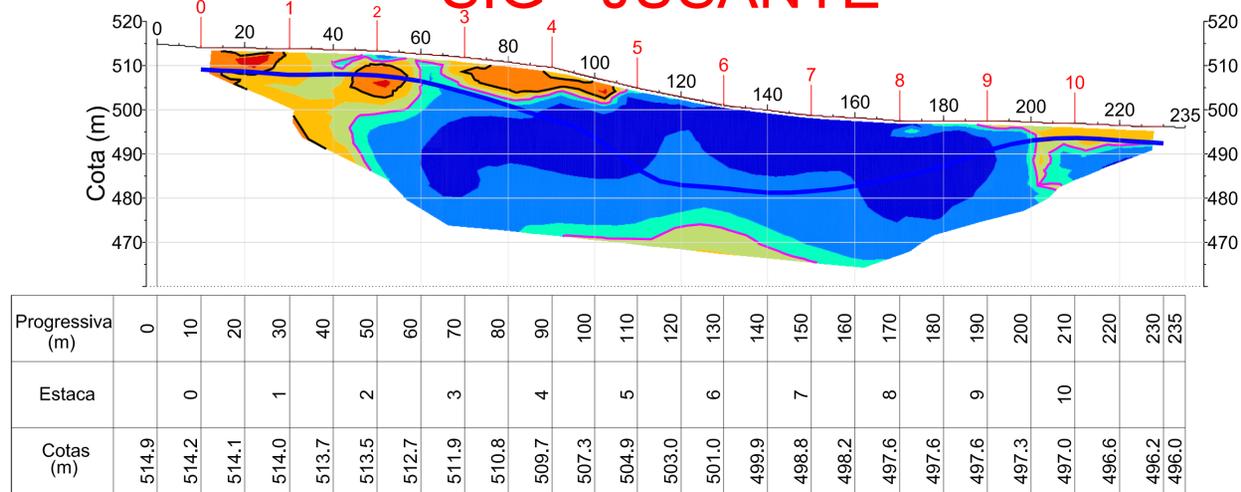
A pedreira 02 para transições finas e obras de concreto, situa-se próximo do ponto UTM 304.703 e 9.491.143, distando de cerca de 35,9 km do eixo barravel.

8. ANEXOS

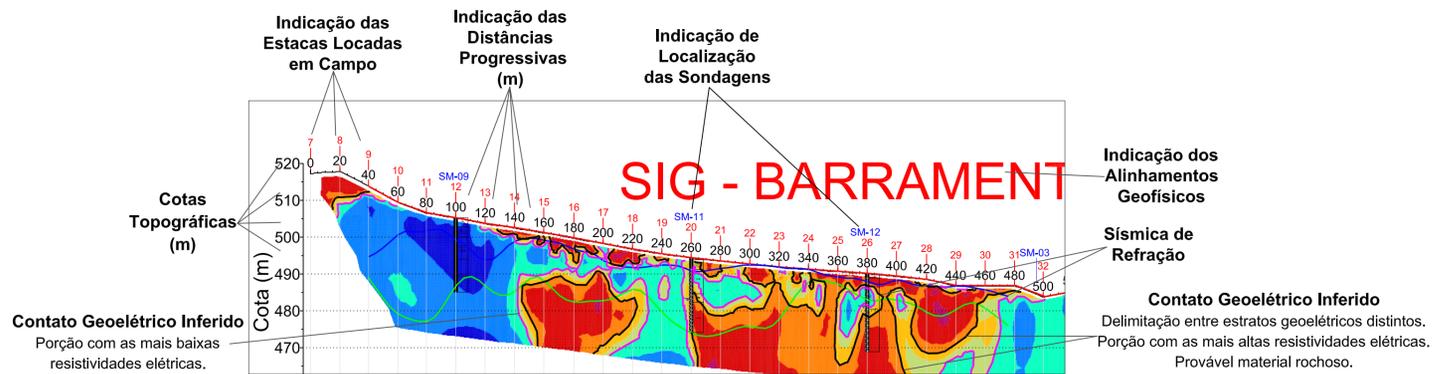
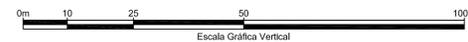
SIG - MONTANTE



SIG - JUSANTE



Escala Cromática das Resistividades Elétricas (Ohm.m)



