

Trabalho de Formatura

IGc-USP

Caracterização do topo rochoso do Túnel Monte Seco-  
ES pelo método de Imageamento Elétrico com arranjo  
Dipolo-Dipolo

Nº 13/42

*Renato Villas Boas Pereira*

Aluno: Renato Villas Boas Pereira

*Marcos Massao Futai*  
Orientador: Marcos Massao Futai

2013

Trabalho de Formatura

IGc-USP

Caracterização do topo rochoso do Túnel Monte Seco-  
ES pelo método de Imageamento Elétrico com arranjo

Dipolo-Dipolo

Nº 13/42



DEDALUS - Acervo - IGC



30900031953

*Renato Villas Boas Pereira*

Aluno: Renato Villas Boas Pereira

*Marcos Massao Futai*  
Orientador: Marcos Massao Futai

2013

TF  
P436  
RUB. c  
u 2

Trabalho de Formatura

IG- USP

Caracterização do tipo rochoso do Túnel Monte Saco.  
Es pelo método de Imagemente Elétrico com arranjo

Dipolo-Dipolo



Nº 1342

*[Handwritten signature]*  
Aluno: Renato Vilas Boas Pereira  
*[Handwritten signature]*  
Orientador: Marcos Massao Futai

2013

## PARADIGMATAS

1. Nenhuma distância é tão grande que não possa ser percorrida com pequenos passos.

2. Nenhum sonho é tão grande que não possa ser alcançado com pequenos passos.

3. Nenhum objetivo é tão grande que não possa ser alcançado com pequenos passos.

4. Nenhum sonho é tão grande que não possa ser alcançado com pequenos passos.

5. Nenhum sonho é tão grande que não possa ser alcançado com pequenos passos.

Nenhuma distância  
é tão grande  
que não possa ser percorrida com  
pequenos passos.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ricardo e Dalva, que sempre trabalharam e lutaram muito para que este sonho se tornasse realidade, portanto esta conquista também pertence a eles.

A VALE por financiar minha bolsa de pesquisa ao meu orientador, Marcos Massao Futai e a todos integrantes do projeto de pesquisa TUNELCON, que acreditaram, ajudaram e incentivaram a realização deste trabalho.

À minha companheira inseparável, Jéssica, que tanto me ajudou a realizar este sonho, muitas vezes me aconselhando outras criticando, porém, sempre de forma construtiva.

Aos meus Irmãos Ricardo, Pedro e Jefferson e a todos meus amigos, e também familiares, que contribuíram diretamente ou indiretamente, e não estão aqui citados, os meus sinceros agradecimentos.

Agradeço o Professor Fábio Taioli e o Doutor Fernando Saraiva pelo suporte técnico, também gostaria de agradecer ao Paulinho do SEPAS pela força e dedicação no trabalho de campo.

## RESUMO

O presente trabalho aborda a aplicação do método de Imageamento Elétrico com arranjo Dipolo-Dipolo em obras de geotecnia voltadas para a interpretação de estruturas geológicas em túneis antigos.

Foi dada uma atenção especial para a geologia regional e local da área de estudo, pois poucos trabalhos foram publicados a respeito das rochas granulíticas do Complexo Paraíba do Sul no estado do Espírito Santo.

São discutidos os principais aspectos e conceitos dos processos de inversão e interpolação realizada pelos softwares RES2DINV e VOXLER 3, além de identificar regiões fraturadas e interpretar o topo rochoso das seções geofísicas e do modelo 3D de resistividade. Com a interpolação entre o topo rochoso de cada seção geofísica, geraram-se perfis topo-geológicos que permitem a quantificação da espessura de rocha acima do túnel.

A partir dos dados gerados conclui-se que o topo rochoso possui um comportamento semelhante ao da foliação metamórfica da rocha, a qual mergulha, aproximadamente, para leste em direção ao centro do vale.

## ABSTRACT

This paper discusses the application of the Electrical Resistivity Imaging using a Dipole - Dipole arrangement, in geotechnical works; focusing on the interpretation of geological structures in old tunnels.

Special attention was given to regional and local geology of the studied area, because few academic studies regarding granulitic rocks in The Paraíba do Sul Complex were published

The main aspects and concepts of inversion and interpolation processes performed by software RES2DINV and VOXLER 3 are discussed in this work; in addition, the fractured regions and the bedrock of geophysical sections were identified and interpreted in a 3D resistivity model. Interpolating the bedrock of each section geophysical profiles, were generated roof-geological, which allow the quantification of the thickness of the rock above the tunnel.

From the obtained data is possible to conclude that the bedrock has a behavior similar to the metamorphic foliation of the rock, which dips approximately east toward the center of the valley.

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
3. MATERIAIS E MÉTODOS	3
3.1. Tratamento de Dados	3
3.2. Seções Geofísicas - 2D/3D	3
3.3. Determinação da Topo-Geologia	3
3.4. Interpolação dos Dados de Resistividade - 3D	3
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	4
5. CONCLUSÃO	5
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6

# Índice

RESUMO .....	4
ABSTRACT .....	5
1. INTRODUÇÃO .....	7
1.1. Objetivo.....	8
1.2. Justificativa .....	8
2. LOCALIZAÇÃO .....	9
3. GEOLOGIA.....	11
3.1. Descrição das Amostras com base na Microscopia .....	13
3.2. Sondagem.....	16
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
4.1 O Arranjo Dipolo-Dipolo .....	19
5. MATERIAIS E MÉTODOS .....	21
5.1 Trabalho de Campo .....	22
5.2 Seções Geofísicas – Interpretadas.....	23
5.3 Determinação do Topo-Rochoso.....	24
5.4 Interpolação dos Dados de Resistividade – 3D.....	26
6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	29
7. CONCLUSÃO .....	43
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo de 905 km de extensão da Estrada de Ferro Vitória Minas - EFVM existem 44 túneis que totalizam 27,8 km, por onde é escoada a produção de minério de Ferro até o porto de Tubarão, em Praia Mole e Barra do Riacho, no Espírito Santo.

O túnel a ser estudado foi construído pela então Companhia Vale do Rio Doce entre às décadas de 1940 e 1970, possui um comprimento de aproximadamente 1km construído principalmente em rochas gnáissicas e migmatíticas controladas por descontinuidades. (famílias de juntas, fraturas e/ou falhas).

A aplicação do método de Imageamento Elétrico está cada vez mais presente nos trabalhos de geotecnia, pois os resultados obtidos pelas seções geofísicas se mostram cada vez mais satisfatórios, graças à evolução tecnológica dos equipamentos e softwares que possibilitam a aplicação do método em lugares que anteriormente eram inviáveis.

Em um projeto de túneis o método pode auxiliar, ainda na fase inicial de pesquisa, na identificação de regiões mais fraturadas do maciço e matacões de rocha, que eventualmente não foram mapeados pela campanha de sondagem. A versatilidade do método permite também delimitar o contato solo rocha, determinando as espessuras de rocha e de solo do túnel, assim quanto menor forem essas espessuras, mais suscetível o túnel estará às intempéries, podendo causar problemas como queda de blocos das paredes e abobadas, caso o túnel não seja revestido.

O trabalho consiste em delimitar o contato solo-rocha do túnel Monte Seco Linha-2 utilizando o método geofísico de eletrorresistividade através de uma trama de 11 seções geoeletricas obtidas na superfície do túnel, concentradas nos primeiros 300 metros do emboque Sul. Para tanto, com os dados de resistividade adquiridos em campo, gerou-se pseudo seções e seções interpretadas a partir da interpolação realizada pelo Software RES2DINV e VOXLER 3.

A área escolhida para coleta de dados geofísica levou em consideração a possibilidade de identificar regiões mais fraturadas que haviam sido mapeadas em uma etapa preliminar do projeto TUNELCON, Dessa forma, como o método de Imageamento Elétrico já é uma técnica conhecida na geotecnia, optou-se por utilizá-lo.

## **1.1. Objetivo**

O trabalho teve como objetivo a delimitação do contato entre o topo rochoso do maciço e seu manto de intemperismo formado na porção superior do túnel Monte Seco Linha 2 que foi construído em rochas gnáissico-metamórficas.

Para tanto, realizou-se seções geofísicas regularmente espaçadas para interpolar os valores de resistividade em regiões que não se tinham dados de resistividade. As sondagens presentes na área de estudo auxiliaram na interpretação e correlação do topo rochoso.

Ainda que possível, o projeto objetiva a interpretação de zonas mais ou menos fraturadas por meio de seções interpretadas de eletrorresistividade transversais e longitudinais ao túnel.

## **1.2. Justificativa**

A utilização de métodos geofísicos elétricos, em projetos de geologia de engenharia, tem crescido substancialmente devido à relação custo benefício quando comparado a outros métodos diretos, por exemplo, sondagens rotativas. Por isso, foi escolhido o Imageamento Elétrico com arranjo Dipolo-Dipolo.

Esse método demonstra-se bastante eficiente para a investigação de meios rochosos fraturados, os quais são considerados como heterogêneos e anisotrópicos. Porém, a interpretação das assinaturas eletrorresistiva de cada material ainda se mostra muito complexa, logo o presente trabalho visa contribuir com a aplicação do método voltado para trabalhos em geologia de engenharia.

A escolha do Imageamento Elétrico a outros métodos como a Sondagem Elétrica Vertical (SEV), levou em consideração a possibilidade de identificar as regiões mais fraturadas do maciço, pois apesar da SEV determinar com melhor precisão a cota do topo rochoso, ela não possibilita a identificação de estruturas verticalizadas.



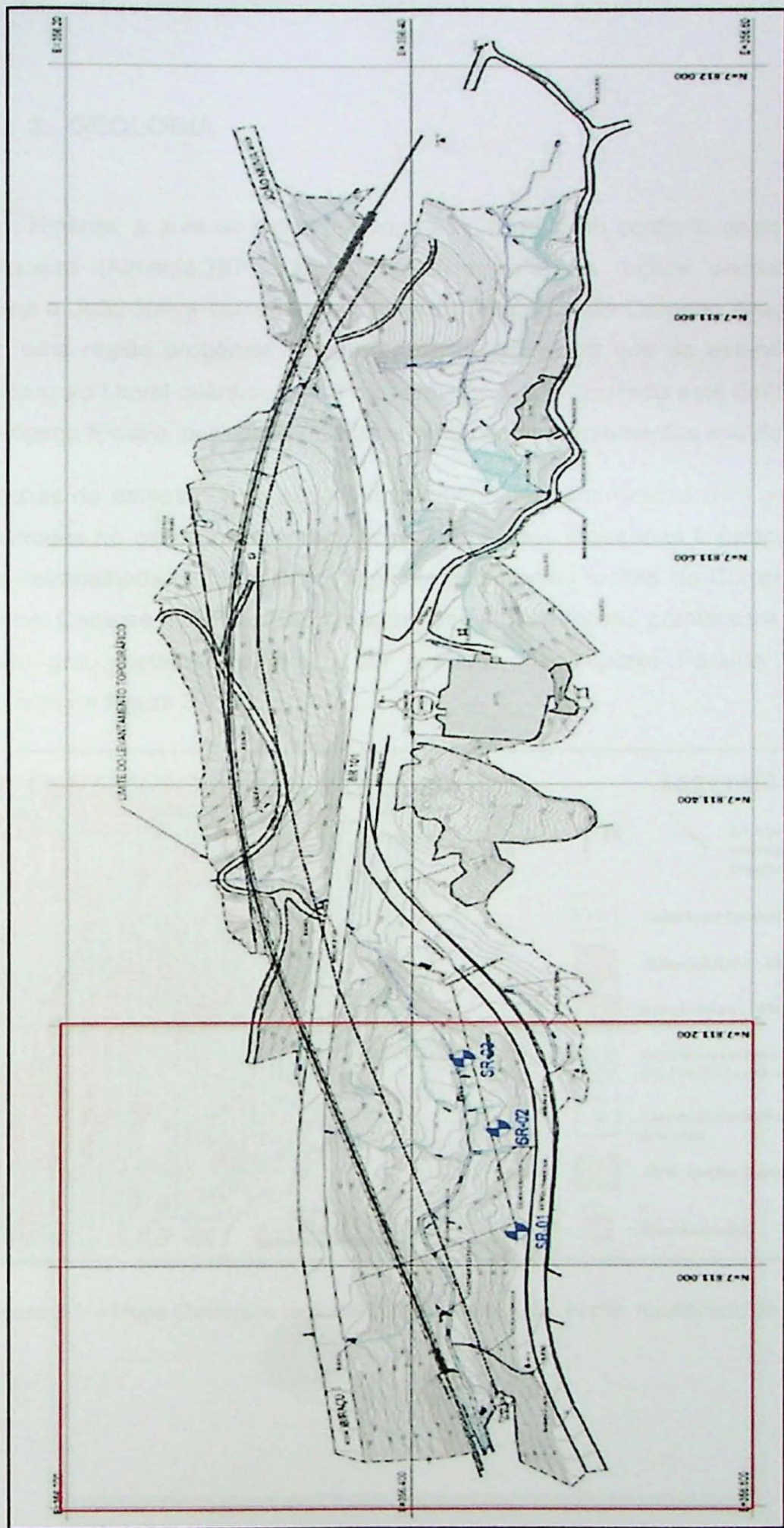


Figura 2.2 – Planta topográfica do Túnel Monte Seco, com destaque para a área.

### 3. GEOLOGIA

Regionalmente, a área de estudo encontra-se inserida no contexto geológico da Província Mantiqueira (Almeida,1977). Mais especificamente, as rochas encontradas na região próxima a João Neiva compõem a coluna estratigráfica do Orógeno Araçuaí, este definido como uma região orogênica Neoproterozóica-Cambriana que se estende do Cráton São Francisco ao Litoral atlântico, entre os paralelos 7 e 21, quando este domínio é renomeado de Orógeno Ribeira, por apresentar uma mudança nos lineamentos estruturais brasileiros.

As rochas do embasamento são marcadamente metamorizadas com geração de fluídos, encontradas no centro do orógeno, possuindo idades arqueanas à paleoproterozoicas que foram retrabalhadas no brasileiro, representadas pelas rochas do Complexo Juiz de Fora, Pocrane, Caparaó. (CPRM, 2007), ocorrendo também rochas graníticas e metassedimentos de alto grau metamórfico, como por exemplo, o complexo Paraíba do Sul que está delimitado na Figura 3.1.

