

Dissertação de Mestrado

**UTILIZAÇÃO DE ELETRORRESISTIVIDADE PARA
AUXÍLIO DA CARACTERIZAÇÃO DOS MACIÇOS DO
TÚNEL DA
PCH DORES DE GUANHÃES**

AUTOR: ANDRÉ LUIZ DINIZ CÂNDIDO DE ARAÚJO

ORIENTADOR: Prof. Milene Sabino (UFOP)

ESCOLA DE MINAS / UFOP

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCTECNIA DA
UFOP**

OURO PRETO – DEZEMBRO DE 2018

A663u Araujo, André Luiz.
Utilização de eletrorresistividade para Auxílio da Caracterização dos Maciços do Túnel da PCH Dores de Guanhões [manuscrito] / André Luiz Araujo. - 2018.
96f.: il.: color; graf.; tabs.

Orientadora: Profª. Drª. Milene Sabino.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Núcleo de Geotecnia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Geotécnica.
Área de Concentração: Geotecnia.

1. Eletrorresistividade. 2. Caracterização de Maciços. 3. Investigações Geotécnicas. I. Sabino, Milene. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 624.13

Catálogo: www.sisbin.ufop.br

UTILIZAÇÃO DE ELETRORRESISTIVIDADE PARA AUXÍLIO DA CARACTERIZAÇÃO DOS MACIÇOS DO TÚNEL DA PCH DE DORES DE GUANHÃES

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica do Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Geotécnica, área de concentração em *Geotecnia Aplicada à Mineração*.

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 03 de dezembro de 2018, pela Banca Examinadora composta pelos membros:



Prof. Dr. Milene Sabino Lana (UFOP) – Orientadora



Prof. Dr. Luis Prado de Almeida Bacellar (UFOP) – Membro Titular



Prof. Dr. Carla Maria Mendes Lacerda (UFMG) – Membro Titular

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha amada esposa Manoela, aos meus queridos pais, Camilo e Fátima, e a minha querida irmã Marina, por todo amor, companheirismo e força que me concederam durante toda minha vida. Agradeço também aos colegas da CEMIG, por todo o apoio e incentivo que me foi dado durante a elaboração do presente trabalho.

À minha professora Milene, pela orientação e dedicação no desenvolvimento deste trabalho. Ao colega Marcelo e a equipe do LACTEC pela ajuda na pesquisa e no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os meus amigos pela ajuda nessa difícil e longa trajetória e também pelos ótimos e inesquecíveis momentos que me acompanharam pelo resto da minha vida.

RESUMO

Na implantação de grandes obras de engenharia as avaliações geológico-geotécnicas sempre se apresentaram como grandes desafios para a elaboração dos projetos básicos e executivos de um empreendimento, devido a sua complexidade, diversidade e imprevisibilidade.

Por essas razões, é de suma importância para um empreendimento que as condições geológicas e geotécnicas do local de implantação sejam devidamente estudadas e conhecidas, para que os riscos de implantação do empreendimento sejam menores.

Ainda é importante considerar que em empreendimentos como PCHs, objeto de estudo deste trabalho, que as caracterizações locais dos maciços neste tipo de empreendimento são realizadas de maneira cada vez mais incipientes. Isso tem gerado pouca confiabilidade nos projetos desenvolvidos, e conseqüentemente aumentada às incertezas nos estudos econômicos, aumentando também os custos previstos para a implantação da obra.

O principal produto deste trabalho é a avaliação dos possíveis ganhos trazidos pelo advento da eletrorresistividade na etapa de investigações e estudos preliminares para a elaboração de um projeto, visando melhor a qualidade desses projetos e dessa maneira aumentando a confiabilidade nas previsões de custos e reduzindo os riscos para a implantação do empreendimento.

Através da interpretação dos resultados provenientes da eletrorresistividade juntamente com os dados preliminares do projeto básico foi realizada uma previsão sobre as condições gerais do maciço do túnel de adução para cada um dos parâmetros que compõe o modelo de classificação de Q de Barton.

Após definidas tais estimativas, foi realizado um comparativo dos resultados dessa previsão com os resultados do mapeamento de campo, uma vez que a classificação das paredes do túnel foi executada durante sua construção, com o objetivo avaliar a eficácia do modelo utilizado para estimar as classes de maciços e o ganho obtido com a utilização eletrorresistividade para a investigação do túnel.

Foi realizada também uma avaliação as estimativas de Classes de Maciço e Quantitativo de Tratamentos do Projeto Básico e o que foi encontrado e executado em campo.

Foi verificado que a implementação da eletrorresistividade na investigação do sítio de implantação, não representaria acréscimo significativo nos custos de projeto, tendo em vista que essa metodologia seria capaz de estudar uma grande área em um tempo relativamente pequeno.

Mesmo não tendo sido encontrada uma correlação direta dos resultados da interpretação os dados da campanha de eletrorresistividade com os valores medidos em campo, foi possível concluir que se os levantamentos de eletrorresistividade fossem executados ainda no início do processo de investigação de um sítio de implantação de um empreendimento, os mesmos poderiam identificar áreas que deveriam ser investigadas por sondagens, locais onde foram obtidos dados anômalos e que seriam importantes maiores estudos.

Os resultados obtidos neste trabalho ilustram os ganhos que a eletrorresistividade representa para a investigação geológica, permitindo estimativas de quantitativos mais precisas dos que a realizada sem a consideração dos dados da geofísica.

Conseqüentemente, com maior confiabilidade nas premissas a serem adotadas na elaboração do projeto de uma PCH, maior tende a ser sua qualidade.

Palavras-chave: Eletrorresistividade; caracterização de maciços rochosos; investigações geotécnicas.

ABSTRACT

In the implementation of large engineering works, geological and geotechnical evaluations have always presented themselves as major challenges for the elaboration of basic and executive projects, due to its complexity, diversity and unpredictability.

For these reasons, it is of the utmost importance for an enterprise that geological and geotechnical conditions of the site where the works will take place are properly studied and known, so that the risks of the construction are smaller.

It is still important to consider that in projects such as SHPs (Small Hydropower Plants), this study's object, that characterization rock mass quality in this type of enterprise are performed in an increasingly incipient way. This has generated little reliability in the projects developed, and consequently increased the uncertainties in the economic studies, also increasing the expected costs for the implantation of the work.

The main product of this work is the evaluation of possible gains brought by the advent of the electroresistivity in the stage of investigations and preliminary studies for the elaboration of a project, aiming to increase the quality of preliminary projects and in this way increasing the reliability in the cost forecasts and reducing the risks for the implementation of such enterprise.

Thought the interpretation of the electroresistivity data along with the preliminary data from the basic project, a prevision of the tunnel's rock mass quality for each of the Barton Q parameters was made.

After such estimative were defined, it was realized a comparative between this prediction with the results from the field mapping, since this classification was executed during the tunnel's construction, with the goal to evaluate the efficiency of the model used to estimate rock mass classes and the gain obtained from electroresistivity utilization to investigate the tunnel.

It was also developed an evaluation of Rock Mass Quality and Project Basic's Treatments Quantities and what was actually found in the field.

It was verified that the implementation of the eletroresistivity in the research of the site of implantation would not represent a significant increase in the projects costs, considering that this methodology would be able to study a large area in a relatively small time.

Even if a direct correlation of the results of the interpretation was not found the data of the eletroresistivity campaign with the values measured in the field, it was possible to conclude that if the electroresistivity surveys were carried out at the beginning of the investigation process of a site of implantation of an enterprise, they could identify areas that should be investigated by surveys, where anomalous data were obtained and that would be important studies.

The results obtained in this work illustrate the gains that the electroresistivity represents for the geological investigation, allowing quantitative estimates more precise than the one realized without the consideration of the data of the geophysics.

Consequently, with greater reliance on the premises to be adopted in the design of a SHP, the greater the quality of the SHP.

Keywords: Eletroresistivity, rock mass characterization, geotechnical investigations

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3.1 – Métodos Geofísicos (Braga, 2007) | 11 |
| Figura 3.2 – Modelo esquemático do método e os dispositivos necessários para sua aplicação do mapeamento geoeletrico (Carvalho, 2014)..... | 13 |
| Figura 3.3 – Faixas de resistividade/litologia (Braga, 2007)..... | 14 |
| Figura 3.4 - Valores de resistividade elétrica de alguns materiais conhecidos (Camargo, 2013). | 18 |
| Figura 3.5 – Imagem de caminhamento elétrico - eletrorresistividades (Moraes <i>et al.</i> 2016) . | 19 |
| Figura 3.6 – Seções de eletrorresistividade interpretados, com a demarcação do topo rochoso. A linha verde representa um alinhamento importante para o caso estudado (Torgashov <i>et al.</i> 2010)..... | 20 |
| Figura 5.1 – Localização da PCH Dores de Guanhões..... | 28 |
| Figura 5.2 – Distribuição dos pontos mapeados. O traço em vermelho indica a localização do eixo da barragem (Google Earth) | 36 |
| Figura 5.3 - P1 – Afloramento nas proximidades da estrada com foliação marcante no gnaisse. A) Detalhe da foliação e B) Vista geral do afloramento | 37 |
| Figura 5.4 – Detalhe da foliação marcante na rocha do desemboque e fraturas escalonadas. . | 37 |
| Figura 5.5 – Vista panorâmica do afloramento de rocha nas proximidades da barragem. Ponto P2..... | 38 |
| Figura 5.6 – A) Afloramento de falha reversa oblíqua transcorrente e B) Detalhe do afloramento..... | 38 |
| Figura 5.7 – Diagramas de tensores realizados no Wintensor do ponto P2 que indicam compressão NW/SE. A) disposição do σ_1 1, 2 e 3 B) Diagrama que mostra a compressão maior no campo em amarelo. | 39 |
| Figura 5.8 – Intersecção das 3 famílias de estruturas..... | 39 |
| Figura 5.9 – Zonas de falhas presentes no ponto P3. Linha vermelha indica falha métrica | 40 |
| Figura 5.10 – Concentrações de biotita em amostra retirada do local..... | 40 |
| Figura 5.11 – Erosão provocada por desgaste da rocha rica em biotitas, identificadas no Ponto P3 próximo à barragem..... | 41 |
| Figura 5.12 – Planos muito bem marcados, levemente ondulados, contínuos, com acentuada segregação metamórfica. | 41 |
| Figura 5.13 – Leito do rio concordante pela direção da foliação. | 42 |
| Figura 5.14 – Vista do Google Earth onde é notável a drenagem na direção da foliação marcante, mapeada no afloramento. | 42 |
| Figura 5.15 – Imagem do Google Earth com a localização, em esfera vermelha, da estrada percorrida..... | 43 |
| Figura 5.16 – Caminhamento na estrada em busca de afloramentos..... | 43 |
| Figura 5.17 – Foliação sub-horizontal em afloramento no talude da estrada..... | 44 |
| Figura 5.18 – Gnaisse bandado mapeado com direção 10/60 no P6, em talude na estrada de acesso à fazenda..... | 44 |
| Figura 5.19 – Vista geral do canal de fuga e canteiro de obras, obtida na superfície do alinhamento do eixo do túnel..... | 45 |
| Figura 5.20 – Afloramento de rochas mapeado no ponto P9. | 46 |
| Figura 5.21 – Feição erosiva identificada no P10. | 46 |
| Figura 5.22 – Vista panorâmica do bloco rolado com presença de veios pegmatíticos. | 47 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 5.23 – Afloramento mapeado no ponto P12 onde foram identificadas foliações marcantes. | 47 |
| Figura 5.24 – Coordenadas x, y e z dos piquetes topográficos | 49 |
| Figura 5.25 – Imagem de satélite com localização da linha da eletrorresistividade (caminhamento elétrico) e área de emboque e desemboque. | 50 |
| Figura 5.26 – Seção de caminhamento elétrico ao longo do eixo do túnel (linha tracejada)... | 51 |
| Figura 5.27 – Zoneamento da seção de acordo com a variação de materiais..... | 52 |
| Figura 5.28 – Integração de atitudes obtidas em campo com a seção geolétrica. | 53 |
| Figura 5.29 – Vista em perfil da seção geolétrica com as direções das feições erosivas. | 54 |
| Figura 5.30 – Detalhe da seção geolétrica com as direções das feições erosivas mapeadas em campo. | 54 |
| Figura 5.31 – Em carmim, estão representadas as direções das foliações que interceptam a seção geolétrica..... | 55 |
| Figura 5.32 – Disposição da foliação em marrom com a feição erosiva em rosa, cuja intersecção, representa uma anomalia de baixa resistividade na seção do caminhamento elétrico. | 55 |
| Figura 6.1 – As áreas com hachuras indicam as extensões do túnel que já haviam sido escavadas quando a campanha geolétrica foi realizada. | 57 |
| Figura 6.2 – Separação das seções do túnel..... | 58 |
| Figura 6.3 – Detalhe da zona anômala entre as estacas 41+10,00 a 46+0,00. | 61 |
| Figura 6.4 – Trecho entre as estacas 21+0,00 a 41+10,00, onde o maciço do túnel se apresentou pouco fraturado | 63 |
| Figura 6.5 – Detalhe da região onde foi verificado maior número de discontinuidades. Por essa razão, o valor J_n do trecho entre as estacas 41+10,00 a 46+0,00 é maior | 64 |
| Figura 6.6 – Seção da geolétrica. Linhas tracejadas representam discontinuidades mapeadas. | 68 |
| Figura 6.7 – Detalhe do local que apresenta maior intemperismo. | 69 |
| Figura 6.8 – Variação da resistividade ao longo do túnel. Em destaque região onde foram mapeados os veios pegmatíticos. Resistividade não menor a 3.000 ohms..... | 71 |
| Figura 6.9 – Escavação do túnel..... | 75 |
| Figura 6.10 – Avaliação do maciço rochoso in loco | 76 |
| Figura 6.11 – Vista de parte do túnel escavado | 76 |
| Figura 6.12 – Emboque do túnel já escavado..... | 77 |
| Figura 7.1 – Seção geolétrica do túnel. Locais circulados são os trechos onde são indicadas sondagens | 85 |
| Figura 8.1 – As setas indicam as zonas anômalas onde seriam indicadas a realização de sondagens. | 91 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 3.1 – Variação da resistividade das rochas (Fonte: Telford et al, 1990) | 17 |
| Tabela 3.2 – Aplicações dos métodos Geométricos. Fonte: Ward (1990) – Tradução livre | 22 |
| Tabela 5.1 – Túnel Adutor – Estimativa de Classes de Maciço (Projeto Básico)..... | 34 |
| Tabela 5.2 – Pontos mapeados | 48 |
| Tabela 5.3 - Variação do valor da resistividade dos solos mais comuns (adaptado de COELHO, 2011)..... | 52 |
| Tabela 6.1 – Descrição do Parâmetro RQD | 59 |
| Tabela 6.2 – Sondagens executadas durante os estudos preliminares | 59 |
| Tabela 6.3 – Seções de resistividades..... | 60 |
| Tabela 6.4 – RQD das seções do túnel | 62 |
| Tabela 6.5 – Descrição do Parâmetro Jn | 62 |
| Tabela 6.6 – Jn das seções do túnel | 65 |
| Tabela 6.7 – Descrição do Parâmetro Jr | 66 |
| Tabela 6.8 – Jr das seções do túnel..... | 66 |
| Tabela 6.9 – Descrição do Parâmetro Ja..... | 67 |
| Tabela 6.10 – Ja das seções do túnel | 69 |
| Tabela 6.11 – Descrição do Parâmetro Jw | 70 |
| Tabela 6.12 – Descrição do Parâmetro SFR..... | 71 |
| Tabela 6.13 – Definição da razão σ_c / σ_1 para o trecho do túnel | 73 |
| Tabela 6.14 – Correlação entre classes de Maciços e Q de Barton | 74 |
| Tabela 6.15 – Parâmetros e Cálculo de Q com base nas estimativas | 74 |
| Tabela 6.16 – Parâmetros e Cálculo de Q – Resultados das medições de campo | 77 |
| Tabela 7.1 - Tratamentos previstos em Projeto Básico | 80 |
| Tabela 7.2 – Tratamentos executados em campo | 81 |
| Tabela 7.3 – Extensão de cada classe de maciço..... | 82 |
| Tabela 7.4 – Preço unitário médio para sondagem..... | 84 |
| Tabela 7.5 – Preço unitário médio para levantamento geométrico..... | 84 |
| Tabela 7.6 – Custos de execução das sondagens adicionais..... | 85 |
| Tabela 7.7 – Compilação dos resultados das estimativas e das medições de campo | 86 |

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A – Projeto Básico PCH Dores de Guanhães;

A-1 – 19013-SP844-DGN-DB-G11-001
A-2 – 19013-SP844-DGN-DB-G11-003
A-3 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-001
A-4 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-002
A-5 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-003
A-6 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-004
A-7 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-005
A-8 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-006
A-9 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-007
A-10 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-008
A-11 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-009
A-12 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-010
A-13 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-010
A-14 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-011
A-15 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-012
A-16 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-013
A-17 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-014
A-18 – 19013-SP844-DGN-DB-G27-001
A-19 – 19013-SP844-DGN-DB-N15-001

ANEXO B – Logs de Sondagem;

B-1 – SR-04 - Tomada D'Água
B-2 – SR-103 - Tomada D'Água
B-3 – SR-104 - Tomada D'Água
B-4 – SMD-204 - Tomada D'Água
B-5 – SM-106 - Desemboque Túnel de Adução
B-6 – SM-102 - Desemboque Túnel de Adução
B-7 – SRD-205 - Casa de Força
B-8 – SM-103 - Casa de Força

ANEXO C – Ensaio para Caracterização Física e Mecânica em Amostras de Rocha – PCH Dores de Guanhães.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 | OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 | OBJETIVO GERAL | 3 |
| 2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 4 |
| 3 | REVISÃO DA LITERATURA | 5 |
| 3.1 | INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS EM OBRAS DE PCH..... | 5 |
| 3.2 | GEOFÍSICA | 7 |
| 3.2.1 | <i>Métodos</i> | 10 |
| 3.3 | MÉTODO GEOELÉTRICO - ELETORRESISTIVIDADE | 11 |
| 3.3.1 | <i>Constantes elétricas das Rochas</i> | 15 |
| 3.3.2 | <i>Método da Eletorresistividade – Caminhamento Elétrico</i> | 18 |
| 3.4 | APLICAÇÕES GEOTÉCNICAS | 20 |
| 3.5 | PARÂMETROS GEOMECÂNICOS ATRAVÉS DA GEOFÍSICA | 22 |
| 4 | METODOLOGIA | 26 |
| 4.1 | RESULTADOS ESPERADOS | 27 |
| 5 | LEVANTAMENTO DE DADOS PRELIMINARES | 28 |
| 5.1 | LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DOS ESTUDOS REALIZADOS..... | 28 |
| 5.2 | DADOS PROJETO BÁSICO | 30 |
| 5.2.1 | <i>Projeto Básico Consolidado</i> | 31 |
| 5.3 | LEVANTAMENTOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO MACIÇO | 34 |
| 5.3.1 | <i>Mapeamento Geológico em Dores de Guanhões – Caminhamento Elétrico</i> | 35 |
| 5.3.2 | <i>Campanha da Eletorresistividade – Caminhamento elétrico</i> | 48 |
| 5.3.3 | <i>Resultados da Campanha de Eletorresistividade</i> | 50 |
| 6 | INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS – CARACTERIZAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO DO TÚNEL | 57 |
| 6.1 | CLASSIFICAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO - Q | 58 |
| 6.1.1 | <i>RQD (Rock Quality Designation)</i> | 58 |
| 6.1.2 | <i>Jn – Fraturas e Descontinuidades</i> | 62 |
| 6.1.3 | <i>Jr – Características das Juntas e descontinuidades</i> | 65 |
| 6.1.4 | <i>Ja – Índice de alteração da Junta</i> | 67 |
| 6.1.5 | <i>Jw – Fator de Redução devido a presença de água</i> | 69 |
| 6.1.6 | <i>SRF – Stress Reduction Factor</i> | 71 |
| 6.1.7 | <i>Resultados</i> | 73 |
| 6.2 | MAPEAMENTO DE CAMPO..... | 75 |
| 7 | DISCUSSÃO DOS ESTUDOS | 79 |
| 7.1 | DIFERENÇAS ENTRE ESTIMATIVA E MEDIÇÃO DE CAMPO..... | 79 |
| 7.2 | IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS PARA LEVANTAMENTOS COMPLEMENTARES DE CAMPO | 83 |
| 7.3 | COMPARAÇÃO DE Q..... | 85 |
| 8 | CONCLUSÕES | 89 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 93 |
| | ANEXO A - PROJETO BÁSICO PCH DORES DE GUANHÃES | A |
| | ANEXO B - LOGS DE SONDAGEM | B |
| | ANEXO C - ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA DO TÚNEL | C |

1 INTRODUÇÃO

Na implantação de grandes obras de engenharia sempre se apresentaram grandes desafios para sua execução, devido a sua complexidade técnica, aos impactos ambientais e sociais e aos seus custos de implantação.

Por esses motivos, para que a construção do empreendimento aconteça sem maiores imprevistos, é necessária a realização de estudos detalhados do sítio de implantação e das características naturais do local, para subsidiar o desenvolvimento de um bom projeto de engenharia. E através deste projeto, estudar a viabilidade técnico-econômica do empreendimento.

Para a implantação de Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH) não é diferente. Os estudos da área de construção da usina são vitais para o desenvolvimento de um bom projeto, que contemple as reais características do local, e que dessa maneira embase adequadamente um estudo de viabilidade técnico econômico.

Porém, tem se verificado que nos últimos anos os empreendedores investem cada vez menos nos estudos para a caracterização local dos maciços neste tipo de empreendimento. Isso tem gerado pouca confiabilidade nos projetos desenvolvidos e, conseqüentemente, aumentada as incertezas nos estudos econômicos, aumentando também os custos previstos para a implantação da obra.

Do ponto de vista geológico-geotécnico, avalia-se ser de extrema importância para o desenvolvimento adequado de um projeto de PCH que sejam realizados estudos robustos e detalhados da área de implantação, com o objetivo de mitigar as incertezas e desta forma reduzir os riscos ao empreendedor. Já que por serem de origem natural, os maciços frequentemente apresentam características irregulares quanto às suas propriedades e, em alguns casos, de difícil identificação, este fator pode implicar em conseqüências técnicas, econômicas e ambientais indesejadas.

Desta maneira, recomenda-se que os estudos geológicos, geomecânicos e geotécnicos sejam realizados de maneira mais detalhada, utilizando diferentes métodos de reconhecimento que

sejam aplicáveis a cada situação, desde levantamentos geológicos locais e sondagens até a utilização de geofísica para a caracterização do sítio de implantação.

As investigações, bem como as características e os dados geotécnicos devem ser submetidos a uma análise qualitativa criteriosa com o levantamento das propriedades do maciço rochoso (Melo, 2010). As análises objetivam integrar a compartimentação aos modelos (geológico e geomecânico) e, por conseguinte, recomendar os tratamentos que devem ser aplicados ao maciço rochoso a partir da caracterização geomecânica, adequada às condições geológicas previstas (Oliveira & Brito, 2000).

Por esse motivo, convém analisar sob diversas perspectivas as informações geológicas determinadas para reduzir os fatores de incerteza considerados nos estudos preliminares. As características mais visadas pelos estudos geológicos e geotécnicos nos maciços rochosos estão ligadas a qualidade do maciço, deformabilidade, ao estado de tensão “in situ” e a definição do topo rochoso, em especial no caso de obras hidráulicas e subterrâneas.

Com base no exposto, esse trabalho apresentou uma análise comparativa entre os resultados do índice Q do maciço ao longo do túnel, obtidos através dos estudos básicos e os obtidos através de estudos mais detalhados com o auxílio da metodologia geofísica da eletrorresistividade, com os resultados do índice Q do maciço obtidos através de mapeamento realizado durante a escavação do túnel. Assim, foi possível avaliar se houve ganho em termos de diminuição das incertezas, da aplicação da geofísica nos levantamentos geológico-geotécnicos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo foi avaliar a utilização de uma metodologia para a previsão da qualidade dos maciços, com auxílio da geoeletrica, tendo como objeto de análise o caso real do Túnel de Adução da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Dores de Guanhães. Tendo como resultado final um comparativo entre as porcentagens de maciço que foram estimadas no Projeto Básico do empreendimento, o encontrado em campo ao longo da construção do túnel e o que foi estimado através das interpretações dos resultados dos estudos geológicos e geotécnicos com o advento da campanha de eletrorresistividade.

A eletrorresistividade, do tipo caminhamento elétrico, aplicada ao longo do eixo do túnel tem como resultado final uma seção geoeletrica do eixo do túnel estudado. A interpretação dos resultados da campanha de eletrorresistividade, mais especificamente do caminhamento elétrico, se deu através da compilação e análise dos resultados da própria campanha, do mapeamento geológico executados concomitantemente com o levantamento da eletrorresistividade e dos estudos preliminares do Projeto Básico, configurados pelas de investigações geológica de campo e de furos de sondagens executados no sítio de implantação antes do início de implantação da obra.

Com a devida interpretação dos resultados provenientes da eletrorresistividade foi realizada uma previsão sobre as condições gerais do maciço do túnel de adução para cada um dos parâmetros que compõe o modelo de classificação de Q de Barton.

Após definidas as estimativas provenientes da análise dos dados gerados pela eletrorresistividade, foi realizado um comparativo dos resultados dessa previsão com os resultados do mapeamento de campo, já foi executado o mapeamento e a classificação das paredes do túnel durante sua construção, com o objetivo avaliar a eficácia do modelo utilizado para estimar as classes de maciços e o ganho obtido com a utilização eletrorresistividade para a investigação do túnel.

Com base no exposto, esse trabalho apresenta uma análise comparativa, especificamente entre as porcentagens de maciço estimadas a partir da caracterização geomecânica, definidas com base nos estudos geológicos (modelos idealizados) que fazem parte do projeto básico do

empreendimento, as quantidades encontradas durante os levantamentos/resultados obtidos quando da implantação da obra de escavação subterrânea do túnel de adução e as estimadas com auxílio dos dados provenientes da campanha de eletrorresistividade aliada às informações preliminares do projeto Básico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- Realizar revisão bibliográfica dos conceitos de geofísica, mais precisamente o método geométrico, aplicado na construção civil.
- Realizar o estudo de caso da construção de um túnel de adução de água na PCH Dores de Guanhões e verificar quais os ganhos de informação trazidos pela geométrica em relação aos estudos realizados sem a geofísica.
- Estimar as classes do maciço ao longo do eixo do túnel, através do cálculo do índice Q de Barton, com base nas informações obtidas através da campanha geofísica aliada aos dados do levantamento de campo.
- Avaliar os dados gerados pela campanha geométrica realizada ao longo do eixo do túnel, através de uma comparação entre os resultados obtidos com a campanha geofísica, os dados do Projeto Básico Consolidado e o mapeado em campo após a escavação do túnel.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS EM OBRAS DE PCH

Na construção civil, as informações sobre as condições do subsolo são importantes na elaboração do projeto, no planejamento da obra e na determinação das metodologias construtivas. As investigações de um sítio de implantação, é um processo no qual informações geológicas, geotécnicas e outras informações relevantes que podem afetar a implantação de um projeto são adquiridas.

A elaboração de projetos de obras para Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) tem exigido cada vez mais detalhamentos e especificações, que contemplam desde medidas de segurança e aplicação de normas ambientais e de engenharia até a adoção dos conhecimentos mais específicos da engenharia.

Do ponto de vista geotécnico, é necessário um grande volume de informações, obtidos através dos mais variados modos de sondagens e inspeções de campo, para ser possível a elaboração de projetos e previsões que se aproximem da realidade de campo e que possibilitem a elaboração de projetos e orçamentos mais precisos. Tudo isso com o objetivo de melhorar a viabilidade econômico-financeira desses empreendimentos em consonância com a gestão dos riscos associados.

Contudo obras de PCHs geralmente não contam com investigações geológicas muito detalhadas antes da implantação dos empreendimentos. Normalmente são realizados apenas mapeamentos geológicos em campo e sondagens pontuais, que não são suficientes para a elaboração de um modelo geológico-geotécnico confiável.

Por esse motivo, as incertezas são grandes, uma vez que há uma enorme gama de possibilidades de variações das características do subsolo que podem ser previstas através dos dados obtidos. Com isso, muitas vezes não são elaborados os melhores projetos e os custos de implantação de obras tendem a ser extrapolados.

Assim, as certezas no momento de elaborar os modelos geológicos da área estudada são diminuídas e os projetos que servirão de base para os orçamentos da obra podem não se adequar à realidade dos maciços. Dessa maneira, aumentam-se muito os riscos associados ao

empreendimento e conseqüentemente os contingenciamentos dos custos. Para evitar que esse problema aconteça, é necessária a realização de estudos mais detalhados da área de interesse, incluindo a aplicação de técnicas geofísicas.

No momento em que os contratos de implantação são elaborados, a falta de dados suficientes e confiáveis faz com que muitas vezes seja necessário um contingenciamento muito alto nos custos orçados, o que pode gerar tabelas de referência para Riscos Geológicos Compartilhados pouco confiáveis. Tais fatos geralmente elevam muito o custo de implantação do empreendimento, podendo até mesmo inviabilizá-lo.

A Geologia de Engenharia, que é definida como a “ciência dedicada à investigação, estudo e solução de problemas de engenharia e meio ambiente, decorrente da interação entre a geologia e as atividades humanas, bem como à previsão e ao desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos” (Ruiz & Guidicini, 1998), trabalha nos projetos com o objetivo de mitigar os riscos geológicos existentes em um empreendimento, para ajudar na redução dos custos de implantação.

Uma das maiores dificuldades encontradas durante a elaboração dos projetos preliminares é o de definir as classes dos maciços rochosos, pois por serem de origem natural, suas propriedades são irregulares e em alguns casos de difícil identificação. Este fator pode implicar em conseqüências técnicas, econômicas e ambientais indesejadas.

Com base nessas informações, ressalta-se a importância dos estudos geológicos, e geotécnicos. Por essas razões têm se estudado maneiras de se mitigar o risco dos investimentos e de se desenvolver projetos mais detalhados e embasados em dados mais robustos.

Para isso tem se avaliado se com auxílio de investigações geológicas mais avançadas, mais precisamente a geofísica, aliadas às investigações normalmente já executadas nesse tipo de empreendimento, é possível obter informações mais completas sobre a região de implantação da obra. Esses estudos devem ser acompanhados por responsável que conduz o projeto esclarecendo as questões relevantes e apresentando soluções aos problemas com aspectos geológico-geotécnicos levantados (Melo, 2010).

Os resultados das investigações, bem como as características e os dados geotécnicos obtidos devem ser submetidos a uma análise criteriosa com o levantamento das propriedades do maciço rochoso (Melo, 2010). Tudo isso tem como objetivo final definir os quantitativos de cada classe de maciço rochoso a partir da caracterização geomecânica, adequada às condições geológicas previstas (Oliveira & Brito, 2000).

Com o objetivo de reduzir as incertezas, a análise detalhada de todas as informações geológicas geradas pelos estudos preliminares deve ser realizada visando identificar e interpretar os dados obtidos das diversas campanhas de investigação (sondagens e geofísica), criando assim, um modelo conceitual que represente a morfologia e a classificação do maciço.

Assim, para as obras em PCHs, com resultados interpretados e os modelos geológicos obtidos através das análises dos dados gerados pelas investigações, pode-se estimar com mais precisão os tipos de maciço, a qualidade e a posição dos mesmos nas diversas estruturas que compõem o empreendimento. Logo, as previsões feitas para tratamentos nos diversos taludes, fundações e túneis ficariam embasadas em dados mais confiáveis, podendo-se assim mitigar riscos e conseqüentemente reduzir os custos de implantação.

Para obras de túneis de PCHs, também é de extrema importância se estimar os tipos de maciço que podem ocorrer, uma vez que são a partir desses dados que se prevê os quantitativos de tratamentos que irão compor o orçamento inicial da obra. Dessa forma, quanto mais precisa for a previsão das quantidades das classes de maciço do túnel, mais precisa será a previsão de tratamentos a serem aplicados e conseqüentemente o orçamento será também mais bem embasado.

3.2 GEOFÍSICA

A geofísica é o método de aplicação de princípios físicos para o estudo do planeta Terra. Com as capacidades investigativas variando desde o detalhamento de furos de sondagem até o estudo de estruturas geológicas em grandes áreas, as muitas técnicas podem prover importantes informações sobre o subsolo estudado.

A superfície terrestre é formada por diferentes materiais, cada um desses materiais apresenta diferentes propriedades físicas, como por exemplo, densidade, módulo de elasticidade, constantes elétricas, condutividade elétrica etc.

A geofísica é desenvolvida para mapear tais diferenças de propriedades entre os diferentes materiais e dessa maneira gerar um modelo geológico teórico. Esse modelo, juntamente com informações provindas de investigações diretas e de mapeamentos de campo, é interpretado por um especialista e permite a obtenção de informações importantes sobre a área estudada, segundo Anderson & Croxton (2008).

Outras características importantes da geofísica, de acordo com Sirles (2006) são seu custo benefício e sua velocidade na obtenção de dados, especialmente em grandes áreas em comparação com outras metodologias de investigação direta.

Segundo McDowell *et al.* (2002), no início do processo de investigação do sítio de implantação de um empreendimento, pode ser vantajoso realizar uma investigação geofísica para identificar áreas que deveriam ser investigadas por sondagens, locais onde foram obtidos dados anômalos. Durante as campanhas de sondagem, a geofísica pode ser utilizada para checar a interpretação da estrutura geológica entre os furos de sondagem. Outras campanhas geofísicas, entre furos de sondagens e na superfície, podem ser usadas para determinar as propriedades geológicas, hidrogeológicas e geotécnicas do horizonte geológico-geotécnico no qual a construção vai ser realizada.

Esses métodos têm sido cada vez mais utilizados na engenharia como forma de complementar as informações sobre o subsolo de uma determinada área para resolver problemas geotécnicos em geral. Isso tem permitido ao empreendedor desenvolver projetos mais detalhados e confiáveis.

Usualmente, os métodos geofísicos, em especial o geoeletrico, podem ser utilizados para auxiliar o mapeamento de zonas de fraturas e falhas que podem ocorrer em um sítio de implantação e que não são detectadas pelos métodos de mapeamento convencionais, ou seja, falhas e fraturas que não são localizadas visualmente. Também é muito utilizado para determinar o topo rochoso e para identificar feições cársticas e localizar o NA (nível de água).

Com a utilização do método adequado para as investigações geológicas, a geofísica é capaz de gerar resultados bastante úteis para a elaboração de projetos e implantação de obras. Por isso é de grande importância que antes do início das campanhas geofísicas se tenha em mente quais dados se deseja obter, o que pode ser facilitado com o auxílio de especialista no assunto. É aconselhável que se faça sempre um estudo prévio da área a ser estudada para avaliar se a proposta de levantamento geofísico é adequada às realidades do campo e ao problema geológico.

De acordo com McDowell *et al.* (2002), uma vez obtidos os dados, é possível gerar um modelo da estrutura geológica do local, com uma boa correlação da realidade com os dados. É na interpretação e na utilização de dados geofísicos que ambiguidades e falta de precisão geralmente aparecem.

Para garantir a calibração do modelo, é necessária a utilização em conjunto de todos os dados geológicos obtidos de sondagens, levantamentos de campo e com o levantamento geofísico. A utilização destas informações precisas, que inclui as propriedades físicas dos materiais geológicos na área em estudo, gera um modelo embasado na variação das propriedades físicas observadas de acordo com a experiência da equipe que realizou a interpretação em termos práticos. Para a interpretação dos dados geofísicos é importante a colaboração entre geólogos, engenheiros e dos especialistas geofísicos.

Por esses motivos, a geofísica deve ser usada para complementar um programa de investigações e sondagens bem planejado, podendo oferecer uma imagem 3D da superfície. Ela não substitui as investigações diretas.

De acordo com Anderson (2008), outra limitação verificada na geofísica está relacionada com a natureza intrínseca dos parâmetros que as ferramentas geofísicas são projetadas para medir e a resolução espacial que elas proveem. Isso significa que um determinado método geofísico pode ser utilizado apenas para medir determinados parâmetros físicos do subsolo, não oferecendo outras informações que poderiam ser úteis.

Logo, é necessário que se determine previamente quais os parâmetros físicos do subsolo se deseja obter através de campanhas geofísicas para que o método de investigação correto seja

selecionado, possibilitando a obtenção dos parâmetros que se adequem as necessidades do empreendimento.

Mais uma limitação dos métodos geofísicos é a redução da resolução dos resultados à medida que se aumenta a profundidade investigada. A maioria dos métodos geofísicos é capaz de identificar pequenos detalhes a pequenas profundidades, porém apenas grandes alvos a grandes profundidades. Vale ressaltar que algumas interfaces entre diferentes materiais não são identificadas, pois suas propriedades geofísicas não são suficientemente diferentes para estabelecer um contraste.

3.2.1 Métodos

Há uma gama de métodos de investigação geofísica que podem ser utilizados para prospecção geofísica. Eles podem ser divididos em dois grupos: passivo e ativo.

Os métodos passivos envolvem a detecção e a medição precisa de variações em campos naturais, como o campo gravitacional e magnético da Terra, com o objetivo de localizar e delimitar os corpos responsáveis por essas variações.

Já os métodos ativos, utilizam energia que é direcionada para dentro do subsolo. Os sinais que retornam são medidos em locais pré-determinados. Os métodos sísmicos, resistividade elétrica e eletromagnética são exemplos de métodos ativos.

A Figura 3.1 apresenta vários destes métodos, dentre os quais se destacam os métodos geoeletricos, sísmicos, gravimétrico e magnetométrico.

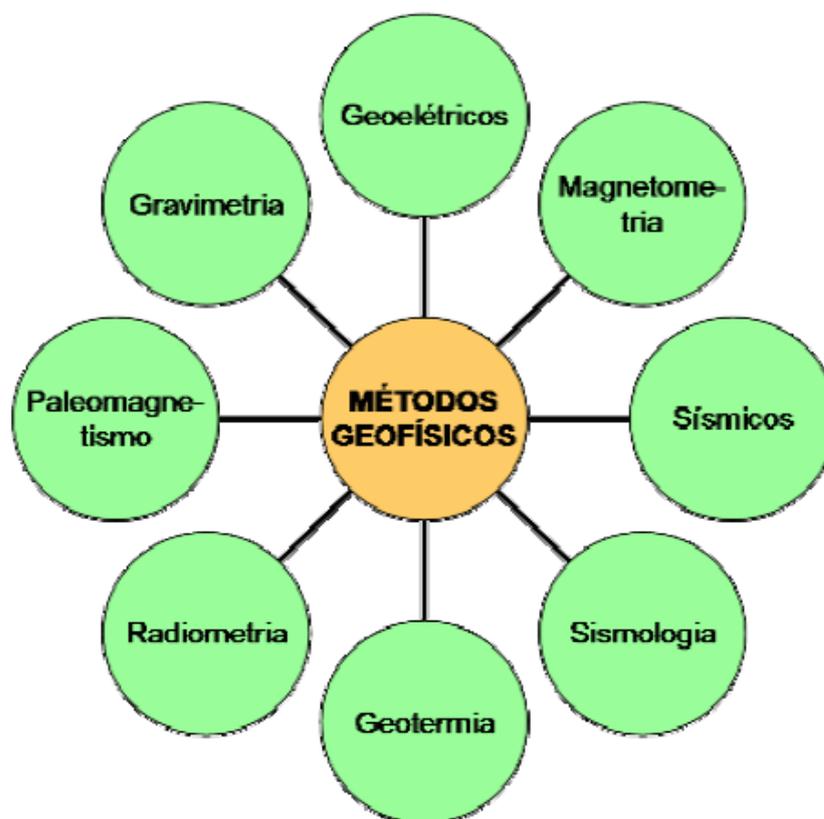


Figura 3.1 – Métodos Geofísicos (Braga, 2007)

3.3 MÉTODO GEOELÉTRICO - ELETRORRESISTIVIDADE

Os métodos geoelétricos, são muito utilizados no mundo inteiro, sendo aplicadas nas mais variadas áreas de conhecimento. Esta atuação abrange desde levantamentos puramente acadêmicos, até levantamentos procurando atender solicitações mais práticas e de interesse imediato da população, tais como: na Geologia de Engenharia, Prospecção Mineral, Hidrogeologia, Geologia Ambiental, etc. (Braga, 2007).

Segundo Braga (2007), os métodos geoelétricos “se fundamentam nos campos elétricos e eletromagnéticos. As rochas, em função de suas composições mineralógicas, texturas e disposições, apresentam propriedades elétricas características, tais como resistividade, permeabilidade magnética, constante dielétrica, etc. Em função disto, uma seção geológica pode ser considerada como um meio, cujos materiais existentes apresentam diferentes propriedades elétricas.”.

Dos métodos geoeletricos, se destaca o método da eletrorresistividade nas investigações geológicas em empreendimentos civis, pois são muito uteis na complementação das informações geológicas obtidas através dos métodos convencionais. As informações obtidas auxiliam na previsão das características dos macios e geram dados de ótica qualidade.

O método da eletrorresistividade apresenta três técnicas principais de aquisição, sendo elas:

- caminhada elétrica (CE) – investigações laterais das variações de um parâmetro físico, a uma ou várias profundidades determinadas, efetuadas na superfície do terreno (investigações horizontais)
- sondagem elétrica vertical (SVE) – investigações verticais das variações de um parâmetro físico com a profundidade, efetuadas na superfície do terreno a partir de um ponto fixo (investigações verticais pontuais).
- Perfilagem elétrica (PERF) – investigações laterais e verticais das variações de um parâmetro físico, efetuados no interior de furos de sondagens mecânicas.

A diferença básica entre estas técnicas estão na disposição dos eletrodos na superfície do terreno ou interior de furos de sondagens e a maneira de desenvolvimento dos trabalhos para se obter os dados de campo, ligada aos objetivos da pesquisa. Para este estudo foi utilizado o método da eletrorresistividade de caminhada elétrica (CE).

Tal método consiste na utilização de uma fonte artificial com auxílio de equipamentos apropriados para introduzir uma corrente elétrica no subsolo e determinar a resistividade dos diferentes materiais geológicos que se encontram no ambiente estudado. A Figura 3.2 ilustra um modelo esquemático do mapeamento geoeletrico.

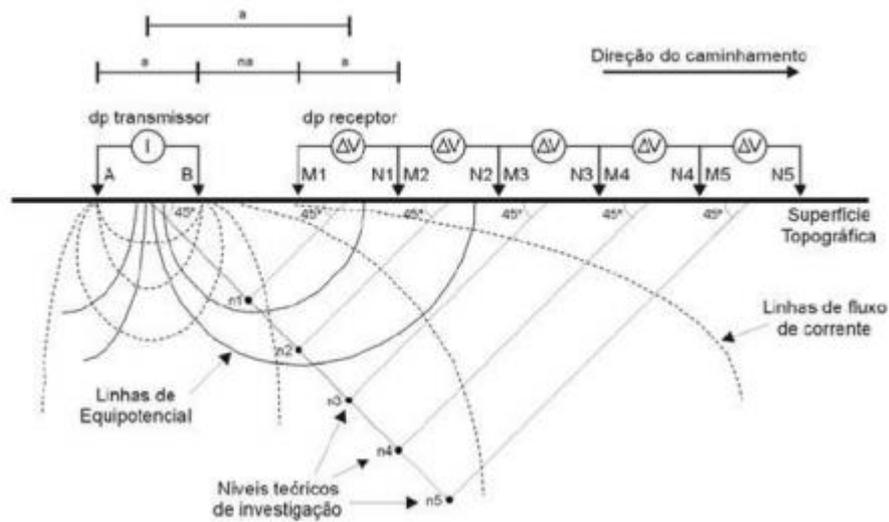


Figura 3.2 – Modelo esquemático do método e os dispositivos necessários para sua aplicação do mapeamento geolétrico (Carvalho, 2014)

O fluxo de corrente estabelecido neste circuito possibilita a medição de uma diferença de potencial, através da utilização de outros eletrodos posicionados ao longo de uma linha, possibilitando determinar a resistividade do subsolo.

De acordo com Braga (2007), “a resistividade das rochas depende de vários fatores para que se possa atribuir um só valor para um determinado tipo litológico. Um mesmo tipo litológico pode apresentar, então, uma ampla gama de variação nos valores de resistividade. Como relata Sumner (1976), individualmente, os minerais são razoavelmente consistentes em suas características elétricas, todavia num agregado, como ocorre na natureza, a variação total de suas resistividades é muito maior.”. A Figura 3.3, apresenta variações típicas, nos valores de resistividade para sedimentos inconsolidados saturados e rochas.

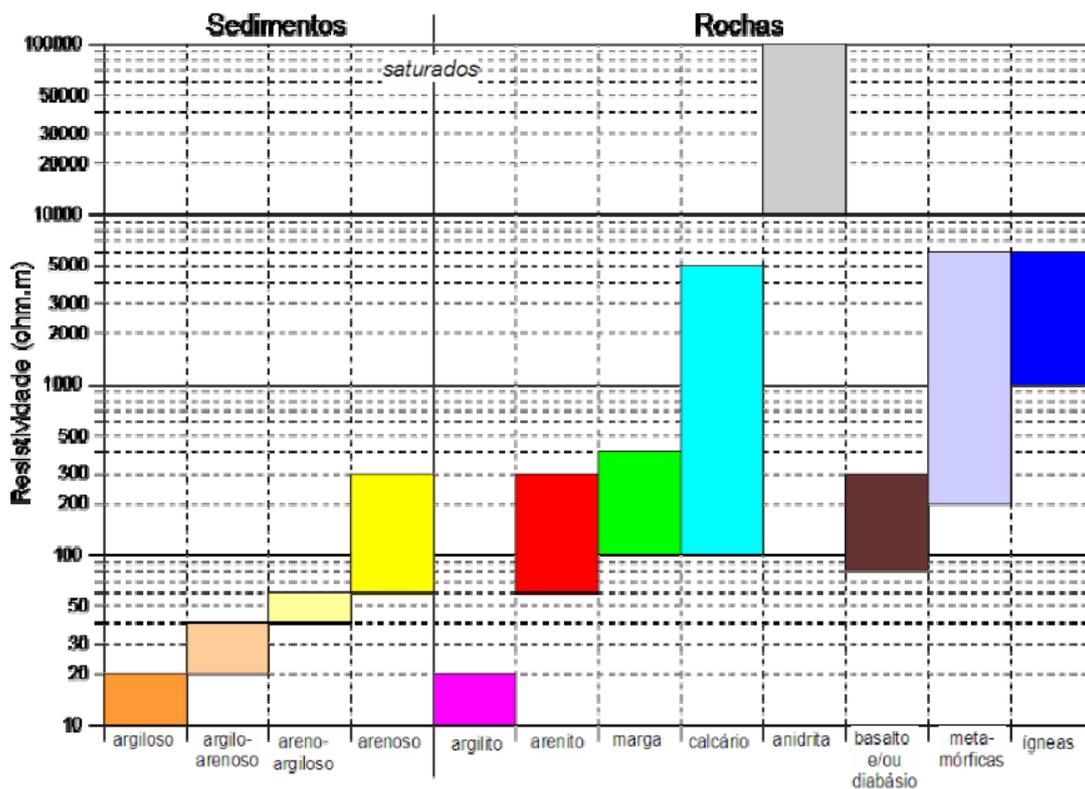


Figura 3.3 – Faixas de resistividade/litologia (Braga, 2007)

Ainda segundo Pinto *et al.* (2013) “As propriedades elétricas, juntamente com os parâmetros geométricos dos materiais litológicos do meio, como espessura, profundidade, direção, etc., determinam a seção geoeletrica, que caracteriza a geologia de uma determinada área. As superfícies de separação de uma seção geoeletrica nem sempre coincidem com os limites geológicos determinados pelos caracteres litológicos, genéticos e geológicos em geral.”