LEGENDA

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

REVISÕES

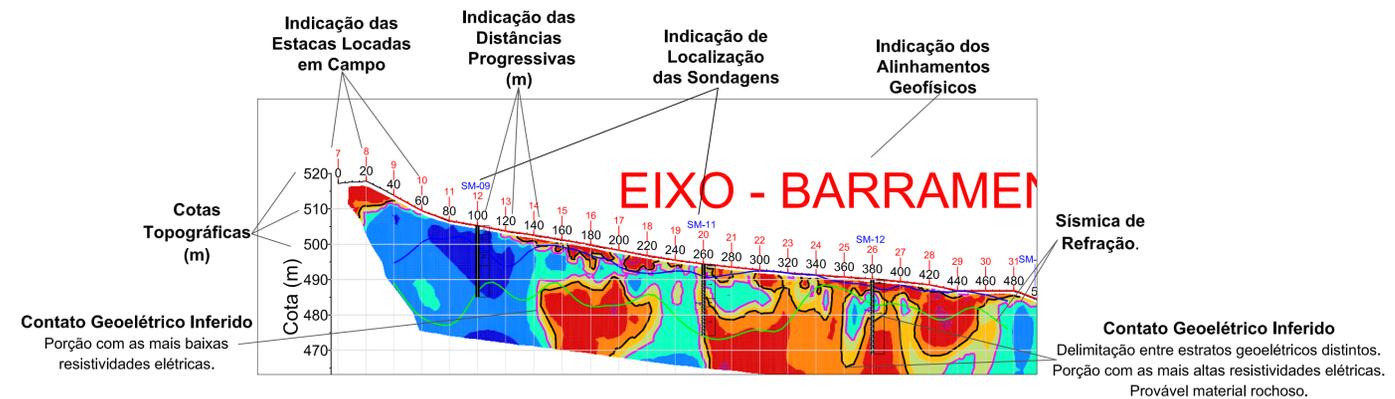
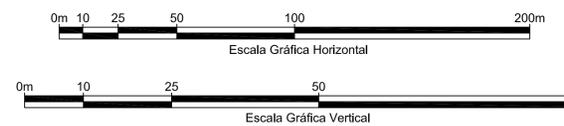
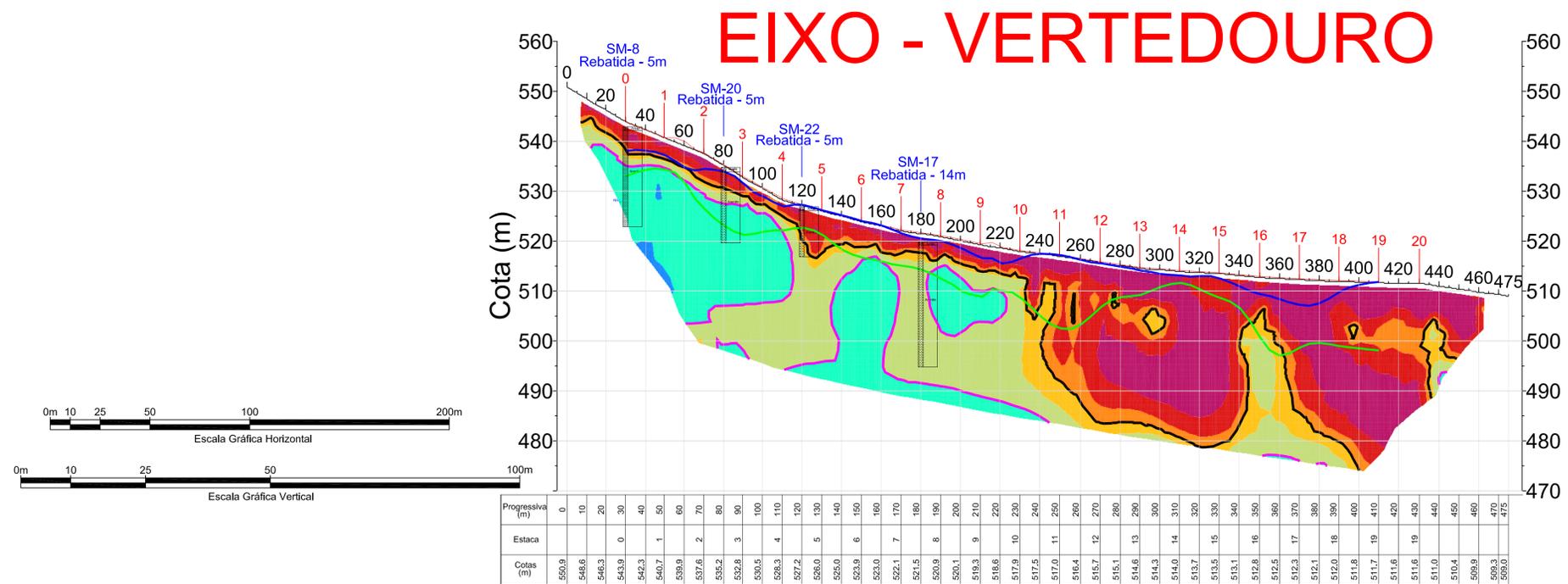
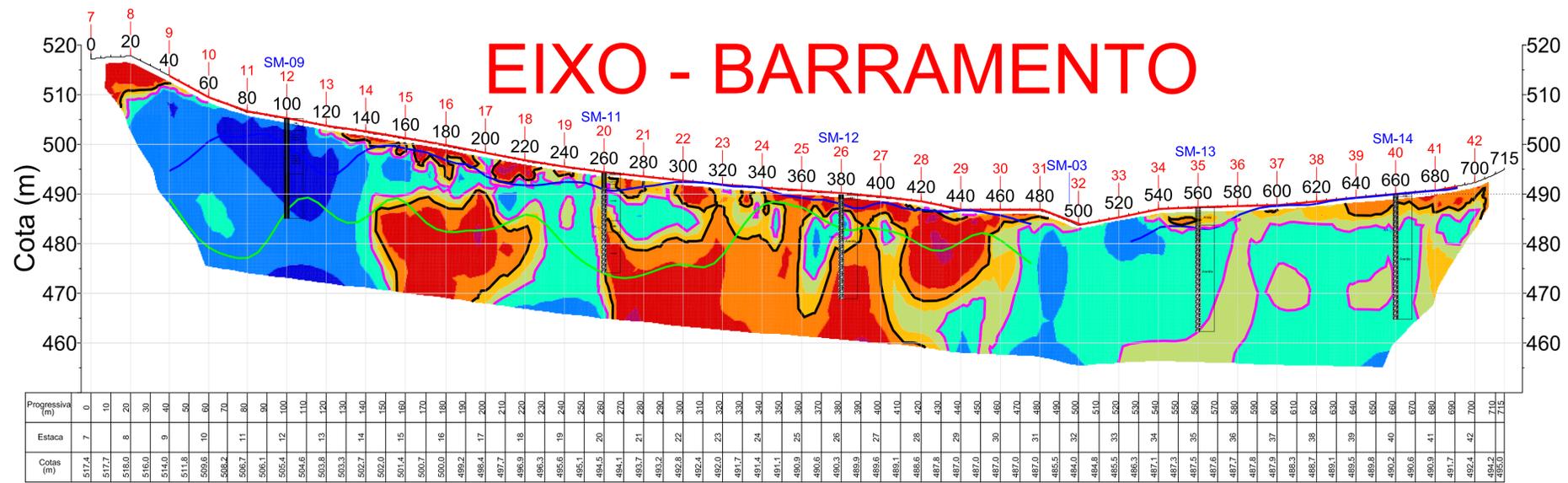
N°	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

Ministério da Integração Nacional - MI Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos - PROÁGUA NACIONAL
 Projeto de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos PROGERIRH II
 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
 SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS
 ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E DO PROJETO EXECUTIVO DO EIXO DE INTEGRAÇÃO DA IBIAPABA/CE PARA CONSTRUÇÃO DAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU, DO CANAL/TÚNEL E DA PENSTOCK/PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH
PROJETO EXECUTIVO BARRAGEM LONTRAS EIXOS BARRAMENTO e VERTEDOURO

CONSORCIO:

ESCALA: 1/2500
 DATA: REVISÃO DEZEMBRO/2012
 ARQUIVO:
 RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:

DESENHISTA:
 DESENHO: 7L
 PRANCHA:



LEGENDA

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

REVISÕES

N°	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

Ministério da Integração Nacional - MI Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos - PROÁGUA NACIONAL
 Projeto de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos PROGERIRH II
 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
 SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS
 ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E DO PROJETO EXECUTIVO DO EIXO DE INTEGRAÇÃO DA IBIAPABA/CE PARA CONSTRUÇÃO DAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU, DO CANAL/TÚNEL E DA PENSTOCK/PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH

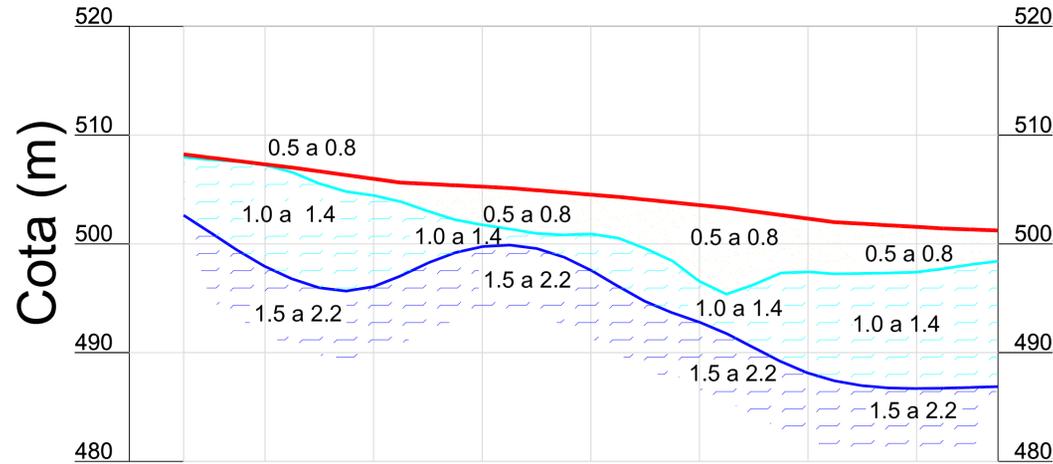
PROJETO EXECUTIVO BARRAGEM LONTRAS EIXOS BARRAMENTO e VERTEDOURO

CONSORCIO:

ESCALA: 1/600
 DATA: REVISÃO DEZEMBRO/2012
 ARQUIVO:
 RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:

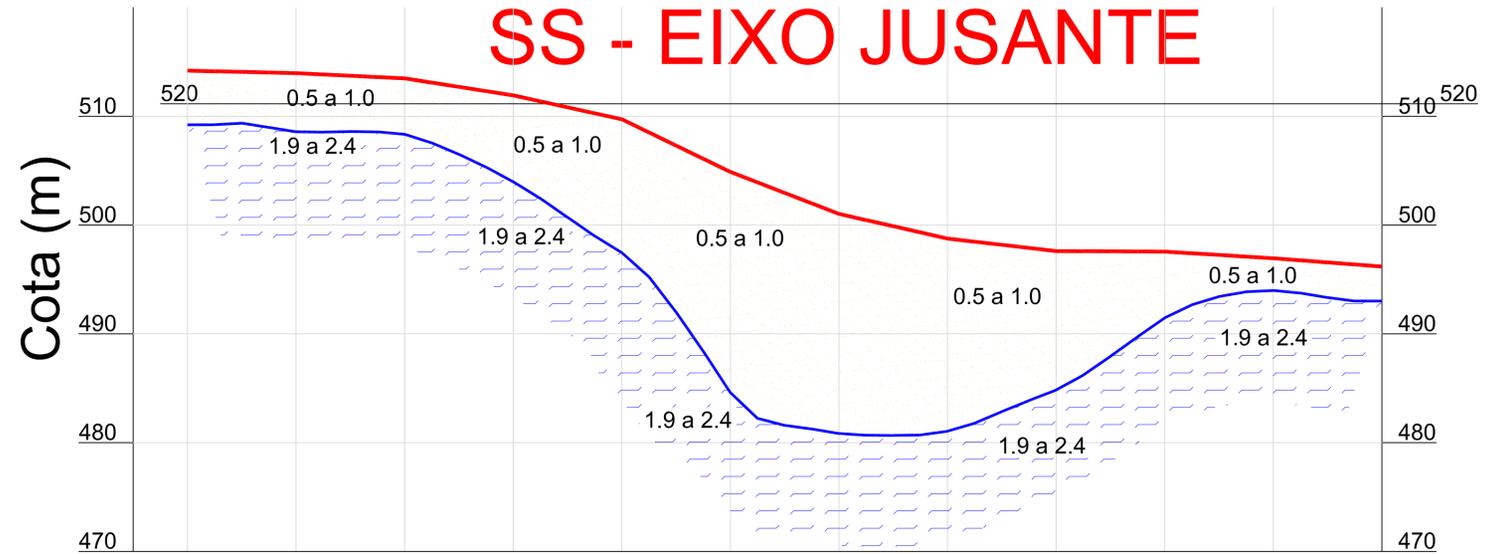
DESENHISTA:
 DESENHO: 6L
 PRANCHA:

SS - EIXO MONTANTE



Progressiva (m)	55	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	205
Estaca		3		4		5		6		7		8		9		10	205
Cotas (m)	508.2	507.9	507.3	506.7	506.0	505.5	505.3	504.9	504.5	504.1	503.6	503.0	502.3	501.9	501.6	501.3	501.2

SS - EIXO JUSANTE



Progressiva (m)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220
Estaca	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11
Cotas (m)	514.2	514.1	514.0	513.7	513.5	512.7	511.9	510.8	509.7	507.3	504.9	503.0	501.0	499.9	498.8	498.2	497.6	497.6	497.6	497.3	497.0	496.6	496.2

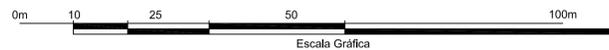
SS - EIXO MONTANTE					
Progr.(m)	Cota Topo.(m)	Prof.Cam.2(m)	Prof.Cam.3(m)	Cota.Cam.2(m)	Cota.Cam.3(m)
55	508.2	0.3	5.6	508.0	502.6
60	507.9	0.2	6.9	507.7	501.0
65	507.6	0.1	8.2	507.6	499.4
70	507.3	0.1	9.4	507.3	497.9
75	507.0	0.4	10.2	506.6	496.8
80	506.7	1.1	10.7	505.5	496.0
85	506.3	1.5	10.7	504.8	495.7
90	506.0	1.5	9.9	504.5	496.1
95	505.6	1.8	8.6	503.9	497.1
100	505.5	2.5	7.3	503.0	498.2
105	505.4	3.2	6.2	502.2	499.2
110	505.3	3.5	5.5	501.8	499.8
115	505.1	3.8	5.2	501.4	499.9
120	504.9	4.0	5.4	501.0	499.6
125	504.7	3.9	5.9	500.8	498.8
130	504.5	3.6	6.9	500.9	497.6

SS - EIXO MONTANTE					
Progr.(m)	Cota Topo.(m)	Prof.Cam.2(m)	Prof.Cam.3(m)	Cota.Cam.2(m)	Cota.Cam.3(m)
130	504.5	3.6	6.9	500.9	497.6
135	504.3	3.8	8.2	500.5	496.1
140	504.1	4.5	9.4	499.6	494.7
145	503.8	5.4	10.2	498.4	493.7
150	503.6	7.0	10.8	496.6	492.8
155	503.3	7.9	11.6	495.4	491.8
160	503.0	6.7	12.5	496.3	490.5
165	502.7	5.3	13.5	497.3	489.2
170	502.3	4.9	14.2	497.4	488.1
175	502.0	4.8	14.6	497.2	487.4
180	501.9	4.6	14.9	497.3	487.0
185	501.7	4.4	15.0	497.3	486.8
190	501.6	4.2	14.9	497.4	486.7
195	501.4	3.7	14.7	497.7	486.7
200	501.3	3.2	14.5	498.1	486.8
205	501.2	2.8	14.4	498.4	486.9

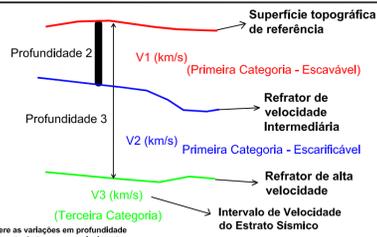
SS - EIXO JUSANTE			
Progr.(m)	Cota Topo.(m)	Prof.Cam.2(m)	Cota.Cam.2(m)
0	514.2	5.0	509.2
5	514.1	4.9	509.2
10	514.1	4.7	509.4
15	514.0	5.0	509.0
20	514.0	5.4	508.6
25	513.9	5.3	508.6
30	513.7	5.1	508.6
35	513.6	5.0	508.6
40	513.5	5.1	508.4
45	513.1	5.5	507.6
50	512.7	6.2	506.5
55	512.3	7.0	505.3
60	511.9	7.9	504.0
65	511.4	8.9	502.5
70	510.8	10.1	500.7

SS - EIXO JUSANTE			
Progr.(m)	Cota Topo.(m)	Prof.Cam.2(m)	Cota.Cam.2(m)
75	510.3	11.3	499.0
80	509.7	12.3	497.5
85	508.5	13.3	495.3
90	507.3	15.3	492.0
95	506.1	17.7	488.4
100	504.9	20.3	484.6
105	503.9	21.7	482.2
110	503.0	21.4	481.6
115	502.0	20.8	481.3
120	501.0	20.2	480.8
125	500.5	19.8	480.7
130	499.9	19.2	480.7
135	499.3	18.6	480.7
140	498.8	17.7	481.1
145	498.5	16.7	481.8

SS - EIXO JUSANTE			
Progr.(m)	Cota Topo.(m)	Prof.Cam.2(m)	Cota.Cam.2(m)
150	498.2	15.3	482.9
155	497.9	14.0	483.9
160	497.6	12.8	484.8
165	497.6	11.4	486.2
170	497.6	9.7	487.9
175	497.6	7.8	489.7
180	497.6	6.1	491.5
185	497.4	4.7	492.7
190	497.3	3.8	493.4
195	497.1	3.2	493.9
200	497.0	3.0	494.0
205	496.8	3.0	493.8
210	496.6	3.2	493.3
215	496.4	3.4	493.0
220	496.2	3.2	493.0



LEGENDA



CORRELAÇÃO ENTRE VELOCIDADES DE ONDA P E TIPOS DE MATERIAIS

	CAMADA 1: 0.5 a 1.0 km/s (Primeira Categoria - Escavável) Material pouco compactado a compactado Solos Superficiais e/ou Residuais
	CAMADA 2: 1.0 a 1.4 km/s (Primeira Categoria - Escarificável) Material medianamente compactado Solos Residuais Compactos
	CAMADA 3: 1.0 a 1.4 km/s (Primeira Categoria - Escarificável) Material medianamente a bastante compactado Solos Residuais Compactos e/ou Material Rochoso com elevado grau de alteração/fraturação (A Compactação deve Aumentar em Profundidade)