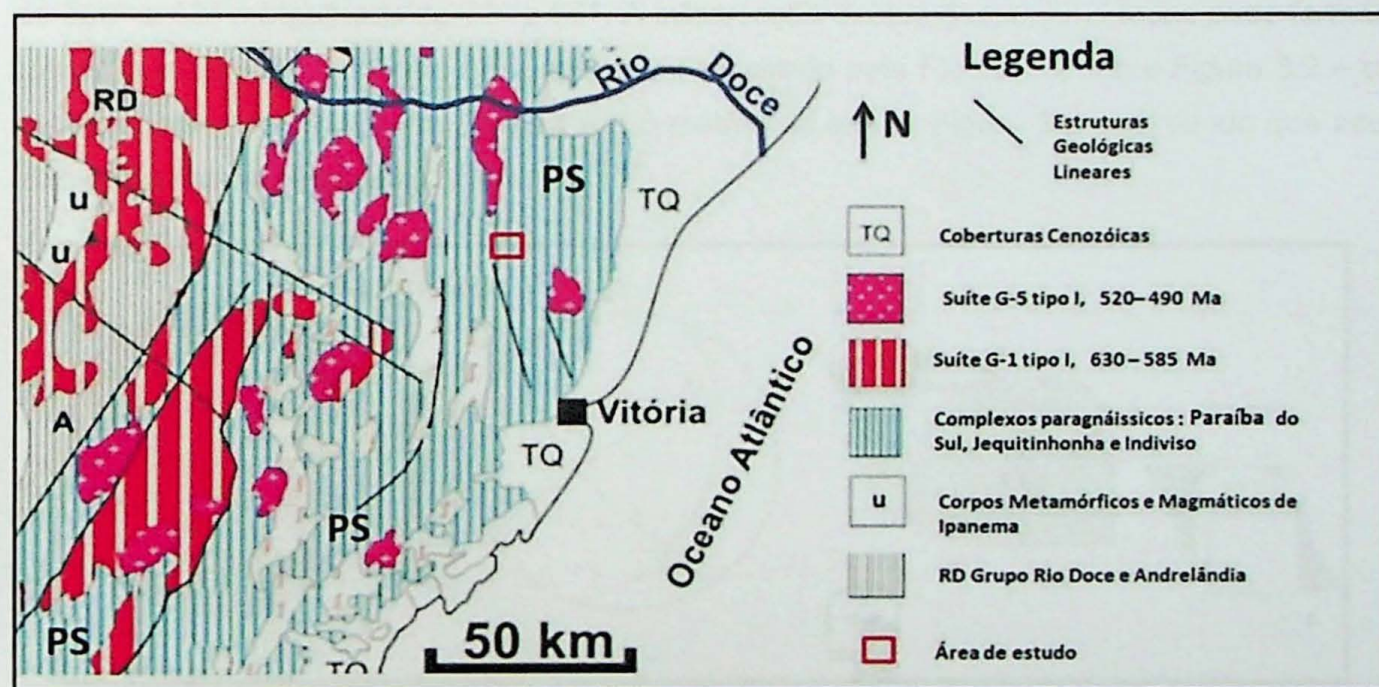


Figura 3.1 – Mapa Geológico regional da área de estudo. Fonte: modificado de Roncato (2009).

Durante o mapeamento interno do túnel Monte Seco pelo projeto TUNELCON, foram observadas duas feições litológicas, sendo uma rocha caracterizada como um paragneisse milonítico composto por bandas félsicas (feldspatos e quartzo) e máficas (biotita e anfibólio) com foliação pronunciada, granadas são observadas em ambos os níveis ao longo do maciço rochoso; sendo a outra descrita como bolsões de composição granítica apresentando textura pegmatítica, quartzo e feldspatos bem formados. Essa porção do maciço não se apresenta foliado e o contato entre as litologias é por vezes abrupto e sinuoso. Tais bolsões podem atingir mais de 1 metro de espessura e estão presente em diversos pontos do túnel. De forma geral o túnel é litologicamente heterogêneo em vista as duas feições descritas.

O mapeamento interno do túnel identificou duas famílias de fraturas (F1 e F2) que são frequentes por todo túnel e uma foliação principal (Sn) que está disposta em planos inclinados com orientação variando de 70° a 115° e mergulho de 50° a 90°. Assim, F1 possui direção que varia de 205° a 270° com mergulho de 70° a 90°, já F2 varia sua direção de 330° a 10° mergulhado de 70° a 90°. A intersecção destas discontinuidades pode formar blocos nas paredes e no teto do túnel, como mostrado pela Figura 3.2 – b e Figura 3.2 – c. O túnel possui 4.5 metros de largura e 5.6 metros de altura, Figura 3.2 – d, sendo que seu eixo encontra-se na direção N165.

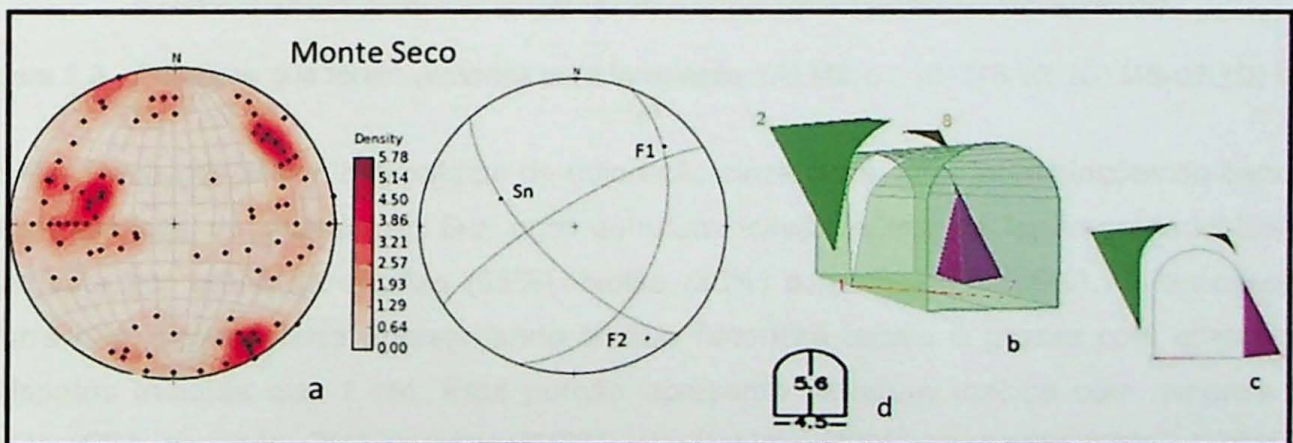


Figura 3.2 – (a) Estereograma das fraturas e foliação mapeadas, ao lado encontram-se os planos médios com a hierarquização das famílias (75 polos); (b) Vista 3D da formação de Blocos nas paredes e na abóbada do túnel produzido pelo software Unwedge(c) Vista frontal dos blocos Formados; (d) Dimensão em metros do túnel.

### 3.1. Descrição das Amostras com base na Microscopia

Alguns blocos da porção interna do túnel foram coletados e descritos macroscopicamente levando em consideração a mineralogia, estrutura, textura, cor e gênese da rocha, Figura 3.3. Estas amostras foram encaminhadas ao laboratório de laminação, a descrição a seguir é baseada também na microscopia.

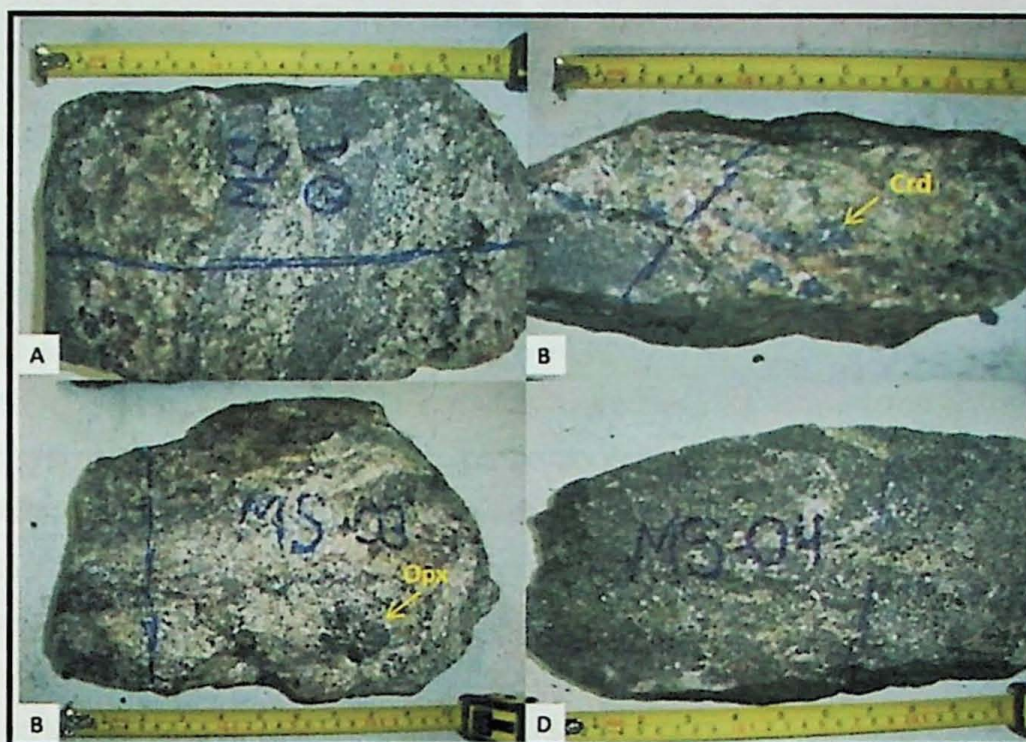


Figura 3.3 - Amostras que foram enviadas para laminação; (A) MS-01; (B) MS-02; (C) MS-03; (D) MS-04.

**MS-01:** Rocha gnáissica migmatítica de coloração cinza clara, com intercalações de bandas melanocráticas de granulação fina com estrutura foliada e textura lepdo-granodoblástica composta por grãos de quartzo (55%), biotita (30%) e hornblenda (15%). O leocossoma ocorre bem desenvolvido apresentando textura fanerítica média à grossa com cristais de feldspatos maiores que 1 cm. Esta porção apresenta estrutura maciça com minerais de biotita (5%), granada (2%), quartzo (30%), plagioclásio (30%), cordierita (15%), feldspato alcalino (13%), muscovita (1%), carbonato (1%), zircão (1%) e minerais opacos (2%). Nesta porção observa-se a formação de lamelas de mirmequitas (Mqt) formadas quando o cristal de feldspato alcalino encontra-se entre os cristais de plagioclásio e cordierita, Figura 3.4 – A. Texturas em borda de grãos de quartzo e plagioclásio, também evidenciam a fusão parcial destas rochas, Figura 3.4 – B.

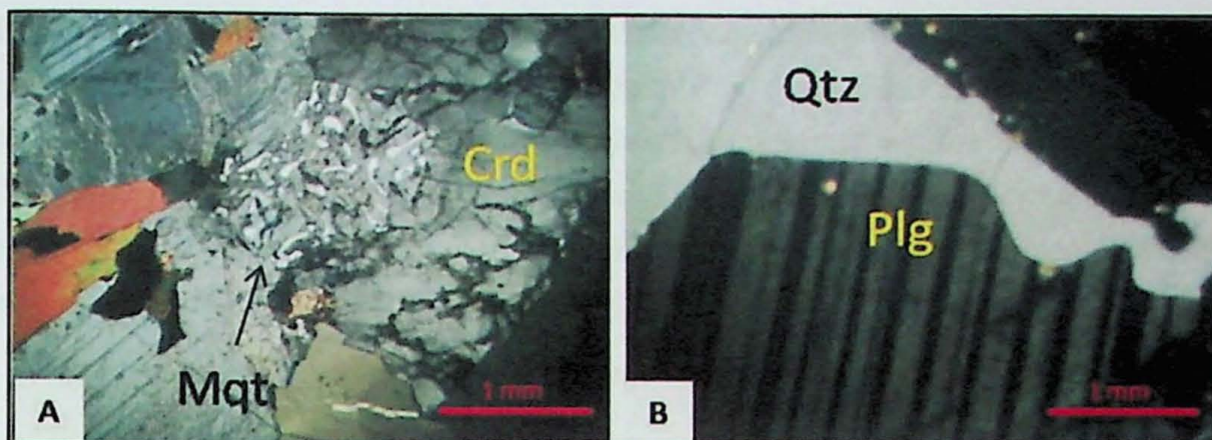


Figura 3.4 – (A) Lamelas de plagioclásio em Feldspato Alcalino (mirmequita). (B) Textura de fusão parcial.

**MS-02:** Rocha Gnáissica migmatítica com porções do leucossoma de coloração esbranquiçada, contendo cristais granoblásticos de cordierita com coloração azulada de granulação fina a média, maiores que 2 mm com textura fanerítica e cristais equigranulares de feldspato, o quartzo compõe mais a matriz da rocha e os interstícios entre os grãos. A estrutura desta porção da rocha é maciça composta por cristais de biotita (5%) quartzo (40%) e feldspato alcalino (55%) com frequentes inclusões de sillimanita e espinélio, Figura 3.5 - B. A outra porção da rocha composta pelo melanossoma possui coloração cinza escura com tons azulados, apresenta uma granulação mais fina com textura lepdo-granoblástica e estrutura foliada marcada pelos planos de biotita (5%), opacos (2%), e quartzo (30%), cordierita (10%), muscovita (3%), plagioclásio (35%) e feldspato alcalino (15%). A cordierita esta sendo alterada nas bordas para pinita, como este mineral é isotrópico, torna-se fácil sua identificação em lâmina, Figura 3.5 - A.

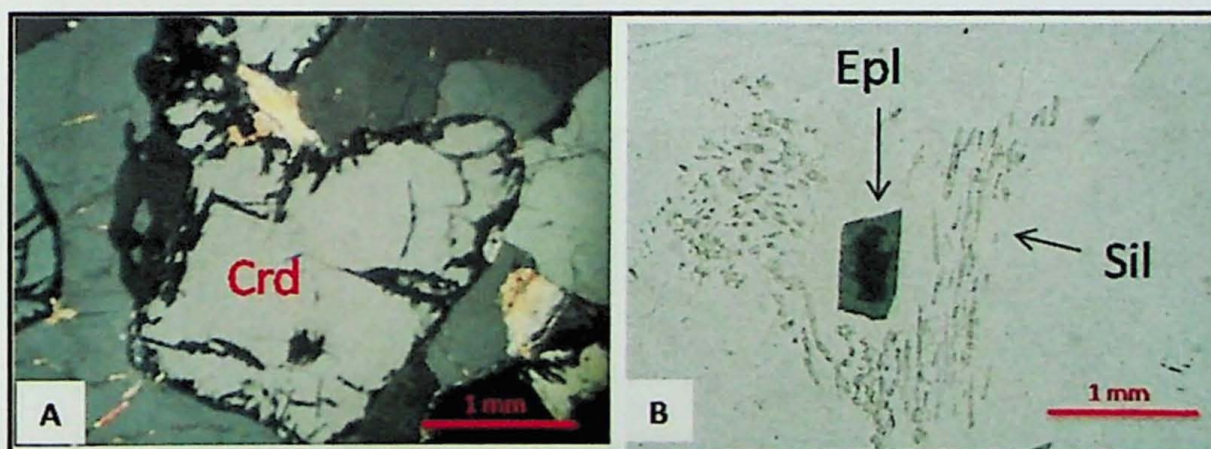


Figura 3.5 – (A) Mineral de Cordierita alterando para pinita. (B) Intercrescimento de Espinélio em mineral opaco.