Através da utilização deste método ainda é possível discriminar eventuais fraturas geológicas condutoras de água, com a geração de uma boa imagem da geometria do sistema fraturado. E caso ocorram condutos com água corrente, é possível também mapear estas anomalias com o método do potencial espontâneo.

Com a realização da campanha de aquisição geoeletrica, são obtidas mais informações do que o obtido apenas com as investigações realizadas normalmente, caracterizadas por um pequeno número de sondagens e alguns mapeamentos de campo, uma vez que o método geoeletrico cobre a área analisada com uma malha de linhas que são posteriormente integradas e analisadas em conjunto, gerando um resultado num melhor recobrimento da área.

Esse tipo de investigação apresenta excelentes resultados na delimitação de zonas de alteração em maciços rochosos, que são de extrema valia para a caracterização dos próprios maciços investigados e para a determinação das qualidades do maciço na região de implantação das estruturas do empreendimento.

Segundo Campos (2004), os resultados obtidos através deste tipo de investigação permitem correlacionar os valores de resistividade com diversas feições geológicas, mais especificamente com a geometria das camadas e o contato entre litologias diferentes.

A utilização de dados de resistividade, conjugados a outras informações geológicas, permite identificar feições importantes que auxiliam na caracterização dos maciços rochosos em análise.

A aplicação do método geoeletrico na detecção e mapeamento de fraturas e falhas tem sido discutida em inúmeros trabalhos e artigos científicos existentes na literatura mundial, que tem demonstrado sua aplicabilidade. Por essa razão, esta técnica tem sido amplamente utilizada para mapear feições encobertas por sedimentos, pois mostram o contraste entre cavidades não preenchidas (vazios), preenchidas (água, material argiloso, etc.) e a rocha sã.

3.3.1 Constantes elétricas das Rochas

Segundo Camargo (2013), a resistividade e condutividade são grandezas bastante específicas dos materiais, dependendo de características microscópicas intrínsecas dos mesmos, o que as tornam boas ferramentas para o “diagnóstico” de uma área subsuperficial.

Ainda de acordo com Camargo (2013), os mecanismos mais comuns de propagação de corrente elétrica em solos e rochas são a condutividade eletrônica e a condutividade eletrolítica. A condutividade eletrônica é devida à presença de minerais metálicos ou outros minerais condutores (como a grafita, por exemplo) em sua matriz, sendo então mais restrita a certas suítes mineralógicas nas rochas, uma vez que a presença desses minerais precisa ser suficiente para elevar sua condutividade global. A condutividade eletrolítica é mais comum e ocorre por conta do deslocamento de íons dissolvidos na água contida nos poros, fissuras e fraturas. Por ocorrer preferencialmente nos fluidos intersticiais e nas superfícies dos grãos dos solos e rochas, esse tipo de condução sofre grande influência dos seguintes fatores:

- porosidade
- composição mineralógica
- teor de água
- natureza e teor dos sais dissolvidos.

Entre os fatores que influenciam na condutividade do meio, de acordo com Camargo (2013), os teores de água e de salinidade são os mais importantes, sendo que a elevação dos mesmos é inversamente proporcional à resistividade (portanto diretamente proporcional aos valores de condutividade).

De acordo com Telford *et al.* (1990), rochas e minerais podem ser classificados como (a) bons, (b) intermediários e (c) pobres condutores elétricos dentro dos seguintes intervalos:

- a) Minerais com resistividade entre 10^{-8} e $1 \Omega\text{m}$.
- b) Minerais e rochas de resistividade entre 1 e $10^7 \Omega\text{m}$.
- c) Minerais e rochas de resistividade acima $10^7 \Omega\text{m}$.

Ainda, é sabido que rochas ígneas geralmente apresentam maior resistividade, sedimentos menores e rochas metamórficas intermediárias. Também é importante conhecer o efeito da presença de água no maciço analisado, uma vez que a presença de pequeno volume de água afeta a resistividade bruscamente, conforme pode ser verificado na Tabela 3.1:

Tabela 3.1 – Variação da resistividade das rochas (Fonte: Telford et al, 1990)

| Rocha | % H2O | ρ (Ωm) |
|-------------------|--------------|--------------------------------------------------------|
| Siltito | 0,54 | $1,5 \times 10^4$ |
| Siltito | 0,38 | $5,6 \times 10^8$ |
| Pedregulho | 0,39 | $9,6 \times 10^5$ |
| Pedregulho | 0,18 | 10^8 |
| Areia média | 1,00 | $4,2 \times 10^3$ |
| Areia média | 0,10 | $1,4 \times 10^8$ |
| Grauvaca | 1,16 | $4,7 \times 10^3$ |
| Grauvaca | 0,45 | $5,8 \times 10^4$ |
| Calcário orgânico | 11,00 | $0,6 \times 10^3$ |
| Dolomito | 1,30 | 6×10^3 |
| Dolomito | 96,00 | $8,0 \times 10^3$ |
| Peridotito | 0,10 | 3×10^3 |
| Peridotito | 0,00 | $1,8 \times 10^7$ |
| Pirofilito | 0,76 | $6,0 \times 10^6$ |
| Pirofilito | 0,00 | 10^{11} |
| Granito | 0,31 | $4,4 \times 10^3$ |
| Granito | 0,19 | $1,8 \times 10^6$ |
| Granito | 0,00 | 10^{10} |
| Diorito | 0,02 | $5,8 \times 10^5$ |
| Diorito | 0,00 | 6×10^6 |
| Basalto | 0,95 | $4,0 \times 10^4$ |
| Basalto | 0,00 | $1,3 \times 10^8$ |
| Olivina-piroxênio | 0,028 | $2,0 \times 10^4$ |
| Olivina-piroxênio | 0,00 | $5,6 \times 10^7$ |

Como a resistividade apresenta grande variação de valores, isso incrementa sua aplicabilidade em estudos de diferentes naturezas, especialmente hidrogeológicos e ambientais. A Figura 3.4 exemplifica esse amplo intervalo de variação. Os minerais mais comuns na formação de rochas, tais como silicatos, fosfatos e carbonatos, são condutores elétricos pobres.

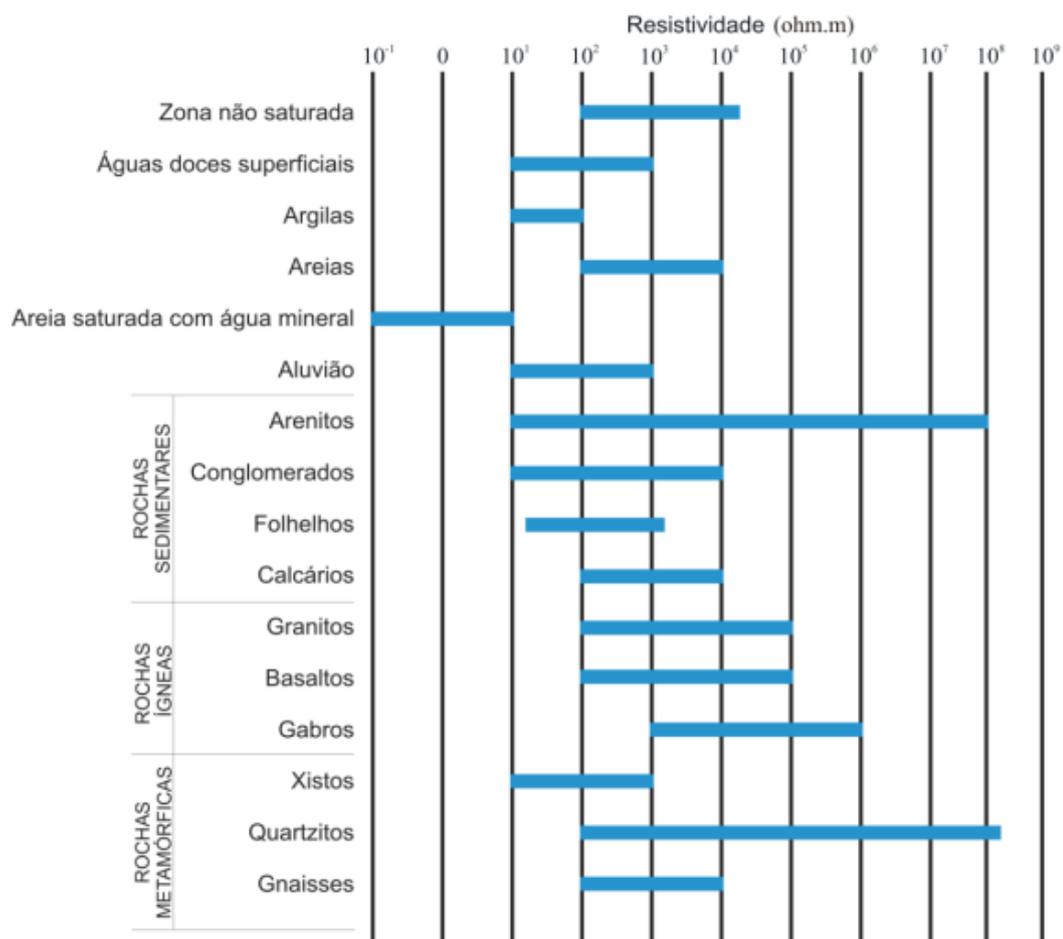


Figura 3.4 - Valores de resistividade elétrica de alguns materiais conhecidos (Camargo, 2013).

3.3.2 Método da Eletroresistividade – Caminhamento Elétrico

Para se realizar o método de eletroresistividade do caminhamento elétrico, primeiro é necessário realizar o piqueteamento e obter as coordenadas de todos os respectivos piquetes ao longo do caminho a ser percorrido. Os piquetes instalados na área devem ser numerados de modo a indicar o início e o fim da linha a ser percorrida. Isso se faz necessário para que os resultados possam ser geograficamente e espacialmente correlacionados com as demais informações e dados da área de estudo.

O caminhamento elétrico consiste basicamente na inspeção e recepção de correntes elétricas ao longo de uma linha no campo. As diferenças nas medições em milhares de pontos ao longo dessa linha resultam em um modelo numérico que reflete uma seção de resistividade do maciço rochoso.

Como resultado, se obtém um perfil da linha demarcada previamente, com os dados da variação da resistividade ao longo do maciço. A Figura 3.5 apresenta o resultado de uma campanha geoeletrica ao longo do eixo de um túnel.

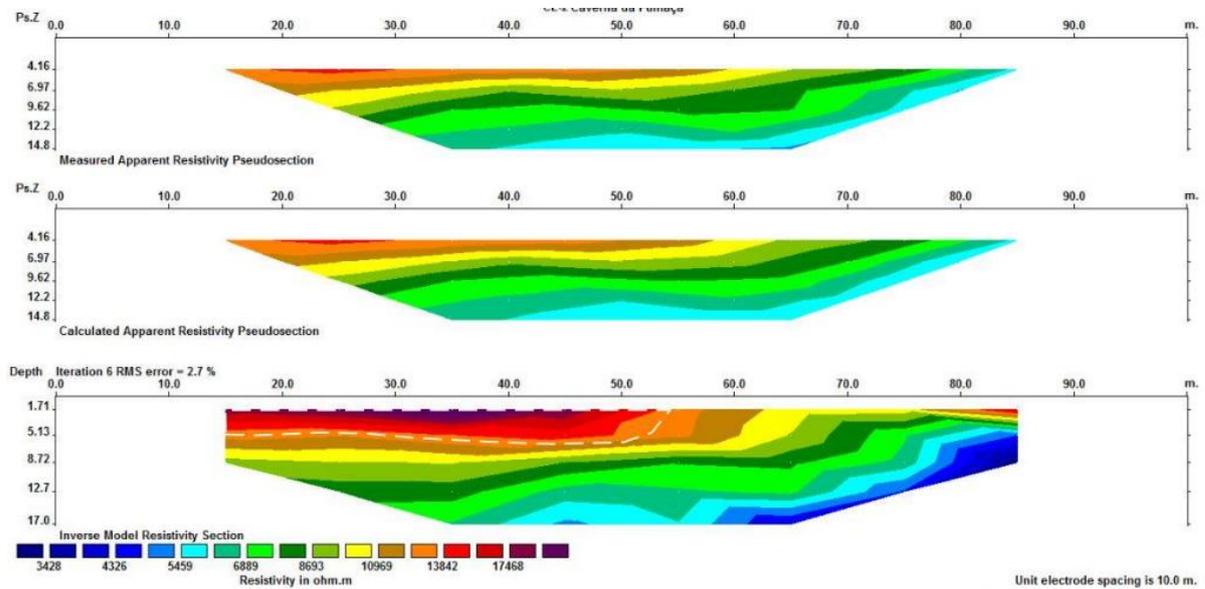


Figura 3.5 – Imagem de caminhamento elétrico - eletrorresistividades (Moraes *et al.* 2016)

Essa imagem do subsolo gerada pelo levantamento geoeletrico, deve ser interpretada por um especialista com o auxílio das demais informações obtidas pelos outros métodos investigativos, para que se entregue dados precisos e com informações relevantes para o empreendedor.

As falhas e fraturas podem ser identificadas por contrastes das propriedades das próprias zonas de fraturas. Segundo McDowell P W *et al* (2002), as falhas podem ser identificadas por diferenças nas propriedades físicas entre os materiais da falha e do maciço rochoso.

São exatamente essas falhas e fraturas que representam grandes riscos para a engenharia e podem ocasionar grandes transtornos na construção de um empreendimento, se não forem levadas em conta na elaboração dos projetos.

A geofísica também é muito útil na definição do topo rochoso na área estudada, uma vez que essa informação é extremamente importante para a elaboração dos projetos de um empreendimento com PCHs, pois define a cota de fundação das estruturas que serão construídas.

Como as resistividades médias apresentadas nos solos e rochas são diferentes, a geolétrica é capaz de definir no perfil gerado, após a interpretação dos dados, o topo rochoso da região estudada. A interpretação do topo rochoso identificado no perfil geolétrico deve ser comparada com o encontrado através de sondagens diretas, para avaliar se os dados são consistentes. A Figura 3.6 apresenta dados interpretados com a definição do topo rochoso.

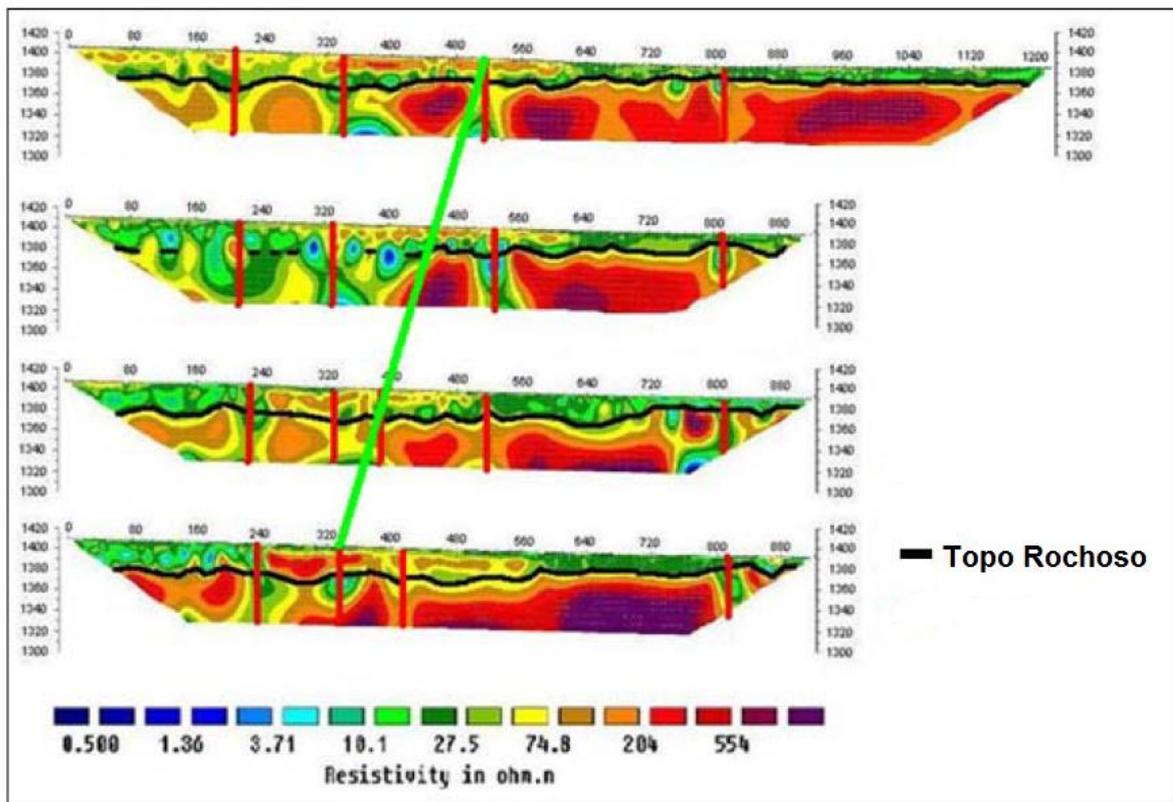


Figura 3.6 – Seções de eletrorresistividade interpretados, com a demarcação do topo rochoso. A linha verde representa um alinhamento importante para o caso estudado (Torgashov *et al.* 2010)

3.4 APLICAÇÕES GEOTÉCNICAS

Com as melhorias das imagens geradas pelos métodos sísmicos e elétricos e com a capacidade dos levantamentos geofísicos de determinar muitas das propriedades físicas de rochas e solos, como por exemplo, densidade, porosidade e permeabilidade, têm sido possível utilizar a geofísica para caracterização do subsolo de uma determinada área, o que pode levar a escolhas de métodos construtivos mais eficientes.

Maciços rochosos normalmente são fraturados e a avaliação das condições dessas fraturas é a primeira etapa para avaliar sua qualidade (Rawlings *et al.*, 1991).

Com todas essas informações em mãos, é possível, através da interpretação adequada dos resultados dos levantamentos geoeletricos, analisar o estado do maciço rochoso, verificando ainda as condições das fraturas e a eventual presença de água nas mesmas.

Para tal avaliação, de acordo com Braga (2007), a resistividade das águas que saturam o subsolo, apresenta ampla variação, mas sempre com baixos valores de resistividade.

Normalmente, a percolação de água está associada a presença de fraturas no maciço. Logo, em locais do perfil gerado pelo método geoeletrico que apresentem uma quebra anormal na resistividade, podem estar associados à presença de fraturas.

Deve-se ainda analisar os resultados do levantamento geoeletrico levando em consideração as informações obtidas dos levantamentos de campo e outros métodos investigativos, para avaliar se os trechos que possuem fraturas mapeadas em campo são condizentes com o mapeado pela eletroresistividade, visando validar os dados obtidos.

Com os dados obtidos através das campanhas geoeletricas devidamente interpretados e também com os resultados das outras investigações geológicas em mãos, o empreendedor é capaz de elaborar um modelo o mais próximo da realidade possível.

Com um modelo geológico-geotécnico mais preciso e próximo à realidade, é possível também escolher as melhores soluções de engenharia quando da concepção dos projetos das estruturas, elaborando assim projetos mais otimizados e com menores riscos e incertezas geológicas durante a construção do empreendimento.

Os resultados ainda auxiliam na definição da qualidade do maciço rochoso nas áreas a serem escavadas para a implantação das estruturas. Com essa informação é possível elaborar planilhas de orçamento com menor contingenciamento.

Ainda de acordo com Esteves (2001), as principais aplicabilidades do método de resistividade na solução de problemas na engenharia e meio ambiente são relacionadas conforme a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Aplicações dos métodos Geoelétricos. Fonte: Ward (1990) – Tradução livre

- Detecção de minas abandonadas.
- Delineação de sítios arqueológicos.
- Detecção de plumas de contaminação de resíduos químicos.
- Mudanças, no tempo e espaço, na produção de salinização e dessalinização.
- Posicionamento, integrando fundações, de reservatórios (represas, barragens, diques).
- Avaliação de movimentos de falhas.
- Mapeamento para engenharia de geologia.
- Delineação, detecção de falhas
- Fundações, integrando interface solo / rocha.
- Delineação, proteção, avaliação, contaminação de águas subterrâneas.
- Topografia de terrenos cársticos - interface solo / rocha.
- Delineação de plumas de contaminação em aterros sanitários e industriais.
- Delineação, conteúdo de água em escorregamentos.
- Detecção, delineação na exploração de materiais.
- Delineação de pré-viabilidade de sítios para depósitos de resíduos nucleares.
- Monitoramento de rejeitos de retorta de óleo.
- Detecção e delineamento de túneis e cavidades.
- Apoio na locação ou construção de estradas - interface solo / rocha.

3.5 PARÂMETROS GEOMECÂNICOS ATRAVÉS DA GEOFÍSICA

Para um túnel em obras de PCH, como no caso em estudo por este trabalho, as investigações geológicas e geotécnicas são muito escassas. Com isso, cabe à projetista do empreendimento,

elaborar os projetos e estimar a qualidade do maciço a ser encontrado ao longo do eixo do túnel com poucas informações. Em geral os projetos são elaborados apenas com sondagens em regiões próximas ao emboque e desemboque do mesmo e com mapeamentos geológicos de campo ao longo do eixo do túnel. Por esse motivo, a confiabilidade dos projetos e das estimativas é baixa, o que impacta diretamente na qualidade do projeto e nos custos previstos de implantação. Logo, a implementação de estudos complementares, como a geofísica, aos já realizados podem ajudar a melhorar a qualidade dos resultados finais dos estudos preliminares.

A interpretação dos dados gerados pela geofísica, mais especificamente da eletrorresistividade tipo caminhamento elétrico, deve ser feita de maneira integrada com os resultados obtidos através das demais investigações realizadas na região estudada, permitindo a avaliação de forma comparativa dos dados gerados.

O produto final de um levantamento da eletrorresistividade, mais precisamente a seção com os dados da variação da resistividade ao longo do maciço, permite caracterizar o maciço quanto ao tipo de rocha predominante e a presença de água. A partir das medições do potencial elétrico na superfície pode-se determinar, no subsolo, a existência de corpos minerais e reconhecer estruturas geológicas (Telford *et al.*, 1990).

Além disso, nas seções geradas pela campanha de eletrorresistividade, é possível definir o topo rochoso da região mapeada com alguma precisão. Tal informação é muito importante para definições de projeto e também para a implantação propriamente dita. Também é possível confirmar o resultado obtido, quando se compara aos resultados da sondagem realizada em região próxima ao local do levantamento.

Outro dado de grande relevância para as definições geológicas e geotécnicas da região estudada é quanto às fraturas presentes ao longo do maciço em questão. Como já citado anteriormente, a eletrorresistividade tipo caminhamento elétrico é uma ótima ferramenta para delimitação e detecção de falhas. Ainda podem ser avaliados se essas falhas/fraturas apresentam umidade elevada ou não, com base na resistividade verificada nesses pontos. Esses resultados podem ainda ser confirmados com auxílio dos levantamentos de campo, como uma maneira de validar a conclusão da geofísica.

Para a estimativa da qualidade de um maciço rochoso, pode-se utilizar o índice Q de Barton *et al.* (1974), através dos seguintes parâmetros: RQD, J_n, J_a, J_r, J_w, SRF.

Cada um desses parâmetros é referente a características importantes de um maciço, que influenciam diretamente em sua qualidade. Com a equação que relaciona esses parâmetros, é estimada a classe de qualidade aparente de um determinado maciço rochoso, conforme equação (1):

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_r}{J_a} \frac{J_w}{SRF} \quad (1)$$

Onde:

1. RQD / J_n - caracteriza a estrutura do maciço rochoso e constitui uma medida do bloco unitário deste; o seu valor, variável entre 200 e 0,5, dá uma ideia genérica da dimensão dos blocos;
2. J_r / J_a - caracteriza as discontinuidades e/ou o seu preenchimento sob o aspecto da rugosidade e do grau de alteração; este quociente é crescente com o incremento da rugosidade, que corresponde a aumentos da resistência ao cisalhamento; e diminui com o grau de alteração das paredes em contato direto, situações em que; o quociente diminui, tal como a resistência ao cisalhamento, quando as discontinuidades têm preenchimentos argilosos ou quando se encontram abertas;
3. J_w / SRF- representa o estado de tensão no maciço rochoso; o fator SRF caracteriza o estado de tensão no maciço rochoso, em profundidade, ou as tensões de expansibilidade em formações incompetentes de comportamento plástico, sendo a sua avaliação feita quer a partir de evidências de liberação de tensões (explosões de rocha, etc.), quer a partir da ocorrência de zonas de escorregamento ou de alteração localizadas; o fator J_w representa a medida da pressão da água, que tem um efeito adverso na resistência ao escorregamento das discontinuidades.

Logo, com as informações que podem ser obtidas através do levantamento geológico de uma determinada região, associadas aos dados das demais investigações efetuadas, as classes do maciço ao longo do perfil analisado, podem ser calculadas com uma precisão maior do que

quando somente se considera as investigações geológico-geotécnicas tradicionais, ou seja, sondagens pontuais e mapeamentos de campo.

4 METODOLOGIA

A realização do trabalho consistiu em três etapas distintas, descritas detalhadamente a seguir:

Primeiramente, para a interpretação adequada dos dados obtidos através do caminhamento elétrico, foi necessária a análise das investigações realizadas previamente, durante a elaboração do Projeto Básico. Essas são as informações geológico-geotécnicas das sondagens e mapeamentos de campo realizados nesta etapa prévia.

Aliadas as informações geradas pela campanha de eletrorresistividade, foi realizado um novo mapeamento geológico de campo para a identificação das estruturas tectônicas ao longo do eixo do túnel e foram utilizados também os dados colhidos pelas investigações geológicas realizadas para a elaboração do Projeto Básico.

Dessa forma, foram discriminadas fraturas geológicas condutoras de água, representando bem a geometria do sistema fraturado. Adicionalmente, as anomalias foram mapeadas.

A interpretação dos resultados serviu de base para a previsão dos maciços do túnel de adução da PCH Dores de Guanhães, de acordo com os parâmetros Q de Barton que foram os adotados na elaboração do Projeto Básico.

Em sequência, foram utilizadas as informações presentes no Projeto Básico na Proposta Comercial Consolidada, pois nesta etapa já havia sido realizada a previsão das porcentagens de cada classe de maciço ao longo do túnel, de acordo com a classificação Q de Barton.

E finalmente, foram analisadas as informações colhidas durante a execução da obra do túnel da PCH Dores de Guanhães, onde as classes do maciço do túnel de adução foram mapeadas a medida que as escavações avançavam. Esses dados foram registrados em uma planilha de acompanhamento e posteriormente compuseram o “as built” do Projeto Executivo.

A compilação de todos esses dados possibilitou a elaboração de uma tabela de com a apresentação dos valores estimados pelo estudo completo (com auxílio da eletrorresistividade), os valores calculados somente com as investigações realizadas na elaboração do Projeto Básico da PCH Dores de Guanhães (sondagens e investigações de campo) e com os valores medidos em campo durante a escavação do túnel.

Após essa definição, foi realizada uma análise para averiguar possíveis ganhos proveniente da utilização da metodologia proposta neste trabalho, comparando a estimativa de classificação do maciço com o que foi mapeado in loco.

4.1 RESULTADOS ESPERADOS

Através da análise mais completa, com a utilização da eletrorresistividade, se espera obter resultados mais próximos da realidade e dessa maneira possibilitar a elaboração de proposta com menos riscos para o empreendedor e para o contratado, o que poderia reduzir os custos de implantação de obras.

Para o caso de túnel de adução de água, que foi estudado nesse trabalho, essas informações geradas por todas as investigações realizadas, possibilita a realização de uma estimativa de maneira mais adequada e embasada das classes de rochas que podem ocorrer ao longo do eixo do túnel.

Com esses cálculos devidamente realizados, é possível consolidá-los em uma tabela que apresente os quantitativos de porcentagem de cada classe de rocha (variando de I a V) que se espera encontrar durante a escavação do túnel.

Depois de elaborada essa tabela, que considerou os resultados da eletrorresistividade, os resultados foram comparados com o mapeamento realizado em campo durante a escavação do túnel, com o objetivo de avaliar a qualidade da estimativa com base nos estudos completos.

Em seguida, os resultados apresentados no projeto básico, foram também comparados aos mapeamentos de campo para se avaliar a qualidade de suas estimativas.

Finalmente, ambos os resultados foram comparados entre si, para avaliar o ganho trazido pela implementação da eletrorresistividade na fase de estudo da área do empreendimento, para validar a utilização da eletrorresistividade como uma ferramenta importante para investigações complementares a serem realizadas antes da elaboração de projetos.

Com esse estudo, avaliaram-se as vantagens que os estudos geológicos mais detalhados trazem no momento da elaboração do orçamento da obra.

A PCH Dores de Guanhões tem o Circuito Hidráulico de Geração formado pela Tomada d'Água, Túnel de Adução, Chaminé de Equilíbrio e Casa de Força.

O Túnel de Adução, objeto de estudo deste trabalho, tem as seguintes características:

- Seção do Túnel de Adução: Arco-Retângulo 6,0mx 6,0m sem revestimento de concreto;
- Diâmetro de escavação do Túnel de Adução = 6,00 m;
- Rampa Descendente= 2,85%;
- Extensão do Túnel Adução (m) até Chaminé de Equilíbrio = 1.115,00 m;
- Vazão Máxima Aduzida/Turbinada: 49,222 m³/s;
- Túnel de Ligação “Túnel Adução/Chaminé Equilíbrio”: 15,00 m;
- Seção Túnel de Ligação: Arco-Retângulo 6,0mx6,0m sem revestimento de concreto;
- Diâmetro de escavação do Túnel de Ligação: 6,00 m;
- Chaminé de Equilíbrio com diâmetros variáveis no Poço.

A captação do Túnel de Adução de Baixa Pressão, na margem esquerda do reservatório, é propiciada por uma Tomada d'Água com altura máxima de 15,10 m, largura de 10,10 na crista da estrutura, munida de um vão de abertura para afluência das águas a serem turbinadas.

A partir da seção correspondente ao final do Túnel de Adução de Baixa Pressão/eixo da Chaminé de Equilíbrio, o circuito da adução tem continuidade através do Túnel de Alta Pressão, composto de um trecho horizontal de extensão 113,00 m que termina conectado à Válvula Borboleta. O trecho de alta pressão inclui a extensão do “Rock Trap” + Transição “Túnel Adução/Conduto Forçado” + Conduto Forçado Trecho Simples + Bloco de Ancoragem e Condutos Forçados Trecho Bifurcado.

Um segmento do trecho horizontal com 70,58 m de comprimento foi blindado em aço, com seção circular de diâmetro interno de 4,50 m. Esta blindagem metálica/trecho simples do conduto forçado foi envolvida por camada de concreto armado que preencherá o vão entre a seção escavada em rocha ($H=B=6,0$ m) e o conduto forçado/trecho simples de diâmetro interno de 4,50 m.

Após o desemboque do Túnel de Adução, o Circuito Hidráulico de Geração tem continuidade através de Conduto Forçado/trecho simples em aço envolvido por concreto, com diâmetro de 4,50 m e seguido pelo Bloco de Ancoragem em concreto armado.

5.2 DADOS PROJETO BÁSICO

Os estudos para desenvolvimento do “Projeto Básico Consolidado” foram contratados junto à SPEC Planejamento Engenharia Consultoria e envolveram as disciplinas de cartografia, hidrometeorologia, geologia, estudos energético-econômicos e as engenharias hidráulica, geotécnica, estrutural, mecânica e elétrica. Os estudos foram complementados pelas análises da sequência e etapas construtivas da obra, cronograma físico de construção e orçamento do Empreendimento.

Os estudos do “Projeto Básico Consolidado” foram iniciados com a realização de uma visita técnica ao local previsto para implantação da PCH Dores de Guanhões. A visita técnica foi realizada por uma equipe multidisciplinar, o que permitiu a observação de diversos aspectos geológico-geotécnicos, hidrológico-hidráulicos e topográficos correlatos à fase de implantação do Empreendimento.

Seguida às visitas técnicas, foram especificados os levantamentos complementares de campo. Nessa fase, a Guanhões Energia S.A. contratou empresas especializadas para a execução dos seguintes serviços: implantação dos marcos topográficos; perfil do rio Guanhões; levantamentos topobatimétricos; georreferenciamento dos levantamentos geológico-geotécnicos e hidrométricos; levantamentos hidrométricos e investigações geológico-geotécnicas e os estudos ambientais.

Concluída a etapa dos levantamentos complementares de campo, foi possível definir o arranjo geral da PCH Dores de Guanhães e realizar os estudos e detalhamentos do “Projeto Básico Consolidado”.

Os dados gerados a partir dos estudos realizados apresentados a seguir, fazem parte do Projeto Básico Consolidado da PCH Dores de Guanhães. Estas informações subsidiaram a elaboração da Estimativa de Classes de Maciço e Tratamentos no túnel em estudo. Também subsidiaram a interpretação dos resultados do levantamento geométrico realizado posteriormente.

As informações obtidas somente com os levantamentos de campo realizados para a elaboração do projeto Básico da PCH Dores de Guanhães e logo para descrever e caracterizar as principais condicionantes geológico-geotécnicas previstos na área de implantação das estruturas hidráulicas são descritos a seguir:

5.2.1 Projeto Básico Consolidado

• Circuito Hidráulico de Geração

O Circuito Hidráulico de Geração desenvolver-se-á sob a encosta na margem esquerda do rio Guanhães, com extensão aproximada de 1.503,00 m, entre a Tomada D'Água e a saída do Canal de Fuga. As principais estruturas que compõem o Circuito de Geração são: Tomada d'Água, Túnel de Adução, Chaminé de Equilíbrio, Conduto Forçado/trecho simples e bifurcado, Casa de Força e Canal de Fuga.

As condições Geológico-geotécnicas ao longo do circuito de adução foram subsidiadas pelas informações extraídas das sondagens diretas SR-104 (Anexo B-1), SR-103 (Anexo B-2), SR-104 (Anexo B-3) e SMD-204 (Anexo B-4) na Tomada D'Água; SM-106 (Anexo B-5), SM-102 (Anexo B-6) no desemboque do túnel; SRD-205 (Anexo B-7), SM-103 (Anexo B-8) na Casa de Força; apresentadas na seção geológico-geotécnica F-F e G-G, dos desenhos DGN-DB-G26-010 (Anexo A-13) e DGN-DB-G26-011 (Anexo A-14), como também pelas inspeções de campo realizadas no local.

Os dados extraídos das sondagens executadas indicam de maneira geral, maciço rochoso com características favoráveis as escavações subterrâneas para o túnel de adução. Entretanto,

porções mais fraturadas, eventualmente associadas às zonas de cisalhamento / falhas e ou muito fraturadas poderão ocorrer ao longo das escavações.

A extensão total do túnel de adução soma 1.211,0 m, sendo 1.140,00 m com rampa de 2,744 %, entre a Tomada D'Água e o início da transição com a Blindagem do Conduto Forçado/trecho simples e 71,00 m com declividade nula até o desemboque, correspondente ao trecho do Conduto Forçado a ser implantado no interior do Túnel de Adução. Foi escavado em rochas gnáissicas, migmatíticas, e graníticas, com seção arco retângulo de 6,00 m x 6,00 m, seção construtiva.

O desenho DGN-DB-N15-001 (Anexo A-19), perfil pelo Circuito Hidráulico de Geração, apresenta as possíveis classes de maciço que poderão ser encontradas durante as escavações do Túnel de Adução e que foram subsidiadas através de uma bateria de sondagens, conforme apresentadas nos desenhos DGN-DB-G26-010 (Anexo A-13) e DGN-DB-G26-011 (Anexo A-14).

Estas sondagens foram executadas nos trechos correspondentes aos emboques de montante e de jusante, no trecho correspondente ao conduto forçado, casa de força e canal de fuga.

De acordo com as sondagens executadas, o Canal de Adução é predominantemente escavado em rochas gnáissicas pouco alteradas (D2) e uma pequena parcela em solos coluvionares e residuais.

As estruturas da Tomada D'Água ficarão apoiadas em rocha medianamente sã, conforme se observa na seção geológico-geotécnica F-F do desenho DGN-DB-G26-010 (Anexo A-13).

O túnel de adução deverá ser escavado num maciço rochoso predominantemente são, consistente e pouco fraturado a fraturado (D1-C1-F2/3), constituído basicamente por rochas granito-gnáissicas e gnaisses. A execução de sondagens diretas foi limitada aos trechos iniciais do emboque e desemboque do Túnel.

As características morfológicas ao longo do traçado do Túnel são bastante favoráveis, constituído por um espigão topográfico de direção NE-SW. Na região do desemboque e

Chaminé de Equilíbrio observam-se extensos afloramentos de rochas gnáissicas. A cobertura máxima total do túnel é de 233,00 m, sendo estimados 220,00 m de cobertura rochosa.

Para estimar as classes e os tratamentos ao longo das escavações subterrâneas do túnel de adução adotou-se o Sistema “Q” (Barton *et al.*; 1974 e Grimstad & Barton, 1993), com algumas adequações e definiram-se os seguintes percentuais para cada classe, tendo como base as investigações e inspeções de campo, como segue abaixo:

- Maciço de Classe I/IA (qualidade muito boa) – rochas granito-gnaisses e biotita gnaisses são e pouco fraturadas, representando 60 % da extensão total do túnel;
- Maciço de Classe II (qualidade boa) – rochas gnáissicas e graníticas pouco decompostas com foliações pouco persistentes, podendo ocorrer eventualmente deslocamentos na abóbada. Estima-se em 25,0 % de extensão do túnel;
- Maciço de Classe III (qualidade razoável) – Gnaisses biotíticos, gnaisses anfíbolíticos decompostos e com foliação persistente, podendo ocorrer eventualmente rochas básicas decompostas e fraturadas a muito fraturadas. Estima-se um percentual de 12 % do total do túnel.
- Maciço de Classe IV (qualidade muito pobre) – Gnaisses biotíticos, gnaisses anfíbolíticos muito decompostos e muito fraturados com foliação persistente e com presença de água. Corresponde 2,0 % do total do túnel.
- Maciço de Classe V (qualidade extremamente pobre) – Trechos dos emboques de montante e jusante e eventuais trechos em zonas de cisalhamento onde o maciço se apresente extremamente decomposto com passagens em solos saprolíticos e residuais. Corresponde 1,0 % do total do túnel.

As estimativas para cada classe de maciço rochoso consideradas para o túnel são conforme a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Túnel Adutor – Estimativa de Classes de Maciço (Projeto Básico)

| CLASSE DE MACIÇO | | ÍNDICE Q (Barton) | EXTENSÃO | |
|------------------|--------------|-------------------|----------|-------|
| | | | (m) | (%) |
| I / IA | MUITO BOA | > 10 | 726,60 | 60 |
| II | BOA | 4 a 10 | 302,75 | 25 |
| III | POBRE | 1 a 4 | 145,32 | 12 |
| IV | MUITO POBRE | 0,1 a 1 | 24,22 | 2 |
| V | EXTREM POBRE | < 0, 1 | 12,11 | 1 |
| TOTAL | | | 1.211,0 | 100,0 |

Os valores apresentados na Tabela 5.1 acima são resultados da avaliação dos dados que permitiram a elaboração do projeto básico e do orçamento prévio da obra. Essa estimativa do projeto básico não é levada em consideração a disposição das classes de maciço ao longo do túnel, uma vez que as informações levantadas não são suficientes para caracterizar cada estaca do túnel.

Logo, devido a pouca quantidade de dados, recorre-se a experiências em outros empreendimentos com característica similar e com o histórico de dados dos mesmos. Assim é definida a porcentagem de cada classe de maciço que se espera encontrar ao longo da escavação do túnel.

Ainda, com uma análise mais criteriosa dos dados do Projeto Básico, fica claro que os resultados obtidos podem ser muito inconsistentes. Ainda não apresentam nenhuma relação com as coordenadas geográficas do túnel, sendo as quantidades apresentadas na Tabela 5.1, apenas uma estimativa do total a ser encontrado no túnel, não indicando quais os possíveis locais de atenção ou maior risco para a obra.

5.3 LEVANTAMENTOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO MACIÇO

Para a realização de um estudo geofísico eficaz, é importante que já se tenham determinado quais são os dados que se deseja obter e quais as condições do local a ser investigado. Dessa maneira, pode-se escolher a metodologia geofísica mais adequada para a situação específica.

Também é importante que a área a ser investigada seja conhecida, para que se possam avaliar os dados levantados pela campanha geoeétrica e para que estes possam também ser devidamente interpretados.

No caso em estudo, chegou-se a conclusão de que o método geoeétrico seria o mais adequado para a obtenção dos dados desejados ao longo do eixo do túnel, uma vez que esse tipo de levantamento é muito utilizado em investigações geológicas em empreendimentos civis, pois são muito uteis na complementação das informações geológicas obtidas através dos métodos convencionais. As informações obtidas auxiliam na previsão das características dos maciços e geram dados de ótima qualidade.

Outro fator determinante na escolha do método geoeétrico foi o fato de que com esse método ainda é possível discriminar eventuais fraturas geológicas condutoras de água, com a geração de uma boa imagem da geometria do sistema fraturado. E caso ocorram condutos com água corrente, é possível também mapear estas anomalias com o método do potencial espontâneo.

5.3.1 Mapeamento Geológico em Dores de Guanhões – Caminhamento Elétrico

Conforme citado no item anterior, é importante para a eficácia do levantamento geoeétrico que a área onde foi realizada a campanha de investigação seja previamente conhecida, através de levantamentos de campo.

Por esse motivo foi realizado um mapeamento de detalhe quando da realização do caminhamento elétrico, suportando a interpretação ao longo do perfil investigado. Isto foi feito para a interpretação das anomalias com maior facilidade.

Ao total foram mapeados 12 pontos, os quais podem ser visualizados na Figura 5.2.

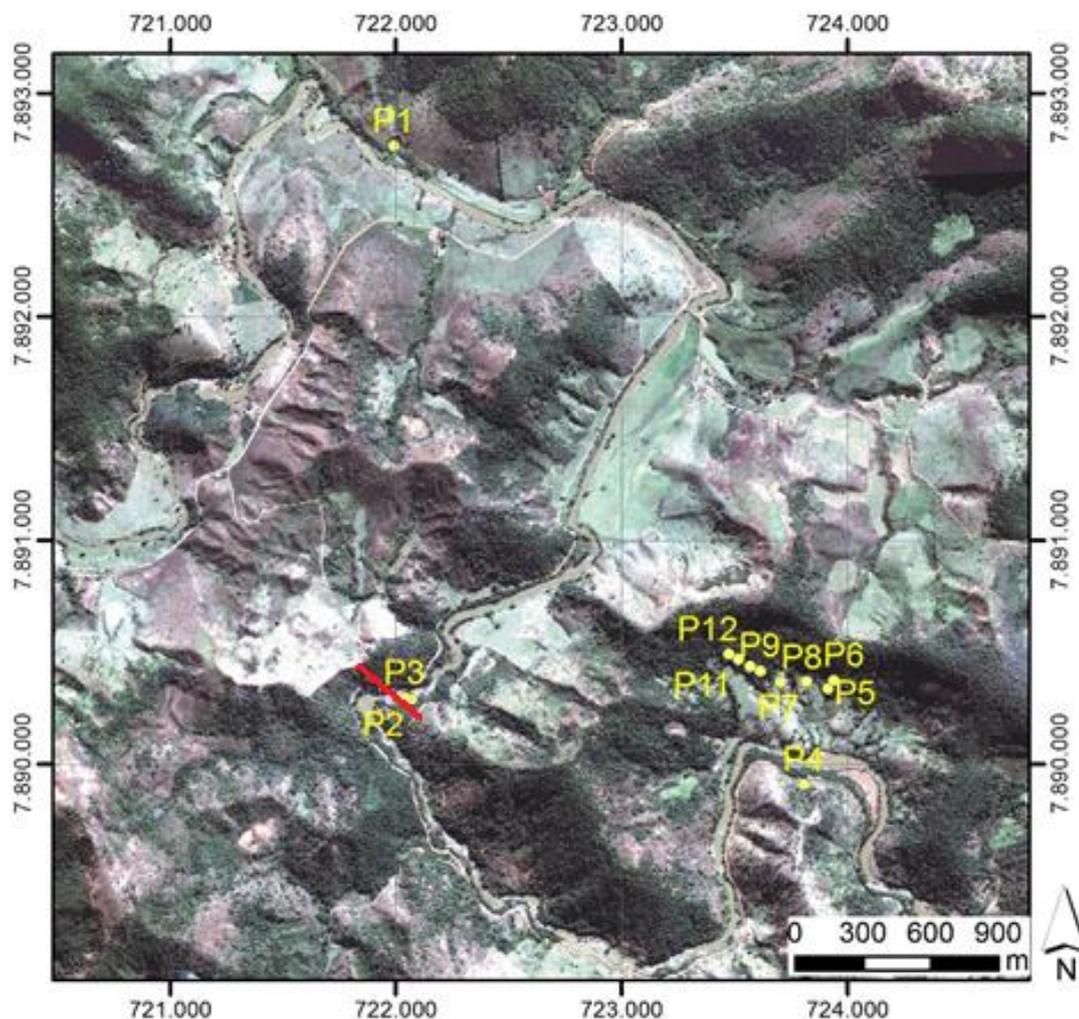


Figura 5.2 – Distribuição dos pontos mapeados. O traço em vermelho indica a localização do eixo da barragem (Google Earth)

Como o curso do rio é fortemente orientado pela estruturação do maciço no sítio em estudo, a maior parte das quedas se instala conforme a foliação, ou aos níveis ricos em biotita. Logo, a pequena queda de água, que pode ser observada na beira da estrada secundária (P1), a caminho para a PCH de Dores foi gerada devido ao deslocamento da foliação do gnaiss ou uma zona de falha subparalela a foliação (Figura 5.3). A atitude observada foi aproximadamente 300/89 Coordenadas WGS84 UTM 23K 721.991 / 7.892.763.

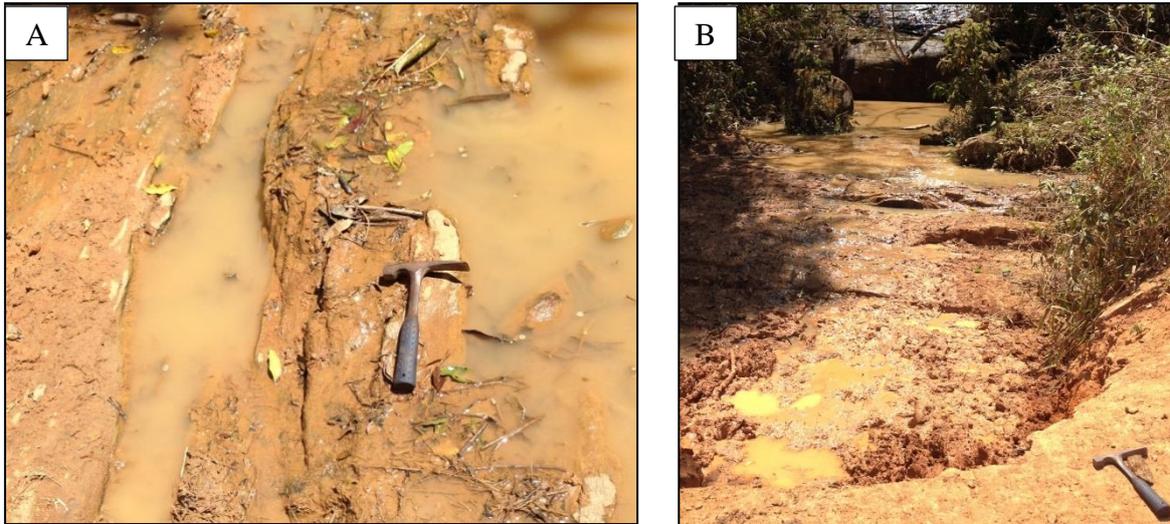


Figura 5.3 - P1 – Afloramento nas proximidades da estrada com foliação marcante no gnaisse. A) Detalhe da foliação e B) Vista geral do afloramento

Na região do desemboque, próximo aos pontos P5, P7 e P8 e a também ao local de implantação da Casa de Força da PCH, as rochas apresentam uma foliação marcante (203/89), com direção neste trecho inicial oblíqua ao eixo do túnel. Foram observadas poucas fraturas nos afloramentos, com atitude 104/85 (Figura 5.4).