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

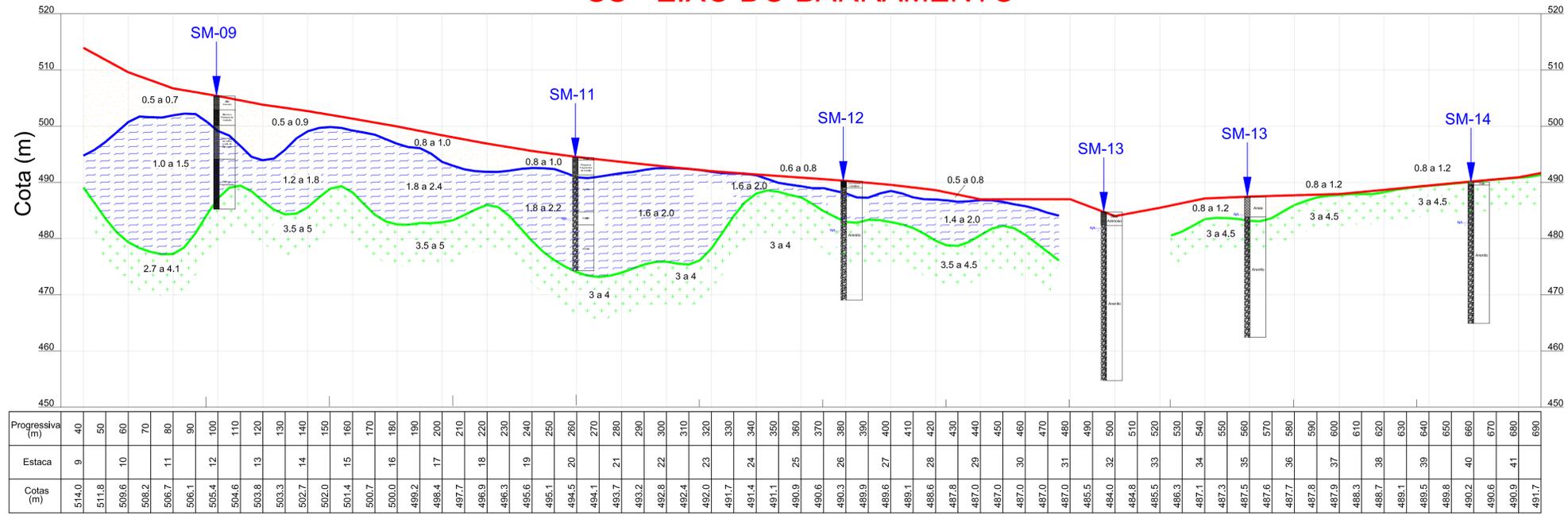
REVISÕES			
N°	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

Ministério da Integração Nacional - MI Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos - PROÁGUA NACIONAL
 Projeto de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos PROGERIRH II
 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
 SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS
 ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E DO PROJETO EXECUTIVO DO EIXO DE INTEGRAÇÃO DA IBIAPABA/CE PARA CONSTRUÇÃO DAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU, DO CANAL/TÚNEL E DA PENSTOCK/PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH
 PROJETO EXECUTIVO BARRAGEM LONTRAS
 EIXOS BARRAMENTO e VERTEDOURO

ESCALA: 1/650
 DATA: REVISÃO DEZEMBRO/2012
 ARQUIVO:
 RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:

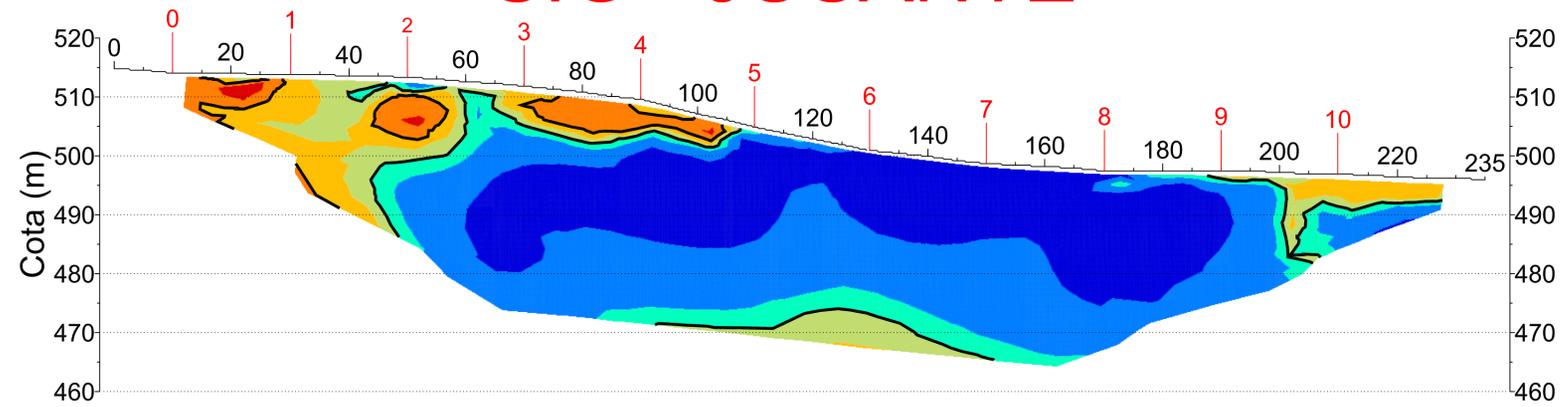
DESENHISTA:
 DESENHO: 5L
 PRANCHA:

SS - EIXO DO BARRAMENTO

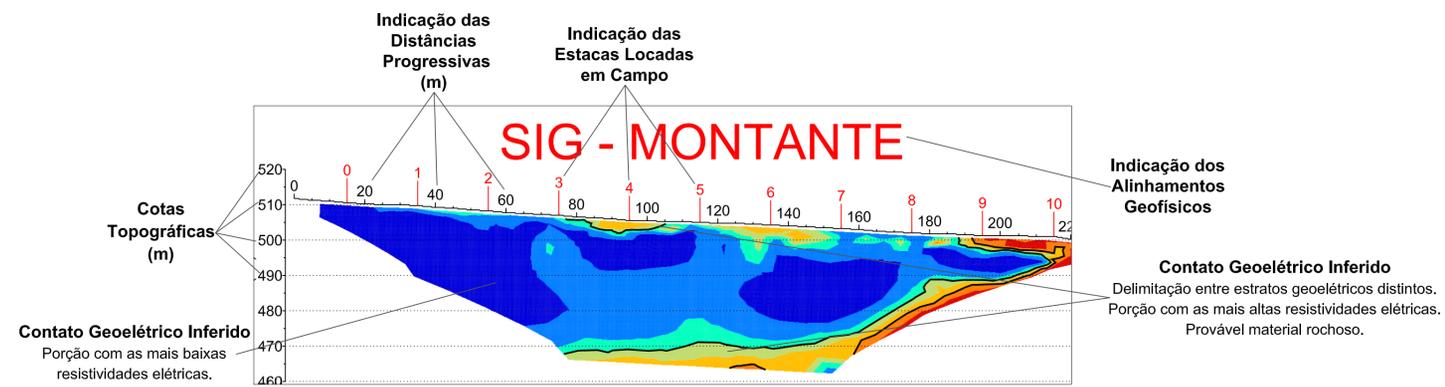
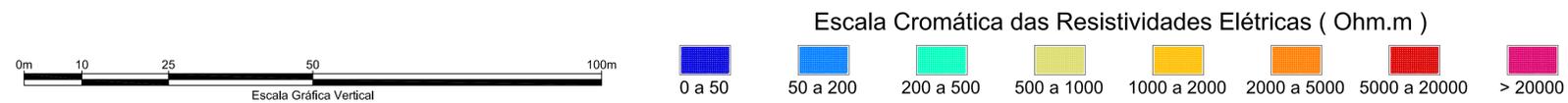
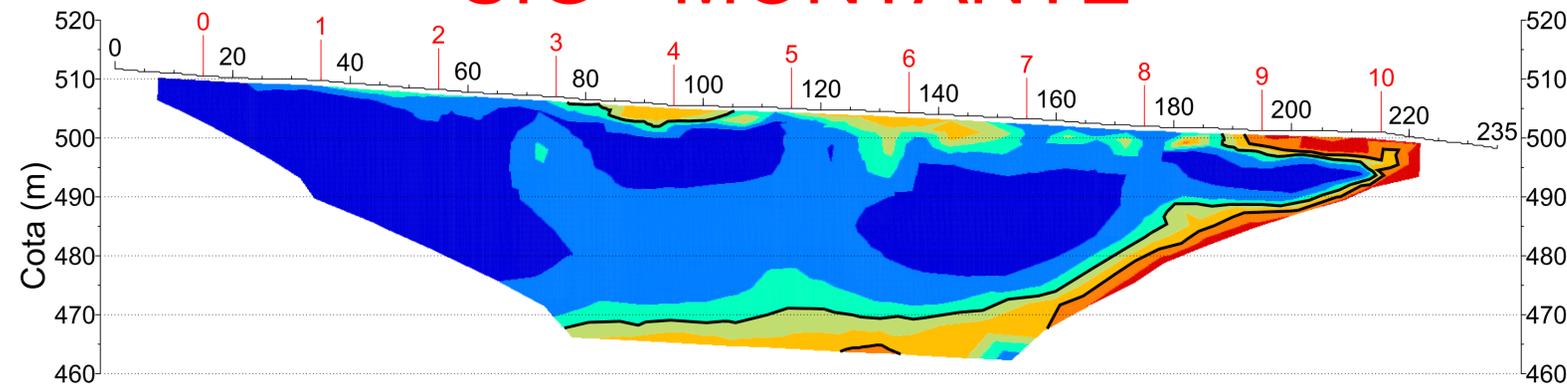