**MS-03:** Rocha Granítica de coloração acinzentada composta por granulação média à grossa com textura porfírica dada por cristais de ortopiroxênio (opx), Figura 3.6 – A, que chegam a 3 cm. A estrutura desta rocha é maciça podendo apresentar alguns cristais de cordierita azulado com granulação fina, mineralogicamente a rocha é composta por biotita (10%), opx (3%), quartzo (30%), cordierita (15%), feldspato alcalino (15%), plagioclásio (20%), muscovita (2%), carbonato (2%), opacos (3%).

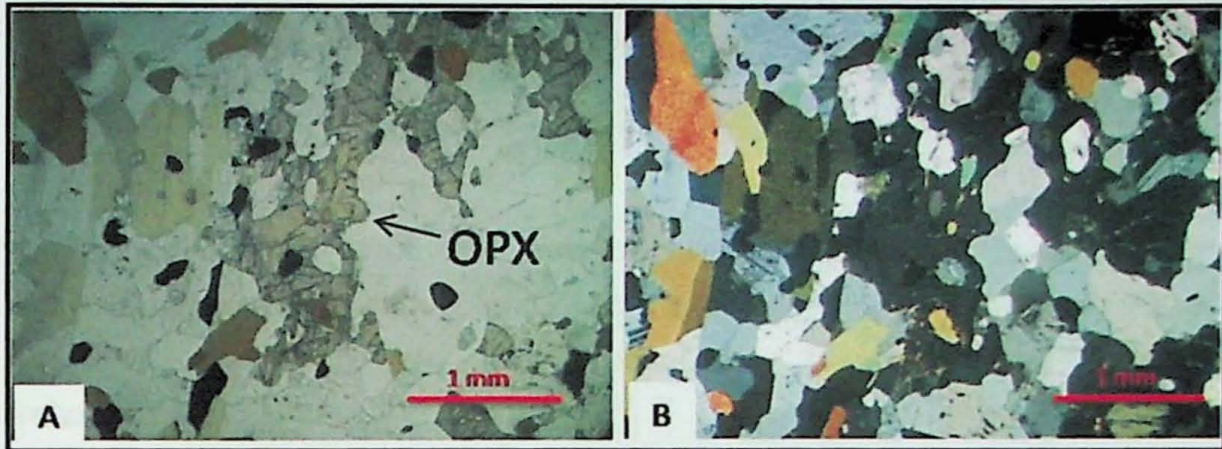


Figura 3.6 – (A) Ortopiroxênio com clivagem paralela à direção Norte-Sul. (B) mineral extinto com nicóis cruzados.

**MS-04:** Rocha gnáissica de coloração cinza escura com granulação fina e textura lepto-granoblástica e estrutura finamente foliada composta preferencialmente por planos de biotita, Figura 3.7. Nos interstícios desta rocha ocorrem cristais de feldspato e quartzo. Mineralogicamente a rocha é composta por biotita (20%), opacos (3%), feldspato alcalino (5%), plagioclásio (30%), cordierita (15%), quartzo (25%), muscovita (1%) e carbonato (1%). Os minerais de biotita estão praticamente paralelos definindo a foliação principal da rocha.

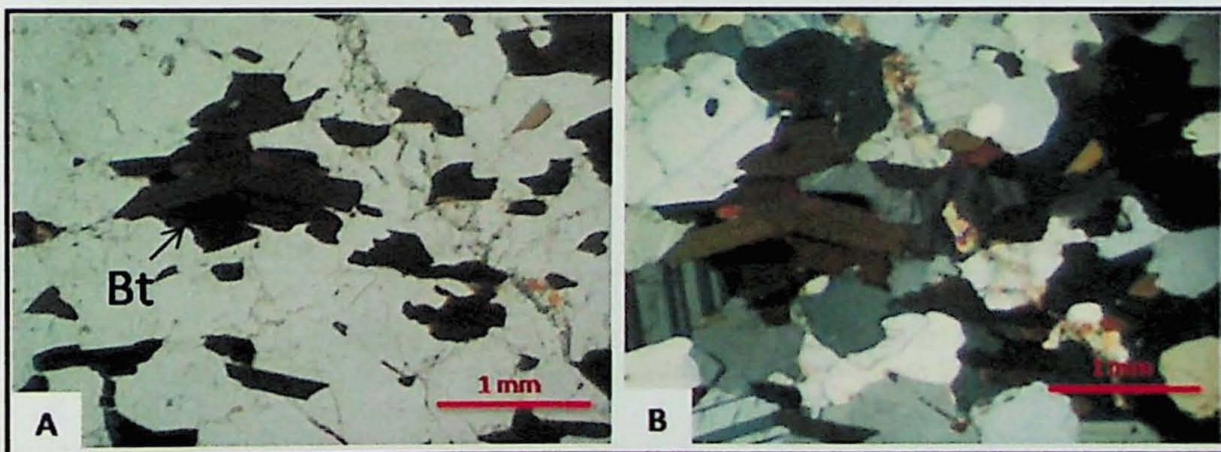


Figura 3.7 – (A) Foliação principal da rocha definida pelos planos de biotita. (B) Nicóis cruzados.

As rochas que compõem o maciço são paragnáisses que foram submetidos a um metamorfismo de alto grau em fácies anfibolito superior a granulito. Com a remoção do líquido silicático preservou-se como resíduo da fusão parcial destas rochas a paragênese característica de rochas granulíticas aluminosas contendo Opx, Crd, Grt, Sil, e Spl, a partir da quebra da biotita e da hornblenda, em temperaturas acima de 800°C e pressões que variam entre 4 a 25 kbar,.

### 3.2. Sondagem

Na área estudada foram feitos três furos de sondagem rotativa, Figura 3.8, os quais apresentaram uma espessura de cobertura solo que varia de 20 a 30 metros. Ao atingir o topo rochoso, as sondagens avançaram mais 10 metros de profundidade, aproximadamente.

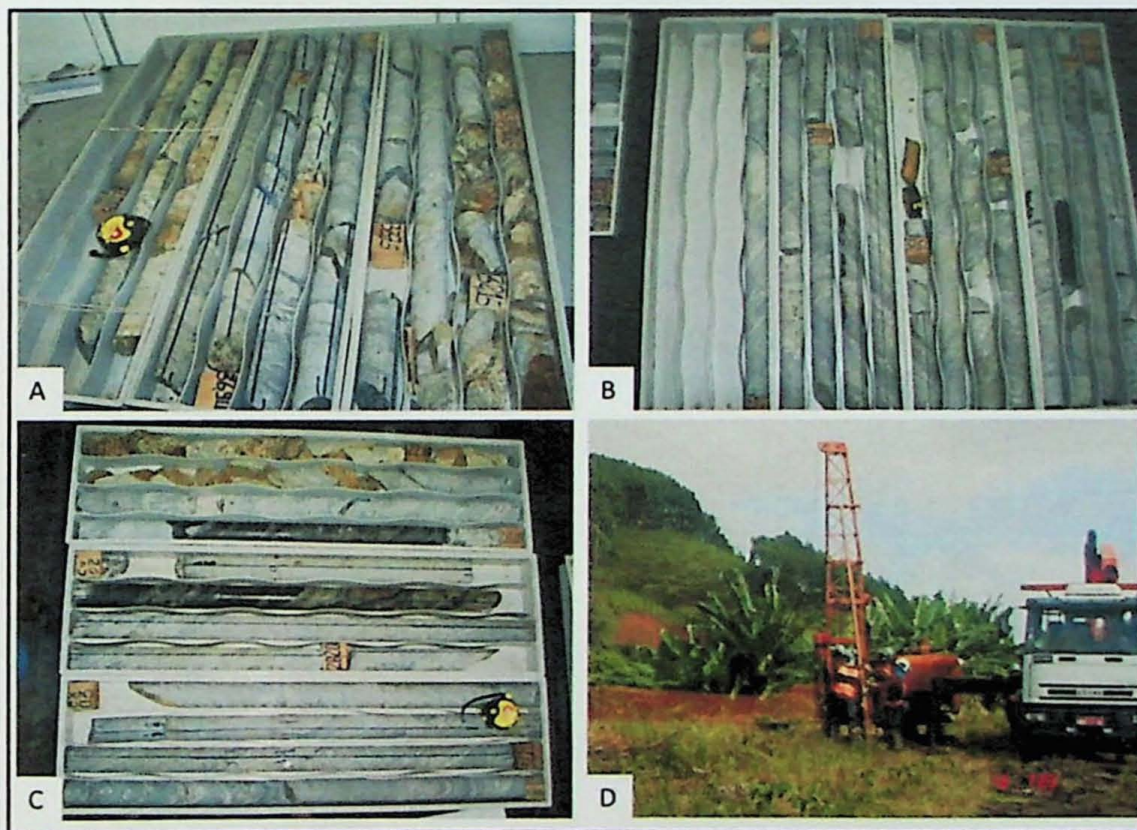


Figura 3.8 - Testemunhos obtidos a partir da sondagem rotativa; (A) SR-01; (B) SR-02; (C) SR-03 e (D) operação durante a sondagem SR-01. Fonte: Projeto Tunelcon

O solo da região é essencialmente arenoso de coloração laranja avermelhado por vezes contendo blocos de rochas. A rocha recuperada pela sondagem possui as mesmas características dos blocos amostrados de dentro do túnel, portanto são rochas graníticas que podem ocorrer alteradas com cristais de feldspato perdendo o brilho, também se observa cristais de biotita remanescentes à alteração. Estas rochas estão intercaladas por rochas gnáissicas finamente bandadas, com o plano de foliação compostos por biotita. Nos planos de fratura observa-se que a rocha está mais alterada em decorrência da percolação de água.

A Tabela 3.1 apresenta os valores de espessura de solo e rocha que foram obtidos pelas sondagens. O Anexo 1 apresenta a descrição de cada trecho recuperado e uma classificação de alteração geomecânica.

Tabela 3.1 - Representando a espessura de solo e rocha obtida pelas sondagens

ESPESSURA (m)	SR-01	SR-02	SR-03
Solo	30.65	30.5	20
Rocha	9.35	9.5	12.15
TOTAL	40	40	32.15

#### 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O caminhamento elétrico pode ser definido como uma técnica que utiliza a medição de parâmetros resistivos do solo a partir de leituras efetuadas em profundidades específicas e obtidas em superfície. Estas leituras são geralmente apresentadas em forma de perfis, os quais apresentam uma investigação lateral da resistividade do subsolo. Sendo, portanto favorável à observação de estruturas como: contatos geológicos, mineralizações, diques, fraturamentos e falhamentos (Elis et al., 2003).

Nos últimos anos o método vem sendo aplicado para diversas investigações na área de geologia de engenharia tal como na parte de detecção de nível freático para águas subterrâneas, caracterização e monitoramento de encostas, detecção de cavidades na caracterização de estruturas geológicas de subsuperfície e na parte de construção de túneis e barragens (Takahashi, 2004).

O método da eletrorresistividade pode ser resumido como a injeção de corrente elétrica (I) no solo por intermédio de um par de eletrodos (denominados de A e B) sendo que a diferença de potencial gerada (DV) é medida por outro par de eletrodos (denominados M e N). A geometria dos dipolos AB e MN no momento da medida definem o fator geométrico K, dado por (Eq. 1) (Gandolfo & Gallas, 2007).

$$K = 2\pi \left[ \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right]^{-1} \quad (1)$$

A resistividade elétrica aparente ( $\rho_a$ ) pode então ser calculada através da Eq. 2:

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

Os quatro eletrodos assumem posições geométricas, denominadas "arranjos". Muitos destes, comumente utilizados nos levantamentos de campo, recebem nomes especiais (Schlumberger, Wenner, dipolo-dipolo, pólo-dipolo, pólo-pólo, gradiente, entre outros), apresentando características peculiares, vantagens e desvantagens uns em relação aos outros (Ward, 1990, Gallas, 2000). Duas técnicas de investigação se destacam: a da sondagem elétrica vertical (SEV) e caminhamento elétrico. A Figura 4.1 apresenta uma ilustração esquemática do arranjo dipolo-dipolo, geralmente utilizada em levantamentos de caminhamento elétrico.

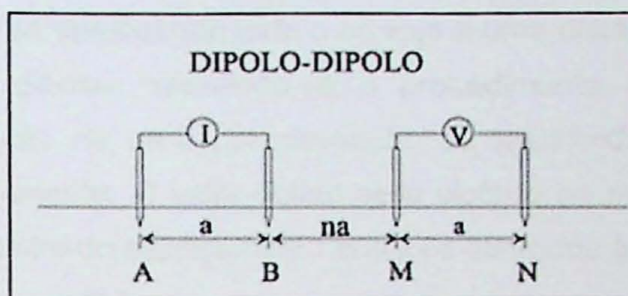


Figura 4.1: Arranjo Dipolo-Dipolo, modificado de (Gandolfo & Gallas, 2007).

O espaçamento entre os eletrodos de corrente (AB) e o potencial (MN), comumente fixo, é denominado ( $a$ ). O fator de separação entre eletrodos, variável, é designado por  $n$ , sendo geralmente um número inteiro (Gandolfo & Gallas, 2007). O fator geométrico  $K$  (Eq. 1) também pode ser calculado através da Eq. 3:

$$K = 2\pi \cdot G \cdot a \quad (3)$$

A constante  $G$  assume distintos valores de acordo com o arranjo utilizado. De forma geral, o potencial elétrico medido será inversamente proporcional ao fator geométrico  $K$  ou ao parâmetro  $G$ . (Gandolfo & Gallas, 2007).

#### 4.1 O Arranjo Dipolo-Dipolo

O levantamento de campo consiste em executar uma série de medidas mantendo-se fixo o espaçamento ( $a$ ) dos dipolos de emissão (AB) e recepção (MN), aumentando-se a separação entre eles de acordo com um fator " $n \cdot a$ ". Cada um destes afastamentos corresponde a um nível de investigação em profundidade. Quanto maior for esta distância, maiores profundidades poderão ser alcançadas, tendo como limite de valor aceitável, as leituras de potencial superiores ao nível de ruído presente no local. A Figura 4.2 apresenta o esquema de uma aquisição com o arranjo dipolo-dipolo (Gandolfo & Gallas, 2007).