Figura 5.4 – Detalhe da foliação marcante na rocha do desemboque e fraturas escalonadas.

Foram também mapeadas as rochas aflorantes no leito do rio, próximas ao barramento (Figura 5.5).



Figura 5.5 – Vista panorâmica do afloramento de rocha nas proximidades da barragem. Ponto P2

Neste afloramento (UTM WGS84 – 722.069/ 7.890.289) denominado P2, foram identificadas falhas (plano 115/80 estria 144/80). No plano de falha ocorrem *steps* com um caráter de movimentação, que indicam uma cinemática oblíqua reversa transcorrente sinistra (Figura 5.6). Os diagramas de tensores mostram compressões principais na direção NW/SE (Figura 5.7).

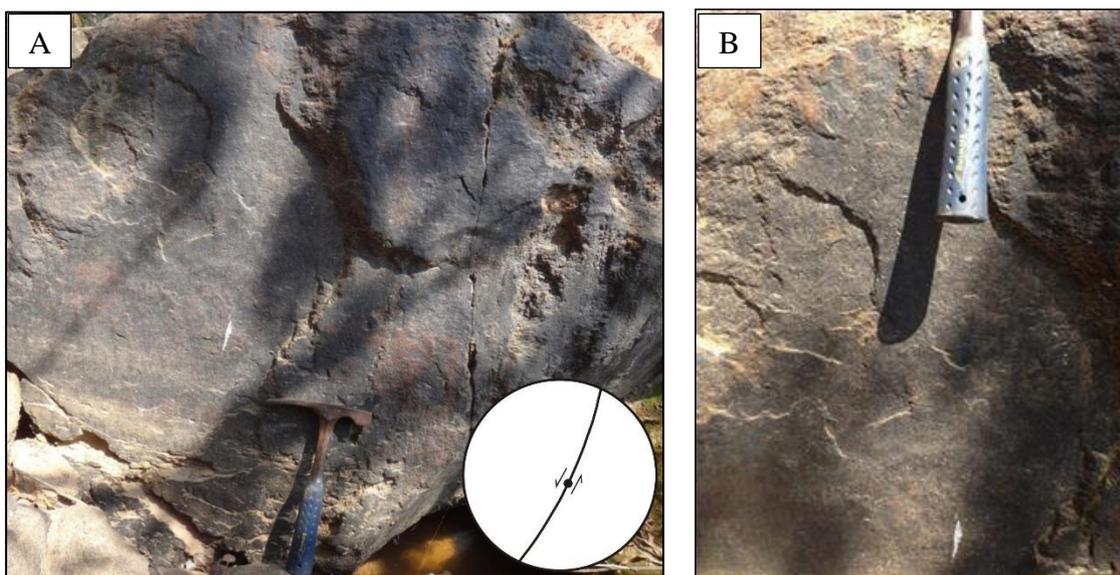


Figura 5.6 – A) Afloramento de falha reversa oblíqua transcorrente e B) Detalhe do afloramento.

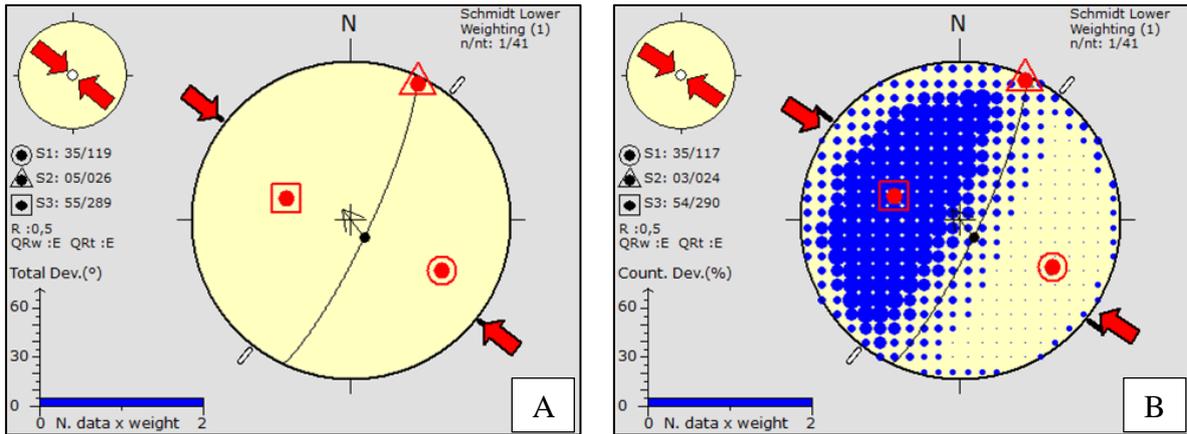


Figura 5.7 – Diagramas de tensores realizados no Wintensor do ponto P2 que indicam compressão NW/SE. A) disposição do σ_1 , 2 e 3 B) Diagrama que mostra a compressão maior no campo em amarelo.

Ao lado do ponto P2, ocorre a intersecção de 3 estruturas (Figura 5.8); a primeira família de fratura, com atitude 115/80; a segunda, com a foliação marcada por um veio pegmatítico 41/subvertical, rico em quartzo e feldspato potássico; e, por fim, a terceira família de fraturas sub-horizontal 58/5. Nesse caso ocorre o deslocamento de blocos e erosão acentuada no veio pegmatítico.



Figura 5.8 – Intersecção das 3 famílias de estruturas.

No Ponto P3 (UTM WGS84 722.041/ 7.890.294), em contrapartida, subparalelo à foliação ocorrem zonas de falhas métricas (Figura 5.9) bem marcadas com atitude 38/80. No núcleo destas zonas ocorre grande concentração de biotita e minerais máficos (Figura 5.10).

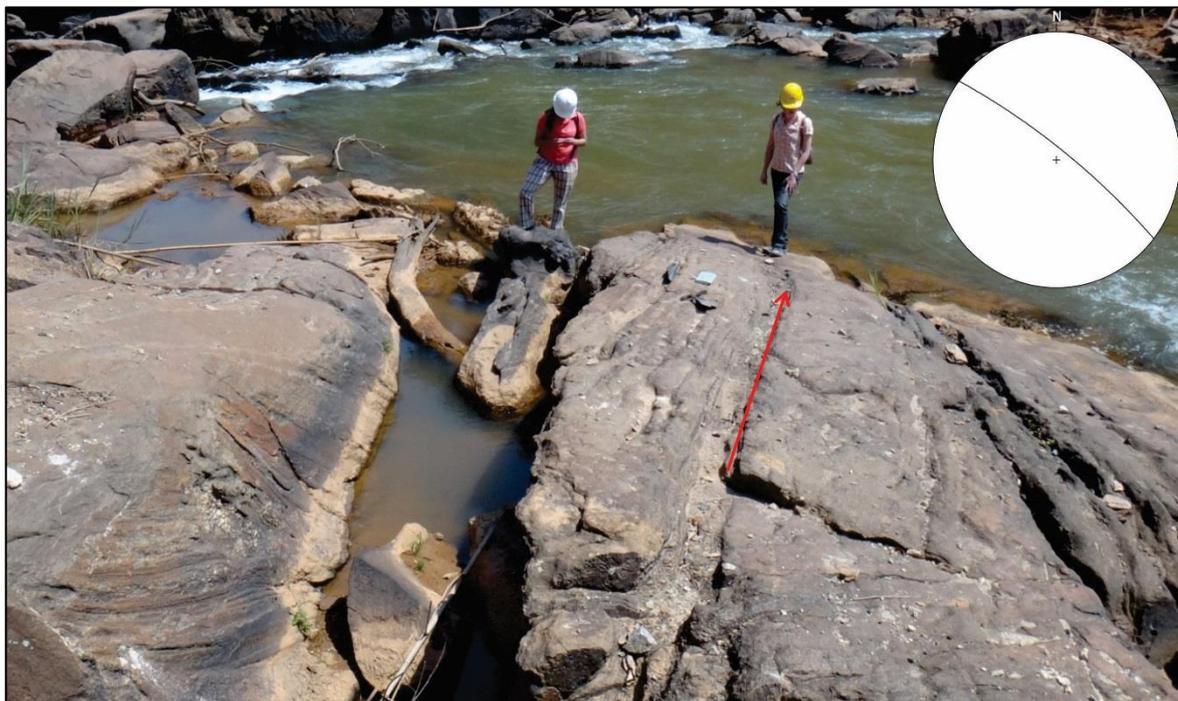


Figura 5.9 – Zonas de falhas presentes no ponto P3. Linha vermelha indica falha métrica



Figura 5.10 – Concentrações de biotita em amostra retirada do local.

Quando estas zonas ricas em biotita ocorrem transversalmente ao fluxo do rio podem ocorrer pequenas quedas de água (Figura 5.11).



Figura 5.11 – Erosão provocada por desgaste da rocha rica em biotitas, identificadas no Ponto P3 próximo à barragem.

No afloramento mapeado como P4 (UTM WGS84 723.809 / 7.889.906), ocorrem planos de foliação marcante (3/60, 20/65), levemente ondulados, contínuos, com acentuada segregação metamórfica. Nestes planos ocorre uma concentração mineralógica de minerais máficos, principalmente biotita. Estes minerais ferro-magnesianos são facilmente intemperizados e erodidos ocasionando feições com característica de “canaletas inclinadas”. Com espessuras centimétricas a vários metros (Figura 5.12).



Figura 5.12 – Planos muito bem marcados, levemente ondulados, contínuos, com acentuada segregação metamórfica.

O leito do rio encontra-se controlado na direção do plano da foliação, como pode ser visualizado nas Figura 5.13 e Figura 5.14.



Figura 5.13 – Leito do rio concordante pela direção da foliação.

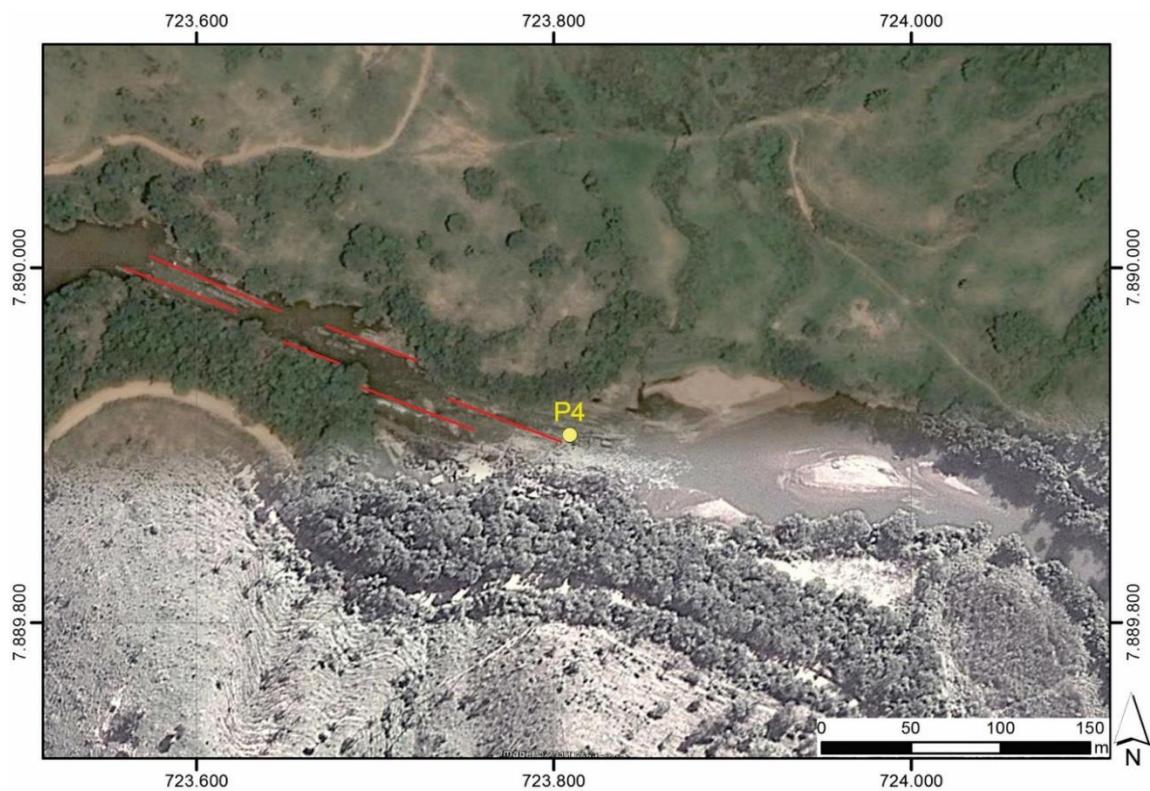


Figura 5.14 – Vista do Google Earth onde é notável a drenagem na direção da foliação marcante, mapeada no afloramento.

Foi realizado ainda um caminhamento em busca de afloramentos na estrada de acesso próximo a chaminé de equilíbrio (Figura 5.15 e Figura 5.16). Neste caminhamento foram observados muitos blocos de rocha remobilizados e apenas alguns afloramentos de rocha alterada em pequenos taludes.



Figura 5.15 – Imagem do Google Earth com a localização, em esfera vermelha, da estrada percorrida.

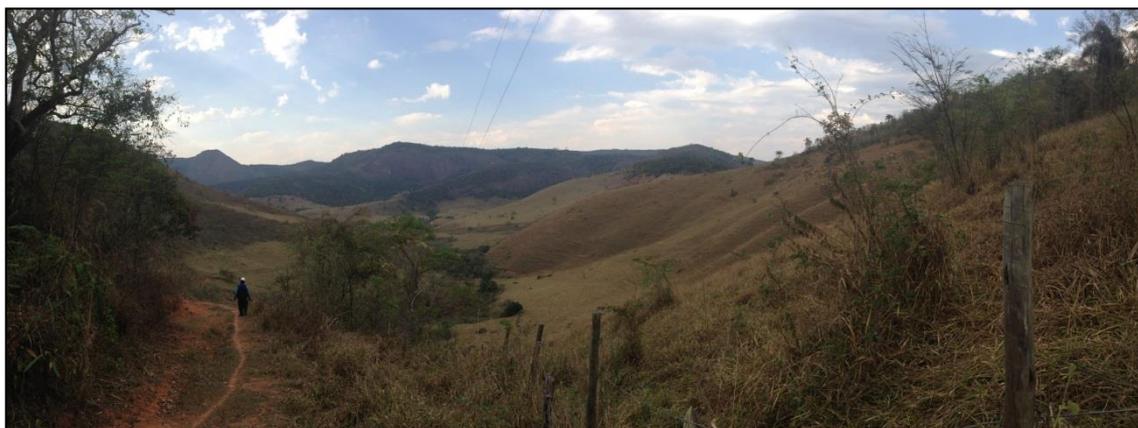


Figura 5.16 – Caminhamento na estrada em busca de afloramentos.

No ponto P5 (UTM WGS84 723.916 / 7.890.334) foi observada uma foliação sub-horizontal (Figura 5.17) e uma fratura sub-horizontal 216/15. Esta fratura sub-horizontal parece estar relacionada com o escorregamento vertente abaixo de grandes blocos de rocha. Principalmente quando encontra uma heterogeneidade na foliação, com exemplo algumas porções ricas em biotita ou pegmatítica.



Figura 5.17 – Foliação sub-horizontal em afloramento no talude da estrada.

Próximo à estrada, no ponto P6 (UTM WGS84 723.941 / 7.890.373), ocorre outro afloramento. A rocha apresenta-se alterada, mas ainda com foliação visível (Figura 5.18).



Figura 5.18 – Gnaiss bandado mapeado com direção 10/60 no P6, em talude na estrada de acesso à fazenda.

Outro caminhamento foi realizado na superfície seguindo o eixo do túnel (Figura 5.19). A primeira na época do projeto executivo e a segunda atual, no contexto deste projeto de pesquisa.



Figura 5.19 – Vista geral do canal de fuga e canteiro de obras, obtida na superfície do alinhamento do eixo do túnel.

Ainda neste segmento do eixo do túnel, foi mapeado o P7 (UTM WGS84 723.821 / 7.890.367), onde ocorre um vale encaixado e alinhado segundo a direção 5/89. Não foram observados afloramentos com rocha sã devido ao solo espesso, mas observa-se a presença de minerais de muscovita indicando uma fonte de veio pegmatítico.

Ainda neste mesmo levantamento, no ponto P8 (UTM WGS84 723.705 / 7.890.363), foi identificada outra feição erosiva, com blocos intemperizados, provavelmente relacionada a um veio pegmatítico. Este apresenta direção 95/89.

Já no ponto P9 (UTM WGS84 723.614 / 7.890.414). ocorre um afloramento, com fraturas (13/60, 10/73) subparalelas a foliação (12/85), conforme Figura 5.20.



Figura 5.20 – Afloramento de rochas mapeado no ponto P9.

No Ponto P10 (UTM WGS84 723570 7890436 562) ocorre outra feição erosiva com indícios de veio pegmatítico (Figura 5.21). Entre o P9 e o P10 ocorre um maciço sem fraturas ou veios aparentes.



Figura 5.21 – Feição erosiva identificada no P10.

No Ponto P11 (UTM WGS84 723.519 / 7.890.466) ocorre uma feição erosiva (N10W/89) com 25 cm de espessura, também com indícios de ser um pequeno veio pegmatítico (Figura 5.22).

Entre os pontos P11 e P12 ocorre um bloco de rocha rolado com foliação marcante e um veio pegmatítico subparalelo à foliação com cristais centimétricos de feldspatos.



Figura 5.22 – Vista panorâmica do bloco rolado com presença de veios pegmatíticos.

No Ponto P12 (UTM WGS84 723.477 / 7.890.490) ocorre afloramento com foliação marcante 10/89, nas proximidades da estaca +500 da topografia na vertente do desemboque (Figura 5.23).



Figura 5.23 – Afloramento mapeado no ponto P12 onde foram identificadas foliações marcantes.

A Tabela 5.2 resume os pontos com atitudes medidas. Todas as coordenadas em UTM, WGS84 23K. As medidas de direção em bússola “Clar” com declinação 23W.

Tabela 5.2 – Pontos mapeados

| Ponto | X | Y | Z | Atitudes | Descrição |
|-------|--------|---------|-----|-----------------------------------|-----------------------|
| P1 | 721991 | 7892763 | XXX | 300/subv | Foliação |
| P2 | 722069 | 7890289 | 460 | 115/80//144/80 | Falha//estria |
| P2 | 722069 | 7890289 | 460 | 41/subvertical | Veio pegmatítico |
| P2 | 722069 | 7890289 | 460 | 58/5 | Fratura |
| P3 | 722041 | 7890294 | 458 | 38/80 | Zona de falha |
| P4 | 723809 | 7889906 | 426 | 3/60, 20/65 | Foliação |
| P4 | 723809 | 7889906 | 426 | 308/85, 138/89, 128/80, 300/85 | Fraturas descontínuas |
| P5 | 723916 | 7890334 | 528 | 08/subhorizontal | Foliação |
| P5 | 723916 | 7890334 | 528 | 216/15 | Fratura |
| P6 | 723941 | 7890373 | 565 | 10/60 | Foliação |
| P7 | 723821 | 7890367 | XXX | 5/89 | Vale encaixado |
| P8 | 723705 | 7890363 | 524 | 95/89 | Feição erosiva |
| P9 | 723614 | 7890414 | 546 | N-S | Escorregamento |
| P9 | 723614 | 7890414 | 546 | 13/60, 10/73 | Fraturas |
| P9 | 723614 | 7890414 | 546 | 12/85 | Foliação |
| P10 | 723570 | 7890436 | 562 | 67/89 | Canaleta erosiva |
| P11 | 723519 | 7890466 | 578 | N10W/89 | Canaleta erosiva |
| P12 | 723477 | 7890490 | 600 | 10/89 | Foliação |

5.3.2 Campanha da Eletrorresistividade – Caminhamento elétrico

Para levantamento geoeletrico da região do túnel, foi necessário realizar o caminhamento elétrico ao longo seu do eixo.

Para tanto foi executado em uma fase anterior ao método de eletrorresistividade de caminhamento elétrico, um levantamento topográfico, para a implantação de piquetes e de suas coordenadas. A determinação destas informações é necessária para que os resultados possam ser geograficamente e espacialmente correlacionados com as demais informações e dados da área de estudo.

O procedimento em campo para o piqueteamento implicou em posicionar piquetes numerados, indicando o início e o fim da linha. Os piquetes foram locados com 10 metros de

espaçamento, sendo utilizada a distância do solo (distância da trena esticada no terreno), observando o posicionamento da linha conforme o eixo do túnel de adução.

A Figura 5.24 indica a listagem dos piquetes topográficos e suas respectivas coordenadas x, y e z. O piquete 0 foi posicionado no talude do emboque do túnel de adução e o piquete 59+10 foi posicionado a área de desemboque.

| piquete | x | y | z | piquete | x | y | z | piquete | x | y | z | piquete | x | y | z |
|-----------|------------|-------------|---------|---------|------------|-------------|---------|-------------|------------|-------------|---------|---------|------------|-------------|---------|
| 0 | 722966,949 | 7890862,950 | 501,131 | 390 | 723263,631 | 7890692,027 | 663,798 | 430 | 723578,753 | 7890510,337 | 587,978 | 58+10 | 723895,691 | 7890308,146 | 470,228 |
| 10 = 4+10 | 722974,473 | 7890858,617 | 505,678 | 21+10 | 723269,127 | 7890688,882 | 666,273 | 420 | 723586,866 | 7890505,676 | 584,963 | 59+00 | 723896,682 | 7890298,306 | 467,254 |
| 20 | 722982,915 | 7890853,752 | 506,086 | 22+00 | 723277,978 | 7890683,839 | 669,661 | 410 | 723594,835 | 7890501,093 | 582,128 | 59+10 | 723897,446 | 7890288,758 | 464,426 |
| 30 | 722991,255 | 7890848,824 | 506,943 | 22+10 | 723286,461 | 7890678,871 | 673,232 | 400 | 723602,623 | 7890496,618 | 578,807 | | | | |
| 40 | 722999,389 | 7890844,260 | 509,650 | 23+00 | 723295,259 | 7890673,889 | 676,346 | 390 | 723610,301 | 7890492,151 | 575,059 | | | | |
| 50 | 723006,358 | 7890840,245 | 515,283 | 23+10 | 723303,800 | 7890669,009 | 680,038 | 380 | 723618,228 | 7890487,621 | 571,932 | | | | |
| 60 | 723012,295 | 7890836,826 | 521,189 | 24+00 | 723312,448 | 7890663,990 | 682,410 | 370 | 723625,955 | 7890483,177 | 568,348 | | | | |
| 70 | 723019,120 | 7890832,895 | 526,699 | 24+10 | 723321,237 | 7890658,956 | 685,124 | 360 | 723634,106 | 7890478,458 | 565,874 | | | | |
| 80 | 723026,485 | 7890828,654 | 531,568 | 25+00 | 723329,843 | 7890653,983 | 687,202 | 350 | 723642,080 | 7890473,876 | 562,827 | | | | |
| 90 | 723034,306 | 7890824,149 | 535,614 | 25+10 | 723338,591 | 7890648,965 | 688,922 | 340 | 723650,040 | 7890469,310 | 559,408 | | | | |
| 100 | 723042,047 | 7890819,690 | 539,682 | 26+00 | 723347,267 | 7890643,993 | 690,611 | 330 | 723658,013 | 7890464,818 | 556,302 | | | | |
| 110 | 723049,676 | 7890815,295 | 543,900 | 26+10 | 723356,004 | 7890638,912 | 691,663 | 320 | 723665,670 | 7890460,306 | 552,555 | | | | |
| 120 | 723057,112 | 7890811,011 | 548,564 | 27+00 | 723364,614 | 7890633,898 | 691,733 | 310 | 723674,111 | 7890455,422 | 551,489 | | | | |
| 130 | 723064,732 | 7890806,617 | 552,847 | 27+10 | 723373,321 | 7890628,922 | 691,161 | 300 | 723682,559 | 7890450,582 | 551,405 | | | | |
| 140 | 723072,091 | 7890802,376 | 557,267 | 690 | 723378,155 | 7890625,824 | 690,409 | 290 | 723690,857 | 7890445,785 | 549,651 | | | | |
| 150 | 723079,837 | 7890797,913 | 561,733 | 680 | 723386,589 | 7890620,969 | 688,619 | 280 | 723698,685 | 7890441,323 | 546,392 | | | | |
| 160 | 723087,199 | 7890793,672 | 566,696 | 670 | 723394,686 | 7890616,319 | 685,747 | 270 | 723706,484 | 7890436,814 | 542,777 | | | | |
| 170 | 723094,743 | 7890789,325 | 571,195 | 660 | 723402,837 | 7890611,651 | 682,846 | 260 | 723714,403 | 7890432,257 | 539,402 | | | | |
| 180 | 723102,196 | 7890785,031 | 575,781 | 650 | 723411,237 | 7890606,814 | 680,158 | 250 | 723722,167 | 7890427,791 | 536,066 | | | | |
| 190 | 723109,488 | 7890780,831 | 580,968 | 640 | 723418,991 | 7890602,325 | 676,183 | 240 | 723729,039 | 7890423,838 | 530,777 | | | | |
| 200 | 723116,947 | 7890776,534 | 585,259 | 630 | 723426,995 | 7890597,729 | 672,449 | 230 | 723736,246 | 7890419,734 | 525,776 | | | | |
| 210 | 723124,502 | 7890772,182 | 589,915 | 620 | 723434,757 | 7890593,221 | 668,495 | 220 | 723743,769 | 7890415,394 | 521,892 | | | | |
| 220 | 723131,997 | 7890767,865 | 594,621 | 610 | 723442,305 | 7890588,899 | 663,762 | 210 | 723750,699 | 7890411,390 | 516,736 | | | | |
| 230 | 723139,508 | 7890763,538 | 599,069 | 600 | 723449,766 | 7890584,577 | 659,274 | 200 | 723759,078 | 7890406,553 | 515,171 | | | | |
| 240 | 723147,169 | 7890759,124 | 603,649 | 590 | 723456,537 | 7890580,645 | 653,546 | 190 | 723767,064 | 7890402,010 | 512,660 | | | | |
| 250 | 723154,725 | 7890754,772 | 608,492 | 580 | 723463,479 | 7890576,701 | 648,295 | 180 | 723774,745 | 7890397,596 | 508,868 | | | | |
| 260 | 723162,354 | 7890750,377 | 613,070 | 570 | 723471,573 | 7890572,053 | 644,942 | 170 | 723782,155 | 7890393,344 | 504,349 | | | | |
| 270 | 723170,146 | 7890745,888 | 617,522 | 560 | 723479,379 | 7890567,544 | 640,733 | 160 | 723789,551 | 7890389,083 | 498,521 | | | | |
| 280 | 723178,032 | 7890741,344 | 621,289 | 540 | 723491,840 | 7890560,412 | 627,815 | 150 | 723798,200 | 7890384,083 | 497,752 | | | | |
| 290 | 723185,582 | 7890736,994 | 625,435 | 530 | 723499,707 | 7890555,936 | 624,059 | 140 | 723806,409 | 7890379,354 | 501,491 | | | | |
| 300 | 723193,336 | 7890732,527 | 629,726 | 520 | 723507,563 | 7890551,337 | 620,012 | 130 = 53+00 | 723815,066 | 7890374,378 | 502,650 | | | | |
| 310 | 723201,305 | 7890727,935 | 633,537 | 510 | 723515,609 | 7890546,703 | 616,139 | 120 | 723823,549 | 7890369,491 | 503,387 | | | | |
| 320 | 723209,061 | 7890723,467 | 637,856 | 500 | 723523,159 | 7890542,531 | 612,151 | 110 | 723832,178 | 7890364,636 | 501,973 | | | | |
| 330 | 723216,718 | 7890719,057 | 641,995 | 490 | 723530,849 | 7890537,869 | 607,996 | 100 | 723840,493 | 7890359,847 | 498,687 | | | | |
| 340 | 723224,614 | 7890714,505 | 645,826 | 480 | 723538,358 | 7890533,584 | 603,291 | 90 | 723848,804 | 7890355,062 | 494,976 | | | | |
| 350 | 723232,413 | 7890710,012 | 649,384 | 470 | 723546,267 | 7890529,044 | 600,033 | 55+10 | 723858,298 | 7890349,382 | 489,093 | | | | |
| 360 | 723240,069 | 7890705,601 | 653,250 | 460 | 723554,641 | 7890524,210 | 598,253 | 56+00 | 723866,886 | 7890344,766 | 485,745 | | | | |
| 370 | 723247,920 | 7890701,078 | 656,909 | 450 | 723562,579 | 7890519,688 | 594,695 | 57+00 | 723884,428 | 7890334,343 | 483,009 | | | | |
| 380 | 723255,572 | 7890696,669 | 660,428 | 440 | 723570,398 | 7890515,160 | 590,579 | 58+00 | 723894,620 | 7890318,219 | 474,302 | | | | |

Figura 5.24 – Coordenadas x, y e z dos piquetes topográficos

Para a realização da campanha de eletroresistividade, o equipamento utilizado na campanha de eletroresistividade foi um resistivímetro digital com resolução de 50 nV, um sistema multi-eletrodos de 60 canais. Os sensores de cada canal possuem alta sensibilidade às diferenças de potencial.

No caminhamento elétrico foi utilizando um arranjo com 60 canais, com espaçamento de 10m do terreno. Desta forma foi possível atingir em grande parte do levantamento cota muito próxima ao eixo do túnel.

Durante a aquisição foi realizada a análise de resistência dos contatos com todos os sensores no campo. Além disso, durante a aquisição foram executadas inúmeras medidas de campo para cada amostra para certificar o melhor dado durante a aquisição. Dessa maneira, a aquisição tornou-se mais prolongada, entretanto garantiu melhores resultados.

A Figura 5.25 apresenta uma imagem de satélite indicando a localização da área de emboque e desemboque, assim como do posicionamento da linha geoeletrica executada.

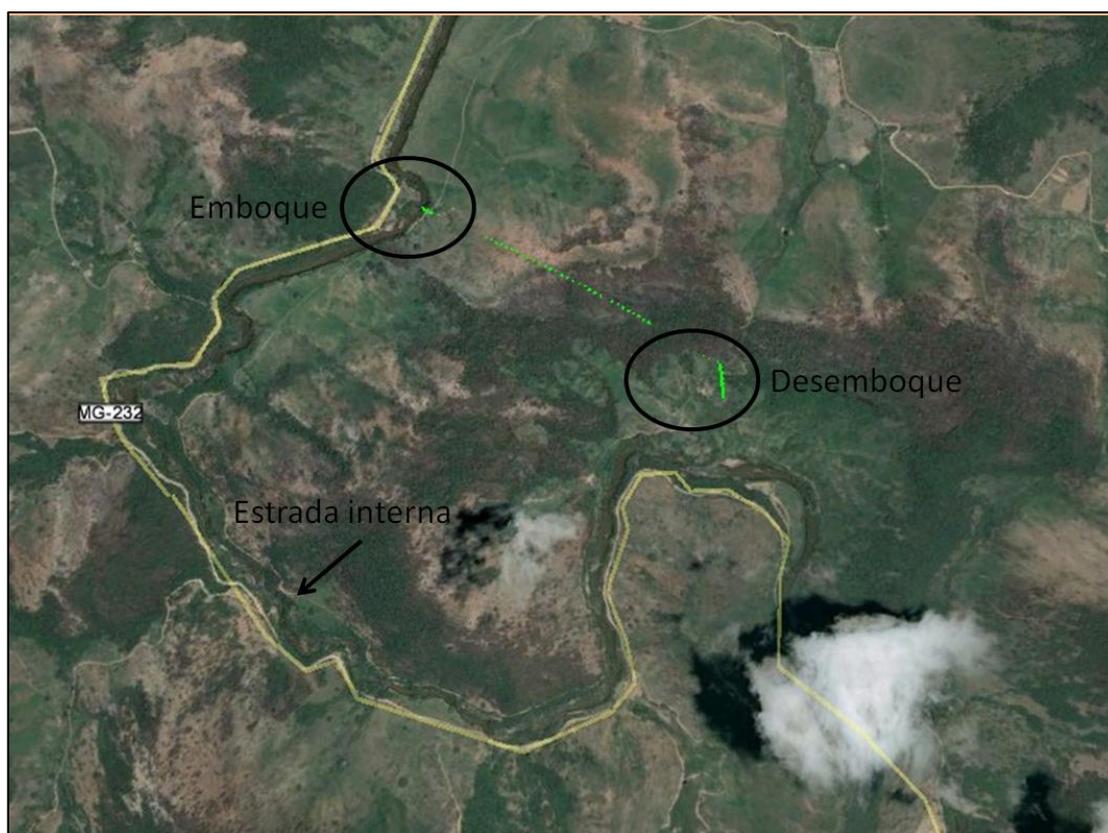


Figura 5.25 – Imagem de satélite com localização da linha da eletrorresistividade (caminhamento elétrico) e área de emboque e desemboque.

5.3.3 Resultados da Campanha de Eletrorresistividade

Após a realização da campanha, foi gerado um perfil com os resultados do caminhamento elétrico, que apresentou as diferentes resistividades de cada tipo de material do subsolo da área. A análise desta seção, aliada às demais informações obtidas através dos outros estudos realizados na região, permitem uma boa interpretação dos dados geofísicos. A Figura 5.26 a seguir, apresenta o resultado da campanha ao longo do eixo do túnel.

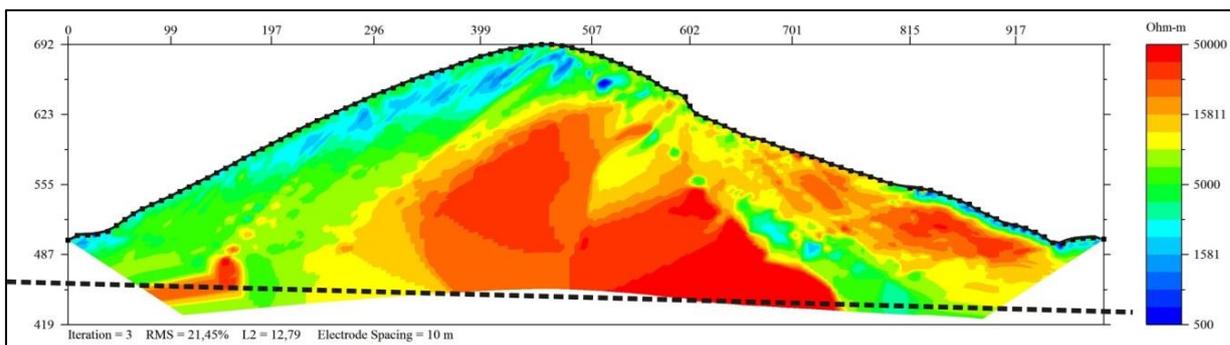


Figura 5.26 – Seção de caminhamento elétrico ao longo do eixo do túnel (linha tracejada).

Como pode ser observado, há uma grande amplitude de variação de valores de resistividade. Sabe-se que em geral, o trecho de solo e regolito apresentam resistividades menores que 5.000 ohms/m (Coelho, 2011). Acima destes valores são encontradas rochas (granitos, basaltos, dolomito entre outras), que podem atingir valores superiores a 50.000 ohms/m (Telford *et al.* 1990).

Com base nessas conclusões e na seção do caminhamento elétrico, foi possível identificar algumas importantes características do subsolo investigado, tais como presença de umidade, de acordo com os valores de resistividade encontrados, conforme pode ser verificado na Tabela 3.1.

Com base nos conhecimentos adquiridos das sondagens e mapeamentos realizados em campo que indicaram que a rocha local é um granito gnaisse e nos dados da Tabela 3.1, que indica o teor de umidade e a resistividade de um determinado tipo de rocha, foi possível fazer uma avaliação das condições da rocha na seção gerada. Foram identificadas regiões com granito com teor de umidade entre 0,00 e 0,19 %, nas regiões em vermelho (com resistividade mais elevada da seção) e regiões que apresentam com teor de umidade entre 0,19 e 0,31%, conforme valores apresentados por Telford *et al.*, 1990.

A Figura 5.27, apresenta um zoneamento da região estudada considerando as conclusões supracitadas.

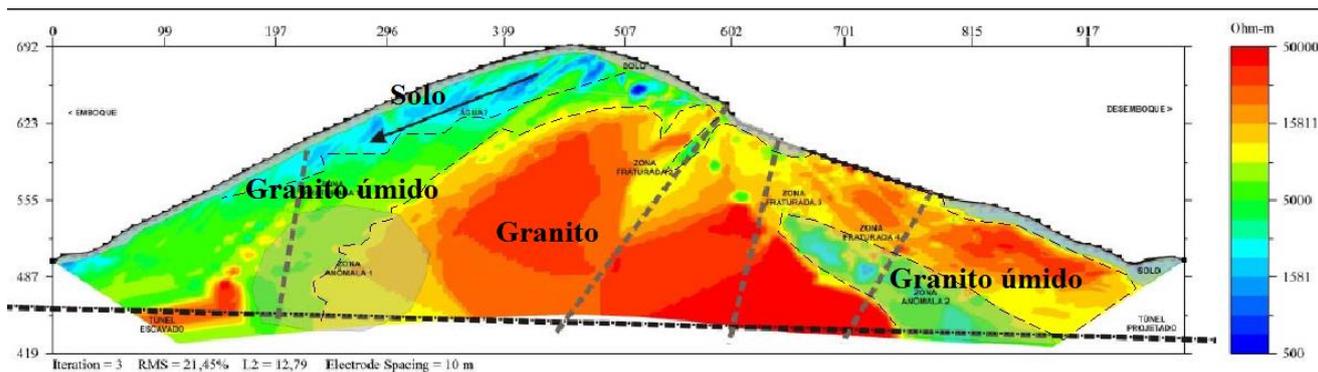


Figura 5.27 – Zoneamento da seção de acordo com a variação de materiais

No trecho raso (10 m iniciais) é possível visualizar alguns trechos com mais umidade pelas cores na escala de 500 a 1.500 ohms/m, de acordo com os valores citados por Coelho (2011), demonstrados na Tabela 5.3. Ainda assim estes valores de resistividade são bem elevados, evidenciando pouca presença de água.

Tabela 5.3 - Variação do valor da resistividade dos solos mais comuns (adaptado de COELHO, 2011)

| Tipo de Material | Resistividade (Ωm) |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Terreno pantanoso | 1 a 300 |
| Lama | 20 a 100 |
| Húmus | 10 a 15 |
| Solo arenoso | 50 a 1.000 |
| Turfa húmida | 5 a 100 |
| Argila plástica | 50 |
| Mármore e argilas compactadas | 100 a 200 |
| Areia argilosa | 200 a 300 |
| Solo pedregoso nu | 1.500 a 3.000 |
| Solo pedregoso recoberto de relva ou erva curta | 300 a 500 |

Analisando a distribuição espacial das feições em 3D é possível visualizar a interação entre as atitudes recolhidas no mapeamento de campo realizado juntamente com o caminhamento elétrico ao longo do eixo do túnel (Figura 5.28). A utilização do software Move, possibilitou tal interação, uma vez que com as coordenadas geográficas do túnel e dos pontos mapeados, foi possível relacioná-los, gerando uma seção com tal interação. A função da utilização do “software” é a extensão da interpretação além das observações e a correlação destas várias

feições com precisão de locação. Além disso, é possível avaliar a repetição das feições observadas, considerando as famílias de modo a determinar pontos de interseção críticos.

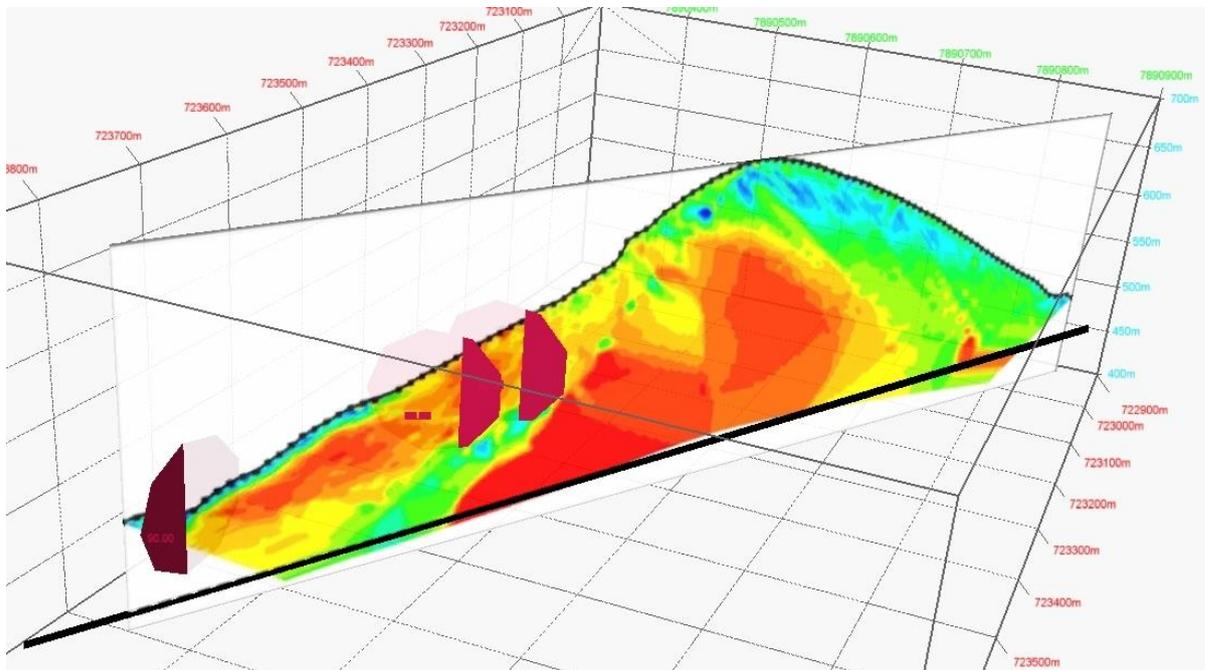


Figura 5.28 – Integração de atitudes obtidas em campo com a seção geolétrica.

As fraturas, representadas aqui por estes discos podem ser replicadas e estendidas na medida da necessidade, permitindo interpretações a distâncias maiores. São mostradas assim para não poluir a imagem gerada.

Representando tais fraturas e discontinuidades na seção geolétrica do eixo do túnel permite que sejam avaliadas quais são as possíveis interferências de tais atitudes, melhorando a interpretação dos resultados de maneira mais adequada.

Existe a possibilidade das feições erosivas mapeadas na vertente do desemboque serem condutos para águas superficiais penetrarem no maciço rochoso (Figura 5.29), podendo até atingir o túnel.

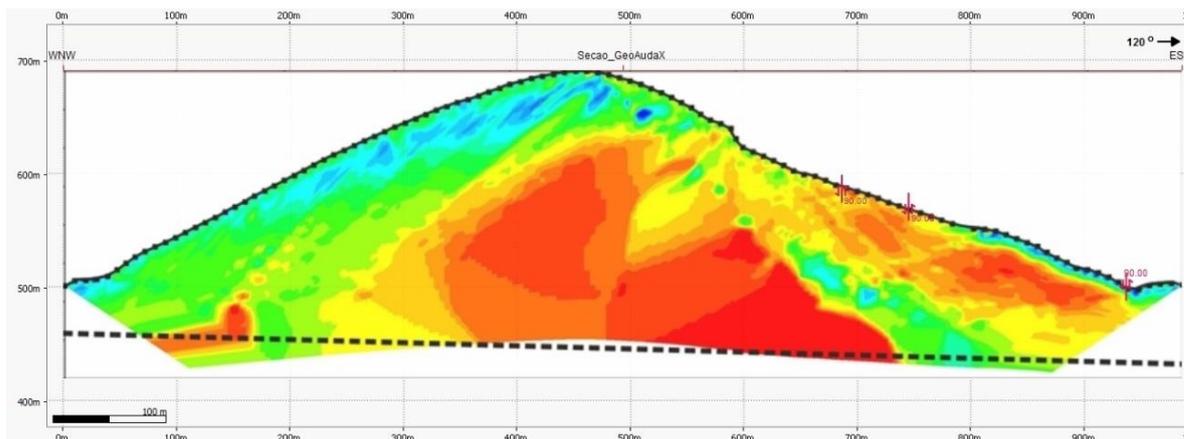


Figura 5.29 – Vista em perfil da seção geolétrica com as direções das feições erosivas.

É notória na imagem da seção geolétrica uma anomalia de baixa resistividade logo abaixo destas estruturas, provavelmente corroborando com a hipótese de condutos de água. Devido ao baixo fraturamento do maciço rochoso, observado na superfície percorrida, pode-se atribuir às direções dos veios pegmatíticos, que quando intemperizados podem conduzir a água para porções mais profundas (Figura 5.30).

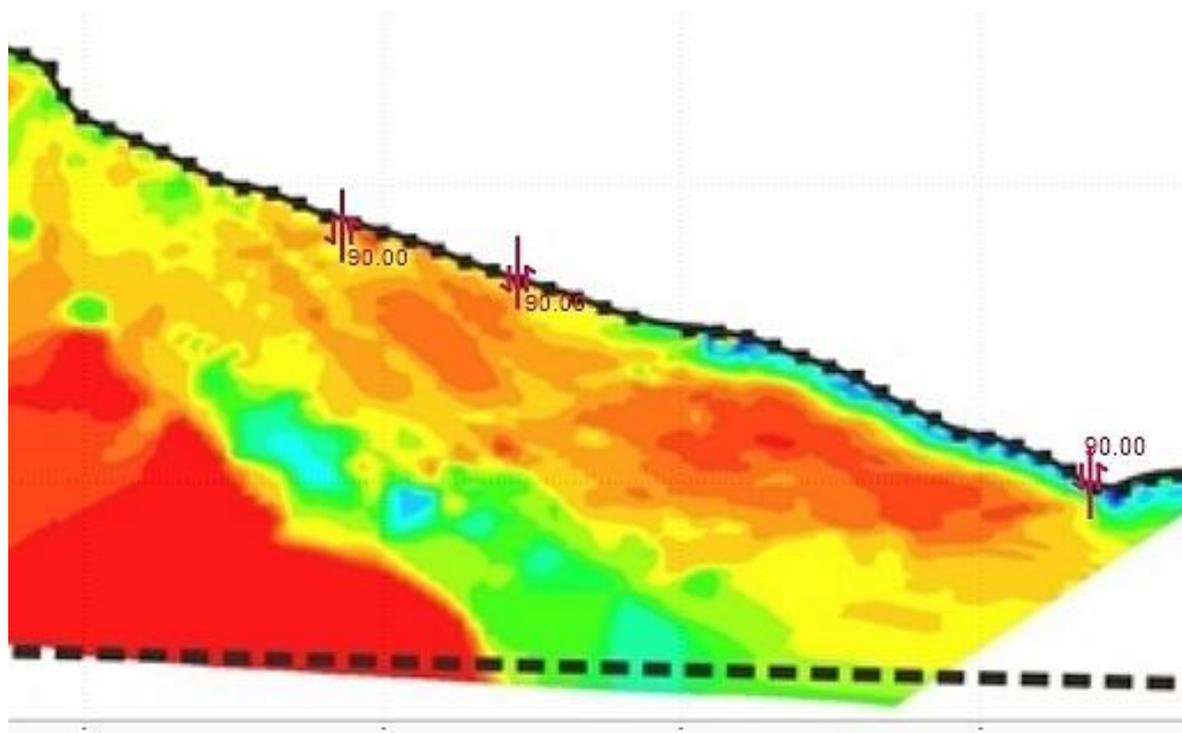


Figura 5.30 – Detalhe da seção geolétrica com as direções das feições erosivas mapeadas em campo.