SS - BARRAMENTO					SS - BARRAMENTO					SS - BARRAMENTO					SS - BARRAMENTO					SS - BARRAMENTO					SS - BARRAMENTO										
Progr.(m)	Cota Topo(m)	Prof.Cam.2(m)	Prof.Cam.3(m)	Cota.Cam.2(m)	Cota.Cam.3(m)	Progr.(m)	Cota Topo(m)	Prof.Cam.2(m)	Prof.Cam.3(m)	Cota.Cam.2(m)	Cota.Cam.3(m)	Progr.(m)	Cota Topo(m)	Prof.Cam.2(m)	Prof.Cam.3(m)	Cota.Cam.2(m)	Cota.Cam.3(m)	Progr.(m)	Cota Topo(m)	Prof.Cam.2(m)	Prof.Cam.3(m)	Cota.Cam.2(m)	Cota.Cam.3(m)	Progr.(m)	Cota Topo(m)	Prof.Cam.2(m)	Prof.Cam.3(m)	Cota.Cam.2(m)	Cota.Cam.3(m)	Progr.(m)	Cota Topo(m)	Prof.Cam.2(m)	Prof.Cam.3(m)	Cota.Cam.2(m)	Cota.Cam.3(m)
0	514.0	19.2	24.8	494.8	485.1	85	503.6	9.3	18.4	494.2	485.2	175	497.3	5.3	12.1	492.0	483.3	265	492.6	0.1	17.1	492.5	475.6	355	489.8	1.7	6.5	488.0	483.3	485	485.9	5.4	480.5	483.3	
5	512.9	17.1	26.6	495.8	486.3	90	503.3	7.4	19.0	495.8	484.3	180	496.9	5.0	10.9	491.9	486.0	270	492.4	0.0	17.0	492.4	475.4	360	489.6	1.1	6.6	488.5	483.0	490	486.3	5.1	481.3	483.3	
10	511.8	14.5	28.3	497.3	483.5	95	503.0	5.1	18.5	497.8	484.5	185	496.6	4.7	11.0	491.9	485.6	275	492.2	0.0	16.0	492.2	476.2	365	489.3	1.3	6.8	488.0	482.5	495	486.7	4.4	482.3	483.3	
15	510.7	11.7	29.6	499.0	481.1	100	502.7	3.6	17.1	499.1	485.6	190	496.3	4.2	12.2	492.1	484.0	280	492.0	0.1	13.8	491.9	478.2	370	489.1	1.8	7.2	487.3	481.9	500	487.1	3.7	483.5	483.3	
20	509.6	8.9	30.2	500.7	478.4	105	502.4	2.7	15.1	499.7	487.3	195	495.9	3.5	14.1	492.4	481.9	285	491.9	0.2	10.8	491.7	481.1	375	488.9	1.9	8.0	487.0	480.9	505	487.2	3.8	483.7	483.3	
25	508.9	7.2	30.8	501.7	476.3	110	502.0	2.2	13.2	499.9	489.9	200	495.6	3.0	16.0	492.6	479.6	290	491.7	0.1	7.7	491.6	484.0	380	488.6	1.7	9.0	487.0	479.6	510	487.3	3.7	483.7	483.3	
30	508.2	6.6	30.5	501.6	477.6	115	501.7	2.0	12.4	499.7	489.3	205	495.3	2.8	17.7	492.5	477.7	295	491.6	0.0	5.1	491.6	485.5	385	488.2	1.4	9.4	486.8	478.8	515	487.4	3.9	483.5	483.3	
35	507.5	5.9	30.3	501.6	477.2	120	501.4	2.1	13.1	499.2	488.2	210	495.1	2.7	18.9	492.4	476.2	300	491.4	0.1	3.4	491.3	488.0	390	487.8	1.3	9.1	486.6	476.7	520	487.5	4.3	483.1	483.3	
40	506.7	4.8	29.5	501.9	477.3	125	501.0	2.1	14.8	498.9	486.2	215	494.8	3.1	19.8	491.7	475.0	305	491.3	0.7	2.7	490.6	486.6	395	487.4	0.8	8.0	486.6	475.4	525	487.5	4.4	483.1	483.3	
45	506.4	4.2	28.0	502.2	476.4	130	500.7	2.2	16.4	498.5	484.2	220	494.5	3.6	20.5	490.9	474.0	310	491.1	1.2	2.8	489.9	486.3	400	487.0	0.1	6.4	486.9	480.6	530	487.6	3.9	483.7	483.3	
50	506.1	3.9	25.1	502.2	481.0	135	500.3	2.6	17.3	497.7	483.0	225	494.3	3.5	20.9	490.8	473.4	315	491.0	1.4	3.2	489.6	487.8	405	487.0	0.2	5.2	486.8	481.8	535	487.7	2.8	484.8	483.3	
55	505.7	4.9	21.5	500.9	484.2	140	500.0	3.1	17.4	496.9	482.5	230	494.1	3.1	20.9	491.0	473.2	320	490.9	1.5	3.5	489.3	487.4	410	487.0	0.5	4.7	486.5	482.3	540	487.7	1.7	486.0	483.3	
60	505.4	6.2	18.2	499.2	487.2	145	499.6	3.3	17.1	496.3	482.5	235	493.9	2.5	20.5	491.4	473.4	325	490.7	1.7	4.5	489.0	486.2	415	487.0	0.9	5.2	486.1	481.9	545	487.5	1.1	486.7	483.3	
65	505.0	6.6	16.0	498.4	489.0	150	499.2	3.1	16.4	496.1	482.8	240	493.7	2.9	19.7	491.7	474.0	330	490.6	1.8	5.7	489.0	484.9	420	487.0	1.2	6.3	485.8	480.7	550	487.9	0.5	487.3	483.3	
70	504.6	8.1	15.2	498.5	489.4	155	498.8	3.8	16.0	495.1	482.8	245	493.4	1.8	18.8	491.9	474.7	335	490.4	1.9	6.5	488.5	483.9	425	487.0	1.7	7.8	485.3	479.2	555	487.9	0.3	487.6	483.3	
75	504.2	9.7	15.8	498.6	488.4	160	498.4	4.7	15.5	493.7	482.9	250	493.2	1.0	17.9	492.2	475.4	340	490.3	2.3	7.3	488.0	483.0	430	487.0	2.4	9.4	484.6	477.6	560	487.9	0.2	487.8	483.3	