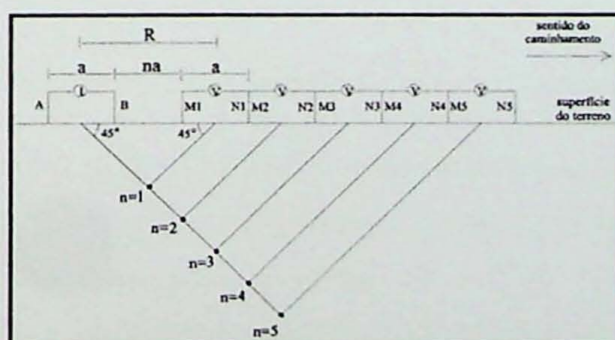


Figura 4.2 - Níveis de aquisição de dados através do método Dipolo-Dipolo, modificado de (Gandolfo & Gallas, 2007).

O caminhamento realiza-se deslocando todo o arranjo a uma distância fixa geralmente igual ao espaçamento entre dipolos, repetindo-se o procedimento anteriormente descrito e possibilitando a construção de uma pseudo-seção de resistividade elétrica aparente ao longo da linha do levantamento. O valor obtido será plotado no ponto de intersecção entre as retas que partem do centro do espaçamento entre os eletrodos à 45° (Hollof, 1957).

Para o arranjo dipolo-dipolo, o valor de G será dado por (Eq. 4):

$$G = \frac{1}{\left(\frac{1}{n} - \frac{2}{n+1} + \frac{1}{n+2}\right)} \quad (4)$$

O arranjo dipolo-dipolo apresenta vantagens, que podem justificar sua extensa utilização na área de geofísica, como por exemplo a facilidade de identificação e posicionamento de anomalias resistivas, devido ao espaçamento regular entre os eletrodos.

Segundo Ward (1990), o arranjo dipolo-dipolo apresenta uma boa resolução lateral (horizontal), conferindo a este método, boa resolução no mapeamento de estruturas verticais. Do contrário as estruturas horizontais não são bem observadas devendo ser utilizados para estes outros métodos como: Sondagem Elétrica Vertical - SEV, arranjo Schlumberger.

As pseudo-seções não representam os parâmetros reais de resistividade obtidos em diferentes níveis do solo, pois as leituras assumem que o meio é homogêneo e isotrópico. A análise dos resultados gerados na pseudo-seção e apresentados em linhas equipotenciais com valores de resistividade aparente permite inferir a ocorrência de estruturas em subsuperfície (Gallas, 2000).

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Durante a realização das atividades de campo foram utilizados equipamentos de posicionamento georeferenciado (GPS), para locar os marcos geográficos referenciais (piquetes) que serviram de orientação para a etapa de aquisição de dados.

Na obtenção dos dados de eletrorresistividade utilizou-se o equipamento multi-eletrodo digital da marca Syscal, que possui fonte de corrente comutada de 800 Vdc com recurso para medidas de polarização induzida. Uma bateria de carro foi utilizada para carregar o equipamento, caso fosse necessário, Figura 5.1, além de bússola do tipo Clar para mapear as discontinuidades dos afloramentos próximos ao túnel e o auxiliar nas direções seções.

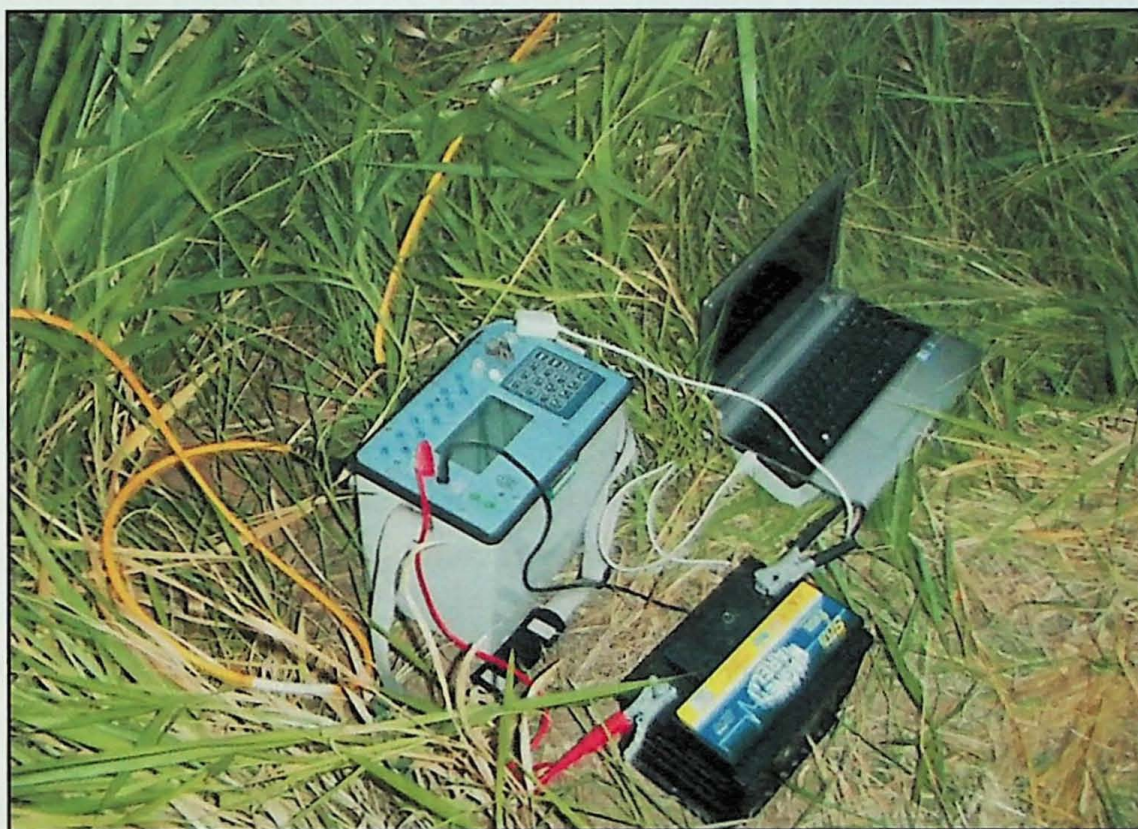


Figura 5.1 – Equipamento utilizado em campo

O projeto foi dividido em duas etapas. Primeiramente realizou-se levantamento bibliográfico sistemático da geologia local e regional do orógeno Araçuaí. Em paralelo confeccionou-se um mapa que serviu como base para a etapa de campo, contendo as coordenadas geográficas (UTM), topografia, rodovias, acessos, pontos indicando prováveis afloramentos, observados em imagens de satélites obtidas através do GoogleEarth, e a delimitação do túnel no centro do mapa com as seções programadas.

## 5.1 Trabalho de Campo

O trabalho de campo foi realizado entre os dias 06 a 13 de abril, concentrando-se na obtenção de dados de resistividade através das seções geofísicas. Chegando ao local de estudo foi observado que a vegetação encontrava-se bem desenvolvida, principalmente na porção Oeste do terreno, próximo a rodovia. Para execução das seções foram abertas picadas em trechos que o capim chegava a 2 metros de altura. O terreno acidentado conferiu certa dificuldade para a equipe pregar os eletrodos nos taludes.

Mesmo com todas as implicações naturais que poderiam dificultar a exequibilidade do projeto, a equipe conseguiu detalhar o terreno com 11 seções geofísicas sendo 5 longitudinais ao túnel (L1, L2, L3, L8 e L10), 5 paralelas à rodovia BR 101 (L4, L5, L6, L7 e L9) e uma transversal à rodovia (L11), tal como pode se ver na Figura 5.1 e no Anexo 2.

Ao preparar cada seção geofísica foi tomado o cuidado para que o primeiro eletrodo sempre ficasse voltado para Norte, portanto o início das seções representa o eletrodo zero, salvo a seção geofísica L11, na qual o primeiro eletrodo está voltado para Oeste. De modo geral as seções que se encontram paralelas foram espaçadas em 10 metros de distância, para possibilitarem a interpolação de seus dados, visando à elaboração de um mapa 3D de isovalores de resistividade.

As seções foram programadas para no mínimo atingirem 30 metros de profundidade, assim, foram efetuadas seções de 240 metros com 48 eletrodos espaçados de 5 metros. Seções de 180 m com 37 eletrodos espaçados de 5 metros e seções de 120 metros com 48 eletrodos espaçados de 2.5 metros. Todas elas atingiram, na maior parte de suas extensões, a profundidade desejada.

As seções geofísicas, realizadas paralelas ao eixo do túnel (N 165), foram assim dispostas visando à interceptação de zonas fraturadas do maciço rochoso, Figura 5.1 (A). As seções paralelas à rodovia e a seção L11, Figura 5.1 (B), foram planejadas com o objetivo de interceptar o túnel em diferentes trechos a uma profundidade de 30 metros. Como visto na Figura 5.1 (C) a seção L8 não alcança a sondagem SR-01, pois esta seção tem um comprimento de 180 metros com 37 eletrodos espaçados de 5 metros.

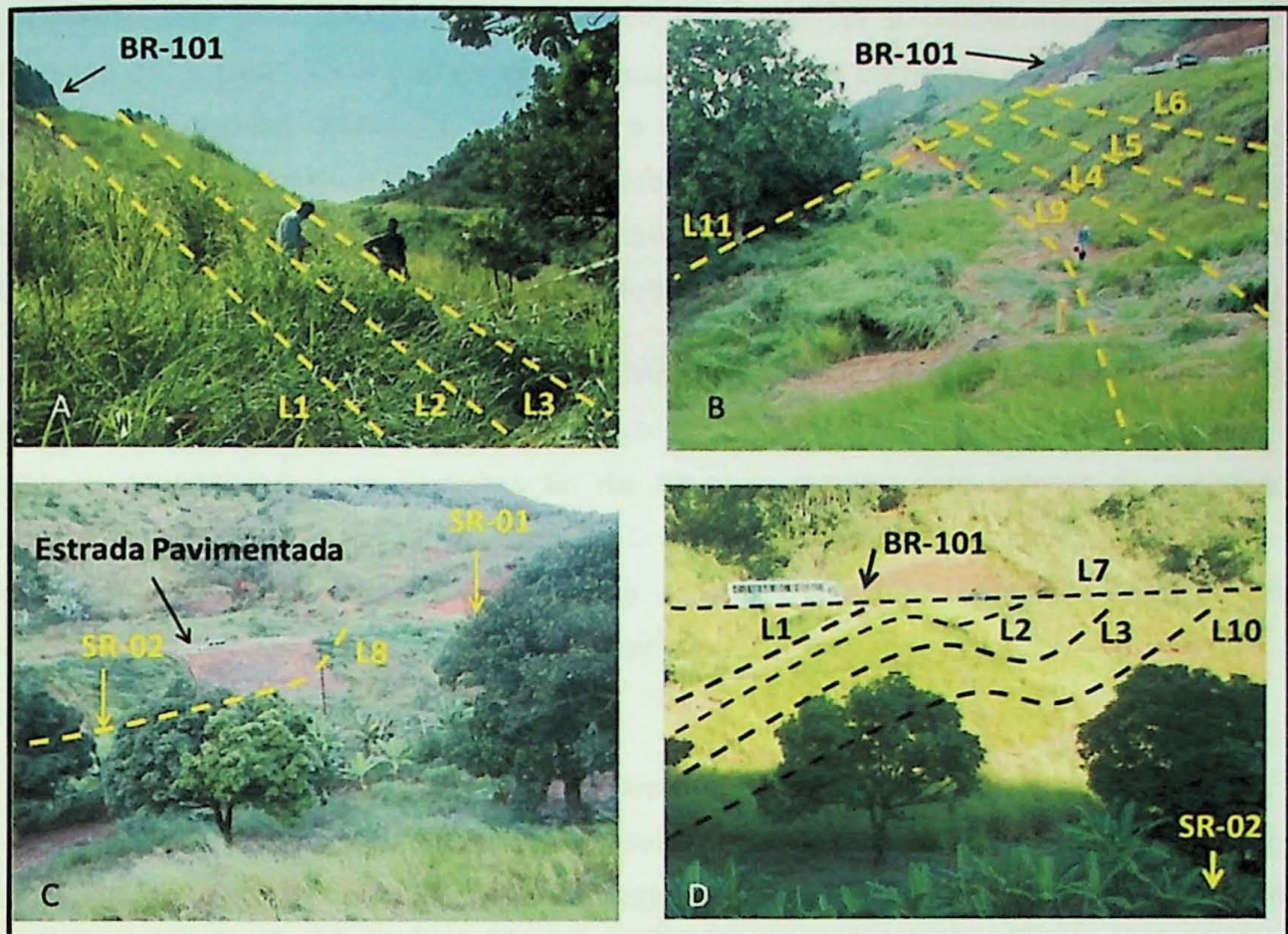


Figura 5.1 - (A) Vista Norte com destaque para as seções geofísicas; (B) Vista Sul com destaque para as seções geofísicas; (C) Vista Leste com destaque para as seções geofísicas e as Sondagens; (D) Vista Oeste com destaque para as seções geofísicas e a sondagem SR-02.

## 5.2 Seções Geofísicas – Interpretadas

Os dados coletados em campo foram transferidos do Syscal para o programa Prosys II, onde foi introduzida a topografia e eliminado os “Bad Points”, pontos que possuíam resistividade muito pequena ou muito grande. Posteriormente exportou-se o arquivo para o software RES2DINV, no qual utilizou-se outro filtro para os pontos que apresentavam valores discrepantes.

A partir dos resultados de resistividade aparente coletados em campo utilizou-se o software RES2DINV para inversão dos dados, produzindo seções modeladas. Este software corrige as distorções geradas através das pseudo-seções utilizando o método de mínimos quadrados.

A inversão tem por objetivo determinar em subsuperfície a distribuição dos valores de resistividade, a partir da diferença de potencial criada por pares de eletrodos posicionados na superfície terreno. Minimizar a diferença de valores medidos e calculados, para cada bloco 2D, é o objetivo do método que monitora a soma do quadrado do erro entre a resposta do modelo calculado e do medido. As iterações terminam quando o erro quadrático torna-se menor que um valor pré-estabelecido (Gandolfo, 2007).