As medidas de foliação observadas em superfície denotam o caráter de subparalelismo ao eixo principal do túnel (Figura 5.31).

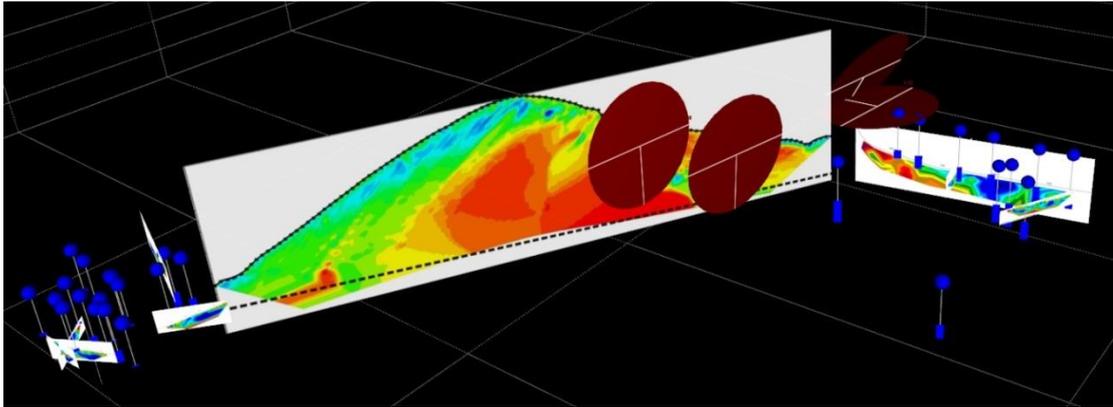


Figura 5.31 – Em carmin, estão representadas as direções das foliações que interceptam a seção geolétrica.

Este fato pode ser relevante para questões geotécnicas. Possivelmente quando estas feições intersectam os veios pegmatíticos há uma tendência de conduzir mais água e, portanto, o intemperismo é mais acentuado. Na Figura 5.32 o disco na cor marrom representa a foliação do P12 e o disco roxo um provável veio pegmatítico. Logo abaixo da intersecção destes está uma anomalia de baixa resistividade, denotando um maior teor de umidade.

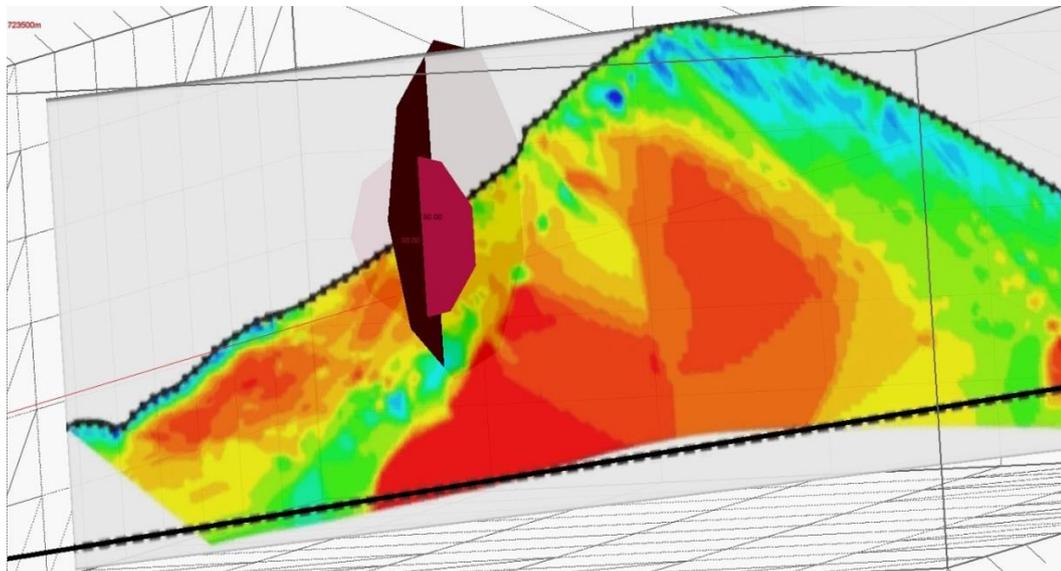


Figura 5.32 – Disposição da foliação em marrom com a feição erosiva em rosa, cuja intersecção, representa uma anomalia de baixa resistividade na seção do caminhamento elétrico.

Os principais resultados da campanha geolétrica são:

- A seção geolétrica indicou poucas ocorrências de fraturas condutoras de água.
- Na face do emboque ocorre uma discontinuidade provavelmente relacionada ao

dique de biotita.

- Na face do desemboque ocorre um influxo de água por baixo das rochas, talvez relacionado a um contato geológico ou fraturamento condutor de água.
- Na face do desemboque ocorre uma descontinuidade na proximidades do ponto culminante (Figura 5.32). A mesma apresenta projeção aproximada para meio do túnel. Entretanto, os valores elevados de resistividade indicam que se houver fraturas estarão secas ou com pouca água.
- As espessuras de solo são em geral rasas, com maiores valores na face do emboque.

6 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS – CARACTERIZAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO DO TÚNEL

A definição dos parâmetros de classificação do maciço rochoso é um dos aspectos mais importantes ligados aos estudos para fins de engenharia civil. Para tanto, com os resultados gerados pela campanha geolétrica e com os estudos previamente realizados, foi utilizado o critério Q de Barton para classificar o maciço rochoso ao longo do túnel de adução. A nota Q foi então utilizada no sistema de classificação de maciço rochoso e classes de suporte conforme Barton (1993), no qual a classe do maciço segundo esse sistema é proporcional ao valor Q de Barton. As classes podem ser de valor I até o valor V, do melhor para pior maciço. Quanto pior mais será gasto em tratamento para suporte do túnel.

Para tanto, as informações obtidas através dos estudos de campo, incluindo a campanha geolétrica realizada ao longo do eixo do túnel, foi utilizada para estimar a qualidade do maciço rochoso ao longo do túnel em estudo.

Vale ressaltar, que como a implantação da obra já havia sido iniciada quando o caminhamento elétrico ao longo do eixo do túnel foi executado, as escavações do mesmo também já tinham sido iniciadas. Na data em que a campanha foi conduzida, era possível verificar que a escavação havia avançado da estaca 0+0,00 até 20+0,00 no emboque e da 46+0,00 até 62+5,42. Logo, nesses dois trechos, não foi possível obter leituras adequadas do maciço na área do túnel, obtendo-se somente dados da área superior ao mesmo (Figura 6.1).

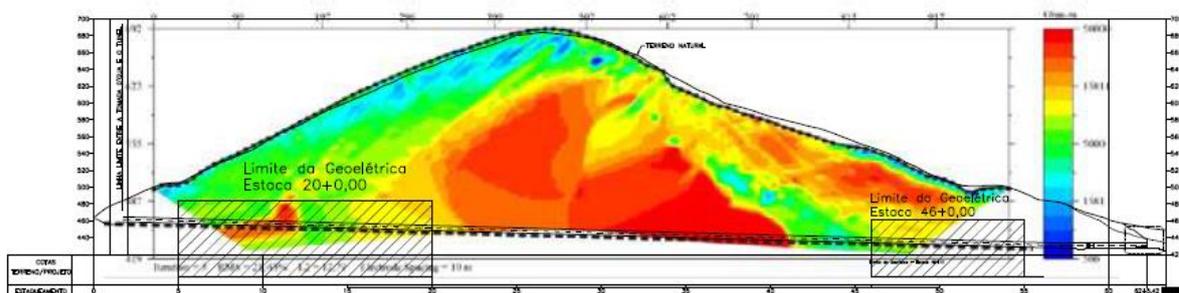


Figura 6.1 – As áreas com hachuras indicam as extensões do túnel que já haviam sido escavadas quando a campanha geolétrica foi realizada.

Para a execução da avaliação do maciço rochoso ao longo do túnel, foram consideradas seções de aproximadamente 20 em 20 metros, procurando respeitar as estacas de projeto e

repetindo as seções consideradas no mapeamento realizado ao longo da escavação do túnel. A Figura 6.2 demonstra como foi feita essa divisão.

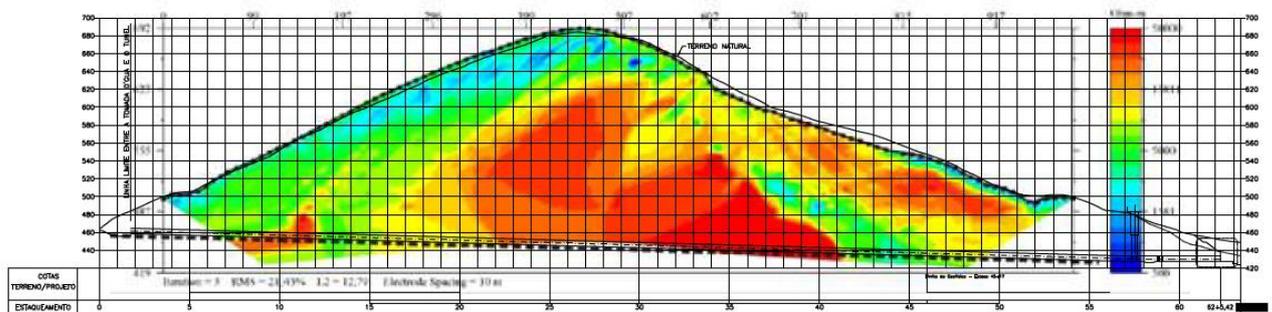


Figura 6.2 – Separação das seções do túnel

Ao final desta avaliação, foi gerado um gráfico relacionando os valores de Q encontrados para cada uma das seções do túnel no mapeamento de campo e calculado com base nos dados disponíveis após os estudos preliminares.

6.1 CLASSIFICAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO - Q

Para a avaliação e cálculo das notas de “Q” das seções do túnel em análise, foram considerados todos os dados levantados nos estudos preliminares ao Projeto Básico e na campanha geofísica.

Com essas informações, foram definidas as notas para cada um dos parâmetros de “Q” ao longo das várias seções do trecho em análise, visando gerar uma tabela comparativa com o levantamento de campo.

6.1.1 RQD (Rock Quality Designation)

O parâmetro *RQD* (*Rock Quality Designation*) utiliza testemunhos de sondagem para verificar a relação entre rocha intacta e descontinuidades ao longo de um furo de sondagem. O parâmetro RQD apresenta a seguinte caracterização, conforme Tabela 6.1:

Tabela 6.1 – Descrição do Parâmetro RQD

| "Rock Quality Designation" | | RQD |
|-----------------------------------|------------|------------|
| A | Muito ruim | 0-25 |
| B | Ruim | 25-50 |
| C | Médio | 50-75 |
| D | Bom | 75-90 |
| E | Muito Bom | 90-100 |

Muito embora seja possível estimar os parâmetros referentes às descontinuidades superficialmente, o RQD oriundo de sondagem deve ser obtido necessariamente por meio de sondagem testemunhada, o que pressupõe que a classificação do maciço passe, obrigatoriamente, por uma campanha de sondagem (Perreira, 2017).

Para definição do parâmetro RQD a ser estimado para o trecho do túnel ora em análise, foram levados em consideração os resultados obtidos nas sondagens realizadas nas regiões dos emboque e desemboque do túnel, sendo eles os locais mais próximos ao túnel onde foram realizados esses tipos de investigações, uma vez que ao longo do túnel não foram realizadas sondagens. Também foram consideradas as informações levantadas no mapeamento geológico na região. A Tabela 6.2 apresenta quais os furos de sondagens considerados nesta etapa. Os respectivos logs estão no Anexo B deste trabalho.

Tabela 6.2 – Sondagens executadas durante os estudos preliminares

| Sond. nº | Local | Coord N | Coord E | Cota (m) | Solo (m) | Rocha (m) | Total (m) |
|-----------------|----------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| SR-04 | Tomada D'Água | 7.890.929,960 | 722.940,020 | 476,42 | 15,50 | 8,00 | 23,50 |
| SR-103 | Tomada D'Água | 7.890.898,640 | 722.912,237 | 474,834 | 9,80 | 10,05 | 19,85 |
| SR-104 | Tomada D'Água | 7.890.869,879 | 722.935,002 | 493,651 | 11,00 | 10,30 | 21,30 |
| SMD-204 | Tomada D'Água | 7.890.877,600 | 722.822,170 | 465,50 | 2,80 | 15,90 | 18,70 |
| SM-106 | Desemboque Túnel de Adução | 7.890.284,731 | 723.893,649 | 461,690 | 5,20 | 10,95 | 16,15 |
| SM-102 | Desemboque Túnel de Adução | 7.890.252,580 | 723.905,701 | 454,411 | 9,80 | 14,30 | 24,10 |
| SRD-205 | Casa de Força | 7.890.187,335 | 723.916,383 | 446,13 | 14,80 | 12,20 | 27,00 |
| SM-103 | Casa de Força | 7.890.127,378 | 723.920,624 | 442,535 | 23,90 | 18,30 | 42,20 |

Estas sondagens estão locadas nos projetos DGN-DB-G26-007 (Anexo A-9) e DGN-DB-G26-008 (Anexo A-10).

Para a extrapolação dos resultados ao longo do túnel, foi realizada uma análise dos resultados das sondagens e dos dados dos mapeamentos geológicos, buscando encontrar uma relação entre os resultados do mapeamento geoeletrico e suas diferentes resistividades para a estimativa mais adequada do RQD para o trecho em estudo.

Considerando que o RQD tem relação com o grau de fraturamento e alteração da rocha, procurou-se analisar em quais locais do túnel a rocha aparenta estar menos alterada e fraturada, ou seja, com resistividade maior e mais alterada, com resistividade menor. Definidos esses locais, ainda foi verificado se foram identificadas famílias de fraturas na região. Assim, o túnel foi subdividido entre as seguintes seções, conforme Tabela 6.3:

Tabela 6.3 – Seções de resistividades

| Seção | Resistividade (ohms) |
|---------------------|-----------------------------|
| 20+0,00 a 21+13,00 | 5.000 |
| 21+13,00 a 41+10,00 | 15.000 a 50.000 |
| 41+10,00 a 46+0,00 | 3.000 |

Na seção entre as estacas 20+0,00 a 21+13,00, foi verificada a ocorrência de uma zona anômala, onde foi encontrada uma resistividade de aproximadamente 5.000 ohms, que ainda está na faixa de valores típicos de granito, conforme indicado na Tabela 3.1.

Já na seção entre as estacas 21+13,00 a 41+10,00, foram verificadas as maiores resistividades do trecho do túnel, variando entre 15.000 e 50.000 ohms. Valores esses típicos de granito, conforme indicado na Tabela 3.1. Também não foram indicadas ocorrência de zonas de fratura ao longo dessa seção.

Apesar da resistividade alta entre as estacas 20+0,00 a 21+13,00, ela ainda é inferior do que entre as estacas 21+13,00 a 41+10,00, mas mesmo assim tal resistividade indica que há pouca presença de água no maciço. Porém, nessa seção é verificada uma zona anômala, que pode indicar um maior nível de fraturamento no maciço nesta região. Desta maneira, é possível inferir que o RQD entre as estacas 20+0,00 a 21+13,00 apresenta valores inferiores ao RQD da seção entre as estacas 21+13,00 a 41+10,00.

Os valores de RQD para o maciço do túnel das seções entre as estacas 20+0,00 a 21+13,00 e 21+13,00 a 41+10,00 foram estimados através de uma média dos RQDs obtidos através das sondagens SR04, SR103, SR104, SMD204, SM106, SM102 e SDR205, cujo logs e relatórios são apresentados no Anexo B.

Ao longo da seção entre as estacas 41+10,00 a 46+0,00 foram verificadas as menores resistividades do eixo do túnel, com valores chegando a cerca de 3.000 ohms. Tais valores podem indicar maior grau de alteração da rocha em relação ao restante da rocha do túnel, uma vez que indicam maior presença de água/umidade.

Nos logs de sondagem estudados, o log SM-103 situado na região do desemboque do túnel indicou a ocorrência de Biotita Gnaisse, que de acordo com o próprio log de sondagem, apresentou estrutura foliada, rica em biotita e em minerais máficos. Ainda que na profundidade de 29,05 a 31,80 metros ocorra uma passagem decomposta e em solo, apresenta forte predominância de biotitas. Considerando a proximidade do ponto da sondagem com a região da zona anômala próxima a seção entre as estacas 41+10,00 a 46+0,00, é possível inferir que o RQD desta região teria um valor inferior às demais seções devido à baixa resistividade de rocha, às características identificadas no log citado e as informações desta região que foram mapeadas em campo citados no capítulo anterior e demonstrados nas Figura 5.30, Figura 5.31, Figura 5.32 e Figura 6.3.

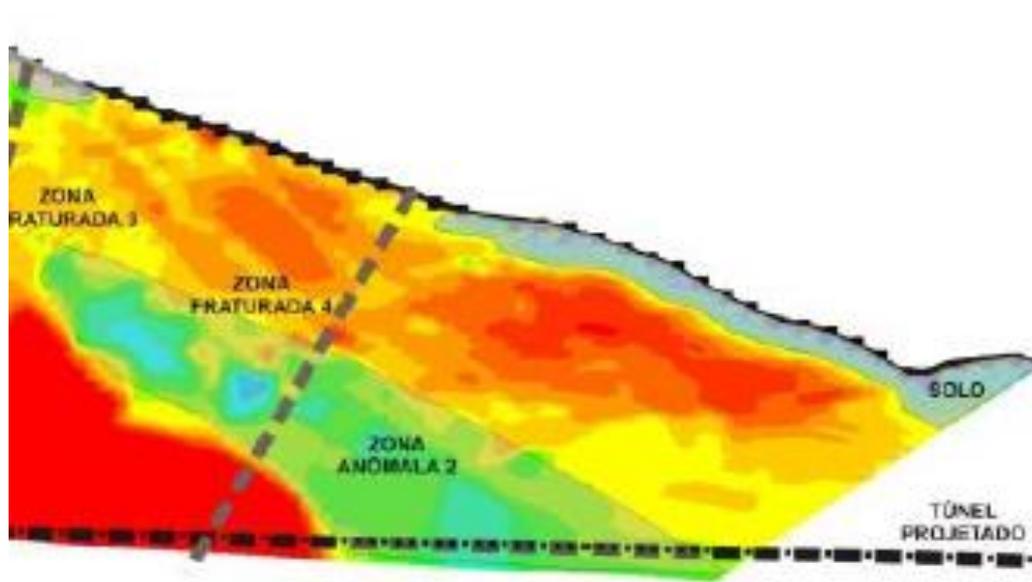


Figura 6.3 – Detalhe da zona anômala entre as estacas 41+10,00 a 46+0,00.

Logo para a seção entre as estacas 41+10,00 a 46+0,00, onde foi verificada a zona anômala, o RDQ estimado foi baseado no RDQ do log SM103 e penalizado pela maior presença de água e aparente maior decomposição.

Os valores atribuídos para o RQD em cada seção do túnel ao longo do trecho estimado estão dispostos na Tabela 6.4 a seguir:

Tabela 6.4 – RQD das seções do túnel

| Seção | RQD |
|---------------------|-----|
| 20+0,00 a 21+13,00 | 80 |
| 21+13,00 a 41+10,00 | 90 |
| 41+10,00 a 46+0,00 | 60 |

6.1.2 Jn – Fraturas e Descontinuidades

Esse parâmetro se relaciona com as famílias de descontinuidades e fraturas que são encontradas em um maciço rochoso. Assim como o parâmetro RQD, para que sejam estimados os valores para o trecho em análise, é necessário avaliar as informações que se tem conhecimento. Tabela 6.5 apresenta a descrição deste parâmetro.

Tabela 6.5 – Descrição do Parâmetro Jn

| "Joint set number" | | Jn |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------|
| A | Nenhuma ou poucas descontinuidades presentes | 0,5 -1,0 |
| B | Uma família de descontinuidade | 2 |
| C | Uma família mais descontinuidades espaçadas | 3 |
| D | Duas famílias de descontinuidades | 4 |
| E | Duas famílias mais descontinuidades espaçadas | 6 |
| F | Três famílias de descontinuidades | 9 |
| G | Três famílias mais descontinuidades espaçadas | 12 |
| H | Quatro ou mais famílias, descontinuidades espaçadas, maciços muito fraturados | 15 |
| I | Rocha esmagada, tipo terroso | 20 |

Para a avaliação do maciço rochoso do trecho do túnel em análise de acordo com a tabela acima, foram consideradas as informações provenientes das sondagens, apresentadas na Tabela 6.2, dos mapeamentos de campo e também da seção gerada pelo estudo geofísico realizado ao longo do eixo do túnel.

Para a análise da região inicial do túnel a partir da estaca 20+0,00 até a 21+10,00, próximo ao emboque, foram utilizadas as informações provenientes das sondagens realizadas na Tomada d'Água (SR-04, SR-103, SR-104 e SMD-04) sondagens mais próximas ao emboque. Nestas, foi possível verificar que o maciço rochoso, em geral, não apresentou grau de fraturamento elevado, tendo como resultado mais comum uma rocha pouco fraturada. Ainda, foi observada uma zona anômala e de que sua resistividade é ligeiramente inferior as seções subsequentes (a partir da estaca 21+13,00 se observa uma alta na resistividade). Dessa maneira, subtende-se que nesta área a rocha tende a apresentar maior número de família de fraturas.

Já no trecho mais central do túnel, entre as estacas 21+0,00 a 41+10,00, correspondente a região onde a rocha apresentou maior resistividade, foram mapeadas poucas discontinuidades (Figura 6.4). Para esse trecho, foram consideradas as todas as sondagens realizadas previamente. A exceção da sondagem SM-103, todas apresentaram resultados semelhantes, indicando que o maciço rochoso.

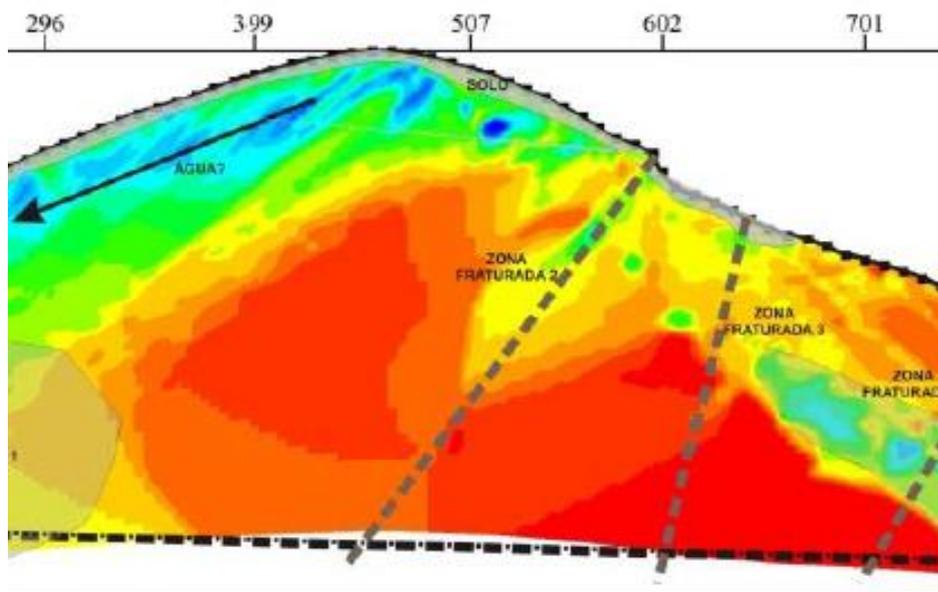


Figura 6.4 – Trecho entre as estacas 21+0,00 a 41+10,00, onde o maciço do túnel se apresentou pouco fraturado

Novamente próximo a zona anômala entre as estacas 41+10,00 a 46+0,00, a seção geelétrica indicou a presença uma zona de fraturas associada a quebras de resistividade. Os mapeamentos de campo, também encontraram descontinuidades na vertente do túnel, onde foi possível observar que as feições erosivas na vertente do desemboque apresentaram uma boa correlação com duas quebras na resistividade verificadas no perfil nesta região (Figura 6.5). Ainda, uma das sondagens realizadas próximas ao desemboque do túnel, a SM-103, indicou um maciço mais fraturado que as demais sondagens.

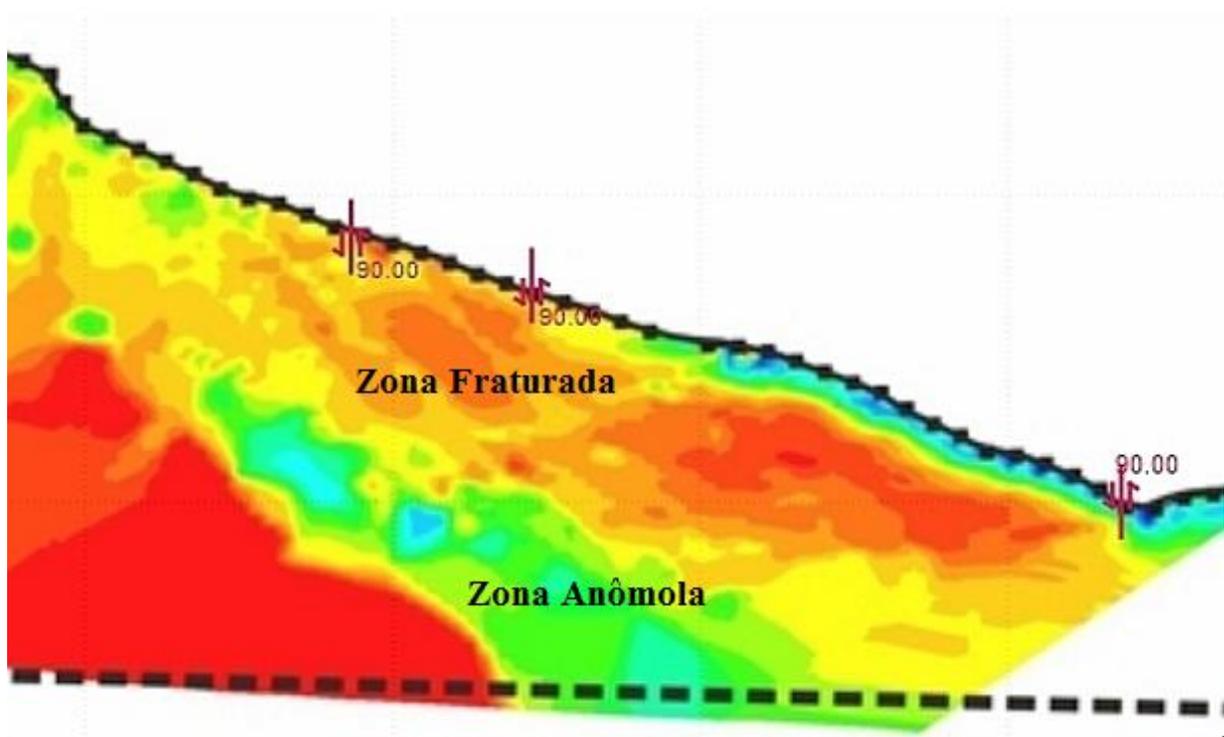


Figura 6.5 – Detalhe da região onde foi verificado maior número de descontinuidades. Por essa razão, o valor J_n do trecho entre as estacas 41+10,00 a 46+0,00 é maior

Ainda, a análise integrada entre as diversas bases de dados, permitiu identificar que o trecho entre as estacas 41+10,00 a 46+0,00 possui como característica marcante estar na região onde ocorrem encontro de pelo menos 3 direções de veios. Esses veios, que foram considerados como descontinuidades, considerando a erosão diferencial por maior susceptibilidade natural, foram observados em diversos afloramentos durante o mapeamento geológico e notou-se uma predominância de intemperismo mais avançado nestas estruturas em comparação a rocha do entorno. Isso pode ser explicado pela cristalização de minerais tardios em relação aos eventos

tectônicos e ou intrusivos que ocorreram durante muitas fases do tempo geológico neste maciço.

Outro aspecto interessante nesta metodologia de análise integrada consiste que mesmo sem ter a seção geoeletrica, apenas com as direções destes veios e observações de campo que identificaram o intemperismo diferenciado destas estruturas, a região onde foi sinalizada como sendo “ruim” na seção geoeletrica também seria selecionada como “potencialmente ruim” pelo mapa das estruturas, conforme pode ser verificado na Figura 6.5. Dessa forma, correlacionando esta sondagem com as informações levantadas sobre este trecho, é razoável concluir que o maciço rochoso nessa região do túnel estará mais fraturado do que o restante, sendo assim conferido para estas seções, um valor de J_n mais elevado, que considerando os valores típicos para trechos faturados, adotou-se um valor de J_n igual a 12.

Esta análise serviu também para o trecho entre as estacas 20+0,00 a 21+13,00 e 21+13,00 a 41+10,00 que não é afetado pelos veios, e potencialmente, tem uma tendência a ser caracterizado como área mais favorável à presença de rocha mais menos fraturada.

A Tabela 6.6 a seguir apresenta um resumo dos valores dos J_n estimados para as diferentes seções do túnel.

Tabela 6.6 – J_n das seções do túnel

| Seção | J_n |
|---------------------|-------------------------|
| 20+0,00 a 21+13,00 | 9 |
| 21+13,00 a 41+10,00 | 6 |
| 41+10,00 a 46+0,00 | 12 |

6.1.3 Jr – Características das Juntas e descontinuidades

Este parâmetro da nota Q do maciço se relaciona com as características das juntas e descontinuidades do mesmo, mais especificamente com a rugosidade da mesma. A Tabela 6.7 abaixo apresenta a descrição deste parâmetro.

Tabela 6.7 – Descrição do Parâmetro Jr

| "Joint roughness number" | | Jr |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| a) Contato entre as paredes de rocha das discontinuidades | | |
| b) Contato entre as paredes de rocha antes de 10 cm de escorregamento | | |
| A | Juntas descontínuas | 4 |
| B | Descontinuidades rugosas, irregulares, onduladas | 3 |
| C | Descontinuidades suaves e onduladas | 2 |
| D | Descontinuidades polidas e onduladas | 1,5 |
| E | Descontinuidades rugosas ou irregulares, planas | 1,5 |
| F | Descontinuidades lisas, planas | 1 |
| G | Descontinuidades polidas, planas | 0,5 |
| c) Não há contato entre as paredes de rocha no escorregamento | | |
| H | Zona contendo minerais argilosos e suficientemente espessa de modo a impedir o contato entre as paredes | 1 |
| I | Zonas esmagadas contendo areias de modo a impedir o contato entre as paredes | 1 |

O caminhamento elétrico não é de grande valia para a definição de uma estimativa para esse parâmetro, pois não é possível relacionar a resistividade mapeada com o nível de rugosidade de uma discontinuidade. Portanto, para esse parâmetro apenas as informações provenientes das sondagens e do mapeamento de campo serão consideradas para a estimativa do parâmetro Jr.

As sondagens realizadas indicaram que em geral, as juntas dos maciços são rugosas e planas. No mapeamento, foram verificadas falhas e fraturas espaçadas e descontínuas. Por essas razões, o valor do parâmetro Jr foi o mesmo para todo o túnel, sendo igual a 1, conforme Tabela 6.8.

Tabela 6.8 – Jr das seções do túnel

| Seção | Jr |
|-------------------|-----------|
| 20+0,00 a 46+0,00 | 1 |

6.1.4 Ja - Índice de alteração da Junta

Assim como o parâmetro Jr, este parâmetro está relacionado às características das juntas do maciço. Porém o Ja é referente ao grau de alteração da junta. A Tabela 6.9 abaixo apresenta a descrição deste parâmetro.

Tabela 6.9 – Descrição do Parâmetro Ja

| "Joint alteration number" | | Ja | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|
| a) Contato entre as paredes de rocha das descontinuidades | | | |
| A | Paredes duras, compactas, preenchimentos impermeáveis (quartzo ou epibolito) | 0,75 | - |
| B | Paredes não alteradas, somente com leve descoloração | 1 | 25-35 |
| C | Paredes ligeiramente alteradas, com partículas arenosas e rochas desintegradas não brandas | 2 | 25-30 |
| D | Paredes com partículas siltosas ou areno-argilosas | 3 | 20-25 |
| E | Paredes com partículas de materiais moles ou de baixo ângulo de atrito, tais como caulinite, mica, gesso, talco, clorite, grafite, etc., e pequenas quantidades de argilas expansivas | 4 | 8-16 |
| b) Contato entre as paredes de rocha das descontinuidades antes de 10 cm de escorregamento | | | |
| F | Paredes com partículas de areia e rochas desintegradas, etc | 4 | 25-30 |
| G | Descontinuidades com preenchimento argiloso sobreconsolidado (contínuo, mas com espessura <5mm) | 6 | 16-24 |
| H | Descontinuidades com preenchimento argiloso subconsolidado (contínuo, mas com espessura <5mm) | 8 | 12-16 |
| I | Descontinuidades com enchimento argiloso expansivo, como por exemplo montmorilonite (contínuo, mas com espessura < 5 mm); o valor de J a depende da porcentagem de partículas de argila expansiva e do acesso da água, etc | 8-12 | 6-12 |
| c) Não há contato entre as paredes de rocha no escorregamento | | | |
| J | Zonas ou bandas com rochas desintegradas ou esmagadas com argila (ver G, H e I para condições do material argiloso) | 6, 8 ou 8-12 | 6-24 |
| K | Zonas ou bandas siltosas ou areno-argilosas, com pequena fração de argila | 5 | - |
| L | Zonas contínuas de argila (ver G, H e I para condições do material argiloso) | 10, 13, 13-20 | 6-24 |

Na seção gerada, foi verificado que as descontinuidades mapeadas pela geoeletrica apresentam resistividade muito alta. Provavelmente estes trechos possuem fraturas que atualmente encontram-se secas ou com muito pouca água, exceto a zona anômala entre as estacas 41+10,00 e 46+0,00, conforme pode ser verificado na Figura 6.6.

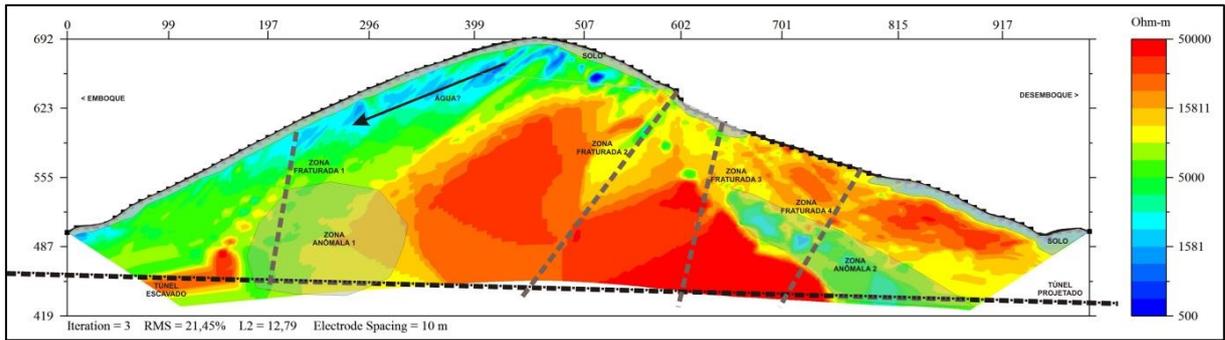


Figura 6.6 – Seção da geoeletrica. Linhas tracejadas representam descontinuidades mapeadas.

Para esse parâmetro as sondagens realizadas também não foram de grande valia, uma vez que não forneceram informações relevantes a respeito do grau de alteração das juntas.

O mapeamento de campo por sua vez, foi importante para confirmar que onde foi observado um quebra de resistividade, entre as estacas 41+10,00 e 46+0,00, na região do desemboque, onde ocorrem também algumas descontinuidades. E existe a possibilidade destas feições serem condutos para águas superficiais penetrarem no maciço rochoso.

Possivelmente quando estas feições intersectam os veios pegmatíticos há uma tendência de conduzir mais água e, portanto, o intemperismo tende a ser mais acentuado. Na Figura 6.7 o disco na cor marrom representa a foliação e o disco roxo um provável veio pegmatítico. Logo abaixo da intersecção destes está uma anomalia de baixa resistividade, denotando uma maior quantidade de água.

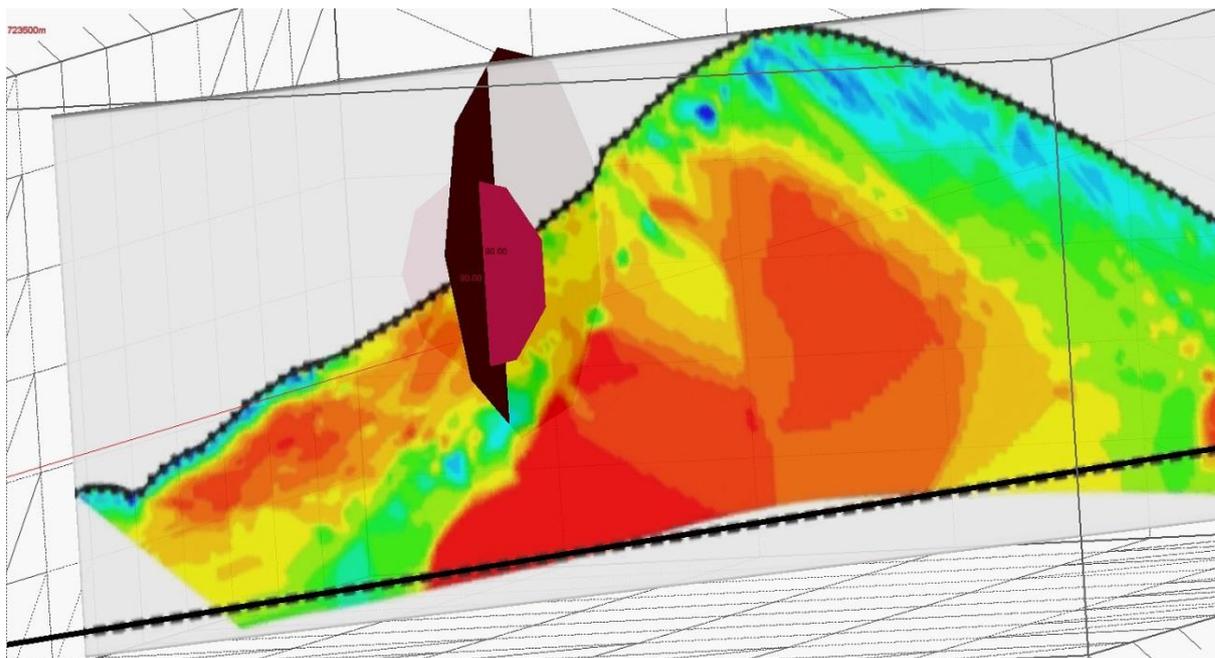


Figura 6.7 – Detalhe do local que apresenta maior intemperismo.

Com base nessas informações, foi estimado para o túnel que entre as estacas 20+0,00 e 41+10,00 o parâmetro J_a terá o valor de 1. Já para as seções entre as estacas 41+10,00 a 46+0,00, como foi verificado maior intemperismo e presença de água, mas ainda sim sem materiais como argila, o valor para o parâmetro J_a foi de 2, conforme Tabela 6.10.

Tabela 6.10 – J_a das seções do túnel

| Seção | J_a |
|--------------------|-------|
| 20+0,00 a 41+10,00 | 1 |
| 41+10,00 a 46+0,00 | 2 |

6.1.5 J_w – Fator de Redução devido a presença de água

O parâmetro J_w está relacionado a presença de água durante a escavação de um determinado maciço. A Tabela 6.11 apresenta a descrição deste parâmetro.

Tabela 6.11 – Descrição do Parâmetro Jw

| "Joint water reduction" | | Jw | Pressão da água aprox. (Mpa) |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------|
| A | Escavações secas ou vazão afluída pequeno, isto é < 5 l/min localmente | 1,0 | < 0,1 |
| B | Vazão média ou pressão que ocasionalmente arraste o preenchimento das descontinuidades | 0,7 | 0,1-0,25 |
| C | Vazão ou pressão elevada em rochas competentes sem preenchimento | 0,5 | 0,25-1 |
| D | Vazão ou pressão elevada, com considerável arrastamento do preenchimento das descontinuidades | 0,3 | 0,25-1 |
| E | Vazão excepcionalmente elevado ou pressão explosiva, decaindo com o tempo | 0,2-0,1 | > 1,0 |
| F | Vazão excepcionalmente elevado ou pressão contínua, sem decaimento | 0,1-0,05 | > 1,0 |

Para a definição do parâmetro Jw do túnel para esse estudo, as informações provenientes da geofísica e do mapeamento de campo foram utilizadas.

A análise de todas essas técnicas indicou que não ocorreria a presença significativa de água na projeção do eixo do túnel.

A seção geoeletrica indicou que não há presença de fluxo significativo de água ao longo da encosta a ser escavada, o que foi evidenciado pela elevada resistividade aparente da rocha no local estudo. Como pode ser observado na seção, ao longo do eixo do túnel as resistividades típicas encontradas variam entre aproximadamente 3.000 ohms (mais baixas) e 50.000 ohms (mais altas). Mesmo nos trechos em que o mapeamento de campo encontrou veios pegmatíticos (como mostrado no Ponto P12), as resistividades da rocha no eixo do túnel ainda se mantiveram na faixa supracitada, indicando baixa presença de água mesmo nos pontos onde foram observadas tais alterações. Esses fatos podem ser verificados na Figura 6.8.

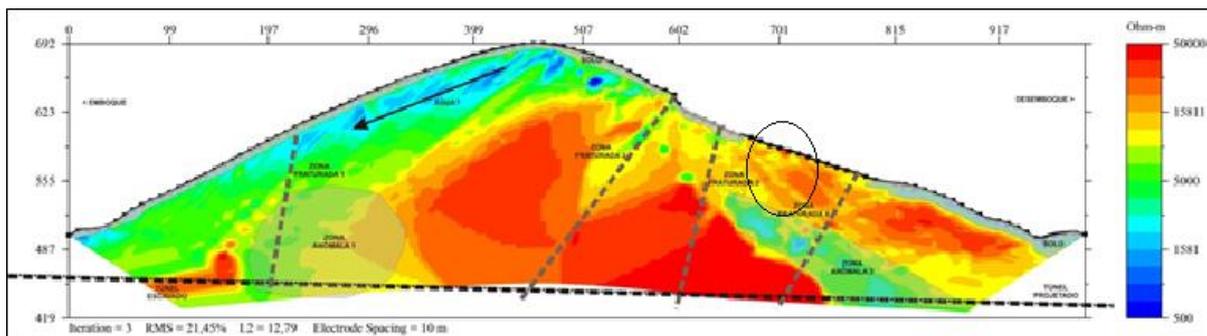


Figura 6.8 – Variação da resistividade ao longo do túnel. Em destaque região onde foram mapeados os veios pegmatíticos. Resistividade não menor a 3.000 ohms.

De acordo com a literatura e como indicado na Tabela 3.1, tais valores são típicos de rocha com baixo teor de umidade, podendo-se concluir que não há fluxo de água na região.

Por estas razões, para o túnel em questão, o valor do parâmetro J_w adotado foi de 1, pois pode-se considerar que a escavação se dará a seco.

6.1.6 SRF – Stress Reduction Factor

O parâmetro SRF pode ser uma medida de alívio de carga devido a escavações por zonas cisalhadas e rochas argilosas, esforços em rochas competentes, deformações e fluidificação em rochas plásticas incompetentes, conforme Tabela 6.12.

Tabela 6.12 – Descrição do Parâmetro SFR

| "Stress Reduction Factor" | | SRF | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a) Zonas de fraqueza interceptando as escavações, o que pode causar a decompressão do maciço rochoso durante a abertura destas | | | 1. Reduzir o índice SRF de 25 a 50% se as zonas de corte influenciarem a escavação sem a atravessarem 2. No caso de maciços rochosos contendo argila, é conveniente obter o índice SRF para as cargas de decompressão. A |
| A | Zonas de fraqueza frequentes, contendo argila ou rocha decomposta quimicamente; maciço rochoso envolvente muito descomprimido (todas as profundidades) | 10,0 | |
| B | Zonas de fraqueza individuais, contendo argila ou rocha decomposta quimicamente (profundidades da escavação ≤ 50 m) | 5,0 | |
| C | Zonas de fraqueza individuais, contendo argila ou rocha decomposta quimicamente (profundidades da escavação > 50 m) | 2,5 | |
| D | Numerosas zonas de corte em rocha competente, sem argila; rocha envolvente descomprimida (todas as | 7,5 | |

| "Stress Reduction Factor" | | SRF | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| | profundidades) | | resistência da matriz rochosa é então pouco significativa. Em maciços muito pouco fraturados e sem argila, | |
| E | Zonas individuais de corte em rocha competente, sem argila (profundidades das escavação ≤ 50 m) | 5,0 | | |
| F | Zonas individuais de corte em rocha rígida, sem argila (profundidades das escavação > 50 m) | 2,5 | | |
| G | Juntas abertas, rocha muito fraturada e descomprimida (todas as profundidades) | 5,0 | | |
| b) Rocha competente, problemas de tensões de rocha | | | σ_c / σ_1 | σ_t / σ_1 |
| H | Tensões baixas, próximo a superfície | 2,5 | >200 | >13 |
| I | Tensões médias | 1,0 | 200-10 | 13-0,66 |
| J | Tensões altas, estrutura muito fechada (usualmente favorável para a estabilidade; pode ser desfavorável para a estabilidade das paredes) | 0,5-2,0 | 10-5 | 0,66-0,33 |
| K | Explosões moderadas de rochas (rocha maciça) | 5-10 | 5-2,5 | 0,33-0,16 |
| L | Explosões intensas de rochas (rocha maciça) | 10-20 | $<2,5$ | 0,16 |
| c) Rocha esmagada: plastificação de rochas incompetentes sob a influência de altas pressões de rocha | | | | |
| M | Pressão moderada da rocha esmagada | 5-10 | | |
| N | Pressão elevada da rocha esmagada | 10-20 | | |
| d) Rochas expansivas: atividade química expansiva devida à presença da água | | | | |
| O | Pressão de expansão moderada | 5-10 | | |
| P | Pressão de expansão elevada | 10-15 | | |

A definição desse parâmetro se deu através da análise dos resultados do ensaio de compressão de rocha realizado a partir de testemunho de sondagens da etapa do Projeto Básico (Anexo C). Para tanto, procurou-se calcular a relação σ_c / σ_1 para a definição deste parâmetro.

Para o cálculo do valor σ_1 , foi adotado o peso específico da rocha (granito) vezes a altura da coluna de material (h). Para o caso em estudo, foi considerado o valor de peso específico do granito igual a 26,8 KN/m³. Já para o valor da altura h, que varia ao longo do eixo do túnel, foram considerados os valores variando entre 120 (menor cobertura do trecho analisado – equivalente a estaca 46+0,00) a 240 m de cobertura (maior cobertura do túnel). Já para o valor de σ_c foi considerado o valor encontrado no ensaio de compressão de rocha (Anexo C), sendo ele igual a 74,77 MPa. Dessa forma, a relação σ_c / σ_1 foi calculada e os valores são apresentados na Tabela 6.13.