80	503.8	9.9	17.1	498.0	486.7	165	498.0	5.1	14.7	493.0	483.3	255	493.0	0.5	17.2	492.5	475.9	345	490.1	2.8	7.3	487.3	482.8	435	487.0	2.9	10.9	484.1	476.1	565	488.1	0.2	487.9	483.3	
85	503.6	9.3	18.4	494.2	485.2	170	497.7	5.3	13.4	492.3	484.2	260	492.8	0.3	16.9	492.5	475.9	350	489.9	2.6	6.6	487.3	483.4	440	487.0	2.8	6.6	487.3	483.4	570	488.3	0.4	487.9	483.3	
175	497.3	5.3	12.1	492.0	485.2	180	496.9	5.0	10.9	491.9	486.0	185	496.6	4.7	11.0	491.9	485.6	190	496.3	4.2	12.2	492.1	484.0	195	495.9	3.5	14.1	492.4	481.9	195	495.9	3.5	14.1	492.4	481.9
200	496.9	5.0	10.9	491.9	486.0	200	495.6	3.0	16.0	492.6	479.6	205	495.3	2.8	17.7	492.5	477.7	210	495.1	2.7	18.9	492.4	476.2	215	494.8	3.1	19.8	491.7	475.0	215	494.8	3.1	19.8	491.7	475.0
220	496.9	5.0	10.9	491.9	486.0	220	494.5	3.6	20.5	490.9	474.0	225	494.3	3.5	20.9	490.8	473.4	230	494.1	3.1	20.9	491.0	473.2	235	493.9	2.5	20.5	491.4	473.4	240	493.7	2.9	19.7	491.7	474.0
240	496.6	4.7	11.0	491.9	485.6	240	493.7	2.9	19.7	491.7	474.0	245	493.4	1.8	18.8	491.9	474.7	250	493.2	1.0	17.9	492.2	475.4	255	493.0	0.5	17.2	492.5	475.9	260	492.8	0.3	16.9	492.5	475.9
260	496.3	4.2	12.2	492.1	484.0	260	492.8	0.3	16.9	492.5	475.9	265	492.6	0.1	17.1	492.5	475.6	270	492.4	0.0	17.0	492.4	475.4	275	492.2	0.0	16.0	492.2	476.2	280	492.0	0.1	13.8	491.9	478.2
280	495.6	3.0	16.0	492.6	479.6	280	491.7	0.1	7.7	491.6	484.0	285	491.9	0.2	10.8	491.7	481.1	290	491.7	0.1	7.7	491.6	484.0	295	491.6	0.0	5.1	491.6	485.5	295	491.6	0.0	5.1	491.6	485.5
300	495.1	2.7	18.9	492.4	476.2	300	491.4	0.1	3.4	491.3	488.0	305	491.3	0.7	2.7	490.6	486.6	310	491.1	1.2	2.8	489.9	486.3	315	491.0	1.4	3.2	489.6	487.8	320	490.9	1.5	3.5	489.3	487.4
320	494.5	3.6	20.5	490.9	474.0	320	491.0	1.5	3.5	489.3	487.4	325	490.7	1.7	4.5	489.0	486.2	330	490.6	1.8	5.7	489.0	484.9	335	490.4	1.9	6.5	488.5	483.9	340	490.3	2.3	7.3	488.0	483.0
340	494.1	3.1	20.9	491.0	473.2	340	490.3	2.3	7.3	488.0	483.0	345	490.1	2.8	7.3	487.3	482.8	350	490.0	1.4	3.2	489.6	487.8	355	489.8	1.7	4.5	489.0	486.2	360	489.6	1.8	5.7	489.0	484.9
360	493.7	2.9	19.7	491.7	474.0	360	489.9	2.6	6.6	487.3	483.4	365	489.6	4.7	11.0	491.9	485.6	370	489.6	4.7	11.0	491.9	485.6	375	489.3	1.3	6.8	488.0	482.5	380	489.3	1.3	6.8	488.0	482.5
380	489.9	4.2	12.2	492.1	484.0	380	489.9	2.6	6.6	487.3	483.4	385	489.6	4.7	11.0	491.9	485.6	390	489.9	4.2	12.2	492.1	484.0	395	489.6	4.7	11.0	491.9	485.6	400	489.6	4.7	11.0	491.9	485.6
400	489.6	4.7	11.0	491.9	485.6	400	489.6	4.7	11.0	491.9	485.6	405	489.3	1.3	6.8	488.0	482.5	410	489.3	1.3	6.8	488.0	482.5	415	489.0	1.5	3.5	489.3	487.4	420	488.7	1.5	3.5	489.3	487.4
420	489.3	1.3	6.8	488.0	482.5	420	488.7	1.5	3.5	489.3	487.4	425	488.4	1.7	4.5	489.0	486.2	430	488.4	1.7	4.5	489.0	486.2	435	488.1	1.7	4.5	489.0	486.2	440	487.8	1.3	6.5	488.0	483.3
440	488.7	1.5	3.5	489.3	487.4	440	488.4	1.7	4.5	489.0	486.2	445	488.1	1.7	4.5	489.0	486.2	450	488.1	1.7	4.5	489.0	486.2	455	487.8	1.3	6.5	488.0	483.3	460	488.0	1.7	4.5	489.0	486.2
460	488.4	1.7	4.5	489.0	486.2	460	487.8	1.3	6.5	488.0	483.3	465	488.1	1.7	4.5	489.0	486.2	470	487.8	1.3	6.5	488.0	483.3	475	488.4	1.7	4.5	489.0	486.2	480	488.1	1.7	4.5	489.0	486.2
480	488.1	1.7	4.5	489.0	486.2	480	487.5	4.4	483.1	483.3	485	488.4	1.7	4.5	489.0	486.2	490	487.5	4.4	483.1	483.3	495	488.7	1.5	3.5	489.3	487.4	500	488.4	1.7	4.5	489.0	486.2		
500	488.0	1.7	4.5	489.0	486.2	500	487.2	3.8	483.7	483.3	505	488.7	1.5	3.5	489.3	487.4	510	487.2	3.8	483.7	483.3	515	489.0	1.7	4.5	489.0	486.2	520	488.7	1.5	3.5	489.3	487.4		
520	487.8	1.3	6.5	488.0	483.3	520	486.9	2.8	484.8	483.3	525	489.3	1.3	6.8	488.0	482.5	530	486.9	2.8	484.8	483.3	535	489.6												