A inversão de dados 2D de eletrorresistividade consiste em um problema não linear, necessitando de um modelo inicial para o processo iterativo. O modelo adotado pelo software consiste em uma aproximação de um semi-espaço com valores de resistividade constantes, obtidos através da média logarítmica dos valores de resistividade aparente das pseudo-seções, modelo de solo homogênea. Quanto maior for o contraste entre os valores de resistividade obtidos em campo, maior será o erro apresentado no modelo final (Gandolfo, 2007).

Como as seções que cruzaram o túnel se deparam com uma barreira resistiva imposta pelo espaço vazio, os valores de resistividade serão muito altos em contraste com as regiões saturadas em água, o que justifica, de certa forma, os elevados valores para os erros obtidos nas seções.

### **5.3 Determinação do Topo-Rochoso**

O topo rochoso acima do túnel foi determinado com base nas seções geofísicas, dessa maneira, para melhor visualização foram feitos perfis topo-geológicos perpendiculares à direção do túnel, que interceptaram as sondagens rotativas e as regiões mais fraturadas que haviam sido identificadas durante o mapeamento interno.

O software AutoCad é uma ferramenta de desenho técnico que possibilita a edição e visualização de desenhos em diferentes escalas, portanto, com este software delimitou-se a topografia em cada perfil, além do topo rochoso e as distâncias entre o teto e o pé do túnel.

Dado que a intersecção entre as seções geofísicas e o perfil topo-geológico, gera um ponto no espaço, a união de vários destes pontos irá compor a curva representativa do topo rochoso. Para delimitar o contato solo rocha é preciso determinar a cota e a distância entre o começo do perfil e o ponto a ser analisado.

Desse modo, primeiramente determina-se D1 como sendo a distância entre o início do perfil E-E' até a intersecção com a seção L6, posteriormente, delimita-se D2 que representa a distância entre o fim da seção L6 e o ponto de intersecção com o perfil E-E', como demonstrado na Figura 5.2.

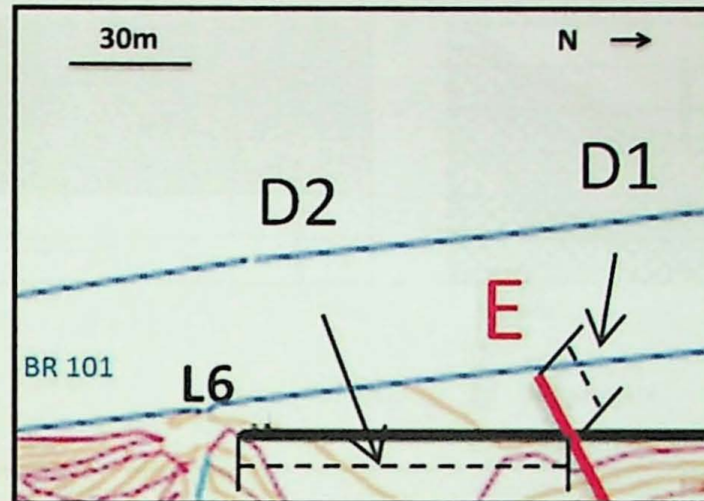


Figura 5.2. – Disposição das seções geofísicas e dos perfis topo-geológicos, com destaque para a distância D1 e D2.

Sendo a distância D2 igual a 60 metros, plotando-a na seção modelada, obtêm-se a cota do topo rochoso neste ponto igual a 105 metros, como visto na Figura 5.3. Conseqüentemente adquire-se a cota da distância D1, já que, correspondem ao mesmo ponto no espaço

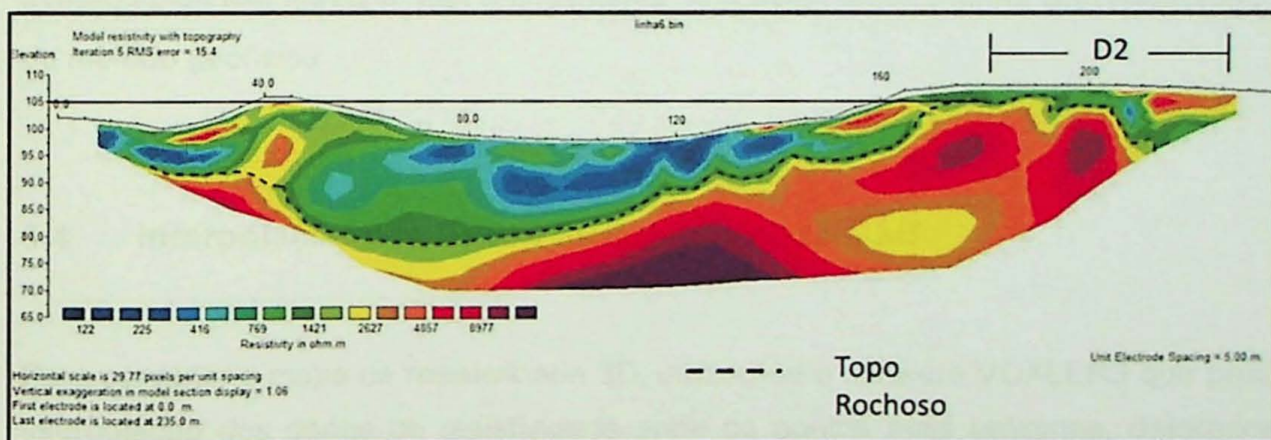


Figura 5.3 - Seção L6 com o comprimento de D2 e sua respectiva cota topográfica.

Plotando as distâncias D1 das seções que cruzam o perfil, na cota determinada e ligando-as, traça-se o contato solo rocha e, neste caso, o topo pode ser correlacionado com a Sondagem SR-01, como visto na Figura 5.4.

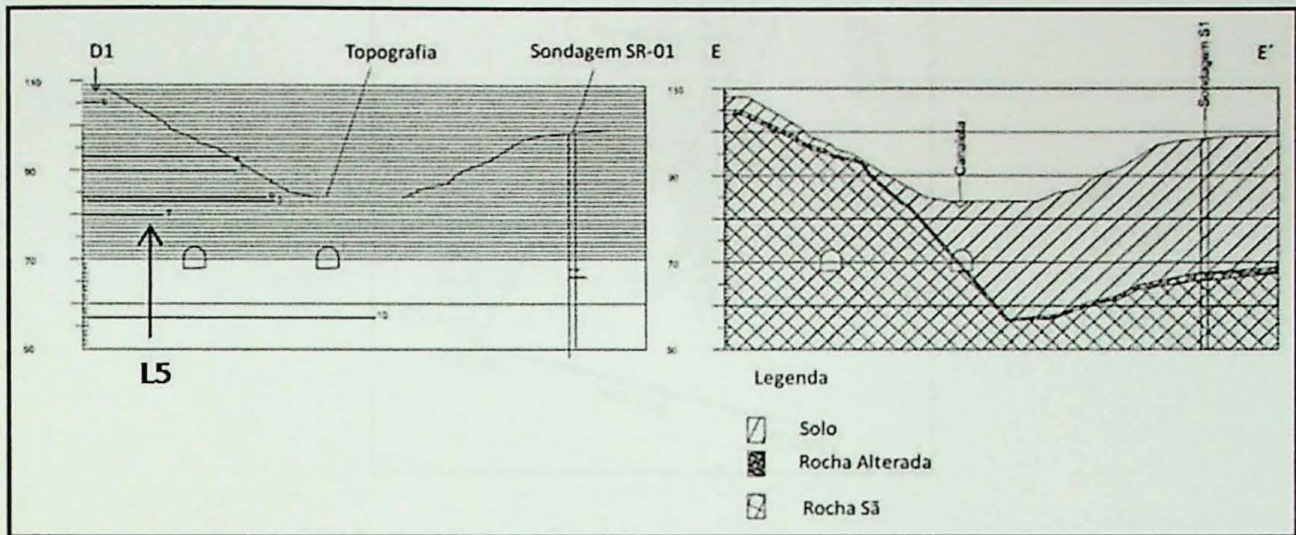


Figura 5.4 – Demonstração da confecção dos perfis topo-geológicos, notar que a distância D1 encontra-se na cota 105 metros.

Observa-se que na Figura 5.4 a seção L5 apresenta um valor para a cota do topo rochoso muito diferente das outras seções, neste caso optou-se por eliminá-la, dado que as outras seções apresentam um alinhamento proporcional à topografia natural do terreno, diferentemente de L5. Cabe dizer que as representações das rochas alteradas nos perfis foram definidas com base nos testemunhos de sondagem, portanto representando uma extrapolação dos dados e, não efetivamente, que esta camada tenha sido delimitada através do método geofísico.

#### 5.4 Interpolação dos Dados de Resistividade – 3D

Para construir o mapa de resistividade 3D, utilizou-se o software VOXLER3 que possibilita a interpolação dos dados de resistividade entre os pontos mais próximos, determinados à partir de um sistema de coordenadas XYZ.

O programa VOXLER 3 possibilita inserir quatro componentes de entrada, sendo elas: coordenadas norte, leste, cota topográfica e resistividade. Gera-se então uma nuvem de pontos, Figura 5.5, a partir da qual se efetua a interpolação dos dados de resistividade.

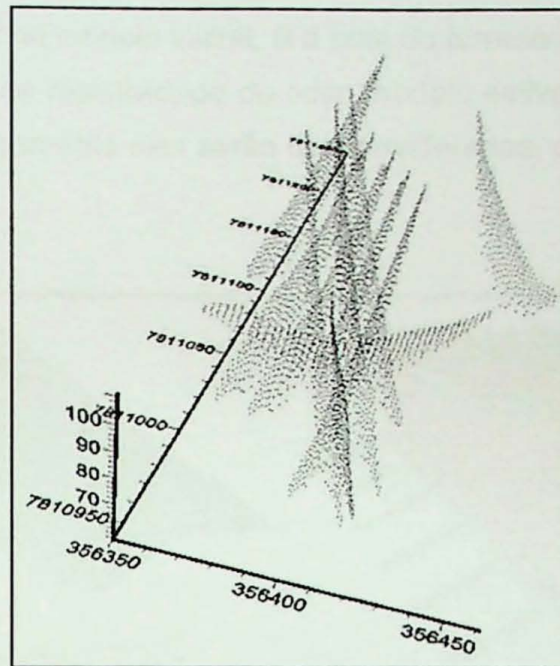


Figura 5.5 – Nuvem de Pontos

Admitiu-se valores de resistividade da ordem de 1600 ohm.m para o topo rochoso, determinado anteriormente na sondagem. Depois de realizada a interpolação, para melhor visualizar o topo, adotou-se esse valor como máximo, sendo representadas pela mesma coloração as resistividades maiores do que a citada.

O software VOXLER 3 interpola os valores de resistividade sem considerar a topografia do terreno, logo ele apresenta uma representação diferente da realidade. Para que ele apresente os valores de resistividade somente abaixo do terreno é preciso gerar uma superfície e cortar o modelo 3D através de uma função do tipo:

$$\text{IF } Z > B, 0, A \quad (1)$$

Sendo Z a cota da variável no modelo inicial, B a cota do terreno e A a variável resistividade. Assim, quando os valores de resistividade do novo modelo estiverem em uma cota superior que a do terreno, automaticamente eles serão desconsiderados, como visto na Figura 5.6.

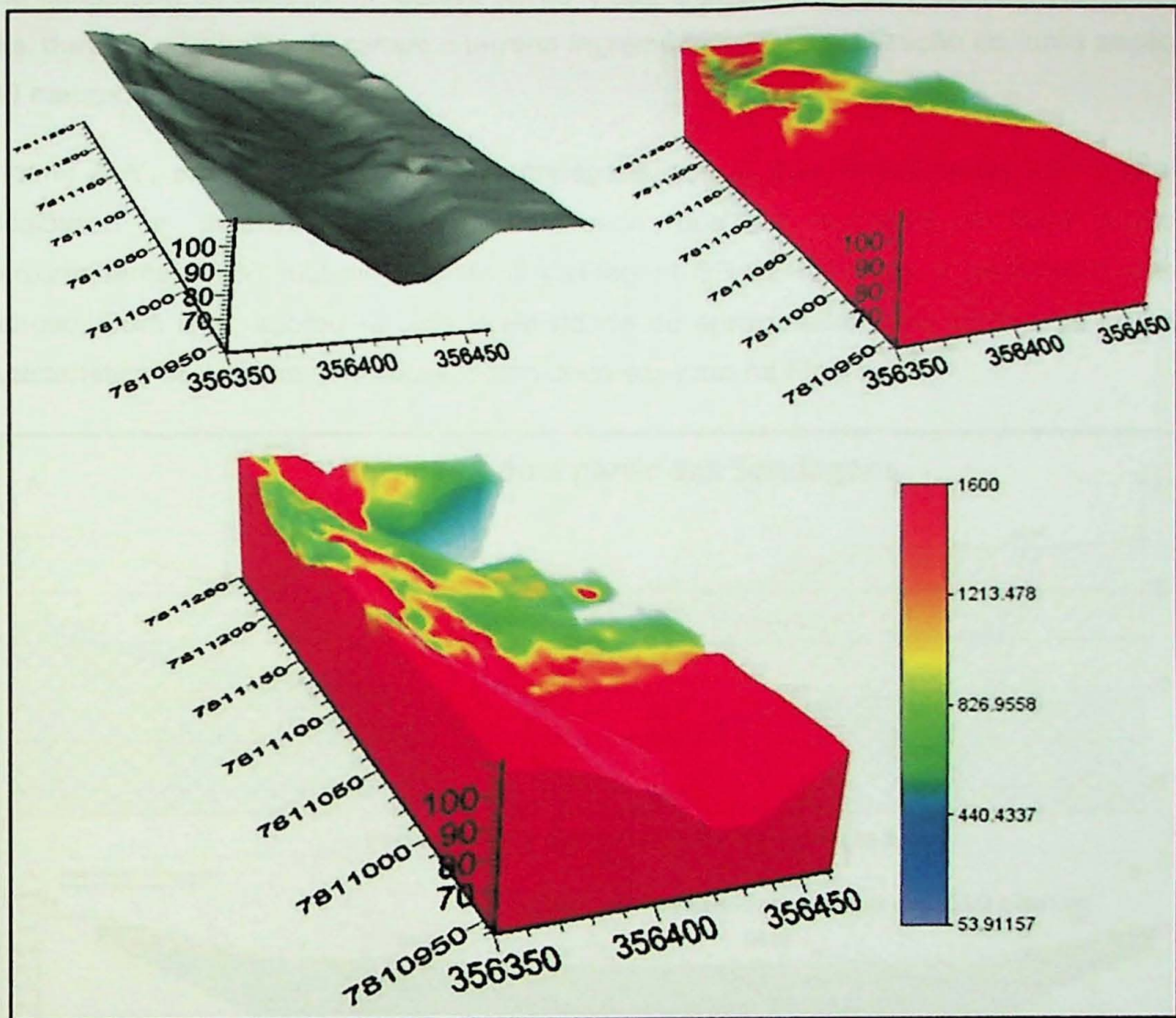


Figura 5.6 - Superfície topográfica e modelo 3D de resistividade da área.