Tabela 6.13 – Definição da razão σ_c / σ_1 para o trecho do túnel

| Estaca Projeto | Altura h (m) | γ granito (KN/m ³) | $\sigma_1 = \gamma \cdot h$ (MPa) | σ_c (MPa) | σ_c / σ_1 | SRF |
|------------------------|--------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------|-----|
| 20+0,00 - 20+10,00 | 196,37 | 26,8 | 5,26 | 74,77 | 14,21 | 1 |
| 20+10,00 - 21+13,0 | 200,37 | 26,8 | 5,37 | 74,77 | 13,92 | 1 |
| 21,0+13,00 - 22,0+10,0 | 206,76 | 26,8 | 5,54 | 74,77 | 13,49 | 1 |
| 22,0+10,0 - 24+8,00 | 215,16 | 26,8 | 5,77 | 74,77 | 12,97 | 1 |
| 24+8,00 - 25+5,00 | 230,09 | 26,8 | 6,17 | 74,77 | 12,13 | 1 |
| 25+5,00 - 26+5,00 | 235,37 | 26,8 | 6,31 | 74,77 | 11,85 | 1 |
| 26+5,00 - 27+0,00 | 239,87 | 26,8 | 6,43 | 74,77 | 11,63 | 1 |
| 27+0,00 - 27+15,00 | 238,64 | 26,8 | 6,40 | 74,77 | 11,69 | 1 |
| 27+15,00 - 28+15,00 | 237,41 | 26,8 | 6,36 | 74,77 | 11,75 | 1 |
| 28+15,00 - 29+15,00 | 235,21 | 26,8 | 6,30 | 74,77 | 11,86 | 1 |
| 29+15,00 - 30+10,00 | 234,61 | 26,8 | 6,29 | 74,77 | 11,89 | 1 |
| 30+10,00 - 31+10,00 | 229,29 | 26,8 | 6,14 | 74,77 | 12,17 | 1 |
| 31+10,00 - 32+10,00 | 219,58 | 26,8 | 5,88 | 74,77 | 12,71 | 1 |
| 32+10,00 - 33+10,00 | 211,64 | 26,8 | 5,67 | 74,77 | 13,18 | 1 |
| 33+10,00 - 35+5,00 | 198,94 | 26,8 | 5,33 | 74,77 | 14,02 | 1 |
| 35+5,00 - 36+15,00 | 178,96 | 26,8 | 4,80 | 74,77 | 15,59 | 1 |
| 36+15,00 - 38+5,00 | 167,44 | 26,8 | 4,49 | 74,77 | 16,66 | 1 |
| 38+5,00 - 39+0,00 | 156,96 | 26,8 | 4,21 | 74,77 | 17,77 | 1 |
| 39+0,00 - 40+0,00 | 153,07 | 26,8 | 4,10 | 74,77 | 18,23 | 1 |
| 40+0,00 - 40+15,00 | 146,84 | 26,8 | 3,94 | 74,77 | 19,00 | 1 |
| 40+15,00 - 41+10,00 | 143,50 | 26,8 | 3,85 | 74,77 | 19,44 | 1 |
| 41+10,00 - 42+5,00 | 140,44 | 26,8 | 3,76 | 74,77 | 19,87 | 1 |
| 42+5,00 - 43+5,00 | 136,59 | 26,8 | 3,66 | 74,77 | 20,43 | 1 |
| 43+5,00 - 44+15,00 | 121,58 | 26,8 | 3,26 | 74,77 | 22,95 | 1 |
| 44+15,00 - 46+0,00 | 113,40 | 26,8 | 3,04 | 74,77 | 24,60 | 1 |

Logo, de acordo com a Tabela 6.12, uma vez que o resultado da razão entre σ_c / σ_1 para o trecho do túnel em análise está sempre entre 10 – 200, como observado na Tabela 6.13, pode-se concluir que o SRF para este maciço terá o valor relativo a definição de “Rocha competente, problemas de tensões de rocha”, com tensões médias, sendo ele igual a 1,0 para todos as estacas do túnel.

6.1.7 Resultados

Após essa avaliação, foi gerada uma tabela com as notas para todas as seções, das estacas 20+0,00 a 46+0,00 e com o cálculo de Q para as mesmas. Essa tabela foi comparada com a tabela gerada durante a escavação do túnel, que contém as notas e avaliações após escavação do maciço.

Para os valores de Q calculados, também foi utilizado o sistema de classificação de maciço rochoso e classes de suporte conforme Barton (1993). A classe do maciço segundo esse

sistema é proporcional ao valor “Q” de Barton. As classes podem ser de valor I até o valor V, do melhor para pior maciço. Quanto pior mais será gasto em tratamento para suporte do túnel, conforme Tabela 6.14:

Tabela 6.14 – Correlação entre classes de Maciços e Q de Barton

| Classes de Maciços | Q (Barton) |
|--------------------|------------|
| I | > 4 |
| II | 1 a 4 |
| III | 0,1 a 1 |
| IV | 0,01 a 0,1 |
| V | < 0,01 |

A Tabela 6.15, apresenta os valores de Q e a classificação do maciço rochoso, conforme citado anteriormente, com base nas estimativas realizadas neste trabalho.

Tabela 6.15 – Parâmetros e Cálculo de Q com base nas estimativas

| Estaca Projeto | RQD | Jn | Jr | Ja | Jw | SRF | Q (Estimado) | Classe do Maciço |
|------------------------|-----|----|----|----|----|-----|--------------|------------------|
| 20+0,00 - 20+10,00 | 80 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8.89 | Classe I |
| 20+10,00 - 21+13,0 | 80 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8.89 | Classe I |
| 21,0+13,00 - 22,0+10,0 | 90 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10.00 | Classe I |
| 22,0+10,0 - 24+8,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 24+8,00 - 25+5,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 25+5,00 - 26+5,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 26+5,00 - 27+0,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 27+0,00 - 27+15,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 27+15,00 - 28+15,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 28+15,00 - 29+15,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 29+15,00 - 30+10,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 30+10,00 - 31+10,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 31+10,00 - 32+10,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 32+10,00 - 33+10,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 33+10,00 - 35+5,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 35+5,00 - 36+15,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 36+15,00 - 38+5,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 38+5,00 - 39+0,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 39+0,00 - 40+0,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 40+0,00 - 40+15,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 40+15,00 - 41+10,00 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15.00 | Classe I |
| 41+10,00 - 42+5,00 | 60 | 12 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2.50 | Classe II |
| 42+5,00 - 43+5,00 | 60 | 12 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2.50 | Classe II |
| 43+5,00 - 44+15,00 | 60 | 12 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2.50 | Classe II |
| 44+15,00 - 46+0,00 | 60 | 12 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2.50 | Classe II |

6.2 MAPEAMENTO DE CAMPO

Durante a escavação do túnel, as paredes foram sistematicamente mapeadas e avaliadas em campo por um geólogo capacitado. Durante esse processo, os dados recolhidos em campo foram sistematicamente registrados para compor o projeto “as built” da usina.

As informações levantadas em campo foram organizadas de maneira a compor o quadro similar ao proposto no projeto básico, com o objetivo de comparar a estimativa inicial e o encontrado após a escavação.

As figuras Figura 6.9, Figura 6.10, Figura 6.11 e Figura 6.12 representam as vistas de momentos distintos da escavação do túnel durante a execução da obra.



Figura 6.9 – Escavação do túnel



Figura 6.10 – Avaliação do maciço rochoso in loco



Figura 6.11 – Vista de parte do túnel escavado



Figura 6.12 – Emboque do túnel já escavado.

Esses resultados foram então comparados com os resultados das medições de campo, que foram executadas na medida em que a escavação do mesmo avançava. Dessa maneira, pode-se considerar os resultados desse mapeamento como sendo os valores “reais” de Q . A Tabela 6.16 seguir apresenta os valores obtidos em campo.

Tabela 6.16 – Parâmetros e Cálculo de Q – Resultados das medições de campo

| Estaca Projeto | RQD | Jn | Jr | Ja | Jw | SRF | Q (Real) | Classe do Maciço |
|------------------------|-----|----|----|----|----|-----|---------------|------------------|
| 20+0,00 - 20+10,00 | 80 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8,89 | Classe I |
| 20+10,00 - 21+13,0 | 50 | 15 | 1 | 1 | 1 | 5 | 0,67 | Classe III |
| 21,0+13,00 - 22,0+10,0 | 90 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 15,00 | Classe I |
| 22,0+10,0 - 24+8,00 | 90 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10,00 | Classe I |
| 24+8,00 - 25+5,00 | 95 | 9 | 1 | 1 | 1 | 2,5 | 4,22 | Classe I |
| 25+5,00 - 26+5,00 | 100 | 9 | 1 | 1 | 1 | 2,5 | 4,44 | Classe I |
| 26+5,00 - 27+0,00 | 100 | 12 | 1 | 1 | 1 | 2,5 | 3,33 | Classe II |
| 27+0,00 - 27+15,00 | 95 | 9 | 1 | 1 | 1 | 2,5 | 4,22 | Classe I |
| 27+15,00 - 28+15,00 | 100 | 9 | 1 | 1 | 1 | 2,5 | 4,44 | Classe I |
| 28+15,00 - 29+15,00 | 100 | 9 | 1 | 1 | 1 | 2,5 | 4,44 | Classe I |
| 29+15,00 - 30+10,00 | 100 | 9 | 1 | 1 | 1 | 2,5 | 4,44 | Classe I |
| 30+10,00 - 31+10,00 | 100 | 9 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2,22 | Classe II |
| 31+10,00 - 32+10,00 | 100 | 9 | 1 | 1 | 1 | 2,5 | 4,44 | Classe I |
| 32+10,00 - 33+10,00 | 100 | 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8,33 | Classe I |
| 33+10,00 - 35+5,00 | 100 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11,11 | Classe I |
| 35+5,00 - 36+15,00 | 100 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11,11 | Classe I |

| Estaca Projeto | RQD | Jn | Jr | Ja | Jw | SRF | Q (Real) | Classe do Maciço |
|-----------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|---------------------|-----------------------------|
| 36+15,00 - 38+5,00 | 100 | 9 | 1 | 1 | 1 | 2,5 | 4,44 | Classe I |
| 38+5,00 - 39+0,00 | 100 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11,11 | Classe I |
| 39+0,00 - 40+0,00 | 100 | 18 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5,56 | Classe I |
| 40+0,00 - 40+15,00 | 90 | 12 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1,50 | Classe II |
| 40+15,00 - 41+10,00 | 90 | 12 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1,50 | Classe II |
| 41+10,00 - 42+5,00 | 100 | 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8,33 | Classe I |
| 42+5,00 - 43+5,00 | 100 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11,11 | Classe I |
| 43+5,00 - 44+15,00 | 100 | 9 | 1 | 1 | 1 | 2,5 | 4,44 | Classe I |
| 44+15,00 - 46+0,00 | 100 | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11,11 | Classe I |

7 DISCUSSÃO DOS ESTUDOS

Para a avaliação dos resultados obtidos pelas estimativas realizadas a partir dos estudos preliminares, esses resultados serão comparados com os resultados obtidos através das medições de campo.

Para tanto serão comparados os resultados de Q estimado e de Q real (medido ao longo da escavação do túnel). Também serão comparadas as classes de maciços definidos conforme o valor de Q para cada seção.

7.1 DIFERENÇAS ENTRE ESTIMATIVA E MEDIÇÃO DE CAMPO

Conforme discutido em capítulos anteriores, para este tipo de obra, as estimativas dos quantitativos de classe de maciço esperadas ao longo do túnel e dos tratamentos geológicos que podem se fazer necessários para o suporte da estrutura são realizadas na etapa de projeto básico baseado em poucas sondagens executadas em regiões próximas ao emboque e desemboque do túnel, de levantamentos geológicos de campo e também baseados em experiências anteriores. Portanto, fica claro que podem faltar dados para subsidiar as decisões de definições desses quantitativos, o que aumenta a incerteza quanto aos resultados apresentados.

Para a obra em estudo, foi elaborada a Tabela 7.1 com os quantitativos de tratamento para cada uma das classes de rocha e a extensão esperada das mesmas:

Tabela 7.1 - Tratamentos previstos em Projeto Básico

| | Projeto Básico | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|-------------------------|
| Classe I - Extensão 727 m | Qtd. | Unid. | % do Preço total |
| Tirante de aço CA-50, D=25mm, comp. 3,0m incl. Perfuração , fornecimento e instalação | 165,35 | m | 5,12% |
| Concreto projetado com cimento e fibra no túnel | 19,36 | m ³ | 7,72% |
| Furos para drenagem | 16,59 | m | 0,42% |
| | | | 13,26% |
| Classe II - Extensão 303 m | | | |
| Tirante de aço CA-50, D=25mm, comp. 3,0m incl. Perfuração , fornecimento e instalação | 573,47 | m | 17,76% |
| Concreto projetado com cimento e fibra no túnel | 27,65 | m ³ | 11,02% |
| Furos para drenagem | 16,59 | m | 0,42% |
| | | | 29,20% |
| Classe III - Extensão 145 m | | | |
| Tirante de aço CA-50, D=25mm, comp. 3,0m - incl. Perfuração , fornecimento e instalação | 307,71 | m | 9,53% |
| Concreto projetado com cimento e fibra no túnel | 14,38 | m ³ | 5,73% |
| Furos para drenagem | 6,64 | m | 0,17% |
| | | | 15,43% |
| Classe IV - Extensão 24 m | | | |
| Tirante de aço CA-50, D=25mm, comp. 3,0m incl. Perfuração , fornecimento e instalação | 47,56 | m | 1,47% |
| Concreto projetado com cimento e fibra no túnel | 18,80 | m ³ | 7,49% |
| Furos para drenagem | 46,45 | m | 1,18% |
| | | | 10,14% |
| Classe V Extensão 12 m | | | |
| Concreto projetado com cimento no túnel | 15,48 | m | 4,74% |
| Tela Q-138 | 138,25 | m ² | 0,38% |
| Cambotas metálicas | 213,18 | m | 20,10% |
| Enfilagem tubo machete D=2,5' | 55,30 | m | 5,14% |
| Furos para drenagem | | m | 0,00% |
| Furos para injeção 3" | 53,09 | m | 1,06% |
| Injeção de calda de cimento, inclusive cimento | 32,07 | saco | 0,55% |
| | | | 31,97% |
| | | TOTAL | 100% |

Porém, o que foi realmente executado na obra durante as escavações, ou seja, o que se fez necessário para garantir a estabilidade da estrutura foram as quantidades expostas na Tabela 7.2:

Tabela 7.2 – Tratamentos executados em campo

| | Tratamento Executado | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------|
| | Qtd. | Unid. | % do Preço total |
| Classe I - Extensão 809 m | | | |
| Tirante de aço CA-50, D=25mm, comp. 3,0m incl. Perfuração , fornecimento e instalação | 1.014,00 | m | 31,41% |
| Concreto projetado com cimento e fibra no túnel | 11,14 | m ³ | 4,44% |
| Furos para drenagem | 115,00 | m | 2,91% |
| | | | 38,76% |
| Classe II - Extensão 203 m | | | |
| Tirante de aço CA-50, D=25mm, comp. 3,0m incl. Perfuração , fornecimento e instalação | 762,00 | m | 23,60% |
| Concreto projetado com cimento e fibra no túnel | 41,06 | m ³ | 16,36% |
| Furos para drenagem | 43,95 | m | 1,11% |
| | | | 41,08% |
| Classe III - Extensão 200 m | | | |
| Tirante de aço CA-50, D=25mm, comp. 3,0m - incl. Perfuração , fornecimento e instalação | 738,00 | m | 22,86% |
| Concreto projetado com cimento e fibra no túnel | 87,58 | m ³ | 34,90% |
| Furos para drenagem | 43,95 | m | 0,56% |
| | | | 58,32% |
| Classe IV - Extensão 0 m | | | |
| Tirante de aço CA-50, D=25mm, comp. 3,0m incl. Perfuração , fornecimento e instalação | 0,00 | m | 0,00% |
| Concreto projetado com cimento e fibra no túnel | 0,00 | m ³ | 0,00% |
| Furos para drenagem | 0,00 | m | 0,00% |
| | | | 0,00% |
| Classe V Extensão 0 m | | | |
| Concreto projetado com cimento no túnel | 0,00 | m | 0,00% |
| Tela Q-138 | 0,00 | m ² | 0,00% |
| Cambotas metálicas | 0,00 | m | 0,00% |
| Enfilagem tubo machete D=2,5' | 0,00 | m | 0,00% |
| Furos para drenagem | 0,00 | m | 0,00% |
| Furos para injeção 3" | 0,00 | m | 0,00% |
| Injeção de calda de cimento, inclusive cimento | 0,00 | saco | 0,00% |
| | | | 0,00% |
| | | | TOTAL 138,00% |

Após as escavações, a real quantidade encontrada de cada classe de maciço ao longo do túnel ficou distribuída conforme a Tabela 7.3:

Tabela 7.3 – Extensão de cada classe de maciço

| CLASSE DE MACIÇO | | ÍNDICE Q (Barton) | EXTENSÃO | | | |
|------------------|--------------|----------------------|----------------|--------|--------------------|--------|
| | | | PROJETO BÁSICO | | ESCAVAÇÃO DO TÚNEL | |
| | | | (m) | (%) | (m) | (%) |
| I / IA | MUITO BOA | > 10 | 726,60 | 60,00 | 809,00 | 66,75 |
| II | BOA | 4 a 10 | 302,75 | 25,00 | 203,00 | 16,75 |
| III | POBRE | 1 a 4 | 145,32 | 12,00 | 200,00 | 16,50 |
| IV | MUITO POBRE | 0,1 a 1 | 24,22 | 2,00 | 0,00 | 0,00 |
| V | EXTREM POBRE | < 0, 1 | 12,11 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOTAL | | | 1.211,00 | 100,00 | 1.212,00 | 100,00 |

A comparação entre a Tabela 7.1 e Tabela 7.2 indica que houve um gasto extra com tratamentos, mesmo com tendo sido encontrado rocha mais competente que o previsto no projeto básico, principalmente devido a não ocorrência de maciços classe IV e V.

Ainda foi verificado que para as classes de rocha encontradas após a escavação, o gasto com tratamentos geológicos por metro para cada classe foi maior que o previsto para essa mesma classe em projeto básico. Dessa maneira, mesmo com a rocha do túnel se mostrando teoricamente mais competente do que o esperado no projeto básico, foi demandado mais tratamentos para a garantia da estabilidade da estrutura. A análise das Tabela 7.1 Tabela 7.2, indicou que houve um acréscimo de 38% ao valor inicialmente previsto no orçamento da obra.

É importante salientar que mesmo com os custos extras provenientes de estudos mais detalhados, não significa que estes terão impacto negativo no valor da obra, que compreende desde a elaboração de projeto básico até a construção efetiva do empreendimento, uma vez que tais estudos podem ajudar a prever melhor o qual o investimento necessário para a construção do empreendimento e quando tais desembolsos irão ocorrer, diminuindo os riscos de custos extras não previstos e que podem afetar o plano de negócios do empreendedor.

Logo, com a utilização dos dados da geolétrica e com as informações extras que poderiam ser adquiridas com a utilização de dessa técnica aliada a novas sondagens que se fariam indicadas pelos resultados interpretados da campanha geolétrica, poderia ter auxiliado numa melhor caracterização do maciço, assim como um melhor entendimento sobre os tratamentos

a serem aplicados no maciço do túnel, mesmo nos locais onde a rocha é mais competente, reduzindo incertezas e riscos.

7.2 IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS PARA LEVANTAMENTOS COMPLEMENTARES DE CAMPO

Um dos mais importantes ganhos trazidos pela campanha de eletrorresistividade (caminhamento elétrico) no túnel foi a possibilidade de fazer uma avaliação global do maciço, sendo possível identificar comportamentos similares em amplo trecho do túnel, dessa maneira indicando que em tal trecho, o maciço deve apresentar características geomecânicas similares e conseqüentemente, devem ser da mesma classe de maciço.

Porém, o maior ganho obtido com a utilização deste método de investigação durante as fases preliminares de estudo, é o fato de que os resultados do mapeamento geoelétrico indicam locais com comportamento anômalo, ou seja, fora do que se espera para aquele local. Com tais resultados em mãos, é possível prever campanhas de investigação direta mais assertivas, que passem exatamente por esses locais que apresentaram resultados inesperados. Assim, possibilita-se a otimização dos gastos com campanhas de sondagens, uma vez que serão investigadas as regiões onde se espera que apresentem as características mais desfavoráveis ao empreendimento.

Os custos de um caminhamento elétrico são muito inferiores a execução de inúmeros furos de sondagem, principalmente em locais de grande profundidade, onde os furos se tornam excessivamente caros. Dessa maneira, é fácil concluir que a utilização da eletrorresistividade, pode definir se há necessidade de execução de furos de sondagem além dos programados e principalmente, onde tais furos devem ser executados.

Os gastos extras com mais estudos, especificamente campanhas de eletrorresistividade para obtenção de informações preliminares para o projeto Básico de um possível empreendimento, são relativamente pequenos quando comparados ao que é normalmente investido nesta etapa. Ainda, tais estudos podem evitar erros ou mitigar incertezas do projeto, que por sua vez, podem acarretar em custos extras (não previstos) ou em contingenciamento de preços para implantação muito elevados, o que prejudica a desempenho do empreendimento como um todo.

Através de pesquisa de preços de mercado, foi encontrado que o custo médio para sondagens rotativas com recuperação de testemunhos (já considerando todos os custos de mobilização e mão de obra), apresenta o valor conforme Tabela 7.4:

Tabela 7.4 – Preço unitário médio para sondagem

| Serviço | Unidade | Preço Unitário (R\$) |
|--------------------------------------------------|----------------|-----------------------------|
| Sondagem rotativa com recuperação de testemunhos | m | 550,00 |

Já os custos para um levantamento geoeletrico ao longo do eixo de um túnel, também considerando todas as atividades para a execução da atividade, com as características do túnel de adução da PCH Dores de Guanhães, têm os valores conforme a Tabela 7.5:

Tabela 7.5 – Preço unitário médio para levantamento geoeletrico

| Serviço | Unidade | Preço Unitário (R\$) |
|--------------------------------------|----------------|-----------------------------|
| Campanha de levantamento geoeletrico | unid | 45.000,00 |

Para o caso em análise, através da seção gerada através do caminhamento elétrico foi possível identificar pelo menos três trechos distintos ao longo do túnel que apresentaram comportamento relativamente diferente entre si, com o trecho central apresentando resistividade maior e o as extremidades com resistividades menores. Logo, seria de grande valia para uma melhor compreensão das características do maciço deste túnel que ao menos uma sondagem fosse realizada em cada um desses trechos. Tal fato possibilitaria uma análise mais criteriosa da geologia do túnel, trazendo ganhos reais para as estimativas de quantitativos de classe de cada maciço e também na definição de tratamentos geológicos para cada uma dessas classes.

No caso em análise, levando em consideração a intenção de se conhecer melhor o maciço do túnel de adução, como já citado anteriormente, seria necessária a execução de três furos em locais distintos do túnel, conforme indicado na Figura 7.1.

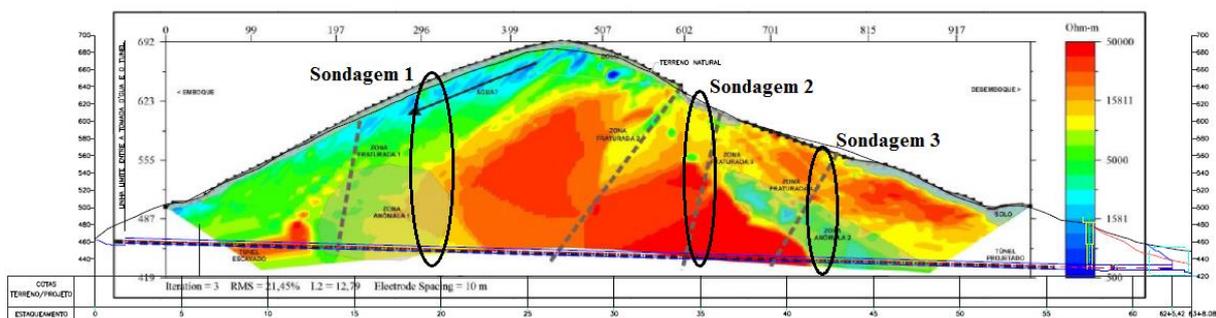


Figura 7.1 – Seção geolétrica do túnel. Locais circutados são os trechos onde são indicadas sondagens

Em medição realizada em software de desenho eletrônico, a metragem total dessas três sondagens e seus custos estão dispostos da Tabela 7.6:

Tabela 7.6 – Custos de execução das sondagens adicionais

| | Unidade | Quantidade | Preço Unit (R\$) | Preço (R\$) |
|--------------|---------|------------|------------------|-------------------|
| Sondagem 1 | m | 200 | 550,00 | 110.000,00 |
| Sondagem 2 | m | 180 | 550,00 | 99.000,00 |
| Sondagem 3 | m | 130 | 550,00 | 71.500,00 |
| TOTAL | | | | 280.500,00 |

Essas investigações extras que seriam indicadas com o advento do estudo geolétrico ao longo do eixo do túnel trariam um aumento no investimento necessário durante a etapa de estudos da PCH, porém uma vez que os furos seriam realizados de maneira criteriosa, interceptando as áreas de interesse definidas pelo empreendedor previamente, é possível que os ganhos provenientes dessas investigações compensem o investimento.

Tal compensação se daria por uma eventual diminuição das incertezas do projeto ao longo de sua elaboração, além subsidiar de maneira mais eficaz a elaboração do orçamento para os tratamentos a serem realizados para a construção da estrutura.

7.3 COMPARAÇÃO DE Q

Para a comparação, foi gerada inicialmente uma tabela com a compilação do valor de Q estimado e medido ao longo do túnel para cada uma das seções de projeto. A Tabela 7.7 apresenta tal compilação.

Tabela 7.7 – Compilação dos resultados das estimativas e das medições de campo

| Estaca Projeto | Q (Geo) | Classe do Maciço (Estimado) | Q (Real) | Classe do Maciço (real) |
|------------------------|---------|-----------------------------|----------|-------------------------|
| 20+0,00 - 20+10,00 | 8,89 | Classe I | 8,89 | Classe I |
| 20+10,00 - 21+13,0 | 8,89 | Classe I | 0,67 | Classe III |
| 21,0+13,00 - 22,0+10,0 | 10,00 | Classe I | 15,00 | Classe I |
| 22,0+10,0 - 24+8,00 | 15,00 | Classe I | 10,00 | Classe I |
| 24+8,00 - 25+5,00 | 15,00 | Classe I | 4,22 | Classe I |
| 25+5,00 - 26+5,00 | 15,00 | Classe I | 4,44 | Classe I |
| 26+5,00 - 27+0,00 | 15,00 | Classe I | 3,33 | Classe II |
| 27+0,00 - 27+15,00 | 15,00 | Classe I | 4,22 | Classe I |
| 27+15,00 - 28+15,00 | 15,00 | Classe I | 4,44 | Classe I |
| 28+15,00 - 29+15,00 | 15,00 | Classe I | 4,44 | Classe I |
| 29+15,00 - 30+10,00 | 15,00 | Classe I | 4,44 | Classe I |
| 30+10,00 - 31+10,00 | 15,00 | Classe I | 2,22 | Classe II |
| 31+10,00 - 32+10,00 | 15,00 | Classe I | 4,44 | Classe I |
| 32+10,00 - 33+10,00 | 15,00 | Classe I | 8,33 | Classe I |
| 33+10,00 - 35+5,00 | 15,00 | Classe I | 11,11 | Classe I |
| 35+5,00 - 36+15,00 | 15,00 | Classe I | 11,11 | Classe I |
| 36+15,00 - 38+5,00 | 15,00 | Classe I | 4,44 | Classe I |
| 38+5,00 - 39+0,00 | 15,00 | Classe I | 11,11 | Classe I |
| 39+0,00 - 40+0,00 | 15,00 | Classe I | 5,56 | Classe I |
| 40+0,00 - 40+15,00 | 15,00 | Classe I | 1,50 | Classe II |
| 40+15,00 - 41+10,00 | 15,00 | Classe I | 1,50 | Classe II |
| 41+10,00 - 42+5,00 | 2,50 | Classe II | 8,33 | Classe I |
| 42+5,00 - 43+5,00 | 2,50 | Classe II | 11,11 | Classe I |
| 43+5,00 - 44+15,00 | 2,50 | Classe II | 4,44 | Classe I |
| 44+15,00 - 46+0,00 | 2,50 | Classe II | 11,11 | Classe I |

Uma análise da tabela permite avaliar que o trecho onde foi verificada a maior discrepância das classes do maciço ocorreu ao longo das estacas 40+15,00 a 46+00. Nesta região foi onde o caminhamento elétrico identificou a zona anômala de menor resistividade. Também neste trecho, foi considerada que seria de grande valia a investigação direta, para que fosse possível caracterizar de maneira mais correta a rocha naquele trecho. Era esperado que a menor resistividade no local correspondesse a uma rocha mais decomposta, o que não ocorreu.

Após as escavações, o mapeamento de campo identificou a ocorrência de biotito ao longo da seção com menor resistividade, ou seja, entre as estacas 41+10,00 e 46+0,00. Como definido em tal mapeamento, a rocha ao longo destas estacas era competente, sendo classificadas como classe I em campo. Logo, é possível concluir que pelas diferenças intrínsecas entre a biotito e o granito-gnaiss (a rocha típica maciço do túnel em análise), entende-se que esta alteração morfológica foi a responsável pela anomalia mapeada.

Outro trecho onde foi indicada a realização de sondagens foi exatamente no trecho correspondente a sondagem 1 da Figura 7.1. Neste trecho onde também é indicada uma zona anômala, foi estimado um maciço classe I, porém foi encontrado em campo maciço classe III.

Dessa maneira, é possível também concluir que se sondagens complementares indicadas na Tabela 7.6 tivessem sido realizadas ainda durante a etapa de investigações para a elaboração do projeto básico, é provável que a interpretação dos resultados provenientes do caminhamento elétrico tivessem sido diferentes.

Na comparação dos valores o SRF, que é constante ao longo de toda seção no Q estimado, baseados em dados de estudos preliminares, faz com que vários valores de Q real estejam muito baixos em relação aos valores estimados.

Este parâmetro de Q, foi o único em que nenhum dado proveniente da eletrorresistividade foi utilizado em sua estimativa, uma vez que não há dados provenientes da mesma que tragam algum ganho novo para sua análise prévia. Dessa maneira, fica claro que seriam necessários mais estudos complementares para o embasamento mais assertivo das estimativas a serem realizadas. Tais estudos poderiam ser provenientes de sondagens extras a serem executadas ao longo do eixo do túnel, mais especificamente em pontos mapeados pela geofísica, conforme indicado na Figura 7.1.

Outro parâmetro para o qual a geoeletrica apresentou baixa sensibilidade foi o J_n . O levantamento não pareceu capaz de identificar de maneira precisa as famílias de descontinuidades e fraturas que são encontradas em um maciço rochoso. Seria necessário outro mapeamento de campo, ou sondagens com televisamento das paredes dos furos de sondagem, ou mesmo novos levantamentos geoeletricos, perpendiculares ao túnel para melhor identificação dessas descontinuidades ou melhorar a escala.

Mesmo não tendo sido observada uma correlação direta entre os resultados da campanha geoeletrica e as medições de campo após a escavação do túnel, a análise da tabela ainda indicou que foi possível verificar que em 16 intervalos (estacas), ou seja, em 64% dos casos, a classe do maciço estimado foi a mesma da medida em campo.

Os resultados indicam que a utilização de levantamento geométrico no momento de elaboração dos estudos preliminares pode ser útil para a melhoria das estimativas de qualidade do maciço rochoso a ser encontrado durante a execução de uma obra, pois mesmo com a discrepância no trecho final da análise, o índice de acerto foi relativamente alto.

Um dos mais importantes ganhos trazidos pela geométrica foi a possibilidade de fazer uma avaliação do maciço para cada um das estacas de projeto, sendo possível caracterizar melhor o túnel e relacionar as características dos maciços com uma posição no túnel definida. Além de que, com esta técnica é possível identificar locais onde seria de grande valia a execução de sondagens para melhor conhecimento do subsolo como um todo.

Isso não é feito quando se utiliza apenas os estudos normalmente feitos para esse tipo de obra. A definição da qualidade do maciço é feita por porcentagens, uma estimativa que apenas indica o quanto de cada classe de rocha se espera encontrar no túnel. Dessa forma, os dados do projeto básico, não são capazes de dar qualquer indicação de quais são os pontos de atenção, ou onde ocorrerá cada tipo de classe.

8 CONCLUSÕES

A implantação de empreendimentos como os de PCHs, tem historicamente contado com pouco investimento na fase de investigações preliminares no sítio de implantação. Além disso, tem se exigido cada vez mais detalhamentos e especificações, que contemplam desde medidas de segurança e aplicação de normas ambientais e de engenharia e até a adoção dos conhecimentos mais específicos da engenharia.

Isso tem gerado pouca confiabilidade nos projetos desenvolvidos e, conseqüentemente, reduzido as certezas nos estudos econômicos, aumentando assim os custos previstos para a implantação da obra.

Ao mesmo tempo, sabe-se que é de extrema importância para o desenvolvimento adequado de um projeto de PCH que sejam realizados estudos robustos e detalhados da área de implantação, com o objetivo de mitigar as incertezas e desta forma reduzir os riscos ao empreendedor.

Do ponto de vista geotécnico, é necessário um grande volume de informações, obtidas através dos mais variados métodos de sondagens e de inspeções de campo, para ser possível a elaboração de projetos e previsões que se aproximem da realidade de campo e que possibilitem a elaboração de orçamentos mais precisos. Tudo isso com o objetivo de melhorar a viabilidade econômico-financeira desses empreendimentos, em consonância à gestão dos riscos associados.

Por serem de origem natural, os maciços frequentemente apresentam características irregulares quanto às suas propriedades e, em alguns casos, de difícil identificação, este fator pode implicar em conseqüências técnicas, econômicas e ambientais indesejadas.

Contudo, obras de PCHs geralmente não contam com investigações geológicas muito detalhadas antes da implantação dos empreendimentos. Normalmente apenas são realizados mapeamentos geológicos em campo e sondagens pontuais, que não são suficientes para a elaboração de um modelo geológico-geotécnico confiável.

No momento em que os contratos de implantação são elaborados, a falta de dados suficientes e confiáveis faz com que muitas vezes seja necessário um contingenciamento muito alto nos

custos orçados, o que pode gerar tabelas de referência para Riscos Geológicos Compartilhados pouco confiáveis. Tais fatos geralmente elevam muito o custo de implantação do empreendimento, podendo até mesmo inviabilizá-lo.

Assim, as certezas no momento de elaborar os modelos geológicos da área estudada e os projetos que servirão de base para os orçamentos da obra são diminuídas. Dessa maneira, aumenta-se muito os riscos associados ao empreendimento e, conseqüentemente, os contingenciamentos dos custos. Para evitar que esse problema aconteça, é necessária a realização de estudos mais detalhados da área de interesse (incluindo a geofísica).

A utilização da geofísica como mais uma ferramenta de investigação geológica do sítio de implantação, aliada as demais investigações tradicionalmente já realizadas, pode ser uma maneira eficaz de melhorar a qualidade dos dados obtidos nessa fase sem o aumento excessivo do custo da investigação geológica.

A eletrorresistividade, aliada às demais investigações normalmente realizadas traz ganhos significativos para o projeto, conforme apresentado neste trabalho sem trazer um aumento de gastos significativo para o empreendedor.

Há ainda outros métodos geofísicos que podem apresentar resultados ainda melhores. Entre eles podem-se destacar os métodos sísmicos, porém estes têm custos mais elevados, o que pode diminuir o interesse por sua utilização, especialmente para obras de menor porte.

É necessária a avaliação da aplicabilidade de todos os métodos geofísicos e definição de parâmetros que reduzam a subjetividade da interpretação e alcancem os níveis de precisão necessários a engenharia.

Com utilização do método adequado para as investigações geológicas, a geofísica é capaz de entregar resultados bastante úteis para a elaboração de projetos e implantação de obras. Por isso, é de grande importância que antes do início das campanhas geofísicas se tenha em mente quais dados se deseja obter, o que pode ser facilitado com o auxílio de especialista no assunto.

Logo, é necessário que se determine previamente quais os parâmetros físicos do subsolo se deseja obter através de campanhas geofísicas para que o método de investigação correto seja

selecionado, possibilitando a obtenção dos parâmetros que se adequem as necessidades do empreendimento.

A implementação da geofísica na investigação do sítio de implantação, ainda não representa acréscimo significativo nos custos de tal atividade, tendo em vista que essa técnica é capaz de investigar uma grande área em um tempo relativamente pequeno.

Ainda, no início do processo de investigação do sítio de implantação de um empreendimento, é vantajoso realizar a investigação geofísica para identificar áreas que deveriam ser investigadas por sondagens, locais onde foram obtidos dados anômalos e que seriam importantes maiores estudos. No caso em análise, seria indicada a realização de sondagens nas áreas anômalas indicadas na Figura 8.1.

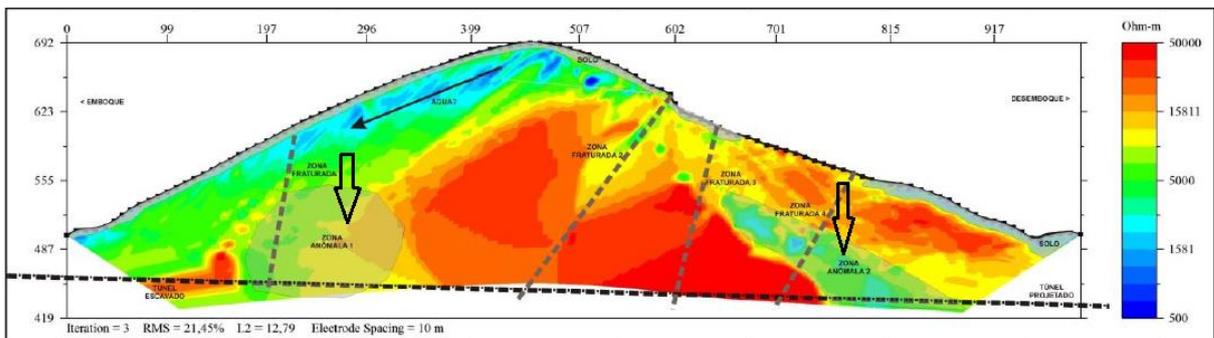


Figura 8.1 – As setas indicam as zonas anômalas onde seriam indicadas a realização de sondagens.

Durante as campanhas de sondagem, a geofísica pode ser utilizada para checar a interpretação da estrutura geológica entre os furos de sondagem. Outras campanhas geofísicas, entre furos de sondagens e na superfície podem ser usadas para determinar as propriedades geológicas, hidrogeológicas e geotécnicas do horizonte geológico-geotécnico no qual a construção vai ser realizada. Também é uma ferramenta eficaz para a determinação do topo rochoso, principalmente nas regiões onde serão implantadas as diferentes estruturas do empreendimento.

Com as informações obtidas através das investigações normalmente realizadas acrescidas das provenientes da geofísica, o detalhamento do sítio de implantação fica muito enriquecido e conseqüentemente mais confiável. Isso permite a elaboração dos projetos e das planilhas de

quantitativos com dados mais embasados, o que proporciona projetos mais bem estruturados e planilhas mais confiáveis.

Os resultados obtidos neste trabalho ilustram os ganhos que a geofísica representa para a investigação geológica, permitindo estimativas de quantitativos mais precisas das que a realizada sem sua consideração.

Tudo isso permite concluir, que além do ganho verificado para as estimativas de quantitativos de rocha ao longo do túnel de adução, a investigação geofísica realizada em todos os pontos de interesse de um sítio de implantação, poderia trazer outros ganhos, como a definição mais exata do topo rochoso, melhoria no conhecimento dos maciços ao longo dos eixos das estruturas principais e conhecimento mais precisam no nível d'água e/ou presença de água no subsolo a ser escavado.

Conseqüentemente, com maior confiabilidade nas premissas a serem adotadas na elaboração do projeto das estruturas de uma PCH, maior é qualidade do projeto a ser executado com base nas informações obtidas através desses estudos.

Com maior confiabilidade para a elaboração do projeto, conseqüentemente, os contingenciamentos de quantitativos de tratamento para superfícies a serem escavadas, por exemplo, podem ser menores. Também são menores os contingenciamentos gerais no orçamento final do projeto, pois os dados geológicos são muito importantes para a definição dos quantitativos não só de tratamento como também de escavação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JAREK, A. P.; Cesário, I. F. R.; Figueira, R. M. Pettres, R. M. da Silveira. Relatório Técnico – Relatório Parcial de Atividades – P&D 499 – Levantamento Geofísico PCH Dores de Guanhães. Instituto Lactec – Laboratório de Materiais e Estruturas (Lame). Curitiba, 2014.

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. Glossário de Termos Técnicos de Geologia de Engenharia: Equipamentos de Sondagens, 1980.

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. Métodos para Descrição Quantitativa de Descontinuidades em Maciços Rochosos, São Paulo: ABGE/CBMR, 1983.

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. Manual de Sondagem, Boletim nº3, São Paulo, 1999.

ANDERSON, N.; Croxton, N.; Hoover, R.; Sirles, P. Geophysical Methods Commonly Employed for Geotechnical Site Characterization. National Academy of Sciences. Washington, DC, 2008.

BARTON, N. 1988. “Rock Mass Classification and Tunnel Reinforcement Selection Using the Q System,” Rock Classification Systems for Engineering Purposes,

BARTON, N.; Grimstad, E. The Q-system following twenty years of application in NMT support selection, 1994.

BARTON, N., Lien, R. & Lunde, J.. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics. 6: 4: 189-236, 1974.

BARTON, N.; Lien, R, Lunde, J. 1982. Estimation of Support Requirements for Underground Excavations”. Society of Mining Engineering. W. A. Hustrulid editor.

BRAGA, A. C. O. Módulo: Métodos Geométricos Aplicados nos Estudos de Captação e Contaminação das Águas Subterrâneas. Universidade Estadual Paulista; Instituto de

Geociências e Ciências Exatas – IGCE; Departamento de Geologia Aplicada – DGA, Rio Claro, 2007.

BRAGA, A. C. O. Métodos Geométricos Aplicados: Módulo: Hidrogeologia. Universidade Estadual Paulista; Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE; Departamento de Geologia Aplicada – DGA, Rio Claro, 2007.

CAMARGO, C. F. Caracterização Geométrica de Arenitos Asfálticos da Formação Pirambóia, Bacia do Paraná. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2013.

CAMPOS, A. F. Utilização de métodos geométricos na caracterização de rochas fraturadas. Estudo de caso nos arenitos do Grupo Itararé - Bacia do Paraná. Curitiba, 2004.

CARVALHO, M. R. L. Modelagem direta de dados de eletrorresistividade 3-D. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

CCPG. Contrato de Implantação das PCH Dores de Guanhães, PCH Senhora do Porto, PCH Jacaré e PCH Fortuna II. Belo Horizonte, 2012.

CCPG. Especificações Técnicas Consolidadas das PCH Dores de Guanhães, PCH Senhora do Porto, PCH Jacaré e PCH Fortuna II. Belo Horizonte, 2012.

CCPG. Proposta Comercial Consolidada das PCH Dores de Guanhães, PCH Senhora do Porto, PCH Jacaré e PCH Fortuna II. Belo Horizonte, 2012.

CCPG. Proposta Técnica Consolidada das PCH Dores de Guanhães, PCH Senhora do Porto, PCH Jacaré e PCH Fortuna II. Belo Horizonte, 2012.

CCPG. Relatório Técnico de Risco Compartilhado das PCH Dores de Guanhães, PCH Senhora do Porto, PCH Jacaré e PCH Fortuna II. Belo Horizonte, 2012.

COELHO, N. Eléctodos de terra. Tese de Mestrado (provisória). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2011.

ELIS, V.R. Avaliação de aplicabilidade de métodos elétricos de prospecção geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro – SP, 264 p. (Rawlings et al., 1991), 1999.

ESTEVES, M. B. Aplicação de Métodos Geofísicos ao Estudo das Coberturas Superficiais: Caso de Sorocaba do Sul – Biguaçu/SC. Florianópolis, SC, 2001.

GRIMSTAD, E.; Barton, N. Updating the Q-System for NMT. Proc. int. symp. on sprayed concrete - modern use of wet mix sprayed concrete for underground support, Fagernes. 46-66. Oslo: Norwegian Concrete Assn, 1993.

MAMDOUH R. G.; Fisher, R. Exploration Geophysics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.

MCDOWELL, P. W.; Barker R.D.; Butcher A. P.; Culshaw, M. G. et all. Geophysics in engineering investigations. Londres, 2002.

MELO, M. M. Caracterização e Compartimentação Geológica e Geomecânica de Maciço Basáltico Heterogêneo, Aplicado a Engenharia. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MORAIS, F.; Pereira, G.C.; Lima, P.S.; Costa, H.G. Geomorfologia e Geofísica aplicados ao estudo da espeleogênese da caverna da Fumaça, Miracema do Tocantins, Tocantins, 2016. Disponível em: <<http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/6/6-171-261.html>>. Acesso em 10/12/2018.

OLIVEIRA, A.M.; Brito, S.N.A. Geologia de Engenharia. ABGE. São Paulo, 2000.

PINTO, L. G. R.; Oliveira, C. E. S.; Faria, B. M., Andrade, J. B. F. Estudos Geométricos (Sondagem Vertical e Caminhamento Elétrico) em Sedimentos Aluvionares do Rio Madeira – Município de Porto Velho-RO. Ministério de Minas e Energia, Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Porto Velho, 2013.

RUIZ, M.D.; Guidicini, G. Introdução. In: Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.A. Geologia de Engenharia. ABGE, São Paulo, 1998.

SASTRY, R. G.; Gautam. P. K. Geotechnical site characterization through geoelectris. 10th Biennial International Conference & Exposition, 2013.

Sirles, P. C. NCHRP Synthesis 357: Use of Geophysics for Transportation Projects, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C, 2006.

SUMNER, J. S. 1976. Principles of induced polarization for geophysical exploration. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam.

TELFORD, W.M.; Geldart, L.P.; Sheriff, R.E. Applied Geophysics – Second Edition. Cambridge University Press. Cambridge, 1990.

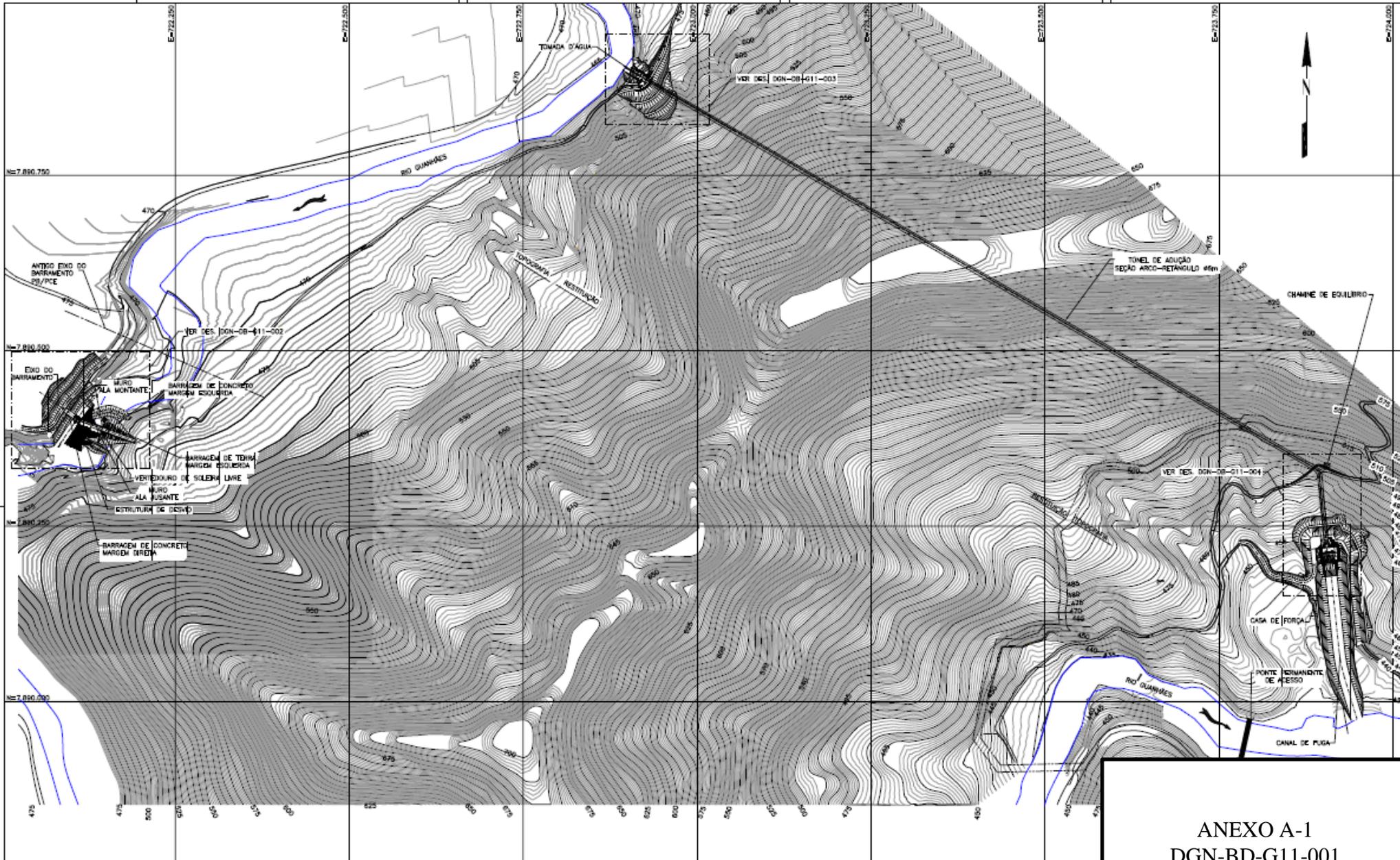
TORGASHOV, E.V.; Anderson, N.; Kovin L. O. Fault Detection Using Elestrical Resistivity Tomography. SAGEEP. Rolla, MO, 2010.