SIG - JUSANTE



SIG - MONTANTE



LEGENDA :

NOTAS :

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

REVISÕES			
N°	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

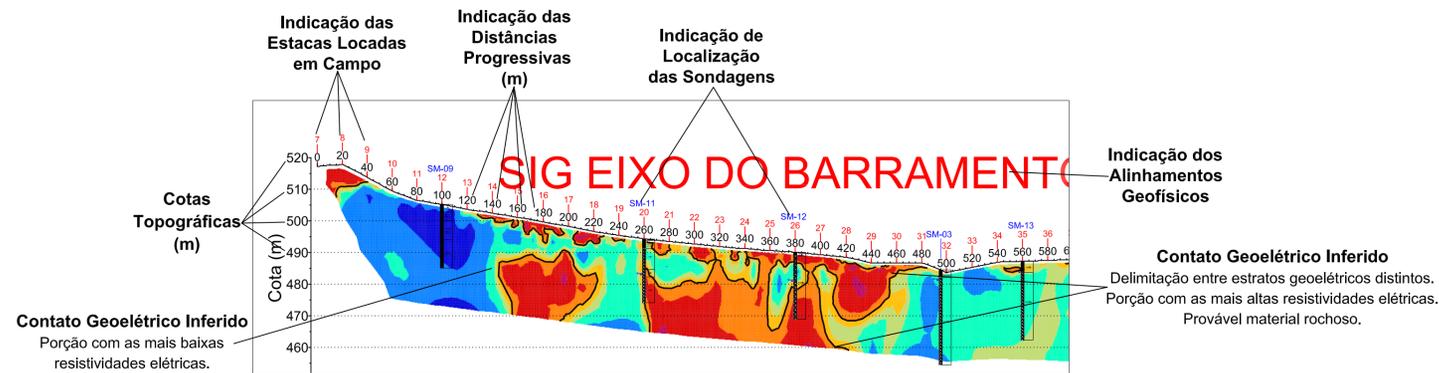
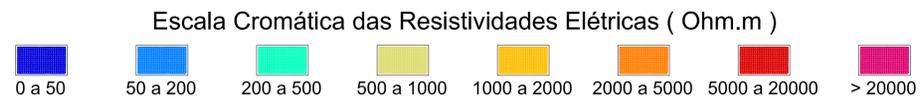
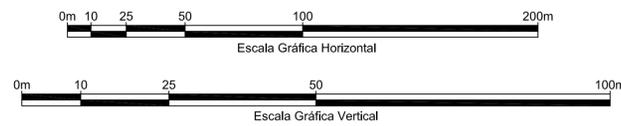
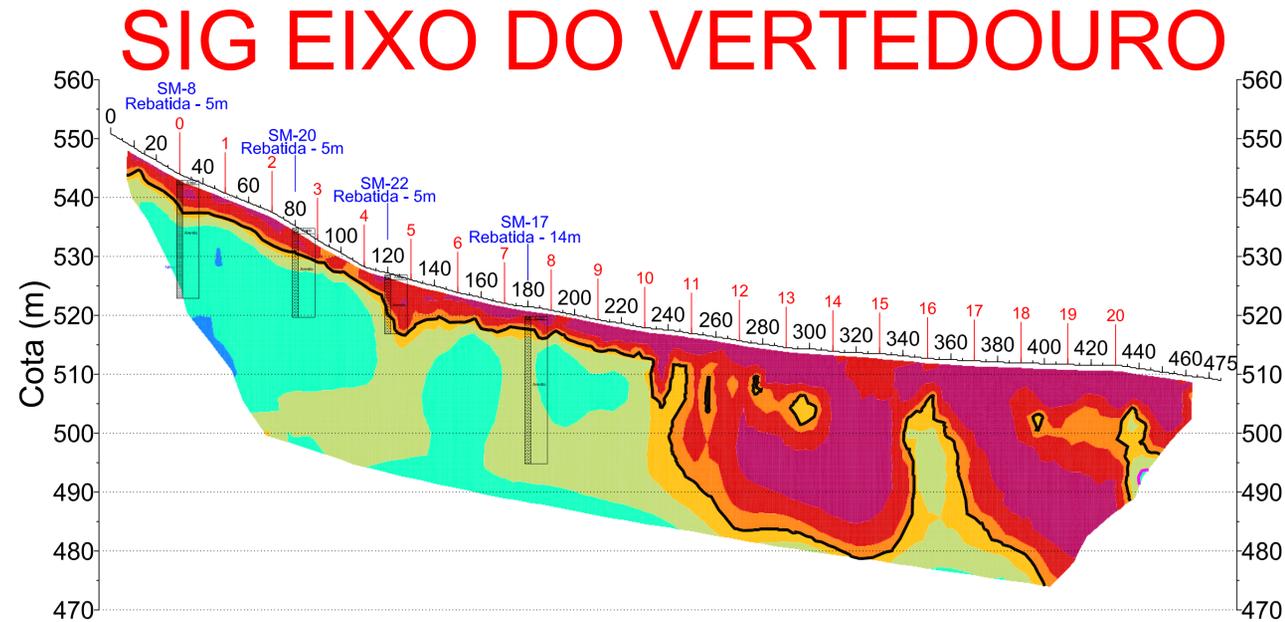
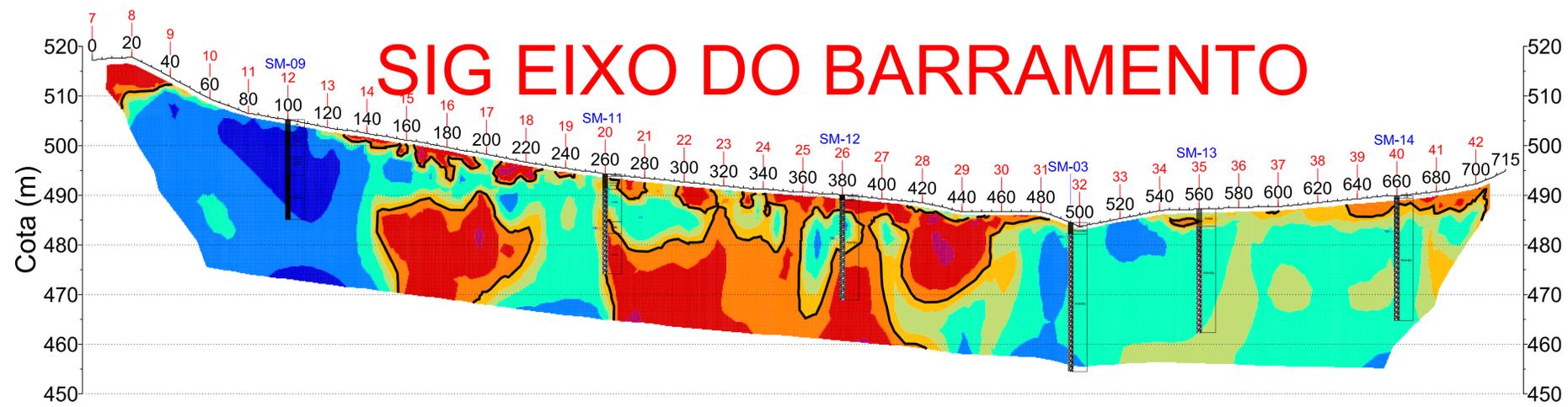
Ministério da Integração Nacional - MI Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos - PROÁGUA NACIONAL
 Projeto de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos PROGERIRH II
 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
 SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E DO PROJETO EXECUTIVO DO EIXO DE INTEGRAÇÃO DA IBIAPABA/CE PARA CONSTRUÇÃO DAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU, DO CANAL/TÚNEL E DA PENSTOCK/PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH

PROJETO EXECUTIVO BARRAGEM LONTRAS
SEÇÕES IMAGEAMENTO GEOELÉTRICO

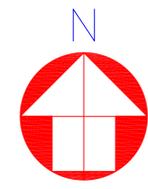
CONSORCIO:

ESCALA: 1/600	DESENHISTA:
DATA: REVISÃO DEZEMBRO/2012	DESENHO: 3L
ARQUIVO:	PRANCHA:
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:	