## 6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A execução da seção geofísica L8 em cima das sondagens SR-02 e SR-03 foi fundamental para correlação dos valores de resistividade com a profundidade do topo rochoso obtido pela sondagem. A sondagem rotativa (SR-01) não é interceptada pela seção geofísica L8, pois, durante o trabalho de campo o terreno íngreme impediu a realização de uma seção de 240 metros.

O perfil A-A', construído a partir das sondagens possui aproximadamente 200 metros e possibilitou a determinação da profundidade que se encontra o topo rochoso, aproximadamente 30 metros, quando a sondagem SR-02 começou a perfurar o maciço rochoso. Com isso, adotou-se uma resistividade de aproximadamente 1600 ohm.m, como característica do contato solo-rocha, como pode ser visto na Figura 6.1.

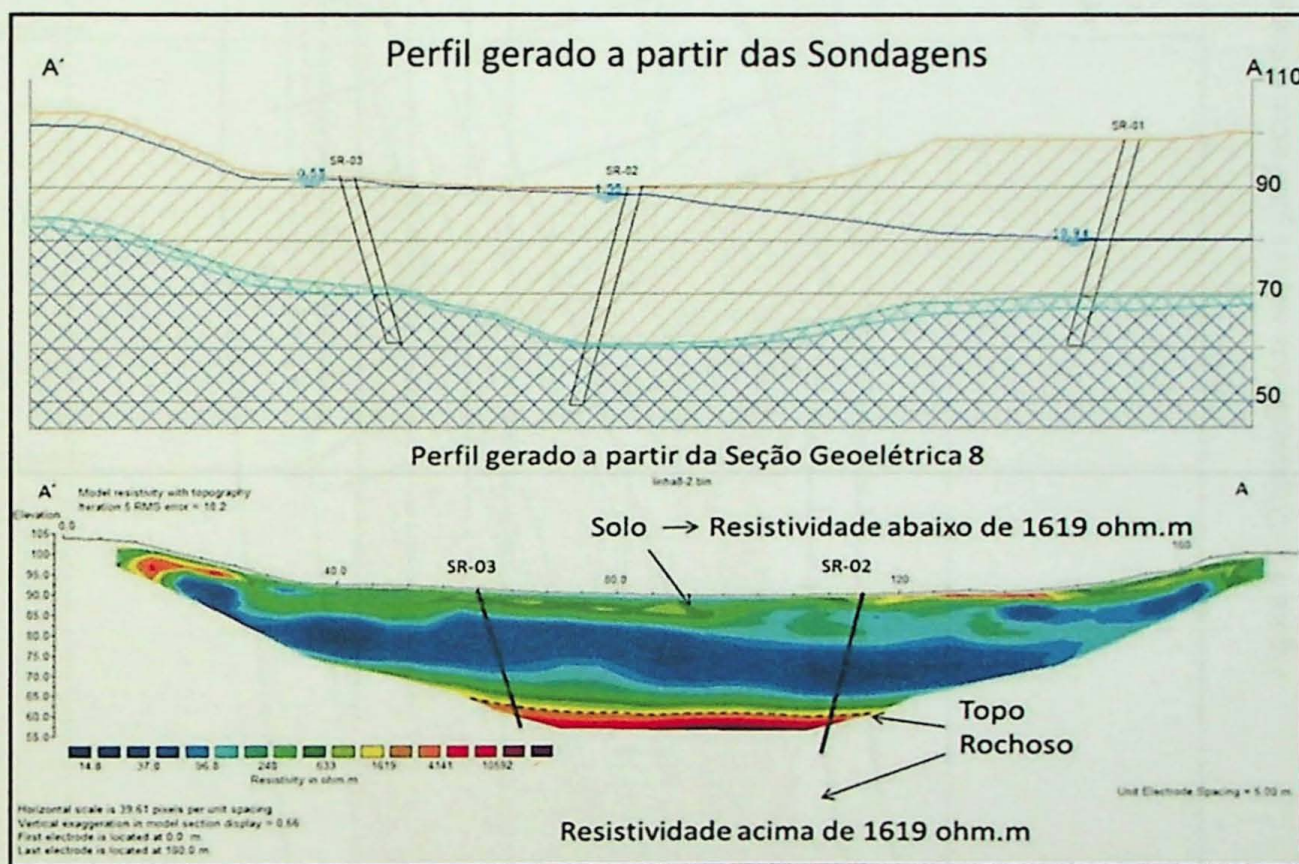


Figura 6.1 - Correlação entre o perfil gerado pelas sondagens e pela seção geofísica L8.

A Figura 6.2 está representando as 11 seções geofísicas, realizadas na área de estudo, indicadas com números. Também nesta figura, estão representadas as sondagens executadas (SR-01, SR-02 e SR-03) e os perfis topo-geológicos (B-B', C-C', D-D', E-E', F-F' e G-G').

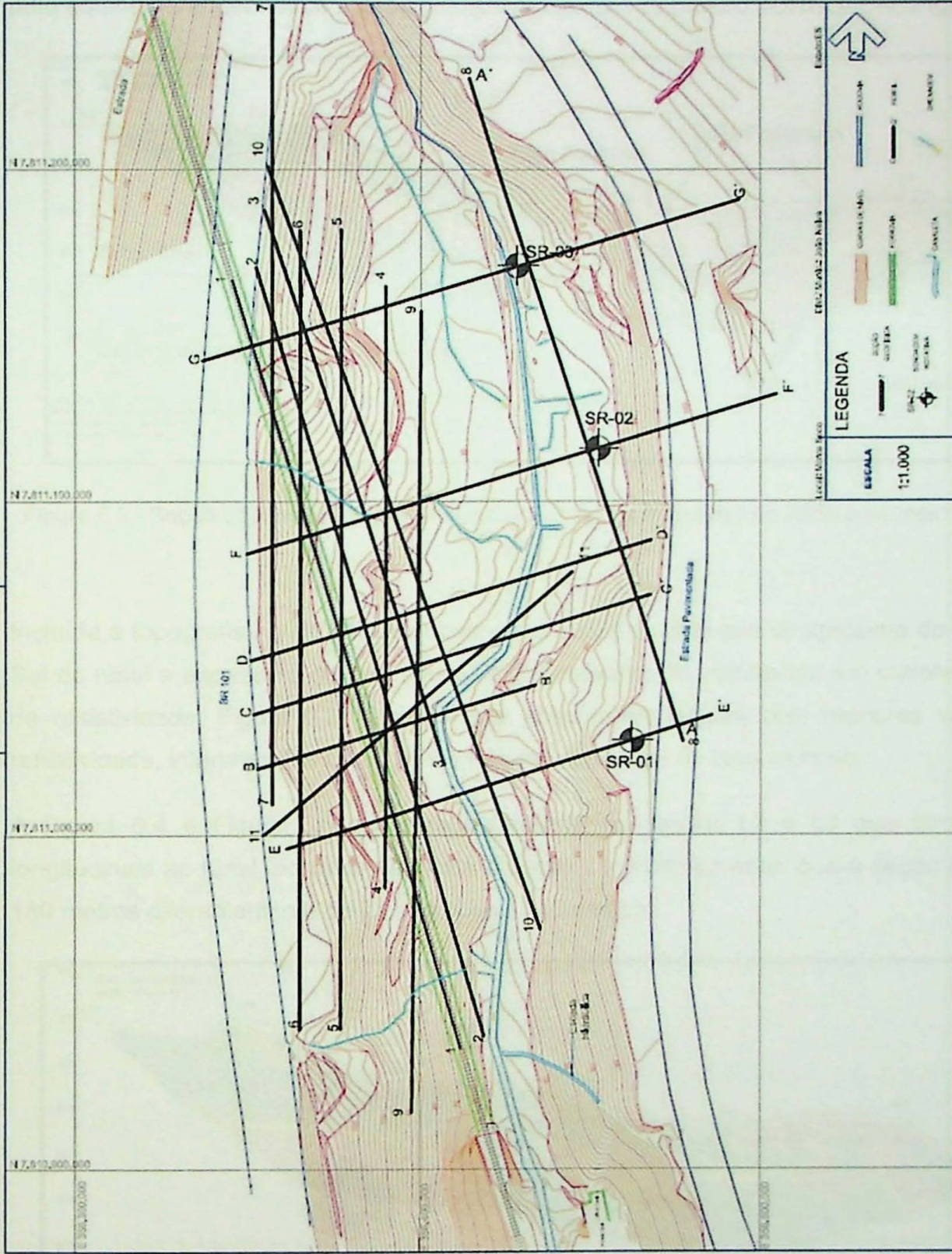


Figura 6.2- Disposição das seções geofísicas e dos perfis topo-geológicos.

A seção L1 foi realizada em cima do túnel visando encontrar as variações horizontais de resistividade com possíveis zonas fraturadas que já haviam sido mapeadas anteriormente pela equipe de engenheiros e geólogos que participam do projeto TUNELCON, Figura 6.3.

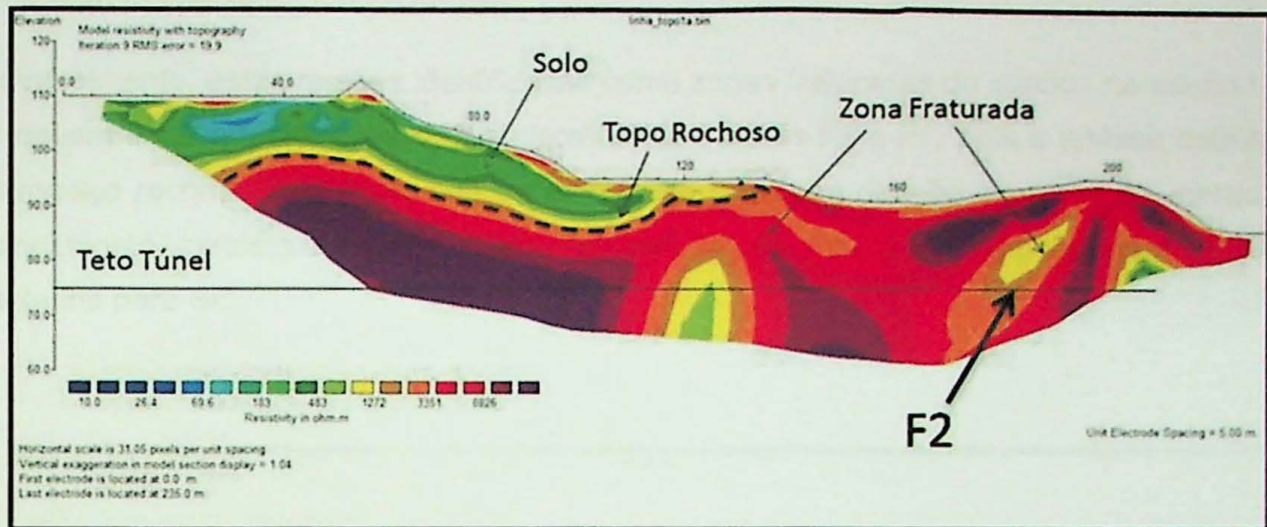


Figura 6.3 - Seção L1 longitudinal ao túnel, notar as regiões fraturadas no início e no meio da seção

Incluída a topografia no RES2DINV observa-se que à medida que se aproxima do emboque Sul do túnel a espessura de solo diminui significativamente, resultando em maiores valores de resistividade, Figura 6.3. Também são observadas regiões com menores valores de resistividade, interpretadas como zonas fraturadas, abaixo do topo rochoso.

A Figura 6.4 e Figura 6.5 estão representando as seções L2 e L3 que também são longitudinais ao túnel, portanto paralelas a seção L1. Pode-se notar que a seção L3 possui 180 metros diferentemente de L2 que possui 240 metros.

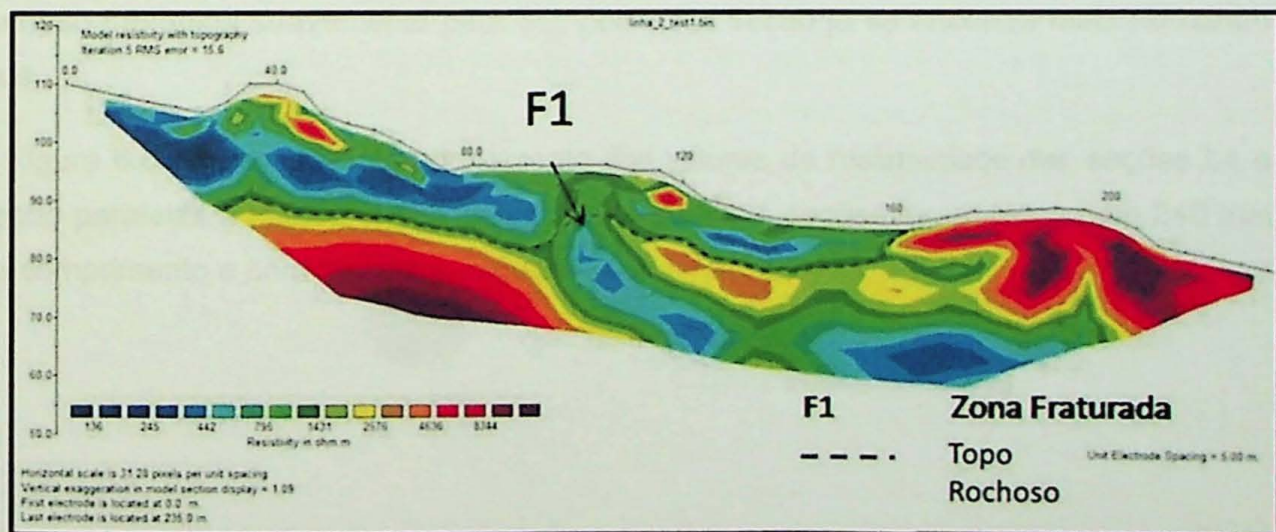


Figura 6.4 – Seção L2 longitudinal ao túnel.

A partir da seção L2, Figura 6.4, interpreta-se que o topo rochoso não é muito diferente do topo da Seção L1, pois elas estão espaçadas 10 metros. Entretanto verifica-se que nesta seção ocorrem mais zonas fraturadas no maciço, com valores de resistividade menor que 1600 ohm.m abaixo do topo rochoso.

Provavelmente, estas regiões identificadas como zonas fraturadas do maciço na seção L1 e L2 devem estar relacionadas com as famílias de fraturas F2 e F1, pois a análise estrutural do maciço rochoso identificou que estas famílias possuem direção de rumo do mergulho, praticamente, paralela a direção do eixo do túnel (N165). Assim, F2 mergulha para NW e F1 mergulha para SE.