WARD, S. H. Resistivity and Induced Polarization Methods. Geotecnical and Environmental Geophisics, 1990.

Anexo A- Projeto Básico PCH Dores de Guanhões

- A-1 – 19013-SP844-DGN-DB-G11-001
- A-2 – 19013-SP844-DGN-DB-G11-003
- A-3 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-001
- A-4 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-002
- A-5 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-003
- A-6 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-004
- A-7 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-005
- A-8 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-006
- A-9 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-007
- A-10 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-008
- A-11 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-009
- A-12 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-010
- A-13 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-010
- A-14 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-011
- A-15 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-012
- A-16 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-013
- A-17 – 19013-SP844-DGN-DB-G26-014
- A-18 – 19013-SP844-DGN-DB-G27-001
- A-19 – 19013-SP844-DGN-DB-N15-001

| | | |
|-----------|---------|------------|
| CONDIÇÕES | PREM II | ESPECIFICA |
| 1 | 2 | 3 |
| 4 | 5 | 6 |
| 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 |
| 13 | 14 | 15 |
| 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 |
| 22 | 23 | 24 |
| 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 |
| 31 | 32 | 33 |
| 34 | 35 | 36 |
| 37 | 38 | 39 |
| 40 | 41 | 42 |
| 43 | 44 | 45 |
| 46 | 47 | 48 |
| 49 | 50 | 51 |
| 52 | 53 | 54 |
| 55 | 56 | 57 |
| 58 | 59 | 60 |
| 61 | 62 | 63 |
| 64 | 65 | 66 |
| 67 | 68 | 69 |
| 70 | 71 | 72 |
| 73 | 74 | 75 |
| 76 | 77 | 78 |
| 79 | 80 | 81 |
| 82 | 83 | 84 |
| 85 | 86 | 87 |
| 88 | 89 | 90 |
| 91 | 92 | 93 |
| 94 | 95 | 96 |
| 97 | 98 | 99 |
| 100 | 101 | 102 |



NOTAS:
 1 - TODAS AS DIMENSÕES E ELEVAÇÕES ESTÃO EM METRO.
 2 - PARA ESCALA 1:500 VER DES. DGN-08-013-002 A 04.

DESENHOS DE REFERÊNCIA:
 DGN-08-013-001 - ÁREA DO DESEMPENHO-CIRCUITO HIDRÁULICO DE GERAÇÃO-LOCAÇÃO DE EIXOS
 DGN-08-013-004 - ÁREA DO DESEMPENHO-BARRAMENTO LOCAÇÃO DE EIXOS

DESENHOS COMPLEMENTARES:
 DGN-08-011-002 - GERAL-ARRANJO GERAL-BARRAMENTO-PLANTA
 DGN-08-011-003 - GERAL-ARRANJO GERAL-TOMADA D'ÁGUA-PLANTA
 DGN-08-011-004 - GERAL-ARRANJO GERAL-CASA DE FORÇA-PLANTA
 DGN-08-011-005 - GERAL-ARRANJO GERAL-BARRAMENTO-SEÇÕES
 DGN-08-011-006 - GERAL-ARRANJO GERAL-CIRCUITO HIDRÁULICO DE GERAÇÃO-RETRIL LONGITUDINAL, SEÇÕES E DETALHES

PLANTA
 ESC. 1:5.000

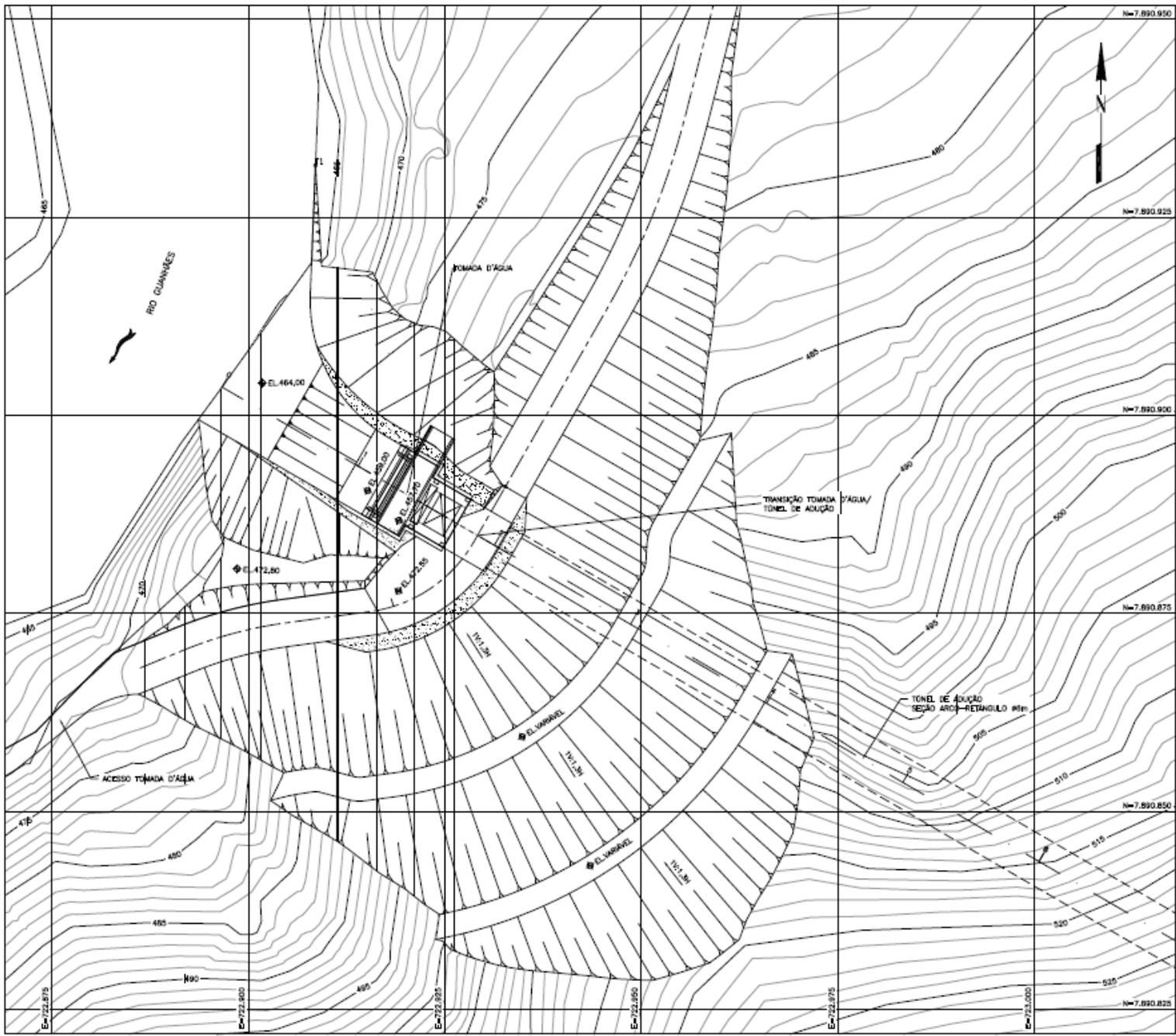


A P R O V A D O

ANEXO A-1
DGN-BD-G11-001

| | | | |
|-----------------------------------------------------|------------------|----------------------|-----------|
| PCH DORES DE GUANHÃES PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO | | | |
| TÍTULO GERAL ARRANJO GERAL PLANTA | | | |
| ESCALA 1:5000 | Nº 19013-9994 | FL DGN-DB-G11-001 | REV. 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |



A P R O V A D O

NOTAS:
1 - PARA NOTAS, DESENHOS DE REFERÊNCIA E DESENHOS COMPLEMENTARES, VER DGN-DB-G11-001.



ANEXO A-2
DGN-BD-G11-003

PLANTA
ESC. 1:500

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|----|----------------|-------|
| PCH DORES DE GUANHÃES PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO | | | |
| TÍTULO GERAL ARRANJO GERAL TOMADA D'ÁGUA PLANTA | | | |
| ESCALA | Nº | FL. | REV. |
| 1:500 | | DGN-DB-G11-003 | 1/1 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|



LEGENDA:

COGNOICO

- Qia** - ALUVIÃO - SEDIMENTOS INCONSOLIDADOS ARENOSOS, ARENÓ-ARGILOSOS COM NÍVEIS DE CASCALHÃO.
- QPa** - TERRAÇOS ALUVIAIS - SEDIMENTOS ARENOSOS COM NÍVEIS DE CASCALHÃO ASSOCIADOS, PARCIALMENTE LITIFICADOS E LAMBRIZADOS.

PALEOPROTEROZOICO

- Pa** - GRANITO AQUÊDIA - HORNEISENITA-BOTTA GRANITO, PORFIRITO FOLIADO DE GRANULAÇÃO MÉDIA A GROSSA, COM FLUORTA.

ARQUEANO

- PiB** - GRUPO GUANHÃES - CONSTITUÍDO POR ROCHAS SUPRACRUSTAIS DE ORIGEM SEDIMENTAR E METAVULCANICA, INCLUI NISTOS ALUMINOSOS, NISTOS SARTIÇOSOS, QUARTZITOS, FORMAÇÕES PELITICAS, NISTOS ULTRAMÁFICOS E MÁRMOIS.
- Am** - COMPLEXO MANTIQUEIRA - ANFIBÓLIO-BOTTA GROSSA BARRADO COM COMPOSIÇÃO TONALÍTICA, GRANODIORÍTICA E GRANÍTICA, SUBDIRENCIAMENTE ANFIBÓLITO, MEGACRITO E BOUTTA.

PAUZA DE EMPURRÃO

FAUZA OU ZONA DE CEALAMENTO

FISURA

LINEAMENTOS ESTRUTURAIS

DRENAGEM

ESTRADA

RODOVA FEDERAL

RODOVA ESTADUAL

MUNICÍPIO

ÁREA URBANA

A P R O V A D O

NOTAS:

1 - TODAS AS DIMENSÕES E ELEVÇÕES ESTÃO EM METRO, EXCETO ONDE INDICADO.

DESENHO DE REFERÊNCIA:

352-PC-DGE-G003-RO - MAPA GEOLÓGICO REGIONAL - PLANTA - PROJETO BÁSICO PCE

ANEXO A-3

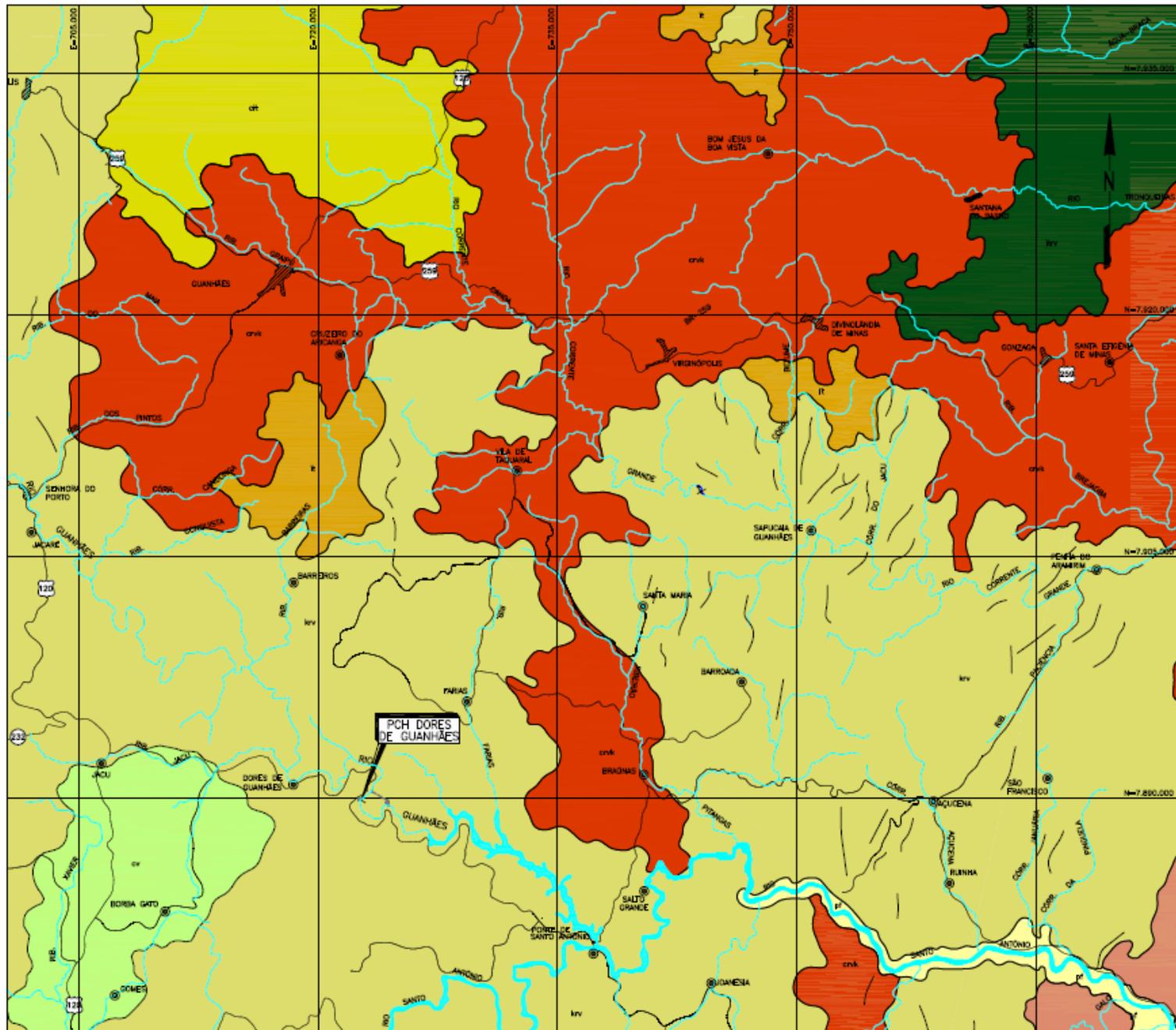
DGN-BD-G26-001

PLANTA
Esc. 1:150.000



| | | | |
|------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| PCH DORES DE GUANHÃES PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO | | TÍTULO INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS MAPA GEOLÓGICO REGIONAL PLANTA | |
| ESCALA 1:150.000 | Nº 1813-SP/04 | RL DGN-DB-G26-001 | REV. 1/1 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|



LEGENDA:

- INTERFLÚVIOS TABULARES COM VERTENTES RAVINADAS E VALES ENCAIXADOS.
- INTERFLÚVIOS TABULARES - GRUAMENTOS DE FORMAS TABULARES RESULTANTES DA DESSECAÇÃO FLUVIAL DE SUPERFÍCIES DE APLANAMENTO.
- PLANÍCIE FLUVIAL - TERRAÇOS E VÁZIAS NÃO DIFERENCIADOS; OCORRÊNCIAS DE ÁREAS DE PERMEABILIDADE ACRESÇADA (SOBRE ALUVIÕES ARENOSOS) E DE LAGUNAS (SOBRE ALUVIÕES ARGILOSOS).
- COLINAS COM VERTENTES RAVINADAS E VALES ENCAIXADOS; CRISTAS ESPARÇAS.
- COLINAS COM VALES DE FUNDO CHATO.
- CRISTAS COM VERTENTES RAVINADAS E VALES ENCAIXADOS.
- COLINAS COM VALES ENCAIXADOS.
- COLINAS E INTERFLÚVIOS TABULARES.
- DRENAGEM
- ESTRADA
- RODOVIA FEDERAL
- RODOVIA ESTADUAL
- MUNICÍPIO
- ÁREA URBANA
- LINHA DE CRISTAS

NOTAS:
1 - TODAS AS DIMENSÕES E ELEVAÇÕES ESTÃO EM METRO, EXCETO ONDE INDICADO.

DESENHO DE REFERÊNCIA:
362-PO-DGE-0003-RO - MAPA GEOLÓGICO REGIONAL - PLANTA - PROJETO BÁSICO CONSULBACO

DESENHO COMPLEMENTAR:
DGN-DB-G26-014 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS - LEGENDA

ANEXO A-4

DGN-BD-G26-002

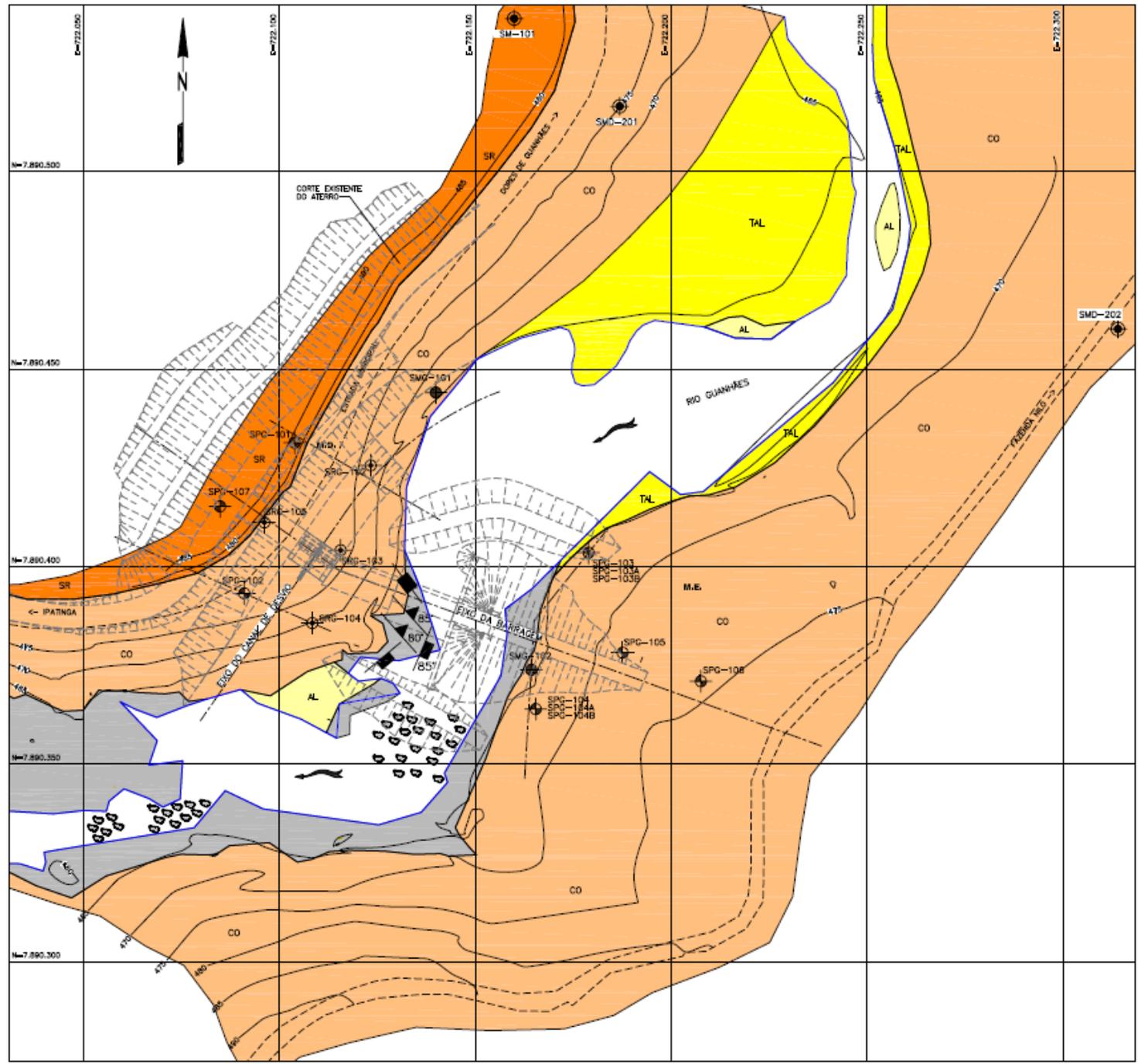
PLANTA
ESC. 1:250.000

A P R O V A D O



| | | | |
|-----------|------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| TÍTULO | | INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS MAPA GEOMORFOLÓGICO REGIONAL PLANTA | |
| ESCALA | Nº | 1913-0944 | 1913-0944 |
| 1:250.000 | | DGN-DB-G26-002 | DGN-DB-G26-002 |
| FL. | REV. | 1/1 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|



LEGENDA:

- AL ALVIÃO
- TAL TERRAÇO ALVIANAR
- CO SOLO COLÚMNAR
- SR SOLO FERRAL
- APLORAMENTO ROCHOSO
- BLOCOS
- SMD-102 SONDAGEM MISTA PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO (SPEC)
- SPC-103 SONDAGEM À PERCUSSÃO PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO (SPEC)
- SPC-101 SONDAGEM ROTATIVA PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO (SPEC)
- SMD-201 SONDAGEM MISTA CAMPANHA OTIMIZAÇÃO PROJETO BÁSICO (POENTE)
- SV-101 SONDAGEM MISTA CAMPANHA PROJETO PRÉ-EXECUTIVO (SECONDARY)
- BT DIREÇÃO DA XISTOSIDADE COM VALOR DE MERGULHO
- S? DIREÇÃO DA FRATURA COM VALOR DE MERGULHO
- FRATURA VERTICAL
- ESTRADA DE ACESSO
- PROJEÇÃO DAS ESTRUTURAS HIDRÁULICAS

NOTAS:
1 - TODAS AS DIMENSÕES E ELEVAÇÕES ESTÃO EM METRO, EXCETO ONDE INDICADO.

A P R O V A D O

DESENHO COMPLEMENTAR:
DGN-DB-G26-014 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS - LEGENDA

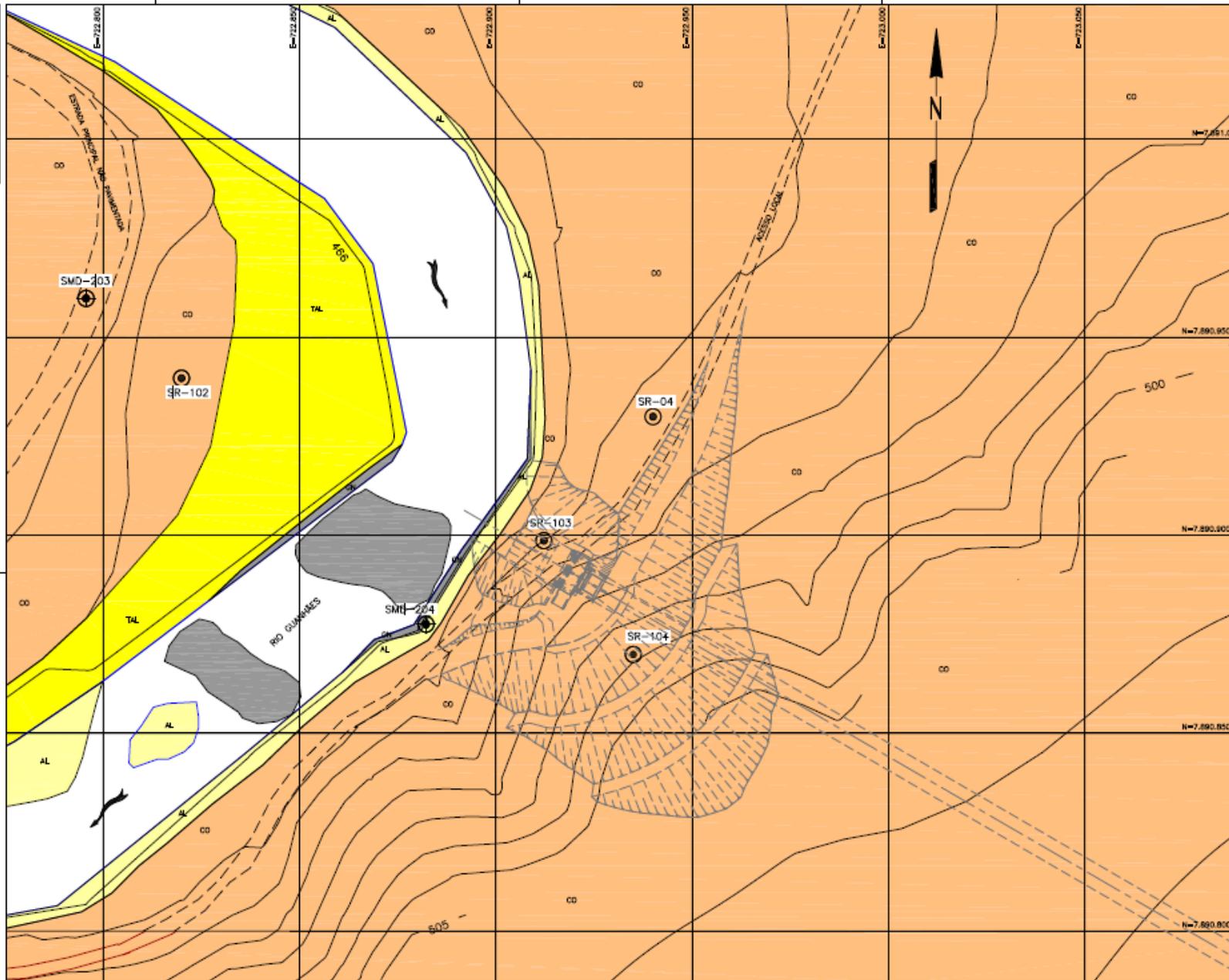


ANEXO A-5
DGN-BD-G26-003

| | | | |
|-----------------------------------------------------------|--------|------|----------------|
| PCH DORES DE GUANHAES PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO | | | |
| Título: INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS BARRAMENTO | | | |
| MAPA GEOLÓGICO LOCAL PLANTA | | | |
| 9813-9844 | | | |
| ESCALA: | 1:1000 | IP: | DGN-DB-G26-003 |
| FL: | 1/1 | REV: | 0 |

PLANTA
ESC. 1:1.000

| COORDENADA | LETRA | NUMERO |
|------------|-------|--------|
| 1 | A | 1 |
| 1 | A | 2 |
| 1 | A | 3 |
| 1 | A | 4 |
| 1 | A | 5 |
| 1 | A | 6 |
| 1 | A | 7 |
| 1 | A | 8 |
| 1 | A | 9 |
| 1 | A | 10 |
| 1 | A | 11 |
| 1 | A | 12 |
| 1 | A | 13 |
| 1 | A | 14 |
| 1 | A | 15 |
| 1 | A | 16 |
| 1 | A | 17 |
| 1 | A | 18 |
| 1 | A | 19 |
| 1 | A | 20 |
| 1 | A | 21 |
| 1 | A | 22 |
| 1 | A | 23 |
| 1 | A | 24 |
| 1 | A | 25 |
| 1 | A | 26 |
| 1 | A | 27 |
| 1 | A | 28 |
| 1 | A | 29 |
| 1 | A | 30 |
| 1 | A | 31 |
| 1 | A | 32 |
| 1 | A | 33 |
| 1 | A | 34 |
| 1 | A | 35 |
| 1 | A | 36 |
| 1 | A | 37 |
| 1 | A | 38 |
| 1 | A | 39 |
| 1 | A | 40 |
| 1 | A | 41 |
| 1 | A | 42 |
| 1 | A | 43 |
| 1 | A | 44 |
| 1 | A | 45 |
| 1 | A | 46 |
| 1 | A | 47 |
| 1 | A | 48 |
| 1 | A | 49 |
| 1 | A | 50 |
| 1 | A | 51 |
| 1 | A | 52 |
| 1 | A | 53 |
| 1 | A | 54 |
| 1 | A | 55 |
| 1 | A | 56 |
| 1 | A | 57 |
| 1 | A | 58 |
| 1 | A | 59 |
| 1 | A | 60 |
| 1 | A | 61 |
| 1 | A | 62 |
| 1 | A | 63 |
| 1 | A | 64 |
| 1 | A | 65 |
| 1 | A | 66 |
| 1 | A | 67 |
| 1 | A | 68 |
| 1 | A | 69 |
| 1 | A | 70 |
| 1 | A | 71 |
| 1 | A | 72 |
| 1 | A | 73 |
| 1 | A | 74 |
| 1 | A | 75 |
| 1 | A | 76 |
| 1 | A | 77 |
| 1 | A | 78 |
| 1 | A | 79 |
| 1 | A | 80 |
| 1 | A | 81 |
| 1 | A | 82 |
| 1 | A | 83 |
| 1 | A | 84 |
| 1 | A | 85 |
| 1 | A | 86 |
| 1 | A | 87 |
| 1 | A | 88 |
| 1 | A | 89 |
| 1 | A | 90 |
| 1 | A | 91 |
| 1 | A | 92 |
| 1 | A | 93 |
| 1 | A | 94 |
| 1 | A | 95 |
| 1 | A | 96 |
| 1 | A | 97 |
| 1 | A | 98 |
| 1 | A | 99 |
| 1 | A | 100 |



- LEGENDA:**
- AL ALIVRO
 - TAL TERRAÇO ALUVIONAR
 - CO SOLO COLUVIONAR
 - GN GNAISE
 - BLOCOS
 - SMD-203 SONDAGEM MISTA (OTIMIZAÇÃO PROJETO BÁSICO PONTE MAIO/2008)
 - SR-04 SONDAGEM ROTATIVA (ADEQUAÇÃO PROJETO BÁSICO HE/2005)
 - SR-102 SONDAGEM ROTATIVA (PROJETO PRÉ-EXECUTIVO GEENBERY ENGENHARIA/2009)
 - ESTRADA DE ACESSO
 - PROJEÇÃO DAS ESTRUTURAS HIDRÁULICAS

A P R O V A D O



NOTAS:
1 - TODAS AS DIMENSÕES E ELEVAÇÕES ESTÃO EM METRO, EXCETO ONDE INDICADO.

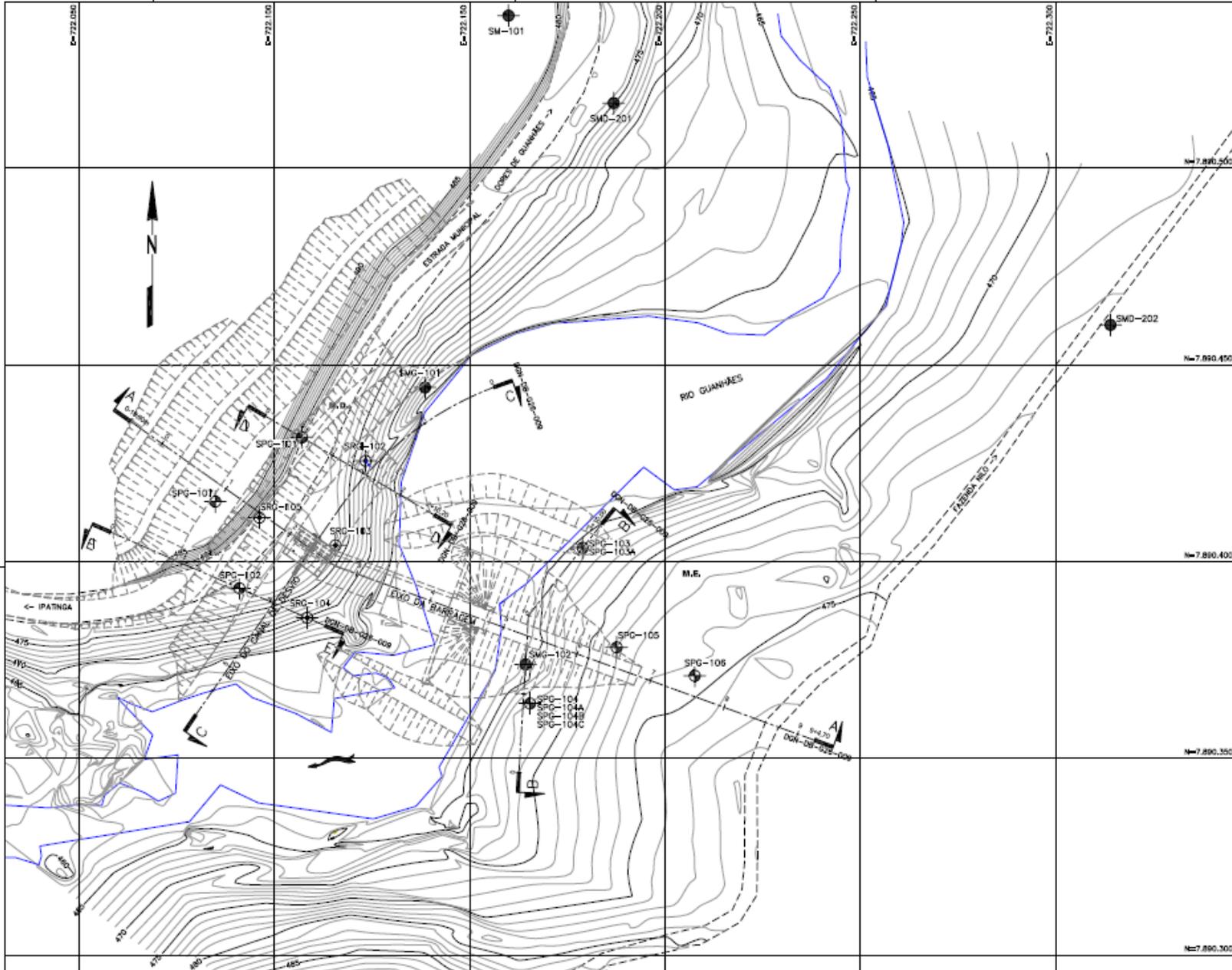
DESENHO COMPLEMENTAR:
DGN-DB-G26-014 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS - LEGENDA

ANEXO A-6
DGN-BD-G26-004

PLANTA
ESC. 1:1.000

| | | | |
|---------------------------------------------|--------|-----|----------------|
| PCH DORES DE GUANHÃES | | | |
| PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO | | | |
| TÍTULO: INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS | | | |
| TOMADA D'ÁGUA | | | |
| MAPA GEOLÓGICO LOCAL | | | |
| PLANTA | | | |
| 1810-0844 | | | |
| ESCALA: | 1:1000 | Nº: | DGN-DB-G26-004 |
| AL: | | FL: | 1/1 |
| REV: | | 0: | |

| | | |
|--------|-------|------------|
| ESTADO | PROVA | DESEMPENHO |
| 1 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 2 |
| 3 | 3 | 3 |
| 4 | 4 | 4 |
| 5 | 5 | 5 |
| 6 | 6 | 6 |
| 7 | 7 | 7 |
| 8 | 8 | 8 |
| 9 | 9 | 9 |
| 10 | 10 | 10 |
| 11 | 11 | 11 |
| 12 | 12 | 12 |
| 13 | 13 | 13 |
| 14 | 14 | 14 |
| 15 | 15 | 15 |
| 16 | 16 | 16 |
| 17 | 17 | 17 |
| 18 | 18 | 18 |
| 19 | 19 | 19 |
| 20 | 20 | 20 |



- LEGENDA:**
- SMG-102 SONDAEM MISTA PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO (SPEC)
 - SPG-103 SONDAEM À PERCUSSÃO PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO (SPEC)
 - SRG-101 SONDAEM ROTATIVA PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO (SPEC)
 - SMD-201 SONDAEM MISTA CAMPANHA OTIMIZAÇÃO PROJETO BÁSICO (POENTE)
 - SM-101 SONDAEM MISTA CAMPANHA PROJETO PRE-EXECUTIVO (GEENHENG)
 - PROJECÃO DAS ESTRUTURAS HIDRAULICAS

SONDAEMENS EXECUTADAS
(CAMPANHA PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO - SPEC/2012)

| FURO | COORDENADAS (UTM) | | COTA (m) |
|----------|-------------------|-------------|----------|
| | NORTE | ESTE | |
| SMG-101 | 7.890.444,212 | 722.138,501 | 457,090 |
| SMG-102 | 7.890.373,855 | 722.184,238 | 463,580 |
| SPG-101 | 7.890.431,570 | 722.107,010 | 477,870 |
| SPG-102 | 7.890.393,190 | 722.080,880 | 478,510 |
| SPG-103 | 7.890.403,500 | 722.178,880 | 465,410 |
| SPG-103A | 7.890.403,500 | 722.178,880 | 465,410 |
| SPG-104 | 7.890.383,910 | 722.165,400 | 468,020 |
| SPG-104A | 7.890.383,910 | 722.165,400 | 468,020 |
| SPG-104B | 7.890.383,910 | 722.165,400 | 468,020 |
| SPG-104C | 7.890.383,910 | 722.165,400 | 468,020 |
| SPG-105 | 7.890.378,180 | 722.187,570 | 471,800 |
| SPG-106 | 7.890.370,850 | 722.207,570 | 475,080 |
| SPG-107 | 7.890.415,220 | 722.084,810 | 488,380 |
| SRG-102 | 7.890.425,581 | 722.123,274 | 472,287 |
| SRG-103 | 7.890.404,110 | 722.115,590 | 478,870 |
| SRG-104 | 7.890.385,670 | 722.108,350 | 472,690 |
| SRG-105 | 7.890.411,190 | 722.095,100 | 477,500 |

SONDAEMENS EXECUTADAS
(CAMPANHA OTIMIZAÇÃO PROJETO BÁSICO POENTE - MAQ/2008)

| FURO | COORDENADAS (UTM) | | COTA (m) |
|---------|-------------------|-------------|----------|
| | NORTE | ESTE | |
| SMD-201 | 7.890.516,478 | 722.188,804 | 473,83 |
| SMD-202 | 7.890.460,116 | 722.314,014 | 472,07 |

SONDAEMENS EXECUTADAS
(CAMPANHA PROJETO PRE-EXECUTIVO - GEENHENG ENGENHARIA/2008)

| FURO | COORDENADAS (UTM) | | COTA (m) |
|--------|-------------------|-------------|----------|
| | NORTE | ESTE | |
| SM-101 | 7.890.538,705 | 722.159,882 | 486,500 |

NOTAS:
1 - TODAS AS DIMENSÕES E ELEVACÕES ESTÃO EM METRO, EXCETO ONDE INDICADO.

DESENHO DE REFERÊNCIA:
DGN-08-011-001 - ARRANJO GERAL - PLANTA

DESENHOS COMPLEMENTARES:
DGN-08-028-009 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS - BARRAMENTO E CANAL DE DESMIO - SEÇÕES A-A, B-B, C-C, D-D e E-E
DGN-08-026-014 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS - LEGENDA



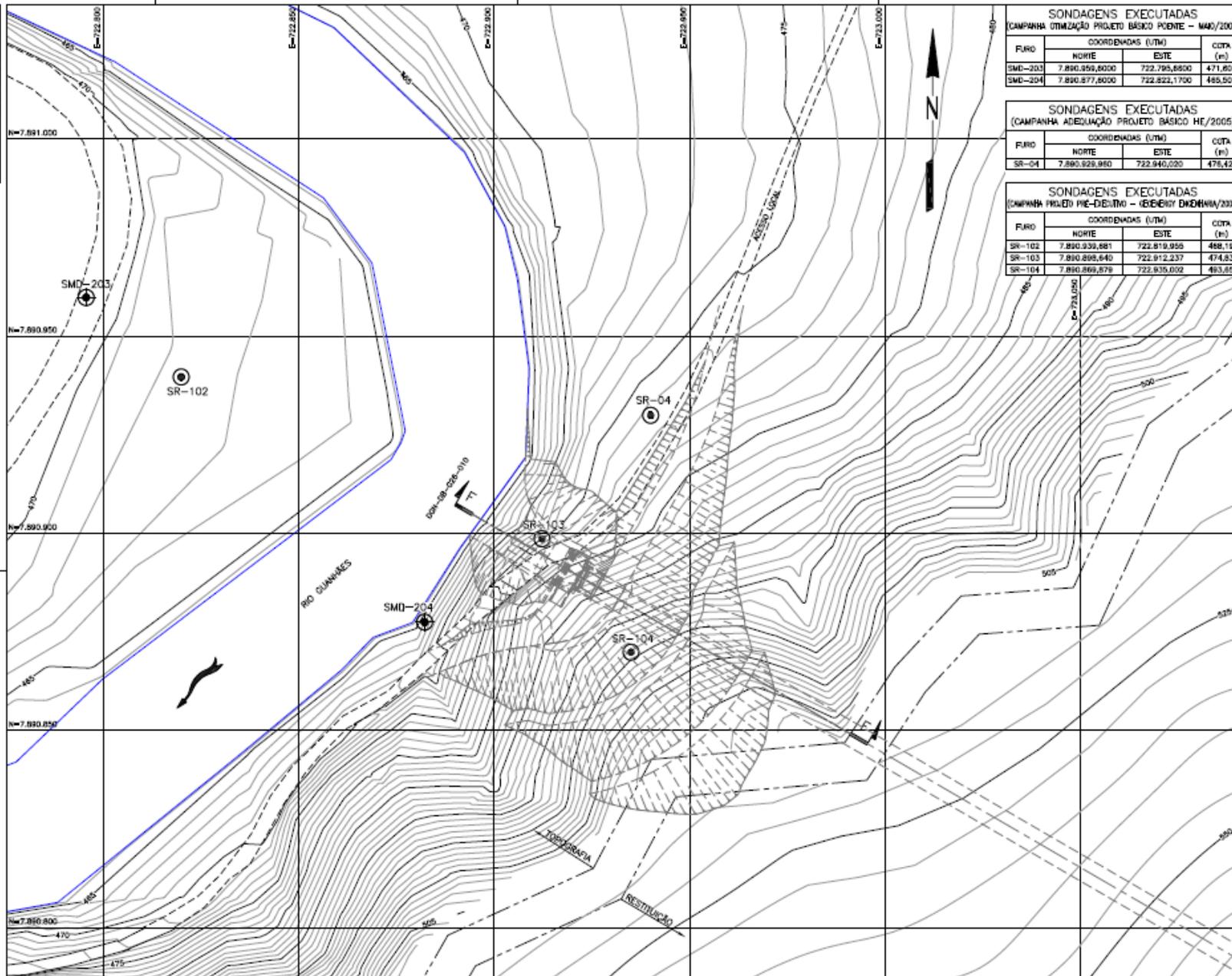
ANEXO A-8
DGN-BD-G26-006

PLANTA
ESC. 1:1.000

A P R O V A D O

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----------------|--------|
| PCH DORES DE GUANABAS PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS BARRAMENTO LOCAÇÃO DAS SONDAEMENS PLANTA | | | |
| ESCALA | HP | 19913-9994 | RL |
| 1:1.000 | | DGN-DB-G26-006 | 0 |
| | | | REV. 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|



| SONDAGENS EXECUTADAS (CAMPANHA OTIMIZAÇÃO PROJETO BÁSICO PONTE - MAIO/2008) | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|----------|
| FURO | COORDENADAS (UTM) | | COTA (m) |
| | NORTE | ESTE | |
| SMD-203 | 7.890.959,8000 | 722.795,8800 | 471,80 |
| SMD-204 | 7.890.877,8000 | 722.822,1700 | 485,50 |

| SONDAGENS EXECUTADAS (CAMPANHA ADEQUAÇÃO PROJETO BÁSICO HE/2005) | | | |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|----------|
| FURO | COORDENADAS (UTM) | | COTA (m) |
| | NORTE | ESTE | |
| SR-04 | 7.890.926,960 | 722.940,020 | 475,42 |

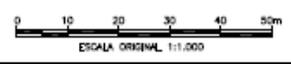
| SONDAGENS EXECUTADAS (CAMPANHA PROJETO PRE-DEFINIDO - GEOTECNIA DIGNHIA/2008) | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|----------|
| FURO | COORDENADAS (UTM) | | COTA (m) |
| | NORTE | ESTE | |
| SR-102 | 7.890.939,881 | 722.819,955 | 488,198 |
| SR-103 | 7.890.898,640 | 722.812,237 | 474,834 |
| SR-104 | 7.890.868,879 | 722.835,052 | 493,651 |

- LEGENDA:**
- SMD-203
 - SR-04
 - SR-102
 - SR-103
 - SR-104
 - PROJEÇÃO DAS ESTRUTURAS HIDRAULICAS

NOTAS:
1 - TODAS AS DIMENSÕES E ELEVAÇÕES ESTÃO EM METRO, EXCETO ONDE INDICADO.