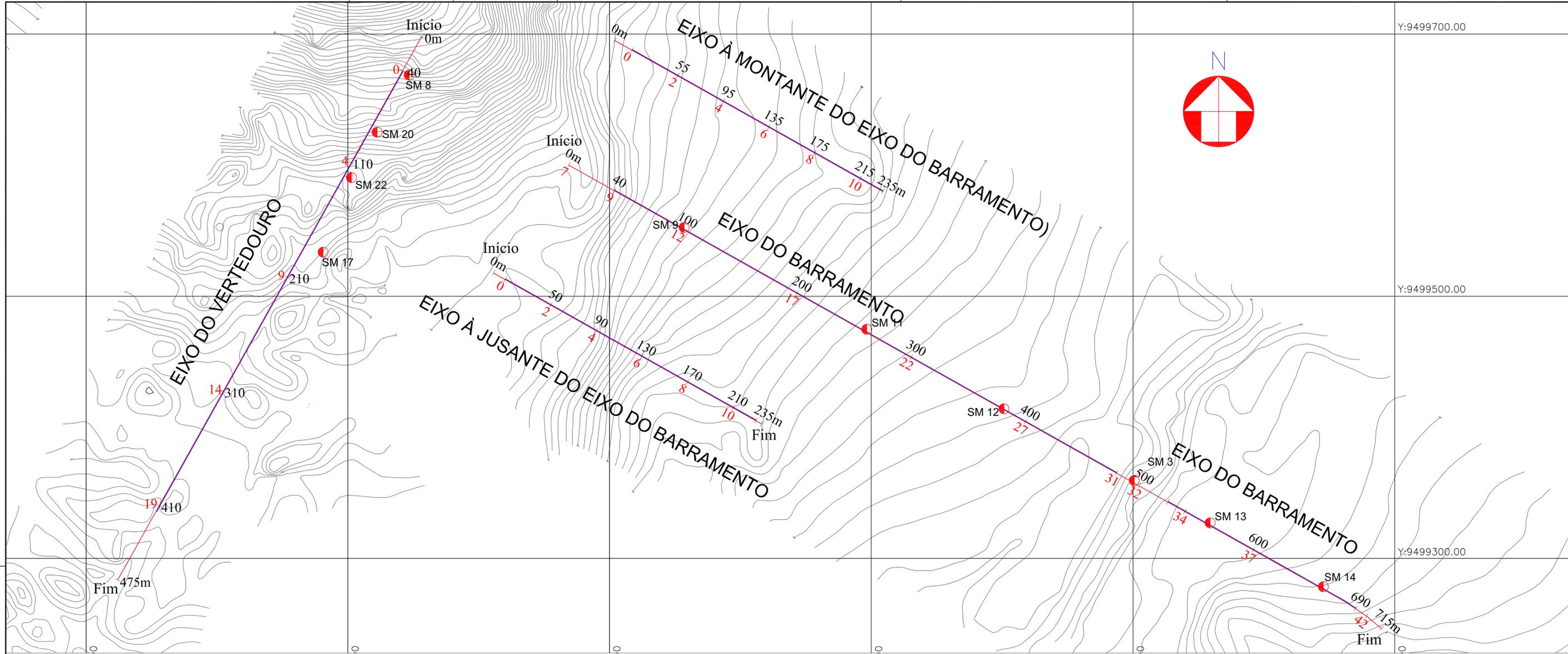
LEGENDA :	NOTAS :	DESENHOS DE REFERÊNCIA :	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">REVISÕES</th> </tr> <tr> <th style="width: 5%;">N°</th> <th style="width: 65%;">NATUREZA DA REVISÃO</th> <th style="width: 15%;">DATA</th> <th style="width: 15%;">APROVO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	REVISÕES				N°	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO																																									<p style="text-align: center;">Ministério da Integração Nacional - MI Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos - PROÁGUA NACIONAL</p> <p style="text-align: center;">Projeto de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos PROGERIRH II</p> <p style="text-align: center;">GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</p> <p style="text-align: center;">SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS</p> <p style="text-align: center;">ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E DO PROJETO EXECUTIVO DO EIXO DE INTEGRAÇÃO DA IBIAPABA/CE PARA CONSTRUÇÃO DAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU, DO CANAL/TÚNEL E DA PENSTOCK/PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH</p> <p style="text-align: center;">PROJETO EXECUTIVO BARRAGEM LONTRAS</p> <p style="text-align: center;">SEÇÕES IMAGEMAMENTO GEOELÉTRICO</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">CONSORCIO:</td> <td style="width: 30%;">ESCALA: 1/600</td> <td style="width: 40%;">DESENHISTA:</td> </tr> <tr> <td> </td> <td>DATA: REVISÃO DEZEMBRO/2012</td> <td>DESENHO: 2L</td> </tr> <tr> <td> </td> <td>ARQUIVO: </td> <td>PRANCHA: </td> </tr> <tr> <td colspan="3">RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:</td> </tr> </table>	CONSORCIO:	ESCALA: 1/600	DESENHISTA:		DATA: REVISÃO DEZEMBRO/2012	DESENHO: 2L		ARQUIVO:	PRANCHA:	RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:		
REVISÕES																																																																
N°	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO																																																													
CONSORCIO:	ESCALA: 1/600	DESENHISTA:																																																														
	DATA: REVISÃO DEZEMBRO/2012	DESENHO: 2L																																																														
	ARQUIVO:	PRANCHA:																																																														
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:																																																																

Y:9499700.00

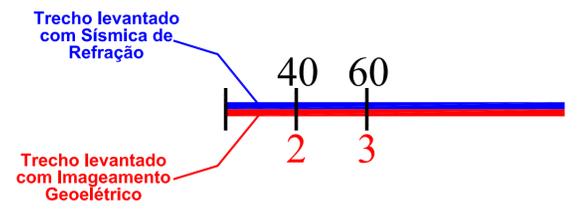


Y:9499500.00

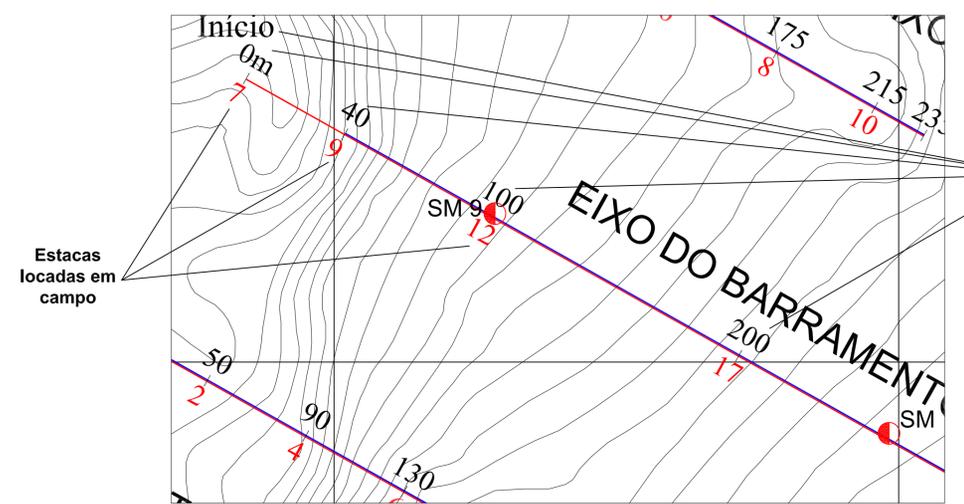
Y:9499300.00



LEGENDA :



OBS:
* Distâncias progressivas (em metros) ao longo da superfície do terreno;
* Todas as Informações Topográficas foram fornecidas pela CONTRATANTE.



Identificação das linhas geofísicas com indicação de início, fim e distâncias progressivas (m)

NOTAS :

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

REVISÕES			
N°	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

Ministério da Integração Nacional - MI Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos - PROÁGUA NACIONAL
 Projeto de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos PROGERIRH II
 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
 SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS
 ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E DO PROJETO EXECUTIVO DO EIXO DE INTEGRAÇÃO DA IBIAPABA/CE PARA CONSTRUÇÃO DAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU, DO CANAL/TÚNEL E DA PENSTOCK/PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH
PROJETO EXECUTIVO BARRAGEM LONTRAS
PLANTA DE LOCALIZAÇÃO GEOLOGICA E GEOFISICA

CONSORCIO:

ESCALA: 1/500
 DATA: REVISÃO DEZEMBRO/2012
 ARQUIVO:
 RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:

DESENHISTA:
 DESENHO: 1L
 PRANCHA:



consórcio