Figura 6.5 - Seções L3 longitudinais ao eixo do túnel.

Ainda que a seção L3, Figura 6.5 se diferencie das duas anteriores, por possuir comprimento de 180 metros, porém a profundidade de investigação foi à mesma. O topo rochoso mergulha suavemente para SE, pois essa seção já se encontra mais no centro do vale.

A Figura 6.6 demonstra o comportamento dos valores de resistividade das seções L4 e L5 sendo paralelas a rodovia e oblíquas ao túnel. As duas seções foram feitas com 240 metros de comprimento e com eletrodos espaçados de 5 metros.

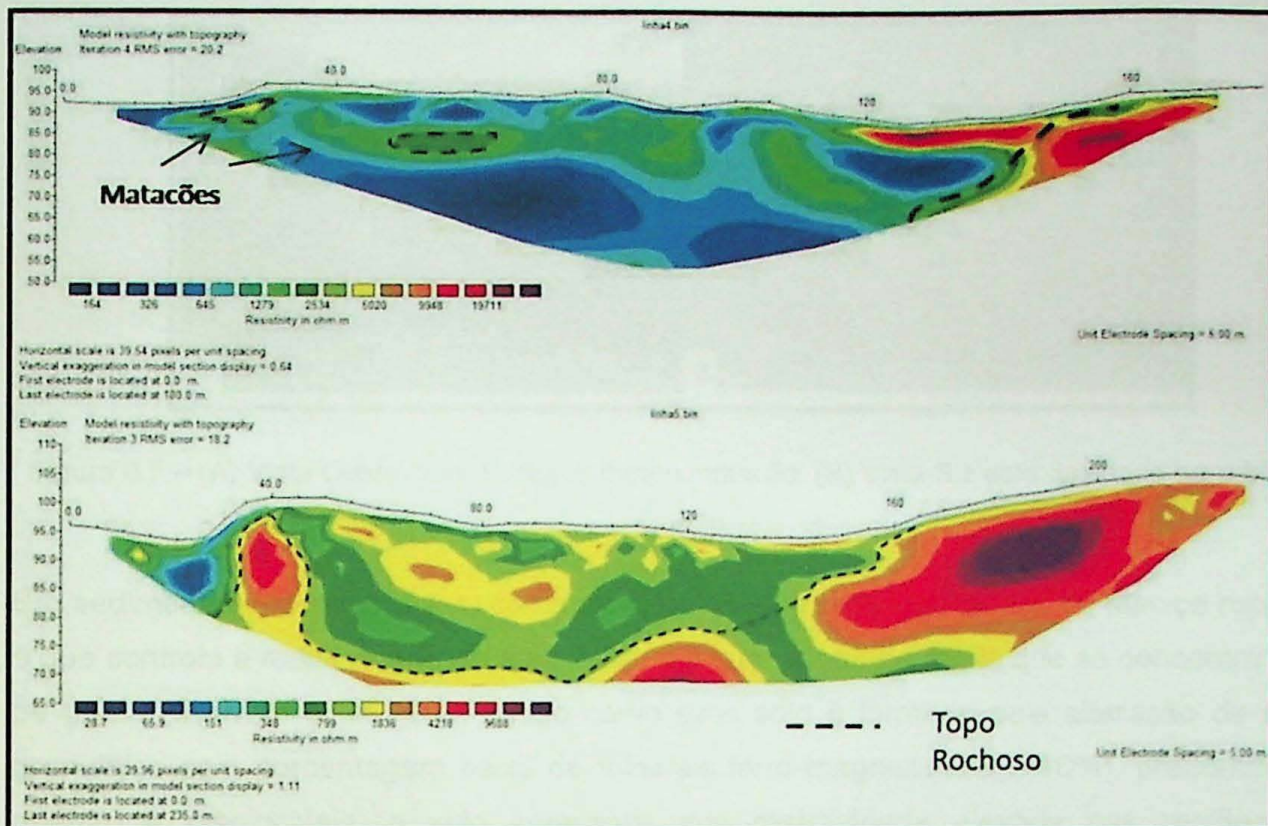


Figura 6.6 - Seções L4 e L5 paralelas a rodovia.

No final da seção L4, próximo a 240 metros, Figura 6.6, interpretou-se que parte do meio que apresenta resistividade de 1600 ohm.m seja solo e parte rocha. Isso porque, provavelmente, o solo encontra-se insaturado, acima do nível d'água. Alguns matações são identificados nesta seção.

A interpretação do topo rochoso da seção L5, a partir da Figura 6.6, levou em consideração a possibilidade do maciço encontrar-se fraturado em alguns locais abaixo do topo rochoso, por esse motivo ocorre um rebaixamento das curvas de isovalores de resistividade.

Durante o trabalho de campo notou-se que havia blocos e matações no meio do solo coluvionar, como se pode ver na Figura 6.7. Os logs de sondagem, Anexo 1, descrevem que o tipo de solo encontrado é preferencialmente arenoso composto por grãos de quartzo, contribuindo também para o aumento da resistividade.

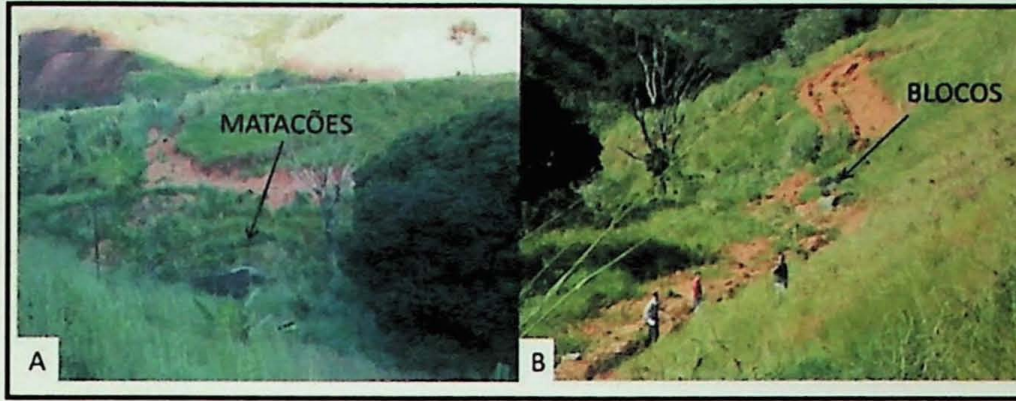


Figura 6.7 – (A) Vista Oeste com destaque para o matacão. (B) Vista Sul com destaque para blocos no solo.

Em sedimentos inconsolidados, como os solos encontrados logo acima do maciço rochoso, o que controla a resistividade do meio físico é a quantidade de argila que se concentra entre os grãos (Shevnin et al., 2007), logo como esse solo é formado pela alteração de rocha granulítica com porcentagem baixa de minerais ferro-magnesianos (<10%), predominando quartzo e plagioclásio, o solo apresenta uma resistividade elevada nas regiões não saturadas.

A Figura 6.8 representa os valores de resistividade das seções L6 e L7 que foram feitas oblíquas ao túnel e paralelas a rodovia. O espaçamento entre os eletrodos nas duas seções é de 5 metros e as linhas possuem um comprimento de 240 metros.

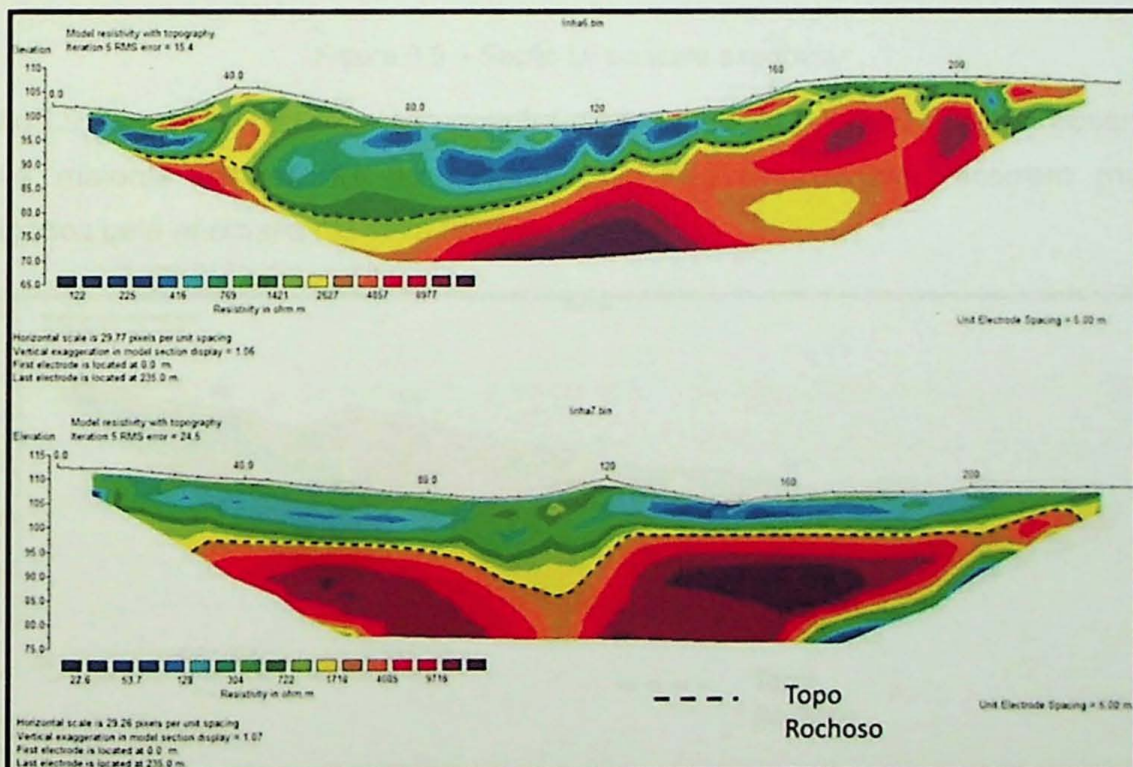


Figura 6.8 - Seção L6 e L7 paralelas a rodovia.

A seção L6 cruza muitas linhas topográficas, com isso observa-se um aumento da espessura de solo para as cotas mais baixas e uma redução da cobertura para as cotas mais altas do topo rochoso. A seção L7 foi realizada paralela à rodovia e apresentou a distribuição do topo rochoso de forma retilínea, provavelmente, porque esta seção não foi influenciada pela inclinação dos taludes, pode-se notar a regularidade do topo rochoso na L7.

As Figuras 6.9 e Figura 6.10 representam os valores de resistividade das seções L9 e L10, respectivamente. As seções não são paralelas entre si, a seção L9 é oblíqua ao túnel e a seção L10 é paralela. As duas foram construídas com os eletrodos espaçados de 5 metros e com 240 metros de comprimento.

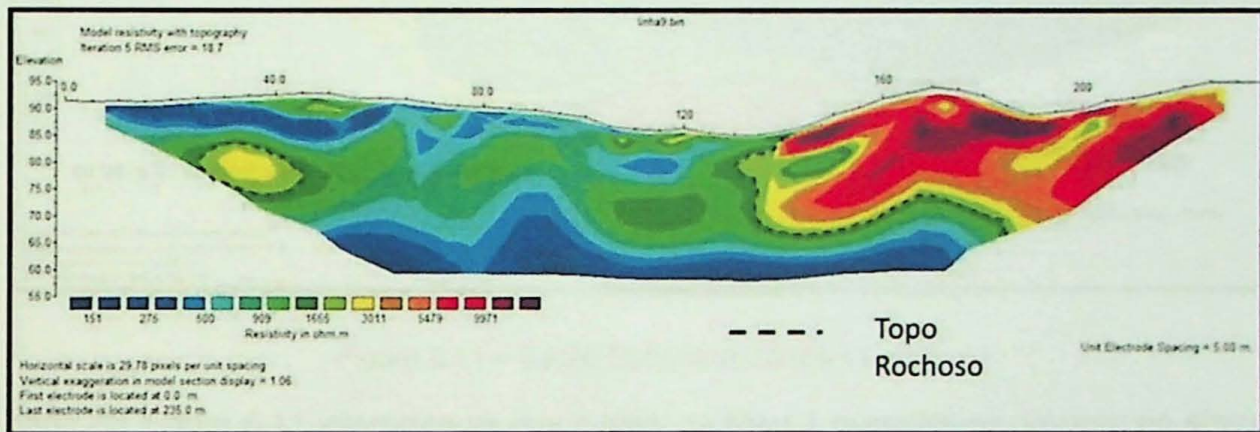


Figura 6.9 – Seção L9 paralela a rodovia.

A seção L9, Figura 6.9 é a que se encontra mais ao centro do vale, portanto observam-se aqui as maiores espessuras de cobertura de solo transportado, ocorrem matações identificados pela anomalia resistiva no meio do solo.

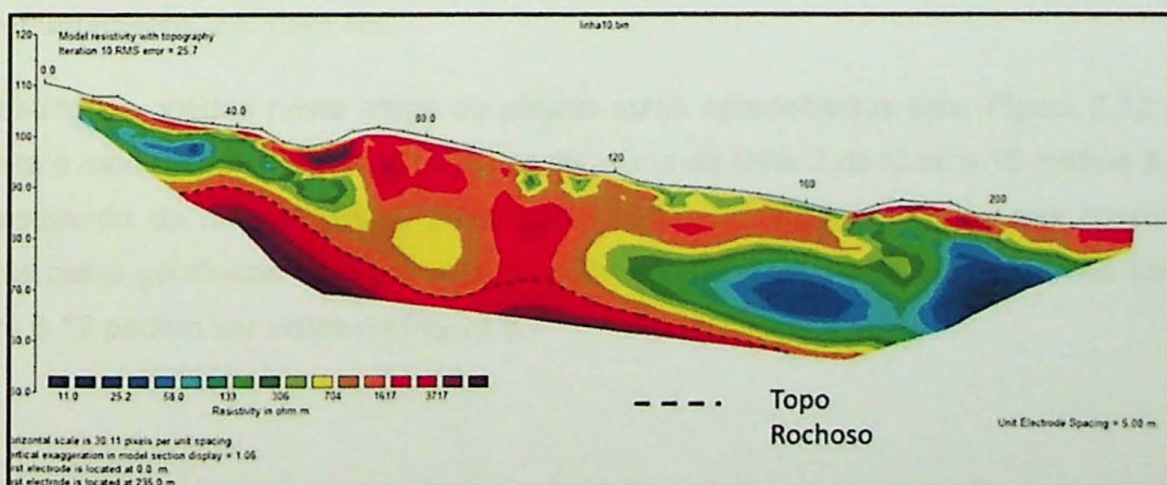


Figura 6.10 – Seções L10 próximas ao centro do vale.