DESENHO DE REFERÊNCIA:
DGN-BD-011-001 - ARRANJO GERAL - PLANTA

DESENHOS COMPLEMENTARES:
DGN-BD-026-010 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS - TOMADA D'ÁGUA - SEÇÃO F-F
DGN-BD-026-014 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS - LEGENDA



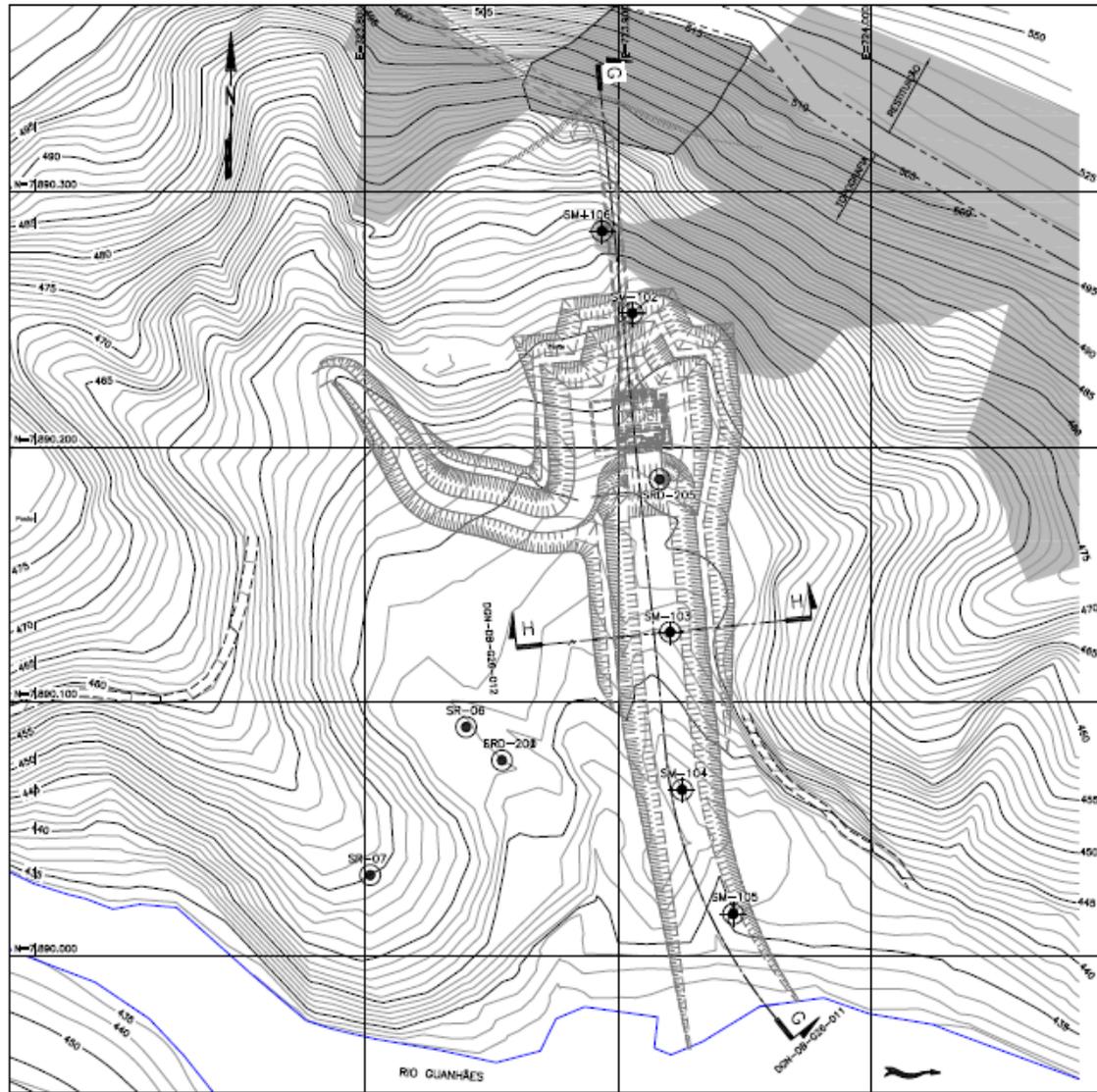
PLANTA
ESC. 1:1.000

A P R O V A D O

**ANEXO A-9
DGN-BD-G26-007**

| | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----------------|-------|
| PCH DORES DE GUANHÃES PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO | | | |
| TÍTULO: INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS TOMADA D'ÁGUA LOCAÇÃO DAS SONDAGENS PLANTA | | | |
| ESCALA | NR | PL | REV. |
| 1:1.000 | | DGN-BD-G26-007 | 1/1 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|



PLANTA
ESC. 1:2.000

| SONDAGENS EXECUTADAS (CAMPAÑA PROJETO PRE-EXECUTIVO - GEENERGY ENGENHARIA/2008) | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|----------|
| FURO | COORDENADAS (UTM) | | COTA (m) |
| | NORTE | ESTE | |
| SM-102 | 7.890.252,580 | 723.905,701 | 454,441 |
| SM-103 | 7.890.127,376 | 723.920,824 | 442,535 |
| SM-104 | 7.890.085,443 | 723.925,341 | 437,418 |
| SM-105 | 7.890.016,717 | 723.945,586 | 434,899 |
| SM-106 | 7.890.284,731 | 723.893,649 | 461,890 |

| SONDAGENS EXECUTADAS (CAMPAÑA ADEQUAÇÃO PROJETO BÁSICO HE/2005) | | | |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|----------|
| FURO | COORDENADAS (UTM) | | COTA (m) |
| | NORTE | ESTE | |
| SR-06 | 7.890.080,070 | 723.839,920 | 442,73 |
| SR-07 | 7.890.031,888 | 723.802,006 | 450,00 |

| SONDAGENS EXECUTADAS (CAMPAÑA OTIMIZAÇÃO PROJETO BÁSICO PONTE - MAQ/2008) | | | |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|----------|
| FURO | COORDENADAS (UTM) | | COTA (m) |
| | NORTE | ESTE | |
| SRD-200 | 7.890.076,9929 | 723.854,1068 | 442,27 |
| SRD-205 | 7.890.187,3354 | 723.916,3034 | 446,13 |

LEGENDA:

- SM-102 SONDAEM MISTA (PROJETO PRE-EXECUTIVO GEENERGY ENGENHARIA/2008)
- SR-06 SONDAEM ROTATIVA (ADEQUAÇÃO PROJETO BÁSICO HE/2005)
- SRD-200 SONDAEM ROTATIVA (OTIMIZAÇÃO PROJETO BÁSICO PONTE MAQ/2008)
- AFLORAMENTO ROCHOSO
- PROJEÇÃO DAS ESTRUTURAS HIDRÁULICAS

NOTAS:

1 - TODAS AS DIMENSÕES E ELEVAÇÕES ESTÃO EM METRO, EXCETO ONDE INDICADO.

DESENHO DE IDENTIFICAÇÃO:

DGN-DB-G11-001 - ARRANJO GERAL - PLANTA

DESENHOS COMPLEMENTARES:

- DGN-DB-G26-011 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS - CASA DE FORÇA - SEÇÃO G-G
- DGN-DB-G26-012 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS - CASA DE FORÇA - SEÇÃO W-W
- DGN-DB-G26-014 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS - LEGENDA



A P R O V A D O

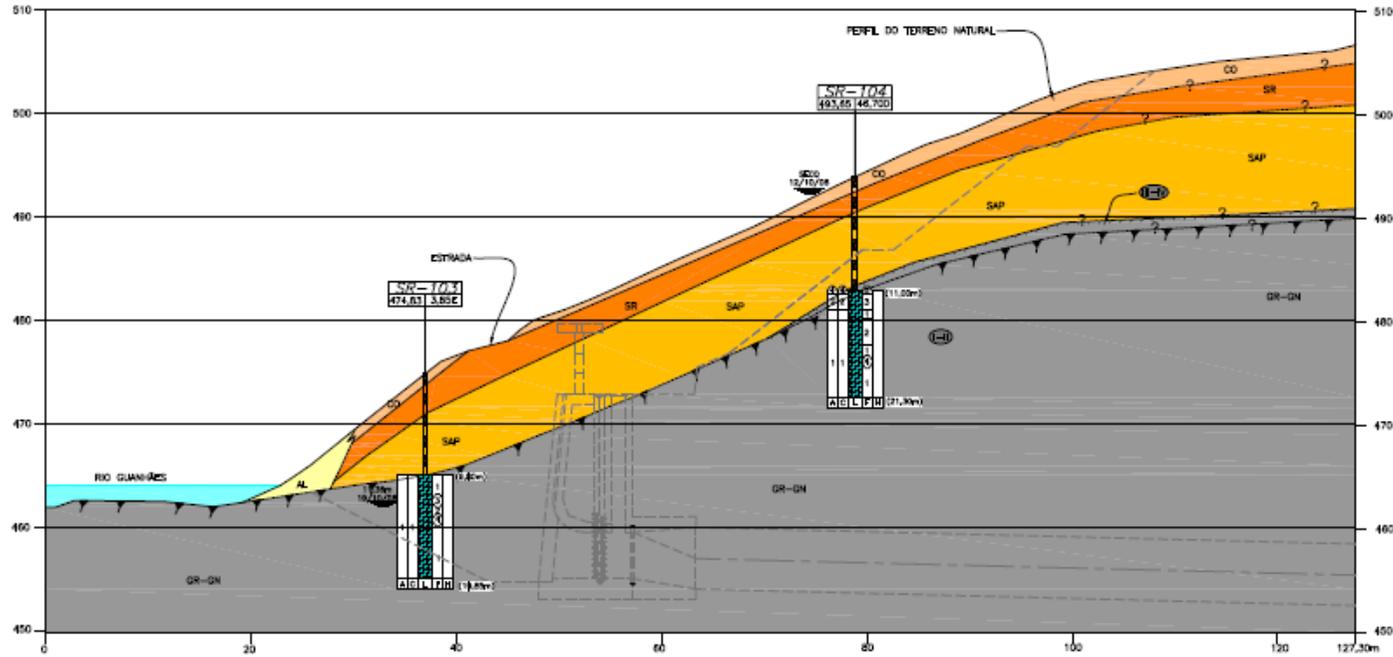
ANEXO A-10
DGN-BD-G26-008

PCH DORES DE GUANHÃES
PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO

TIPO: INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS
CASA DE FORÇA E CANAL DE FUGA
LOCAÇÃO DAS SONDAEM
PLANTA

| | | | | |
|--------|----|----------------|-----|------|
| SIGNA: | HP | 1813-1814 | RL | IND. |
| 0300 | | DGN-DB-G26-008 | 1/1 | 0 |

| COR DO LAYER | FORMA | ESPESURA |
|--------------|-------|----------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | | |
| 22 | | |
| 23 | | |
| 24 | | |
| 25 | | |
| 26 | | |
| 27 | | |
| 28 | | |
| 29 | | |
| 30 | | |
| 31 | | |
| 32 | | |
| 33 | | |
| 34 | | |
| 35 | | |
| 36 | | |
| 37 | | |
| 38 | | |
| 39 | | |
| 40 | | |
| 41 | | |
| 42 | | |
| 43 | | |
| 44 | | |
| 45 | | |
| 46 | | |
| 47 | | |
| 48 | | |
| 49 | | |
| 50 | | |
| 51 | | |
| 52 | | |
| 53 | | |
| 54 | | |
| 55 | | |
| 56 | | |
| 57 | | |
| 58 | | |
| 59 | | |
| 60 | | |
| 61 | | |
| 62 | | |
| 63 | | |
| 64 | | |
| 65 | | |
| 66 | | |
| 67 | | |
| 68 | | |
| 69 | | |
| 70 | | |
| 71 | | |
| 72 | | |
| 73 | | |
| 74 | | |
| 75 | | |
| 76 | | |
| 77 | | |
| 78 | | |
| 79 | | |
| 80 | | |
| 81 | | |
| 82 | | |
| 83 | | |
| 84 | | |
| 85 | | |
| 86 | | |
| 87 | | |
| 88 | | |
| 89 | | |
| 90 | | |
| 91 | | |
| 92 | | |
| 93 | | |
| 94 | | |
| 95 | | |
| 96 | | |
| 97 | | |
| 98 | | |
| 99 | | |
| 100 | | |



SEÇÃO F-F PELO EIXO DA TOMADA D'ÁGUA
ESC. 1:500

LEGENDA:

- AL SOLO ALUVIONAR
- CO SOLO COLUMNAR
- SR SOLO RESIDUAL
- SAP SOLO SAPROLÍTICO
- GR-GN GRANITO / GNAISSE

- CONTATO LITOLÓGICO DUBIOSO
- TOPO ROCHOSO DECOMPOSTO A POUCO DECOMPOSTO
- TOPO ROCHOSO SÃO
- PROJEÇÃO DAS ESTRUTURAS HORIZONTALS

- CLASSE GEOMECÂNICA:
- MACIÇO SÃO A POUCO FRATURADO
 - MACIÇO DECOMPOSTO A EXTREMAMENTE DECOMPOSTO E FRATURADO

A P R O V A D O

NOTAS:
1 - TODAS AS DIMENSÕES E ELEVAÇÕES ESTÃO EM METRO, EXCETO ONDE INDICADO.

DESENHO DE REFERÊNCIA:
DGN-DB-G26-007 - TOMADA D'ÁGUA - LOCAÇÃO DAS SONDAJENS - PLANTA

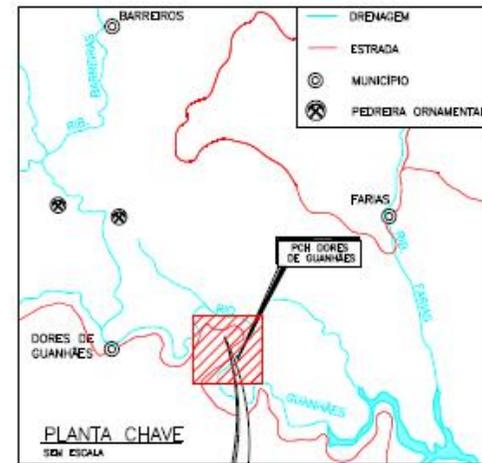
DESENHOS COMPLEMENTARES:
DGN-DB-G26-014 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS - LEGENDA



ANEXO A-12
DGN-BD-G26-010

| | | | |
|---------------------------------------------|----|------------|------|
| PCH DORES DE GUANHÃES | | | |
| PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO | | | |
| TÍTULO: INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS | | | |
| TOMADA D'ÁGUA | | | |
| SEÇÃO F-F | | | |
| ESCALA | NO | DATA | REV. |
| 1:500 | | 19/11-2014 | 0 |
| DGN-DB-G26-010 | | FL. | 1/1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|



- LEGENDA:**
- AE-01 ÁREA DE EMPRESTO PARA MATERIAL TERROSO.
 - JA-01 JAZEA DE AREIA
 - BE-01 BOTA-FORA
 - PROJEÇÃO DAS ESTRUTURAS HEDMÁTICAS

A P R O V A D O

| LOCAL | ÁREA | ESPESSURA MÉDIA | VOLUME |
|-------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| AE-01 | 98.849m ² | 5,0m | 494.245m ³ |
| JA-01 | 86.244m ² | 2,0m | 172.488m ³ |
| JA-02 | 269.882m ² | 2,0m | 539.764m ³ |

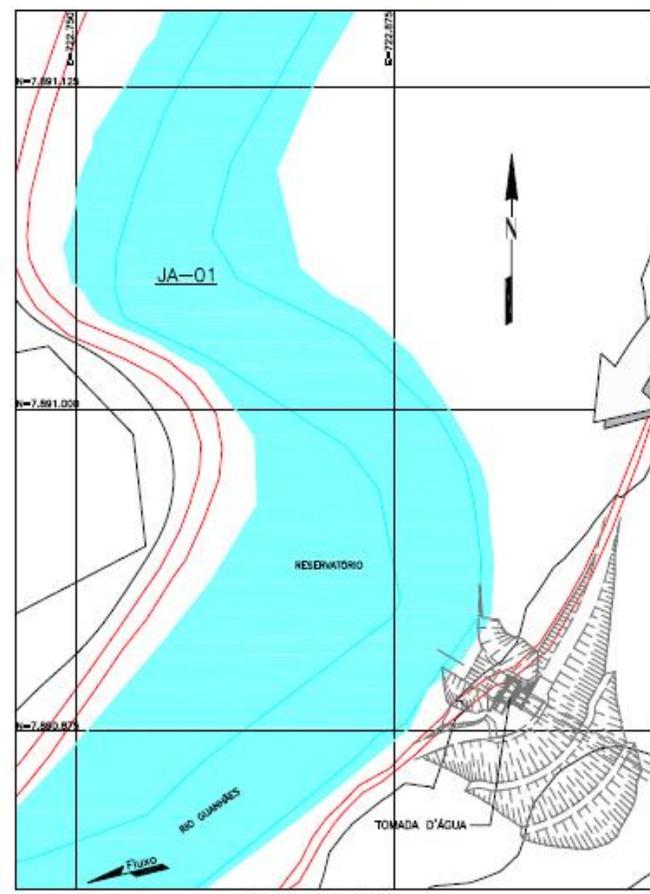
NOTAS:
1 - TODAS AS DIMENSÕES E ELEVAÇÕES ESTÃO EM METRO, EXCETO ONDE INDICADO.

DESENHO DE REFERÊNCIA:
DGN-08-013-001 - TOPOGRAFIA - PLANTA

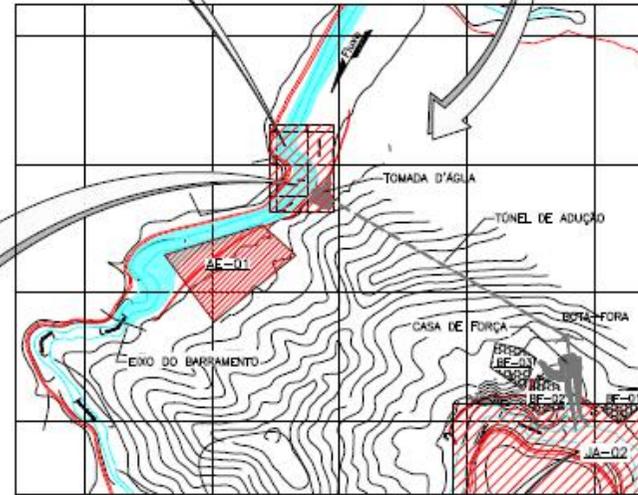
DESENHO COMPLEMENTAR:
DGN-08-028-014 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS - LEGENDA



ANEXO A-15
DGN-BD-G26-013



PLANTA JA-01
ESC. 1:2.000



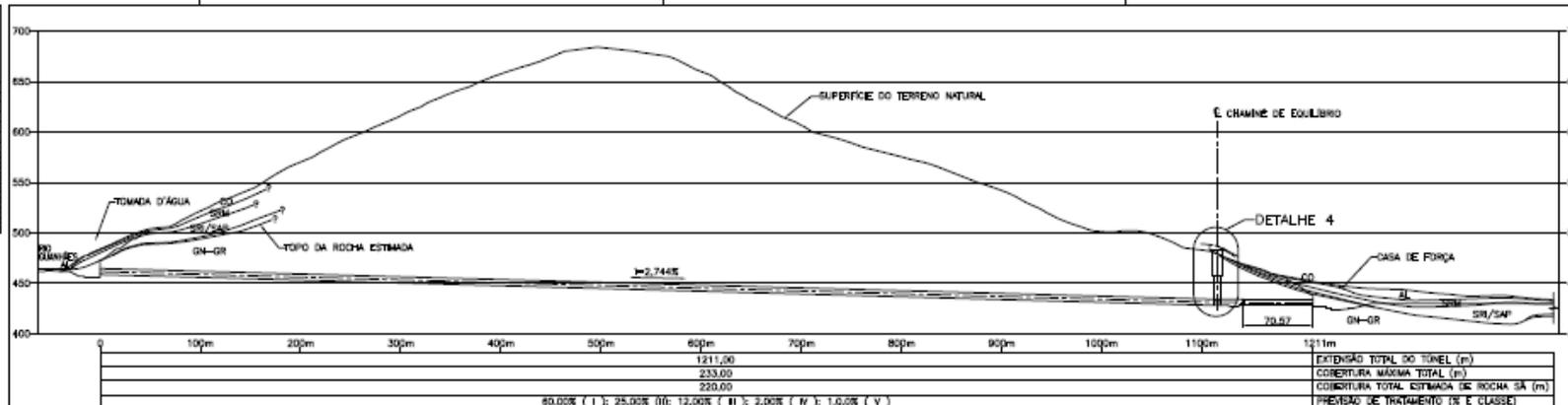
PLANTA
SEM ESCALA



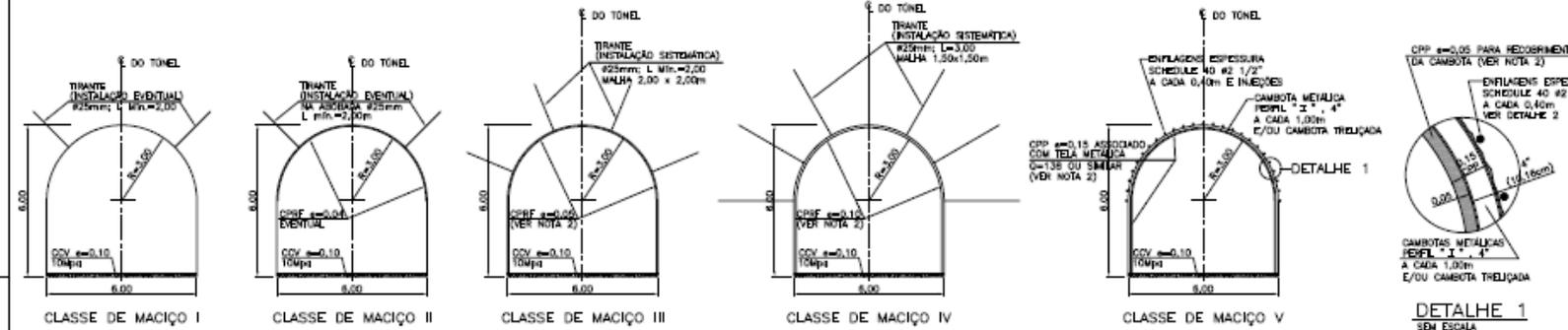
PLANTA JA-02
SEM ESCALA

| | | | |
|--------|----|-------------------------------------|--------|
| TÍTULO | | PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO | |
| TÍTULO | | INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS | |
| TÍTULO | | MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO | |
| TÍTULO | | PLANTAS E DETALHES | |
| ESCALA | Nº | 19013-0804 | RL |
| NOBADA | Nº | DGN-BD-G26-013 | REV. 0 |

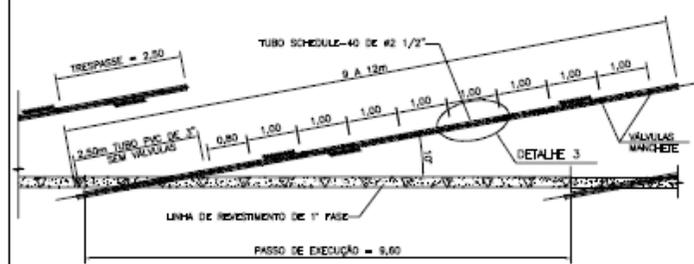
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|



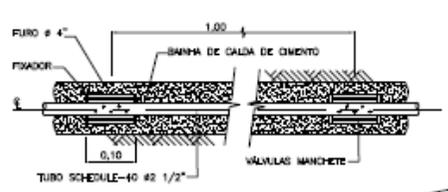
SEÇÃO LONGITUDINAL PELO TÚNEL DE ADUÇÃO
ESC. 1:5.000



TÔNEL DE ADUÇÃO
TRATAMENTOS TÍPICOS
ESC. 1:200



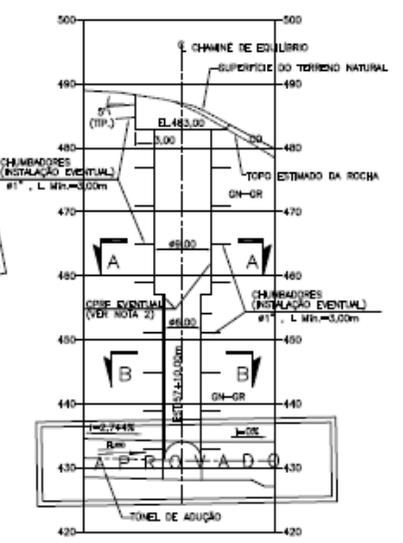
DETALHE 2 - DAS ENFILAGENS DE TUBO SCHEDULE
ESC. 1:100



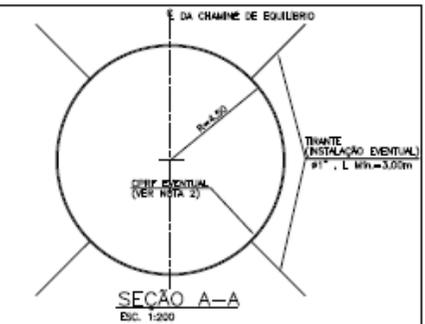
DETALHE 3
ESC. 1:10

LEGENDA:
 CPP - CONCRETO PROJETADO PADRÃO
 CPHF - CONCRETO PROJETADO REFORÇADO COM FIBRA
 CDV - CONCRETO CONVENCIONAL VIBRADO

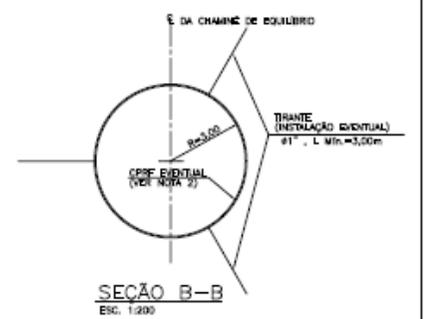
PARA COMENTÁRIOS



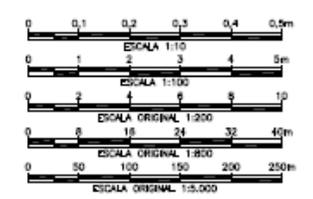
DETALHE 4 - CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO
ESC. 1:800



SEÇÃO A-A
ESC. 1:200



SEÇÃO B-B
ESC. 1:200



- NOTAS:
- 1-TODAS AS DIMENSÕES E ELEVACÕES ESTÃO EM METRO, DICETO ONDE INDICADO.
 - 2-NAS PAREDES E ABÓVEDA COM APLICAÇÃO DE CONCRETO PROJETADO, DEVERÃO SER INSTALADOS DRENOS CURTOS TIPO BARBACA (ØPULO=Ø8mm, L=0,30m E MALHA 3,00x3,00) SEMPRE QUE HOUVER INDÍCIOS DE SURTIÊNCIA D'ÁGUA.
 - 3-OS PERCENTUAIS ESTIMADOS PARA OS DIVERSOS TIPOS DE TRATAMENTOS (CLASSES DE MACIÇO), PODERÃO VARIAR EM FUNÇÃO DAS REAIS CONDIÇÕES ENCONTRADAS DURANTE AS ESCAVAÇÕES.
 - 4-NA HIPÓTESE DE SE VERIFICAREM CONDIÇÕES GEOMECÂNICAS DIFERENTES DAS PREVISAS, OS TRATAMENTOS PROPOSTOS DEVERÃO SER AJUSTADOS AS REAIS CONDIÇÕES DO MACIÇO.
 - 5-PARA SERVIÇOS RELATIVOS A ESCAVAÇÃO E TRATAMENTO VER ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE OBRAS CMS 07369-01-001.

DESBINOS DE REFERÊNCIAS:
 DGN-08-N14-001 - TÚNEL DE ADUÇÃO - ESCAVAÇÃO SUBTERRÂNEA - PLANTA

ANEXO A-18

DGN-BD-N15-001

| CLASSE DE MACIÇO | ÍNDICE Q BARTON | CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO | EXTENSÃO | | TRATAMENTO | | | |
|------------------|-----------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| | | | (m) | (%) | ANCORAGEM ATIVA / TRINTE MALHA L (m x m) | CONCRETO PROJETADO (Espessura cm) | CAMBOTA METÁLICA (Perf I de 4") | |
| I | MUITO BOA | > 4 | GRANITO-GNÁSESE POUCO DECOMPOSTO A SÃO E POUCO FRATURADO. | 727,00 | 60,00 | | | |
| II | BOA | 1 a 4 | GRANITO-GNÁSESE BIOTÍTICO, E AMPHIBOLITO MEDIANAMENTE A POUCO DECOMPOSTO E FRATURADO, E FOLIAÇÃO PERSISTENTE. | 305,00 | 25,00 | 2,00 | 2,00 | 4 |
| III | REGULAR | 0,1 a 1 | GRANITO-GNÁSESE-AMPHIBOLITO, E EVENTUALMENTE ROCHAS BÁSICAS DECOMPOSTAS E COM PRESENÇA DE ÁGUA. | 145,00 | 12,00 | 2,00 | 2,00 | 5 |
| IV | POBRE | 0,01 a 0,1 | GNÁSESE-BIOTÍTICO E AMPHIBOLITO, DECOMPOSTOS PODENDO OCORRER EVENTUALMENTE ROCHAS BÁSICAS, PRESENÇA DE ÁGUA. | 24,00 | 2,00 | 1,50 | 3,00 | 10 |
| V | MUITO POBRE | < 0,01 | NÍVEIS E FAIXAS AMPHIBOLÍTICAS, MUITO FRATURADOS, MECIÇES, DECOMPOSTOS, FRAQUELO E ERÓDÍVEL. | 12,00 | 1,00 | - | - | 15 A CADA 1,00m |
| TOTAL | | | | 1211,00 | 100,00 | - | - | - |

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------|----|----------------|-------|
| PCH DORES DE GUANHÃES PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO | | | |
| TÍTULO: TÚNEL DE ADUÇÃO TRATAMENTOS TÍPICOS SEÇÃO E DETALHES | | | |
| ESCALA | Nº | 10013-0044 | REV. |
| DGN-08-N15-001 | | DGN-08-N15-001 | 1/1 0 |

Anexo B- Logs de Sondagem

- B-1 – SR-04 - Tomada D'Água
- B-2 – SR-103 - Tomada D'Água
- B-3 – SR-104 - Tomada D'Água
- B-4 – SMD-204 - Tomada D'Água
- B-5 – SM-106 - Desemboque Túnel de Adução
- B-6 – SM-102 - Desemboque Túnel de Adução
- B-7 – SRD-205 - Casa de Força
- B-8 – SM-103 - Casa de Força

**ANEXO B-1
TOMADA D'ÁGUA
MARGEM ESQUERDA**

**CH - DORES DE GUANHÃES
RIO GUANHÃES**
MUNICÍPIO DORES DE GUANHÃES - MG
Margem Esquerda

| | | | | | |
|---------------------|--------------|-------------|------------|--------|--------|
| Prof. Final: | 23,50m | Az. / Incl. | 000°/00° | Folha: | 1/2 |
| COORDENADAS UTM (m) | | | | | |
| NORTE: | 7.890.929,96 | ESTE: | 722.940,02 | COTA: | 476,42 |
| Data Início | | | Data Final | | |
| 10/10/2005 | | | 13/10/2005 | | |
| SONDAGEM | | | | | |
| SR- 04 | | | | | |

| Profundidade (m) | Nível D'Água (Data) | Revestimento, Ø Perf | Perfil Litológico | DESCRIÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DO MATERIAL | S.P.T Nº Golpes | PARÂMETROS GEOTÉCNICOS | | | | DESCONTINUIDADES PRINCIPAIS | | | | ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO E DE PERDA D'ÁGUA SOB PRESSÃO | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|----------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|--------------|----------|--------------|------------------------------------------------------|---------------|--------------------|-------------------------------|---------------|----------------------|----------------------------------------------|--------------------------|----------------------|
| | | | | | | Rock Quality Designation RQD (%) | Grau de Coerência | Grau de Decomposição | Grau de Fraturamento | Superfície | Regularidade | Aspereza | Decomposição | Inclinação | Preenchimento | Trecho / Nº Ensaio | Pressão (kg/cm ²) | Perda (L/min) | Perda Espec. (L/min) | Perda Específica (L/min.liga ⁻²) | Condutividade Hidráulica | Calos de Testem (mm) |
| 0,00 a 2,00m | | | | COLÚVIO - site argiloso, pouco arenoso, de consistência mole, com pedregulhos milimétricos de quartzo, marrom amarelado a avermelhado. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,00 a 11,00m | | | | SOLO RESIDUAL MATURO - areia fina, silteosa, pouco argilosa, pouco a medianamente compacta, marrom clara a amarelada. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11,00 a 15,05m | | | | SOLO RESIDUAL IMATURO - areia fina a grossa, silteosa, pouco argilosa, compacta a muito compacta, cinza amarelada. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15,05 a 15,50m | | | | SAPROLITO - areia média a grossa, quartzo-feldspática e micácea, muito compacta, branco acinzentada. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15,50 a 23,50m | | | | GNAISSÉ FOLIADO - gnaissé de granulometria fina a média, textura lepidoblástica a granolepidoblástica e extrutura bandada e foliada. As biotitas orientam-se preferencialmente ao plano da foliação/bandamento gnáissico que exibe ângulos da ordem de 60 graus com o eixo do testemunho. A rocha apresenta-se pouco decomposta a sã, exibindo tonalidades amareladas no trecho inicial do maciço, passando a cinza médio ao final. Fraturas abertas, inclinadas a subhorizontais, com superfícies oxidadas e paredes ligeiramente decompostas marcam o intervalo. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| GRAU DE ALTERAÇÃO / DECOMPOSIÇÃO (A) | | | GRAU DE CONSISTÊNCIA (C) | | | GRAU DE FRATURAMENTO (F) | | | R. Q. D. (%) | CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (H) | PERMEABILIDADE (K) |
|--------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|
| GRAU | DENOMINAÇÃO | CARACTERIZAÇÃO | GRAU | DENOMINAÇÃO | CARACTERIZAÇÃO | GRAU | DENOMINAÇÃO (FRATURAS / m) | | (l / min x m x kg / cm ³) | (cm / s) | |
| A1 | ROCHA Sã | Areia apresenta seus minérios constituintes sem decomposição. Eventualmente apresenta grãos oxidados. | C1 | ROCHA MUITO CONSISTENTE | Facha com semelhança, quebra com dificuldade no golpe do martelo. Sua superfície é relativamente lisa e mole pelo aço. | F1 | OCASIONALMENTE FRATURADA (< 1 FRATURAS / METRO) | 75 - 100 (ROMA BLOCLENT) | H1 | CONDUTIVIDADE MUITO BAIXA (< 0,10) | k < 10 ⁻⁶ |
| A2 | ROCHA POUCO DECOMPOSTA | Areia apresenta decomposição incipiente em sua matriz e ao longo dos planos de fraturas, e levemente descolada. | C2 | ROCHA CONSISTENTE | Facha com semelhança, quebra com relativa facilidade no golpe do martelo. Sua superfície é relativamente lisa e mole pelo aço. | F2 | POUCO FRATURADA (1,1 A 5 FRATURAS / METRO) | 50 - 75 (REGULAR) | H2 | CONDUTIVIDADE BAIXA (0,10 A 1,00) | 10 ⁻⁶ < k < 10 ⁻⁴ |
| A3 | ROCHA MEDIANAMENTE DECOMPOSTA | Areia apresenta seus minérios constituintes em franco processo de decomposição. Fraturas descoladas e eventualmente preenchidas por material desagregado. Enxerto descolado. | C3 | ROCHA MEDIANAMENTE CONSISTENTE | Facha com semelhança, quebra com relativa facilidade no golpe do martelo com fragmentos relativamente quebradiços a pressão dos dedos. Suco leve no raso do aço. | F3 | MEDIANAMENTE FRATURADA (5,1 A 10 FRATURAS / METRO) | 25 - 50 (ROBTE) | H3 | CONDUTIVIDADE MÉDIA (1,00 A 5,00) | 10 ⁻⁴ < k < 5x10 ⁻⁴ |
| A4 | ROCHA MUITO DECOMPOSTA | Areia apresenta seus minérios constituintes muito decompostos. Decomposição ao longo das fraturas comumente preenchidas por material desagregado. Enxerto descolado. | C4 | ROCHA POUCO CONSISTENTE | Facha quebra com facilidade no golpe do martelo, bandas dos fragmentos quebrem com relativa facilidade manuseando. Suco viscoso no raso do aço. | F4 | MUITO FRATURADA (10,1 A 20 FRATURAS / METRO) | 0 - 25 (MUITO ROBTE) | H4 | CONDUTIVIDADE ALTA (5,00 A 10,00) | 5x10 ⁻⁴ < k < 10 ⁻³ |
| A5 | ROCHA EXTREMAMENTE DECOMPOSTA (SAPROLITO) | Minérios constituintes totalmente decompostos. Pode apresentar bolões de minério desagregado. Reserva estrutural original. | C5 | ROCHA SEM CONSISTÊNCIA (FRÁVEL) | Facha estilhaço no golpe do martelo, desagregando-se com a pressão dos dedos. Pode ser cortada com o aço, sendo lisa com um unha. | F5 | EXTREMAMENTE FRATURADA (> 20,1 FRATURAS / METRO) | | H5 | CONDUTIVIDADE MUITO ALTA (> 10,00) | k > 10 ⁻³ |

| TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS | | | | CLASSIFICAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES PRINCIPAIS - SIMBOLOGIA | | | | | |
|---------------------------------------------|---------------------------|------------|--|------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (Golpes) | | DESIGNAÇÃO | | TIPO | SUPERFÍCIE | SUPERFÍCIE DAS DESCONTINUIDADES | | INCLINAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES | |
| ≤ 4 | Fofa (o) | | | J = JUNTA | A = ABERTA F = FECHADA | REGULARIDADE | ASPEREZA | SH = SUBORIZONTAL (i < 30°) I = INCLINADA (30° < i < 60°) SV = SUBVERTICAL (i > 60°) | |
| 5 A 8 | Pouco compacta (o) | | | | | P = PLANA | E = ESPELHADA | | |
| 9 A 18 | Medianamente compacta (o) | | | | | C = CURVA | L = LISA | | |
| 19 A 39 | Compacta (o) | | | X = XISTOSIDADE | | I = IRREGULAR | R = RUGOSA | | |
| ≥ 40 | Muito compacta (o) | | | | | | | | |
| ≤ 2 | Muito mole | | | | | | | | |
| 3 A 5 | Mole | | | | | | | | |
| 6 A 10 | Média (o) | | | | | | | | |
| 11 A 18 | Rija (o) | | | | | | | | |
| ≥ 19 | Dura (o) | | | | | | | | |

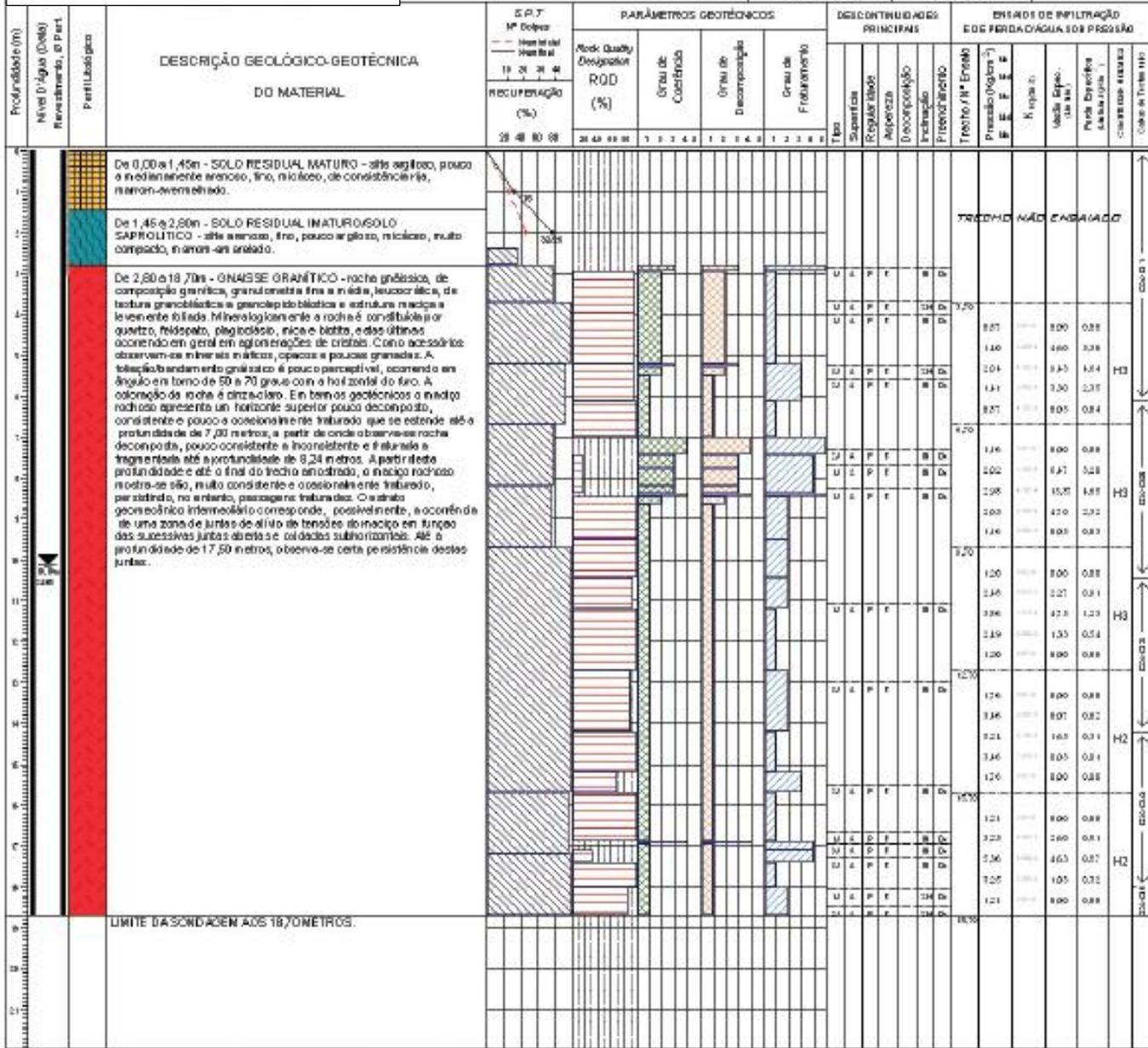
| | | | | |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MATERIAL DE REVESTIMENTO (o) | - Fe - Película de argilomineral escuro (limão e ouro) - Oz - Película de argilomineral escurecido (limão escuro) - Ox - Película oxidada - Po - Película carbonatada - Ca - Película sulfídica de cálcio - Et - Estão de fitação em película de resina bitumínica - Pb - Película de material branco (tílica amorfo) | Escala: 1:100 Arquivo: SR-04-051.LPT Revisão: Data: 04/11/2005 | Classificado por Geól.: Cláudio Márcio da Silva CREA: 65.918/D - MG | Executa:  NINAS SOLOS SONDAGEM LTDA. |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

ANEXO B-4 TOMADA D'ÁGUA

PCH DORES DE GUANHÃES TOMADA D'ÁGUA

MUNICÍPIO DE DORES DE GUANHÃES - MG

| | | | | | |
|---------------------|----------------|-----------|--------------|--------|--------|
| Prof. Fixa: | 18,70m | Az. Incl: | 000°00' | Folha: | 1/1 |
| COORDENADAS UTM (m) | | | | | |
| NORTE: | 7.890.877,8000 | ESTE: | 722.821,1700 | COTA: | 465,50 |
| Data Início: | | | Data Final: | | |
| 22/05/2008 | | | 24/05/2008 | | |
| SONDAGEM | | | | | |
| SMD-204 | | | | | |



| GRAU DE ALTERAÇÃO / DECOMPOSIÇÃO (A) | | GRAU DE CONSISTÊNCIA (C) | | GRAU DE FRATURAMENTO (F) | | R.Q.D. (%) | CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (K) (cm/s) | PERMEABILIDADE (Q) (cm/s) |
|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| CLASSIFICAÇÃO | DESCRIÇÃO | CLASSIFICAÇÃO | DESCRIÇÃO | CLASSIFICAÇÃO | DESCRIÇÃO | | | |
| A1 | ROCHA Sã | C1 | ROCHA MUITO CONSISTENTE | F1 | OCAS DISCONTINUIDADES PLANAS (1 - 25% FREQÜÊNCIA / 10-20% ABERTURA) | 70-100 | H1 | CONDUZIVIDADE MUITO BAIXA (1 - 10 ⁻¹⁰) |
| A2 | ROCHA POUCO DECOMPOSTA | C2 | ROCHA CONSISTENTE | F2 | POUCO FRATURADA (1-10% FREQÜÊNCIA / 10-20% ABERTURA) | 50-75 | H2 | CONDUZIVIDADE BAIXA (1 - 10 ⁻⁸ a 10 ⁻¹⁰) |
| A3 | ROCHA MEDIANAMENTE DECOMPOSTA | C3 | ROCHA MEDIANAMENTE CONSISTENTE | F3 | MODERADAMENTE FRATURADA (1-10% FREQÜÊNCIA / 10-20% ABERTURA) | 25-50 | H3 | CONDUZIVIDADE MÉDIA (1 - 10 ⁻⁶ a 10 ⁻⁸) |
| A4 | ROCHA MUITO DECOMPOSTA | C4 | ROCHA POUCO CONSISTENTE | F4 | MUITO FRATURADA (10-20% FREQÜÊNCIA / 10-20% ABERTURA) | 5-25 | H4 | CONDUZIVIDADE ALTA (10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁵) |
| A5 | ROCHA QUASE TOTALMENTE DECOMPOSTA | C5 | ROCHA SEM CONSISTÊNCIA PERCÍVEL | F5 | EXTENSAMENTE FRATURADA (1 - 20% FREQÜÊNCIA / 10-20% ABERTURA) | | H5 | CONDUZIVIDADE MUITO ALTA (1 - 10 ⁻²) |

| TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS | | CLASSIFICAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES PRINCIPAIS - SIMBOLOGIA | | | |
|------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| ÍNDICE DE PERTECIP. A PERTECIP. de grupo | DESIGNAÇÃO | TIPO | SUPERFÍCIE | SUPERFÍCIE DAS DESCONTINUIDADES | INCLINAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES |
| 0 a 4 | Fofa (0) | J = JUNTA | A = ABERTA | REGULARIDADE | SH = SUBHORIZONTAL (1 < 30°) I = INCLINADA (30° < 60°) SV = SUBVERTICAL (1 > 60°) |
| 5 a 8 | Fofo compacta (1) | | | ASPEREZA | |
| 9 a 18 | Multiformente compacta (2) | | | ESPESSADURA | |
| 19 a 30 | Compacta (3) | X = HETEROGENEIDADE | F = FECHADA | ESPESSADURA | L = LISA |
| 31 a 40 | Muito compacta (4) | | | IRREGULARIDADE | |
| 41 a 50 | Muito muito compacta (5) | | | RUGOSA | |
| 51 a 60 | Muito mole | | | | |
| 61 a 70 | Mole | | | | |
| 71 a 80 | Média (6) | | | | |
| 81 a 90 | Muito mole | | | | |
| 91 a 100 | Muito mole | | | | |

**ANEXO B-6
DESEMBOQUE DO TÚNEL /
CASA DE FORÇA**

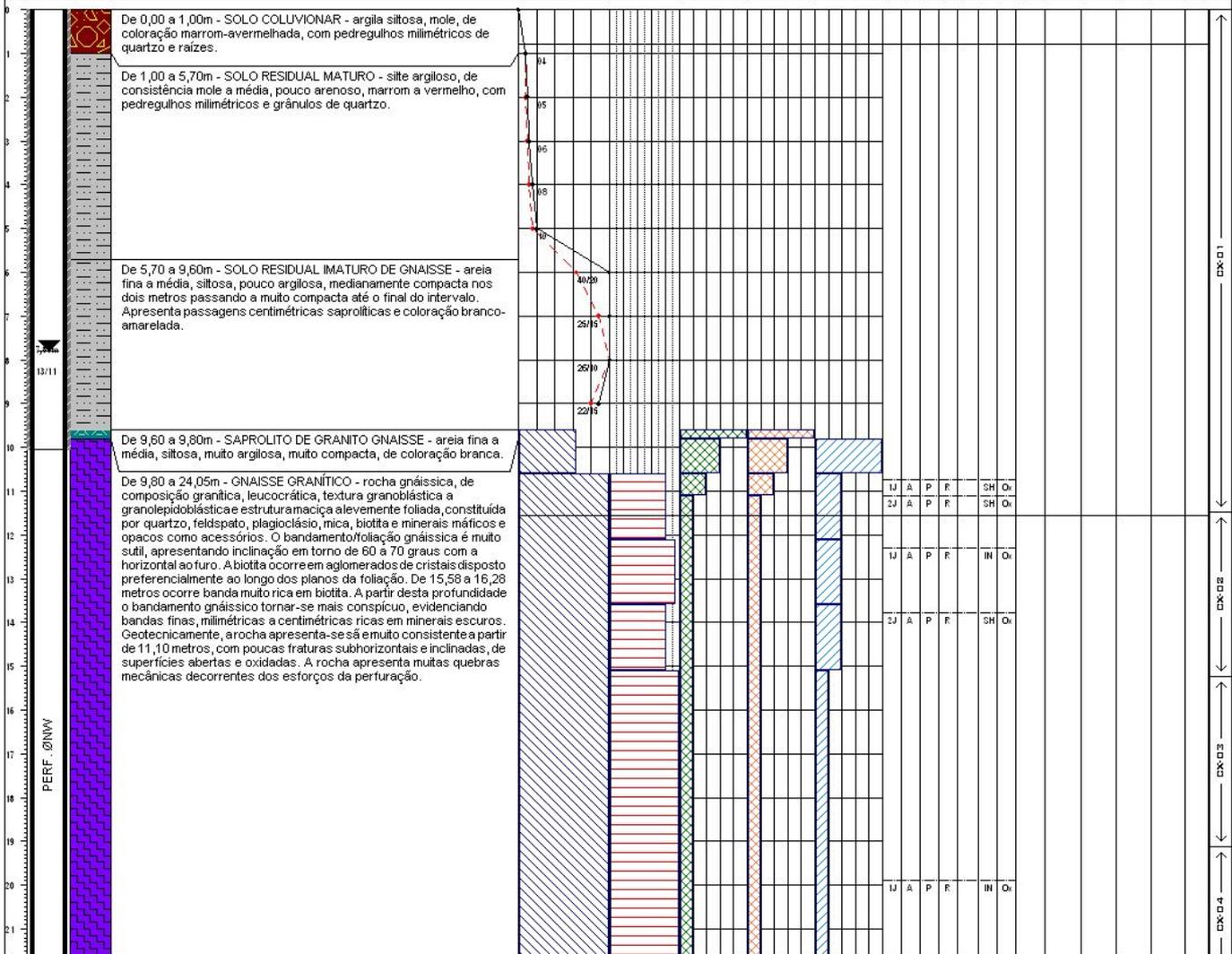
PCH - DORES DE GUANHÃES

CASA DE FORÇA

MUNICÍPIO DORES DE GUANHÃES - MINAS GERAIS

| | | |
|-------------------------|----------------------|------------------------|
| Prof. Final: 24,05m | Az. / Incl. 000°/00' | Folha: 1/2 |
| COORDENADAS UTM (m) | | |
| NORTE: 7.890.250 | ESTE: 723.905 | COTA: 454,00 |
| Data Início: 04/11/2006 | | Data Final: 13/11/2006 |
| SONDAGEM | | |
| SM-102 | | |

| Profundidade (m) | Nível D'Água (Data) / Revestimento, Ø Perf. | Perfil Litológico | DESCRIÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DO MATERIAL | S.P.T Nº Golpes | | | | PARÂMETROS GEOTÉCNICOS | | | | DESCONTINUIDADES PRINCIPAIS | | | | ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO E DE PERDA D'ÁGUA SOB PRESSÃO | | | | |
|------------------|---------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------|-----------------|--|--|--|------------------------|-------------------|--|--|-----------------------------|----------------------|--|--|------------------------------------------------------|----------------------|--|--|--|
| | | | | RECUPERAÇÃO (%) | | | | RQD (%) | Grau de Coerência | | | | Grau de Decomposição | | | | Grau de Fraturamento | | | |



| GRAU DE ALTERAÇÃO / DECOMPOSIÇÃO (A) | | GRAU DE CONSISTÊNCIA (C) | | GRAU DE FRATURAMENTO (F) | | R. Q. D. (%) | CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (H) | PERMEABILIDADE (K) |
|--------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|
| GRAU | DENOMINAÇÃO | CARACTERIZAÇÃO | GRAU | DENOMINAÇÃO | CARACTERIZAÇÃO | GRAU | DENOMINAÇÃO (FRATURAS / m.) | |
| A1 | ROCHA Sã | Areia apresenta seus minerais constituintes sem decomposição. Eventualmente apresenta grãos oxidados. | C1 | ROCHA MUITO CONSISTENTE | Areia com sensibilidade, quebra com dificuldade no golpe do martelo. Sua superfície é brilhante e molhada pelo aço. | F1 | OCCASIONALMENTE FRATURADA (< 1 FRATURAS / METRO) | 75 - 100 (ROMA BLOC ELBITE) |
| A2 | ROCHA POUCO DECOMPOSTA | Areia apresenta decomposição incipiente em sua matriz e ao longo das juntas de fraturas, e levemente descolada. | C2 | ROCHA CONSISTENTE | Areia com sensibilidade, quebra com relativa facilidade no golpe do martelo. Sua superfície é brilhante e molhada pelo aço. | F2 | POUCO FRATURADA (1,1 A 5 FRATURAS / METRO) | 50 - 75 (REGULAR) |
| A3 | ROCHA MEDIANAMENTE DECOMPOSTA | Areia apresenta seus minerais constituintes em franco processo de decomposição. Fraturas descoladas e eventuais pedregulhos por material desagregado. Enxerto descolado. | C3 | ROCHA MEDIANAMENTE CONSISTENTE | Areia com sensibilidade, quebra com relativa facilidade no golpe do martelo com fragmentos de pedregulhos a pressão dos dedos. Suco leve no raso do aço. | F3 | MEDIANAMENTE FRATURADA (5,1 A 10 FRATURAS / METRO) | 25 - 50 (ROFFE) |
| A4 | ROCHA MUITO DECOMPOSTA | Areia apresenta seus minerais constituintes muito decompostos. Decomposição ao longo das fraturas comumente preenchidas por material desagregado. Enxerto descolado. | C4 | ROCHA POUCO CONSISTENTE | Areia quebra com facilidade no golpe do martelo; bandas dos fragmentos quebra com relativa facilidade manuseando. Suco viscoso no raso do aço. | F4 | MUITO FRATURADA (10,1 A 20 FRATURAS / METRO) | 0 - 25 (MUITO ROFFE) |
| A6 | ROCHA EXTREMAMENTE DECOMPOSTA (SAPROLITO) | Minerais constituintes totalmente decompostos. Pode apresentar bolões de material desagregado. Presença estruturas originárias. | C5 | ROCHA SEM CONSISTÊNCIA (FRÁVEL) | Areia esfarelada no golpe do martelo, desagregando-se com o peso dos dedos. Pode ser corada com o aço, sendo rasada com a unha. | F5 | EXTREMAMENTE FRATURADA (> 20,1 FRATURAS / METRO) | |

| TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS | | CLASSIFICAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES PRINCIPAIS - SIMBOLOGIA | | | | | |
|---------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (Golpes) | DESIGNAÇÃO | TIPO | SUPERFÍCIE | SUPERFÍCIE DAS DESCONTINUIDADES | | INCLINAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES | |
| ≤ 4 | Fofa (o) | J = JUNTA | A = ABERTA F = FECHADA | REGULARIDADE | ASPEREZA | SH = SUBORIZONTAL (i < 30°) I = INCLINADA (30° < i < 60°) SV = SUBVERTICAL (i > 60°) | |
| 5 A 8 | Pouco compacta (o) | | | P = PLANA | E = ESPELHADA | | |
| 9 A 18 | Medianamente compacta (o) | | | C = CURVA | L = LISA | | |
| 19 A 39 | Compacta (o) | X = XISTOSIDADE | | I = IRREGULAR | R = RUGOSA | | |
| ≥ 40 | Muito compacta (o) | | | | | | |

| | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------|--|
| Áreas e siltos arenosos ≤ 2 Muito mole 3 A 6 Mole 7 A 10 Média (o) 11 A 18 Rija (o) ≥ 19 Dura (o) | MATERIAL DE REVESTIMENTO (Ø) - Fe - Película de aglomerado escuro (limão escuro) - G - Película de aglomerado cinza (limão cinza) - O - Película oxidada - P - Película carbonatada - S - Película sulfídica, descontinua - E - Estado de fissão em película de resíduo fino - F - Película de material branco (flocos amarelos) | Escala: 1:100 Arquivo: SM-102-069.LPT Revisão: Data: 23/11/2006 | Classificado por Geól.: Cláudio Márcio da Silva CREA: 65.918/D - MG | Bectra: | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------|--|

ANEXO B-8 CASA DE FORÇA

PCH - DORES DE GUANHÃES

CASA DE FORÇA

MUNICÍPIO DORES DE GUANHÃES - MINAS GERAIS

Prof. Final: 42,20m

Az. / Incl. 000°/00°

Folha: 1/2

COORDENADAS UTM (m)

NORTE:

7.890.135

ESTE:

723.925

COTA:

443,00

SONDAGEM

SM-103

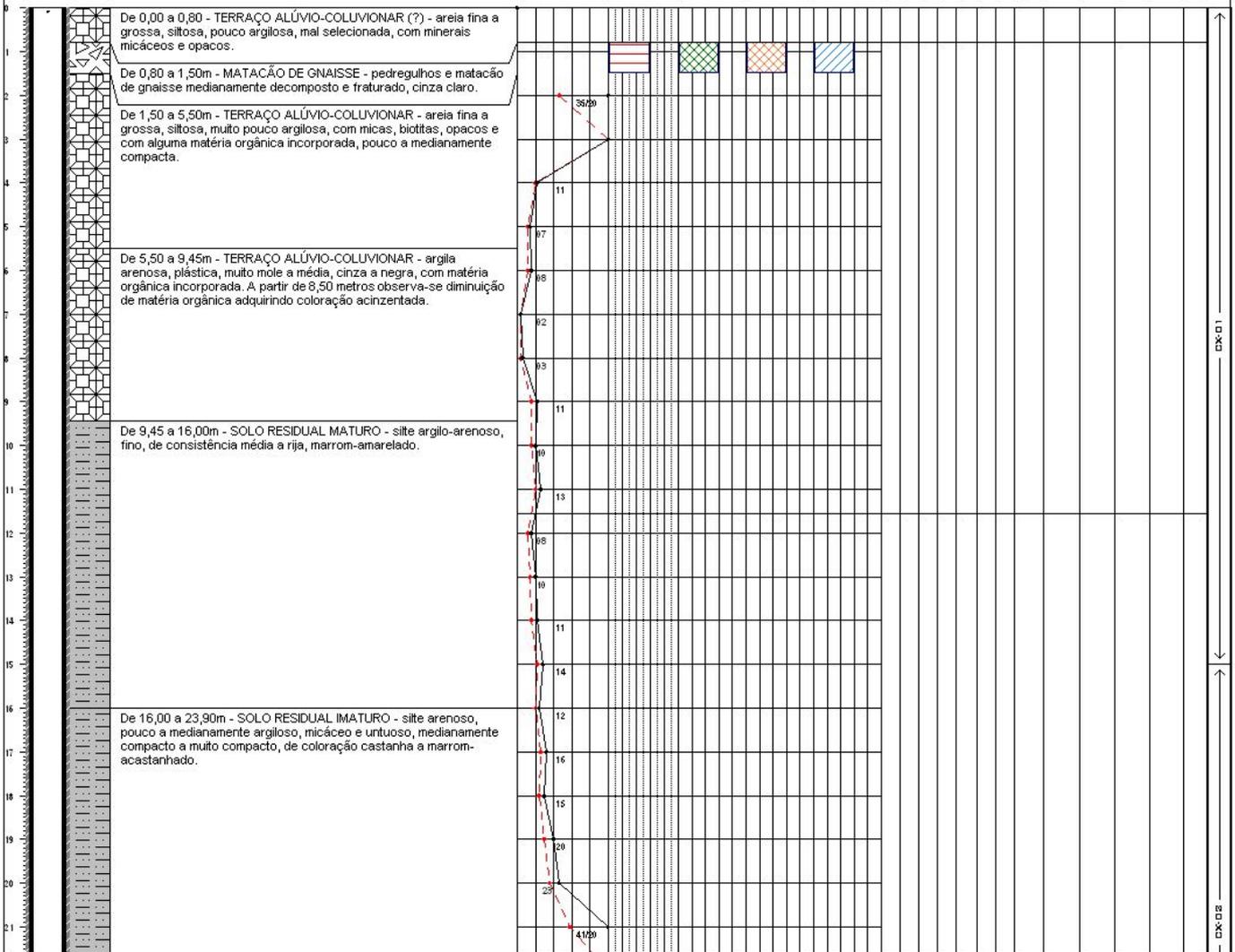
Data Início

23/10/2006

Data Final

01/11/2006

| Profundidade (m) | Nível D'Água (Data) | Revestimento, Ø Perf. | Perfil Litológico | DESCRIÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DO MATERIAL | S.P.T Nº Golpes | PARÂMETROS GEOTÉCNICOS | | | | DESCONTINUIDADES PRINCIPAIS | | | | ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO E DE PERDA D'ÁGUA SOB PRESSÃO | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|--------------|----------|--------------|------------------------------------------------------|---------------|--------------------|-------------------------------|---------------|----------------------|----------------------------------------------|------------------------|---------------------|
| | | | | | | Rock Quality Designation RQD (%) | Grau de Coerência | Grau de Decomposição | Grau de Fraturamento | Superfície | Regularidade | Aspereza | Decomposição | Inclinação | Preenchimento | Trecho / Nº Ensaio | Pressão (kg/cm ²) | Perda (L/min) | Perda Espec. (L/min) | Perda Específica (L/min) (q ₁₀₀) | Coeficiente Hidráulico | Calos de Teste (µm) |
| 20 | 40 | 60 | 80 | 20 | 40 | 60 | 80 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |



| GRAU DE ALTERAÇÃO / DECOMPOSIÇÃO (A) | | GRAU DE CONSISTÊNCIA (C) | | GRAU DE FRATURAMENTO (F) | | R. Q. D. (%) | CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (H) | PERMEABILIDADE (K) |
|--------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| GRAU | DENOMINAÇÃO | CARACTERIZAÇÃO | GRAU | DENOMINAÇÃO | CARACTERIZAÇÃO | GRAU | DENOMINAÇÃO (FRATURAS / m.) | PERMEABILIDADE (cm / s) |
| A1 | ROCHA Sã | Área apresenta seus minerais constituintes sem decomposição. Eventualmente apresenta juntas coesas. | C1 | ROCHA MUITO CONSISTENTE | Facha com semelhança, quebra com dificuldade no golpe do martelo. Sua superfície é brilhante e moeda pelo aço. | F1 | OCCASIONALMENTE FRATURADA (< 1 FRATURAS / METRO) | k < 10 ⁻⁶ |
| A2 | ROCHA POUCO DECOMPOSTA | Área apresenta decomposição incipiente em sua matriz e ao longo das juntas de fraturas, e levemente descolada. | C2 | ROCHA CONSISTENTE | Facha com semelhança, quebra com relativa facilidade no golpe do martelo. Sua superfície é brilhante e moeda pelo aço. | F2 | POUCO FRATURADA (1,1 A 5 FRATURAS / METRO) | 10 ⁻⁶ < k < 10 ⁻⁴ |
| A3 | ROCHA MEDIANAMENTE DECOMPOSTA | Área apresenta seus minerais constituintes em franco processo de decomposição. Fraturas descoladas e eventualmente preenchidas por material desagregado. Ensurdo descolada. | C3 | ROCHA MEDIANAMENTE CONSISTENTE | Facha com semelhança, quebra com relativa facilidade no golpe do martelo com fragmentos distintos quebrando à pressão dos dedos. Suco leve ao riscar do aço. | F3 | MEDIANAMENTE FRATURADA (5,1 A 10 FRATURAS / METRO) | 10 ⁻⁴ < k < 5x10 ⁻⁴ |
| A4 | ROCHA MUITO DECOMPOSTA | Área apresenta seus minerais constituintes muito decompostos. Decomposição ao longo das fraturas comumente preenchidas por material desagregado. Eventualmente descolada. | C4 | ROCHA POUCO CONSISTENTE | Facha quebra com facilidade no golpe do martelo; bordas dos fragmentos quebram com relativa facilidade nas unhas. Suco próximo ao riscar do aço. | F4 | MUITO FRATURADA (10,1 A 20 FRATURAS / METRO) | 5x10 ⁻⁴ < k < 10 ⁻³ |
| A6 | ROCHA EXTREMAMENTE DECOMPOSTA (SARROUÇO) | Minerais constituintes totalmente decompostos. Pode apresentar bolões de material desagregado. Presença de sulfatos originais. | C5 | ROCHA SEM CONSISTÊNCIA (FRÁVEL) | Facha esfarelar no golpe do martelo, desagregando-se com a pressão dos dedos. Pode ser corada com o aço, sendo riscada com a unha. | F5 | EXTREMAMENTE FRATURADA (> 20,1 FRATURAS / METRO) | k > 10 ⁻³ |

| TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS | | CLASSIFICAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES PRINCIPAIS - SIMBOLOGIA | | | | | |
|---------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (Golpes) | DESIGNAÇÃO | TIPO | SUPERFÍCIE | SUPERFÍCIE DAS DESCONTINUIDADES | | INCLINAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES | |
| ≤ 4 | Fofa (o) | J = JUNTA | A = ABERTA F = FECHADA | REGULARIDADE | ASPEREZA | SH = SUBORIZONTAL (i < 30°) I = INCLINADA (30° < i < 60°) SV = SUBVERTICAL (i > 60°) | |
| 5 A 8 | Pouco compacta (o) | | | P = PLANA | E = ESPELHADA | | |
| 9 A 18 | Medianamente compacta (o) | | | C = CURVA | L = LISA | | |
| 19 A 39 | Compacta (o) | X = XISTOSIDADE | | DECOMPOSIÇÃO (RQD) | | | |
| ≥ 40 | Muito compacta (o) | | | ① = Espessura em mm da zona decomposta | | | |

MATERIAL DE REFERÊNCIA:
 - Fe - Película de agulha mineral escuro (limite escuro)
 - Si - Película de agulha mineral cristalino (limite claro)
 - O - Película oxidada
 - Po - Película carbonatada
 - Su - Película sulfídica de continuidade
 - Es - Película de sílica em película de revestimento
 - Pb - Película de material branco (líquido amorfo)

ESCALA: 1:100
ARQUIVO: SM-103-069.LPT
REVISÃO:
DATA: 23/11/2006

CLASSIFICADO POR GEOLÓGO: Cláudio Márcio da Silva
CREA: 65.918/D - MG

EXECUTADO POR: **MINAS SOLOS SONDAJEM LTDA.**

ANEXO B-8 CASA DE FORÇA

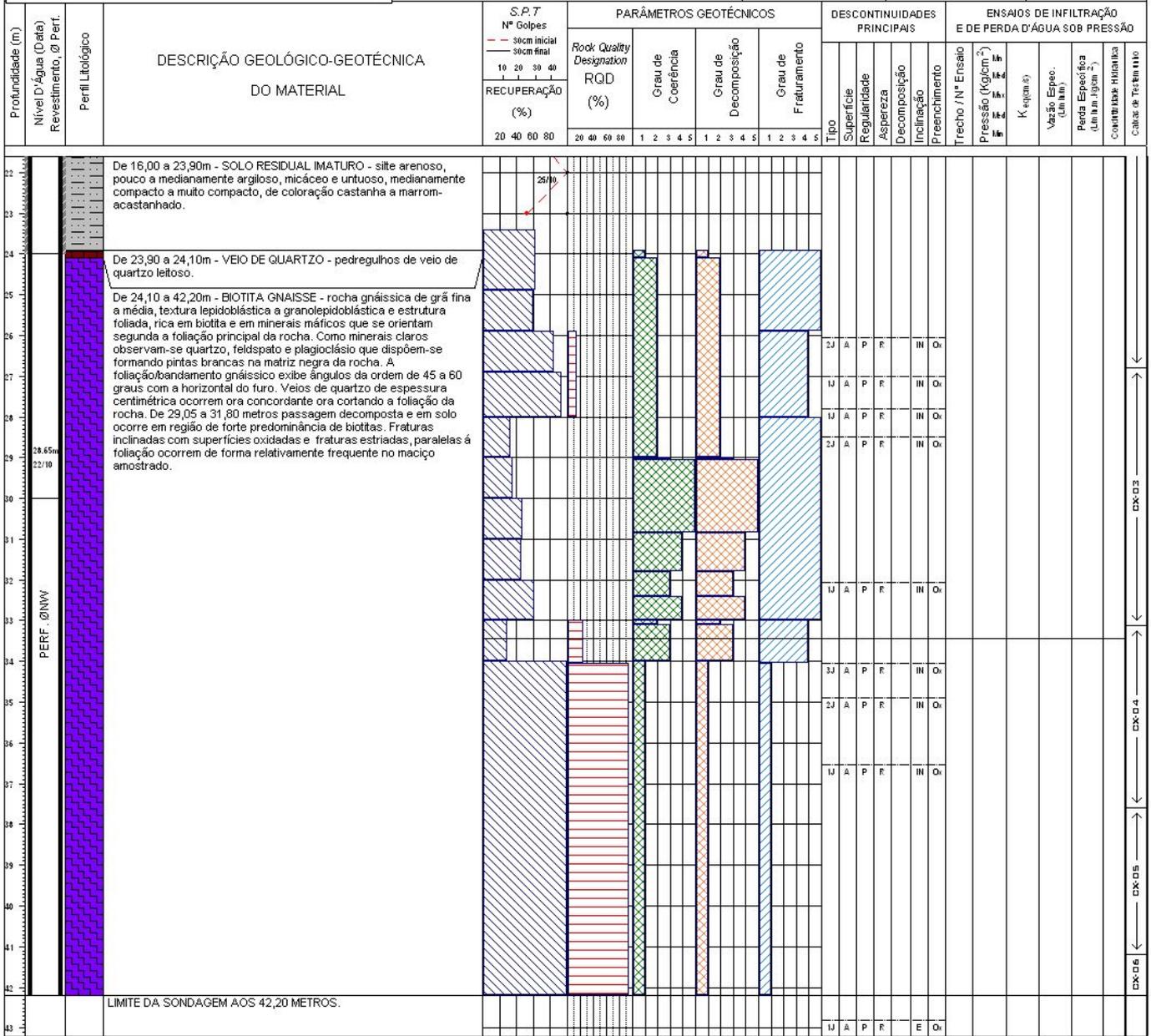
PCH - DORES DE GUANHÃES

CASA DE FORÇA

MUNICÍPIO DORES DE GUANHÃES - MINAS GERAIS

| | | | |
|---------------------|------------|-------------|------------|
| Prof. Final: | 42,20m | Az. / Incl. | 000°/00° |
| COORDENADAS UTM (m) | | | |
| NORTE: | 7.890.135 | ESTE: | 723.925 |
| | | COTA: | 443,00 |
| Data Início | 23/10/2006 | | Data Final |
| | | 01/11/2006 | |

| | |
|----------|-----|
| Folha: | 2/2 |
| SONDAGEM | |
| SM-103 | |



| GRAU DE ALTERAÇÃO / DECOMPOSIÇÃO (A) | | GRAU DE CONSISTÊNCIA (C) | | GRAU DE FRATURAMENTO (F) | | R. Q. D. (%) | CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (H) | PERMEABILIDADE (K) | |
|--------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| GRAU | DENOMINAÇÃO | CARACTERIZAÇÃO | GRAU | DENOMINAÇÃO | CARACTERIZAÇÃO | GRAU | DENOMINAÇÃO (FRATURAS / m.) | (l / min x m x kg / cm ³) | (cm / s) |
| A1 | ROCHA Sã | Areia apresenta seus minerais constituintes sem decomposição. Eventualmente apresenta finos oxidados. | C1 | ROCHA MUITO CONSISTENTE | Facha com semirisco, quebra com dificuldade no golpe do martelo. Sua superfície é brilhante e moeda pelo aço. | F1 | OCASIONALMENTE FRATURADA (< 1 FRATURAS / METRO) | 75 - 100 (ROMA EIC ELBITE) | k < 10 ⁻⁵ |
| A2 | ROCHA POUCO DECOMPOSTA | Areia apresenta decomposição incipiente em sua matriz e ao longo dos planos de fraturas, e levemente descolada. | C2 | ROCHA CONSISTENTE | Facha com semirisco, quebra com relativa facilidade no golpe do martelo. Sua superfície é brilhante e moeda pelo aço. | F2 | POUCO FRATURADA (1,1 A 5 FRATURAS / METRO) | 50 - 75 (REGULAR) | 10 ⁻⁵ < k < 10 ⁻⁴ |
| A3 | ROCHA MEDIANAMENTE DECOMPOSTA | Areia apresenta seus minerais constituintes em franco processo de decomposição. Fraturas descoladas e eventualmente preenchidas por material desagregado. Enxerto descolado. | C3 | ROCHA MEDIANAMENTE CONSISTENTE | Facha com semirisco, quebra com relativa facilidade no golpe do martelo com fragmentos facilmente quebráveis a pressão dos dedos. Suco leve no riscar do aço. | F3 | MEDIANAMENTE FRATURADA (5,1 A 10 FRATURAS / METRO) | 25 - 50 (ROFFE) | 10 ⁻⁴ < k < 5x10 ⁻⁴ |
| A4 | ROCHA MUITO DECOMPOSTA | Areia apresenta seus minerais constituintes muito decompostos. Decomposição ao longo das fraturas comumente preenchidas por material desagregado. Enxerto descolado. | C4 | ROCHA POUCO CONSISTENTE | Facha quebra com facilidade no golpe do martelo; bordas dos fragmentos quebra com relativa facilidade manualmente. Suco viscoso no riscar do aço. | F4 | MUITO FRATURADA (10,1 A 20 FRATURAS / METRO) | 0 - 25 (MUITO ROFFE) | 5x10 ⁻⁴ < k < 10 ⁻³ |
| A6 | ROCHA EXTREMAMENTE DECOMPOSTA (SARROUÇO) | Minerais constituintes totalmente decompostos. Pode apresentar bolões de material desagregado. Presença estruturas originais. | C5 | ROCHA SEM CONSISTÊNCIA (FRÁVEL) | Facha estilhaços no golpe do martelo, desagregando-se com o pressionar dos dedos. Pode ser corada com o aço, sendo riscada com a unha. | F5 | EXTREMAMENTE FRATURADA (> 20,1 FRATURAS / METRO) | | k > 10 ⁻³ |

| TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS | | CLASSIFICAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES PRINCIPAIS - SIMBOLOGIA | | | | | |
|---------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (GOLPES) | DESIGNAÇÃO | TIPO | SUPERFÍCIE | SUPERFÍCIE DAS DESCONTINUIDADES | | INCLINAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES | |
| ≤ 4 | Fofa (o) | J = JUNTA | A = ABERTA F = FECHADA | REGULARIDADE | ASPEREZA | SH = SUBORIZONTAL (i < 30°) I = INCLINADA (30° < i < 60°) SV = SUBVERTICAL (i > 60°) | |
| 5 A 8 | Pouco compacta (o) | | | P = PLANA | E = ESPELHADA | | |
| 9 A 18 | Medianamente compacta (o) | | | C = CURVA | L = LISA | | |
| 19 A 39 | Compacta (o) | X = XISTOSIDADE | | D = DECOMPOSIÇÃO (%) | | | |
| ≥ 40 | Muito compacta (o) | | | ① = Espessura em mm da zona decomposta | | | |

| | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Áreas e siltes arenosos ≤ 2 Muito mole 3 A 6 Mole 8 A 10 Média (o) 11 A 18 Rija (o) ≥ 19 Dura (o) | Áreas e siltes argilosos ≤ 2 Muito mole 3 A 6 Mole 8 A 10 Média (o) 11 A 18 Rija (o) ≥ 19 Dura (o) | - Fe - Película de agulha mineral escuro (limão e escuro) - Gs - Película de agulha mineral cristalino (limão escuro) - Ox - Película oxidada - Po - Película carbonatada - Su - Película sulfídica de continuidade - Es - Estado de fissão em película de resíduo fino - Pb - Película de material branco (flocos amarelos) | Escala: 1:100 Arquivo: SM-103-069.LPT Revisão: Data: 23/11/2006 | Classificado por Geól.: Cláudio Márcio da Silva CREA: 65.918/D - MG | Escritura:  MINAS SOLOS SONDAGEM LTDA. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Anexo C- Ensaio de caracterização da rocha do túnel.

Relatório
REL DVPE 4583/2015

Página 2 de 14
Emissão: 01/09/2015

As considerações e resultados contidos neste relatório têm validade restrita às amostras analisadas e às condições de ensaio, tendo validade somente a versão final devidamente assinada eletronicamente.

1. AMOSTRAS

As amostras foram entregues nos INSTITUTOS LACTEC/DPEC pelo solicitante, onde foram registradas conforme quadro 01.

Quadro 1 – Identificação das amostras

| Registro INSTITUTOS LACTEC | Descrição dos materiais | Origem |
|----------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|
| 1.1117.15 | Testemunhos de rocha – Sondagem rotativa #50 mm | SR 102 - CX 04 - P 1405 |

Relatório
REL DVPE 4583/2015

Página 3 de 14
Emissão: 01/09/2015

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 1. AMOSTRAS | 2 |
| 2. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO | 4 |
| 3. RESULTADOS OBTIDOS | 4 |
| 3.1. CONCRETO E ARGAMASSA – DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS | 4 |
| 3.2. ROCHAS PARA REVESTIMENTO – DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL | 5 |
| 3.3. AGREGADO GRAÚDO PARA CONCRETO – DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO ESTÁTICO, DO DIAGRAMA DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO E COEFICIENTE DE POISSON EM ROCHA MATRIZ | 5 |
| 3.4. ROCHAS PARA REVESTIMENTO – DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE, POROSIDADE APARENTE E ABSORÇÃO DE ÁGUA | 9 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| QUADRO 1 – IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS | 2 |
| QUADRO 2 – RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – AMOSTRA 1.1117.15 | 4 |
| QUADRO 3 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL – AMOSTRA 1.1117.15 | 5 |
| QUADRO 4 – MÓDULO DE DEFORMAÇÃO ESTÁTICO, DIAGRAMA DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO E COEFICIENTE DE POISSON – AMOSTRA 1.1117.15 – CP 01 | 6 |
| QUADRO 5 – MÓDULO DE DEFORMAÇÃO ESTÁTICO, DIAGRAMA DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO E COEFICIENTE DE POISSON – AMOSTRA 1.1117.15 – CP 02 | 7 |
| QUADRO 6 – MÓDULO DE DEFORMAÇÃO ESTÁTICO, DIAGRAMA DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO E COEFICIENTE DE POISSON – AMOSTRA 1.1117.15 – CP 03 | 8 |
| QUADRO 07 – DENSIDADE APARENTE, POROSIDADE APARENTE E ABSORÇÃO DE ÁGUA - AMOSTRA 1.1117.15 | 9 |

Relatório
REL DVPE 4583/2015

Página 4 de 14
Emissão: 01/09/2015

2. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

- ✓ ABNT NBR 7222:2011 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos;
- ✓ ABNT NBR 15845:2010 – (ANEXO E) - Rochas para revestimento – Determinação da resistência a compressão uniaxial;
- ✓ ABNT NBR 10341:2006 – Agregado graúdo para concreto – Determinação do módulo de deformação estático e do diagrama da tensão- deformação em rocha matriz – Método de ensaio;
- ✓ ABNT NBR 15845:2010 – (ANEXO B) - Rochas para revestimento – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aparente.

3. RESULTADOS OBTIDOS

3.1. Rocha – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos

Os ensaios para determinação da resistência a tração por compressão diametral em testemunhos de rocha foram realizados segundo as diretrizes da NBR 7222 (ABNT 2011 - adaptada), sendo os resultados apresentados no quadro 2, a seguir.

Quadro 2 – Resistência a tração por compressão diametral – Amostra 1.1117.15

| AMOSTRA | CORPO DE PROVA | DIÂMETRO (mm) | ALTURA (mm) | CARGA DA RUPTURA (N) | TENSÃO DE RUPTURA (fct,sp) (MPa) | DATA DO ENSAIO | TEMPO ENSAIO (s) |
|-----------|----------------|---------------|-------------|----------------------|----------------------------------|----------------|------------------|
| 1.1117.15 | 1 | 54,4 | 102,8 | 30.451 | 3,47 | 13/08/2015 | 71 |
| | 2 | 54,5 | 103,7 | 43.105 | 4,86 | | 98 |
| | 3 | 54,4 | 104,1 | 55.881 | 6,28 | | 125 |

Relatório
REL DVPE 4583/2015

3.2. Rochas para revestimento – Determinação da resistência à compressão uniaxial

Os ensaios para determinação da resistência à compressão uniaxial em testemunhos de rocha foram realizados segundo as diretrizes da NBR 15845 (ABNT 2010), sendo os resultados apresentados no quadro 3, a seguir.

Quadro 3 – Resistência à compressão uniaxial – Amostra 1.1117.15

| Corpo de Prova | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------|---------|---------|---------|
| Relação diâmetro/base : altura | 1:1 | 1:1 | 1:1 |
| Área (mm ²): | 2337,12 | 2330,69 | 2337,12 |
| Carga de Ruptura (N): | 202.344 | 167.609 | 153.798 |
| Tensão de Ruptura (MPa): | 86,58 | 71,91 | 65,81 |
| Média (MPa) | 74,77 | | |
| Desvio padrão | 10,7 | | |
| Coefficiente de variação (%) | 14,3 | | |

3.3. Rocha – Determinação do módulo de deformação estático, do diagrama de tensão-deformação e coeficiente de Poisson em rocha matriz

Os ensaios para determinação do módulo de deformação estático, do diagrama de tensão-deformação e coeficiente de Poisson em testemunhos de rocha, foram realizados segundo as diretrizes da NBR 10341 (ABNT 2006), sendo os resultados apresentados nos quadros de 4 à 6, a seguir.

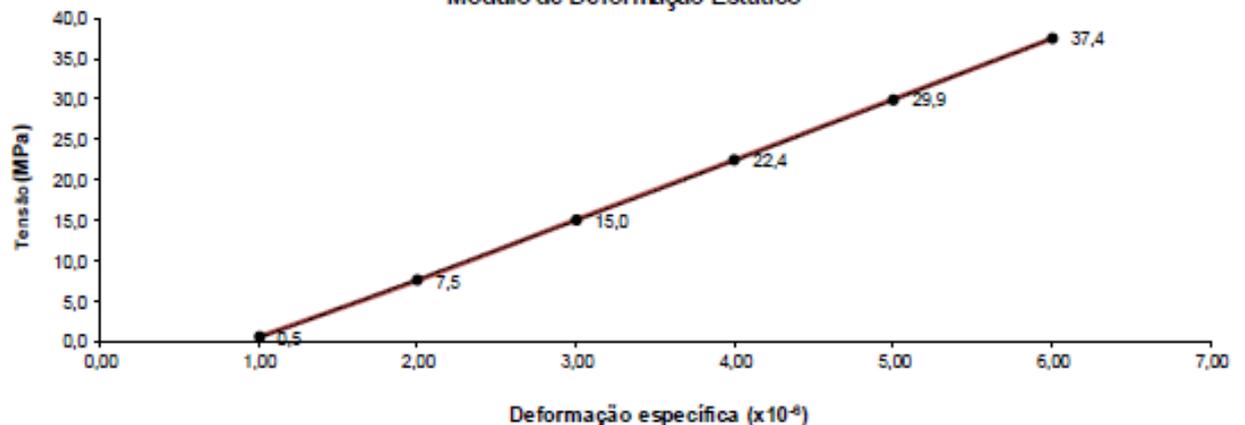
Relatório
REL DVPE 4583/2015

Página 6 de 14
Emissão: 01/09/2015

Quadro 4 – Módulo de deformação estático, diagrama de tensão-deformação e coeficiente de Poisson – Amostra 1.1117.15 – CP 01

| Dados | | | | Extensômetro Strain-gage | | |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Registro: | 1.1117.15 | Data do ensaio: | 13/08/2015 | | Comprimento (mm): | 9,00 |
| Corpo de prova: | 1 | Umidade (seca/saturada): | | Seca | Fator do gage: | |
| Diâmetro: | 55 | mm | Carga de ruptura Obtida: | 8.807 | kgf | 74,8 |
| Altura: | 106 | mm | Tensão obtida : | 37,0 | MPa | |
| Carregamento | Força kgf | Tensão MPa | Deformação Específica Longitudinal ($\times 10^{-6}$) | Deformação Específica Transversal ($\times 10^{-6}$) | Módulo de deformação Secante (GPa) | Coeficiente de Poisson |
| 0,5 MPa | 119 | 0,5 | 105,0 | 22,1 | - | - |
| 0,2 fc | 3.559 | 15,0 | 294,0 | 125,1 | 76,7 | 0,43 |
| 0,3 fc | 5.338 | 22,4 | 476,4 | 206,0 | 59,0 | 0,43 |
| 0,4 fc | 7.117 | 29,9 | 700,0 | 361,3 | 49,4 | 0,52 |
| 0,5 fc | 8.897 | 37,4 | 2547,2 | 192,0 | 15,1 | 0,08 |
| Observações: | Não foi possível a determinação de todos os patamares de módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, pois houve falha nas leituras com 0,1fc e a amostra iniciou o processo de ruptura com a aplicação de 0,5fc. | | | | | |

Módulo de Deformação Estático



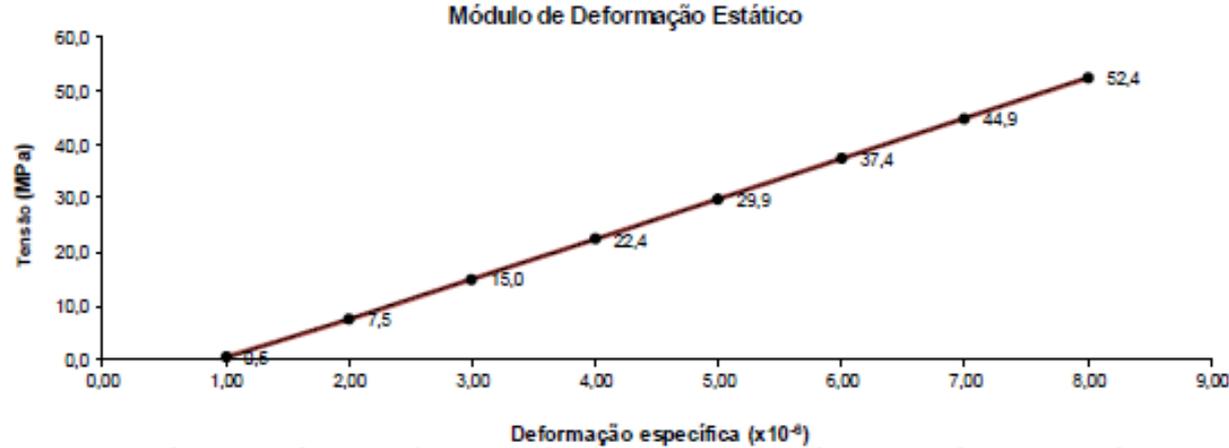
Relatório
REL DVPE 4583/2015

Página 7 de 14
Emissão: 01/09/2015

Quadro 5 – Módulo de deformação estático, diagrama de tensão-deformação e coeficiente de Poisson – Amostra 1.1117.15 – CP 02

| Dados | | | | Extensômetro Strain-gage | | |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Registro: | 1.1117.15 | Data do ensaio: | 13/08/2015 | | Comprimento (mm): | 9,00 |
| Corpo de prova: | 2 | Umidade (seca/saturada): | Seca | | Fator do gage: | 1,99 |
| Diâmetro: | 54 | mm | Carga de ruptura Obtida: | 19.230 | kgf | Tensão prevista (MPa): 74,8 |
| Altura: | 106 | mm | Tensão obtida : | 81,1 | MPa | |
| Carregamento | Força kgf | Tensão MPa | Deformação Específica Longitudinal ($\times 10^{-6}$) | Deformação Específica Transversal ($\times 10^{-6}$) | Módulo de deformação Secante (GPa) | Coefficiente de Poisson |
| 0,5 MPa | 119 | 0,5 | 16,1 | 22,1 | - | - |
| 0,1 fc | 1.773 | 7,5 | 231,2 | 54,8 | 32,5 | 0,24 |
| 0,2 fc | 3.546 | 15,0 | 440,2 | 91,5 | 34,2 | 0,21 |
| 0,3 fc | 5.319 | 22,4 | 638,2 | 134,2 | 35,2 | 0,21 |
| 0,4 fc | 7.091 | 29,9 | 827,6 | 182,9 | 36,2 | 0,22 |
| 0,5 fc | 8.864 | 37,4 | 1023,6 | 244,2 | 36,6 | 0,24 |
| 0,6 fc | 10.637 | 44,9 | 1263,8 | 337,2 | 35,6 | 0,27 |
| 0,7 fc | 12.410 | 52,4 | 1457,8 | 375,4 | 36,0 | 0,26 |
| Observações: | Não foi possível a determinação de todos os patamares de módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, pois a amostra iniciou o processo de ruptura com a aplicação de 0,7fc. | | | | | |

Módulo de Deformação Estático



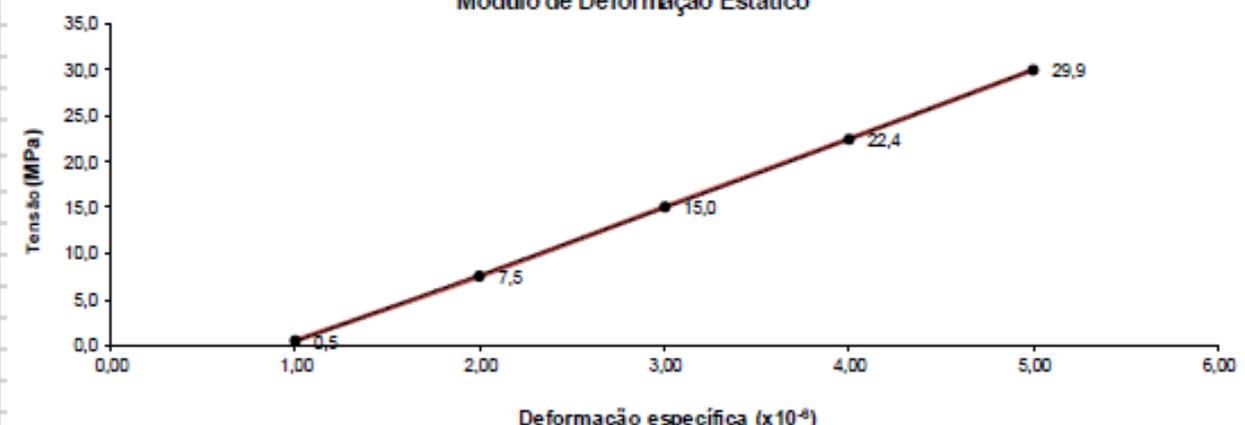
Reproduções deste documento só têm validade se forem integrais e autorizadas pelos Institutos Lactec.

Relatório
REL DVPE 4583/2015

Quadro 6 – Módulo de deformação estático, diagrama de tensão-deformação e coeficiente de Poisson – Amostra 1.1117.15 – CP 03

| Dados | | | | Extensômetro Strain-gage | | | |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------|------|
| Registro: | 1.1117.15 | Data do ensaio: | 13/08/2015 | | Comprimento (mm): | 9,00 | |
| Corpo de prova: | 3 | Umidade (seca/saturada): | | Seca | Fator do gage: | | 1,99 |
| Diâmetro: | 55 | mm | Carga de ruptura Obtida: | 16.365 | kgf | Tensão prevista (MPa): | 74,8 |
| Altura: | 109 | mm | Tensão obtida : | 68,8 | MPa | | |
| Carregamento | Força kgf | Tensão MPa | Deformação Específica Longitudinal ($\times 10^{-6}$) | Deformação Específica Transversal ($\times 10^{-6}$) | Módulo de deformação Secante (GPa) | Coeficiente de Poisson | |
| 0,5 MPa | 119 | 0,5 | 15,6 | 30,2 | - | - | |
| 0,1 fc | 1.779 | 7,5 | 250,8 | 2,0 | 29,8 | 0,01 | |
| 0,2 fc | 3.559 | 15,0 | 468,3 | 19,1 | 32,0 | 0,04 | |
| 0,3 fc | 5.338 | 22,4 | 611,6 | 55,3 | 36,7 | 0,09 | |
| 0,4 fc | 7.117 | 29,9 | 607,0 | 93,5 | 49,7 | 0,15 | |
| Observações: | Não foi possível a determinação de todos os patamares de módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, pois a amostra iniciou o processo de ruptura com a aplicação de 0,4fc. | | | | | | |

Módulo de Deformação Estático



Relatório
REL DVPE 4583/2015

Página 9 de 14
Emissão: 01/09/2015

3.4. Rochas para revestimento – Determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água

Os ensaios para determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água em testemunhos de rochas enviados ao laboratório foram realizados segundo as diretrizes da NBR 15845 (ABNT 2010) ANEXO B, sendo os resultados apresentados no quadro 7, a seguir.

Quadro 07 – Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água - Amostra 1.1117.15

| Registro: | 1.1117.15 | | | Início de Ensaio: | 13/08/2015 | | Final de Ensaio: | 14/08/2015 | |
|-----------------------------|-----------|----------|--------|-----------------------------------------|-------------------------|--------------|------------------|------------|--|
| Corpo de prova | Massa (g) | | | Densidade Aparente (kg/m ³) | Porosidade Aparente (%) | Absorção (%) | | | |
| | Seca | Saturada | Imersa | | | | | | |
| 1 | 432,43 | 433,52 | 268,20 | 2616 | 0,66 | 0,25 | | | |
| 2 | 457,50 | 458,79 | 290,19 | 2714 | 0,77 | 0,28 | | | |
| 3 | 529,91 | 531,78 | 332,43 | 2658 | 0,93 | 0,35 | | | |
| 4 | 568,75 | 570,59 | 357,53 | 2669 | 0,86 | 0,32 | | | |
| 5 | 472,14 | 472,94 | 294,35 | 2644 | 0,45 | 0,17 | | | |
| 6 | 429,91 | 431,10 | 267,71 | 2631 | 0,73 | 0,28 | | | |
| 7 | 316,85 | 317,76 | 197,62 | 2637 | 0,76 | 0,29 | | | |
| 8 | 445,68 | 446,50 | 277,89 | 2643 | 0,49 | 0,18 | | | |
| 9 | 491,07 | 492,29 | 306,06 | 2637 | 0,66 | 0,25 | | | |
| Média: | | | | 2650 | 0,70 | 0,26 | | | |
| Desvio padrão | | | | 28,4 | 0,2 | 0,1 | | | |
| Coeficiente de variação (%) | | | | 1,1 | 22,6 | 22,3 | | | |

Registros Fotográficos



Relatório
REL DVPE 4583/2015



Foto 01 – Amostra 1.1117.15 (CP1), antes do ensaio de compressão.



Foto 02 – Amostra 1.1117.15 (CP1), após o ensaio de compressão.



Foto 03 – Amostra 1.1117.15 (CP2), antes do ensaio de compressão.



Foto 04 – Amostra 1.1117.15 (CP2), após o ensaio de compressão.

Relatório
REL DVPE 4583/2015

Página 12 de 14
Emissão: 01/09/2015



Foto 05 – Amostra 1.1117.15 (CP3), antes do ensaio de compressão.



Foto 06 – Amostra 1.1117.15 (CP3), após o ensaio de compressão.



Foto 07 – Amostra 1.1117.15 (CP1), antes do ensaio de tração por compressão diametral.



Foto 08 – Amostra 1.1117.15 (CP1), após o ensaio de tração por compressão diametral.

Relatório
REL DVPE 4583/2015

Página 13 de 14
Emissão: 01/09/2015



Foto 09 – Amostra 1.1117.15 (CP2), antes do ensaio de tração por compressão diametral.



Foto 10 – Amostra 1.1117.15 (CP2), após o ensaio de tração por compressão diametral.



Foto 11 – Amostra 1.1117.15 (CP3), antes do ensaio de tração por compressão diametral.



Foto 12 – Amostra 1.1117.15 (CP3), após o ensaio de tração por compressão diametral.



Relatório
REL DVPE 4583/2015



Foto 13 – Amostra 1.1117.15 (CP1), após o ensaio de módulo de elasticidade.



Foto 14 – Amostra 1.1117.15 (CP2), antes do ensaio de módulo de elasticidade.



Foto 15 – Amostra 1.1117.15 (CP2), após o ensaio de módulo de elasticidade.



Foto 16 – Amostras 1.1117.15 (CP3), antes do ensaio de módulo de elasticidade.

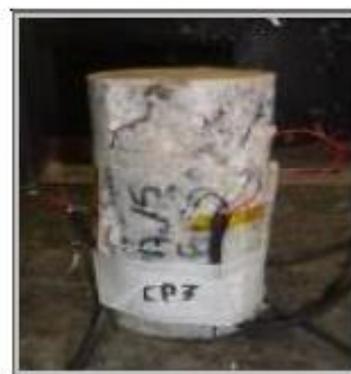


Foto 17 – Amostra 1.1117.15 (CP3), após o ensaio de módulo de elasticidade.