O comportamento do topo rochoso da seção L10 é semelhante aos das seções L1, L2 e L3 que são longitudinais ao eixo do túnel. O topo rochoso nesses casos tende a mergulhar para SE, Figura 6.10.

A seção L11 foi construída oblíqua ao túnel com espaçamento entre os eletrodos de 2.5 metros e 120 metros de comprimento, Figura 6.11. O objetivo para a seção ser construída com direção NE-SW foi para interceptar o túnel L1 e também melhor visualizar o topo rochoso.

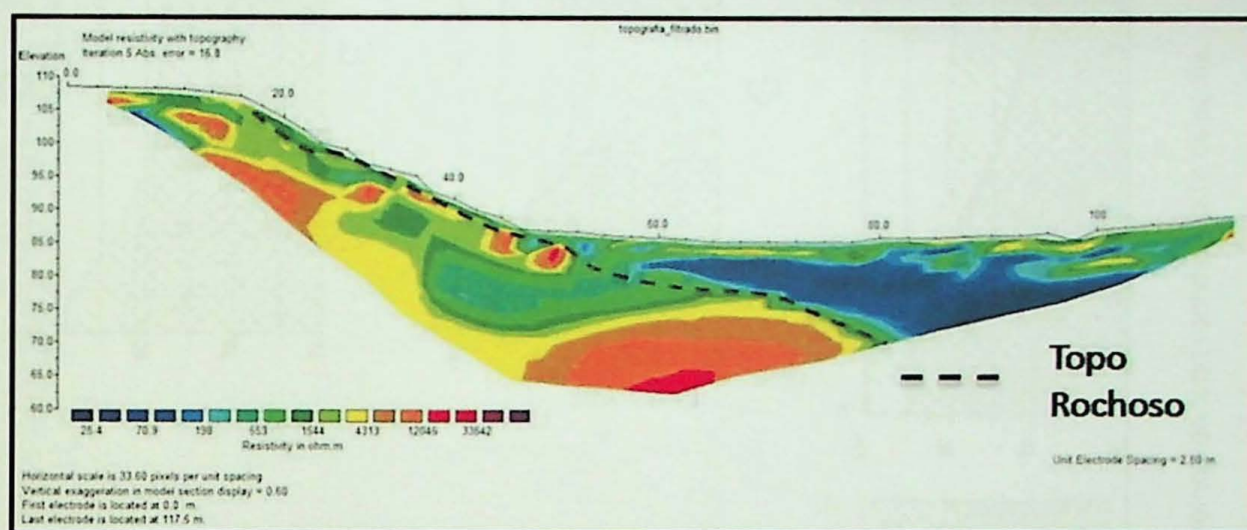


Figura 6.11 – Seção Oblíqua ao túneis L1 e L2.

A partir da Figura 6.11 interpreta-se que o túnel da linha 1 encontra-se próximo ao eletrodo que está localizado a 65 metros da rodovia na mesma direção da seção L11, pois nesse local as linhas de isovalores, curvam-se de forma semelhante as linhas das seções apresentadas por Galli (2003). A queda de valores de resistividade abaixo do topo rochoso é interpretada como sendo resultado da percolação de água no maciço rochoso por zonas fraturadas. Essa seção permite calcular o ângulo de mergulho do topo rochoso que é de aproximadamente,  $36^\circ$  para NE.

Os resultados obtidos nesta etapa do projeto estão apresentados pela Figura 6.12 a qual delimita o topo rochoso obtido imediatamente acima da linha 2 do túnel e 15 metros à direita e à esquerda do mesmo. Estes perfis foram confeccionados com base nas informações obtidas pelas geofísicas com o auxílio do software AutoCad. As localizações dos perfis da Figura 6.12 podem ser vistos na Figura 6.2.

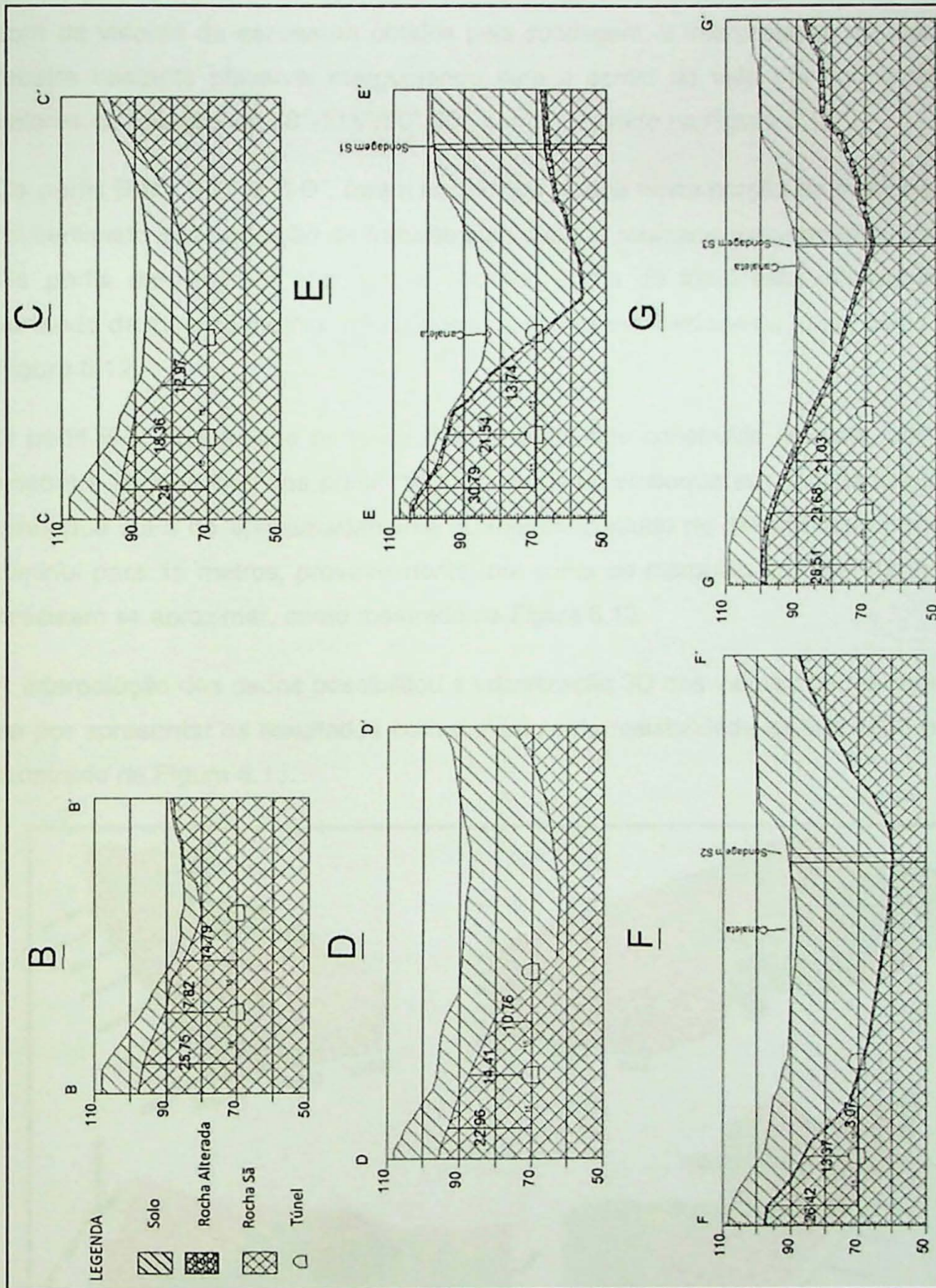


Figura 6.12 – Distribuição Geométrica do topo rochoso entre os perfis.

Os Perfis E-E', F-F' e G-G', foram assim dispostos para interceptarem as sondagens SR-01, SR-02 e SR-03, respectivamente, para ter uma correlação com a profundidade obtida pelas sondagens. Nota-se que os dados gerados pelas seções geofísicas estão coerentes com os valores de espessura obtidos pela sondagem, a interpretação do topo rochoso se mostra bastante plausível mergulhando para o centro do vale em concordância com os valores de foliação Sn 70°-115°/50°-90°, como mostrado na Figura 6.12.

Os perfis B-B', C-C' e D-D', foram escolhidos porque nesta porção do maciço rochoso, pois foi verificado concentração de fraturamento quando realizado mapeamento interno do túnel. Os perfis demonstram que o topo rochoso acima do túnel esta relativamente espeço, variando de 13 a 23 metros, não conferindo risco à estabilidade do túnel, como mostrado na Figura 6.12.

O perfil E-E' sugere que parte da linha 1 tenha sido construída em solo, por isso que ela encontra-se revestida nos primeiros 150 metros do emboque sul. A distância dos túneis no emboque sul é de aproximadamente 30 metros, contudo no desemboque norte a distância diminui para 15 metros, provavelmente, por conta do mergulho do topo rochoso, os túneis precisam se aproximar, como mostrado na Figura 6.12.

A interpolação dos dados possibilitou a visualização 3D dos valores de resistividade, optou-se por apresentar os resultados com o máximo de resistividade igual a 1600 ohm.m, como mostrado na Figura 6.13.

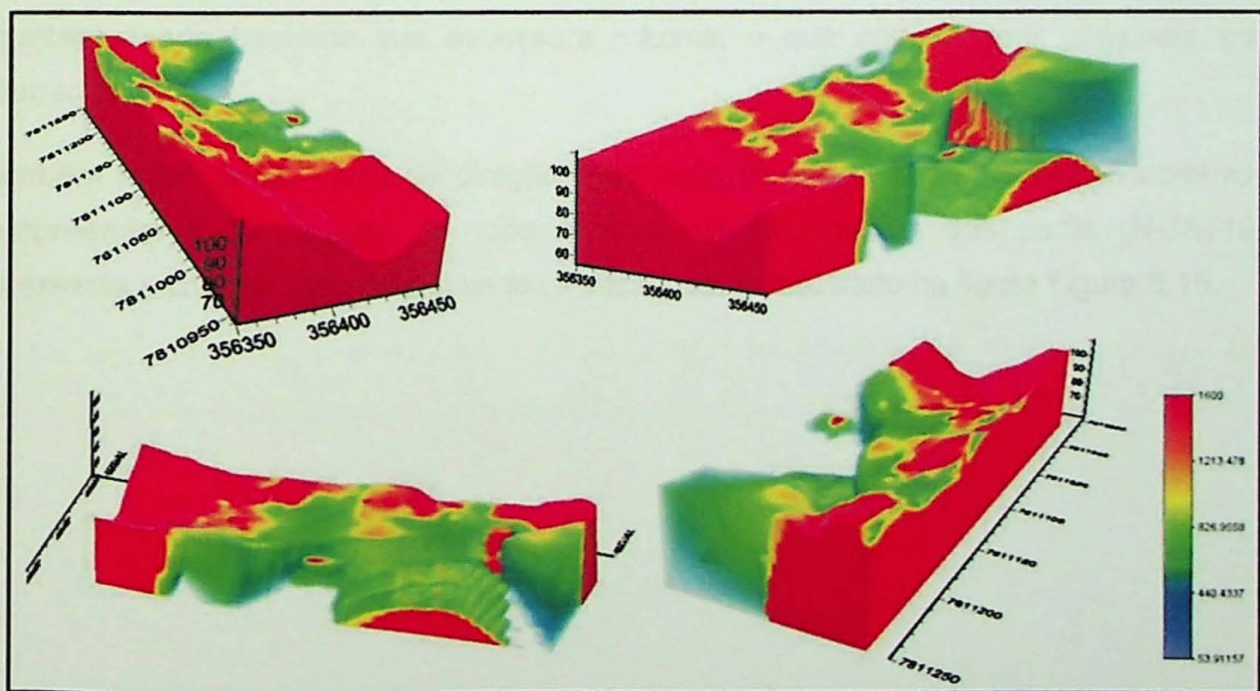


Figura 6.13 - Distribuição 3D dos valores de resistividade na área de estudo

Na Figura 6.14 eliminou-se as camadas com valores de resistividade inferiores a 1450 ohm.m, dessa forma, a modelagem geofísica 3D facilita a visualização do maciço rochoso.

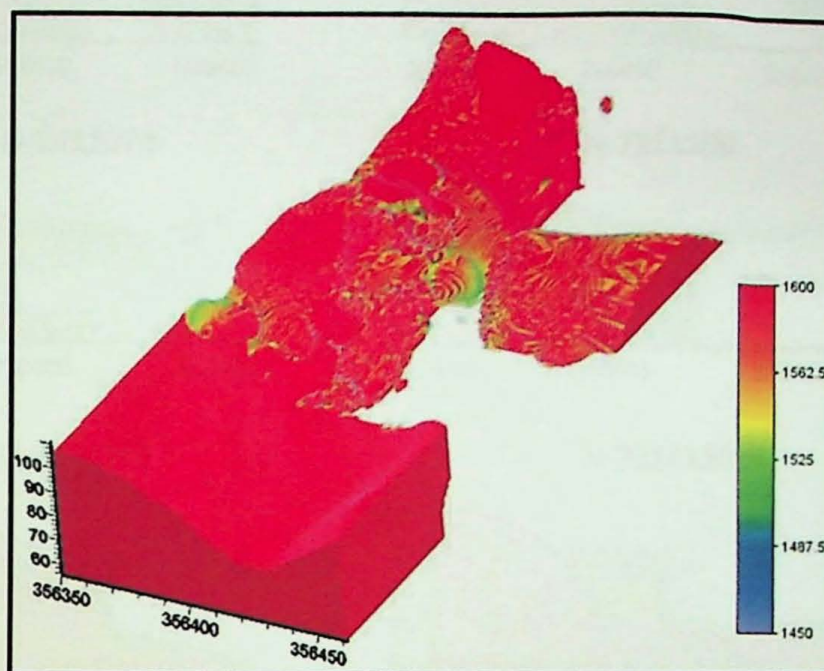


Figura 6.14 – Maciço rochoso sem a cobertura de solo

Com a faixa de resistividade relativamente pequena, variando entre 1450 a 1600 ohm.m, nota-se que o maciço praticamente não ultrapassa a coordenada E-356400, na direção E-W, entretanto varia bastante sua espessura máxima, o que pode sugerir possíveis zonas fraturadas.

Também foram feitos perfis de direção E-W espaçados de 25 metros com o objetivo de compreender a distribuição do topo rochoso. O valor acima dos perfis (N-7811025) representa a coordenada na qual se fez a seção, como mostrado na figura Figura 6.15.

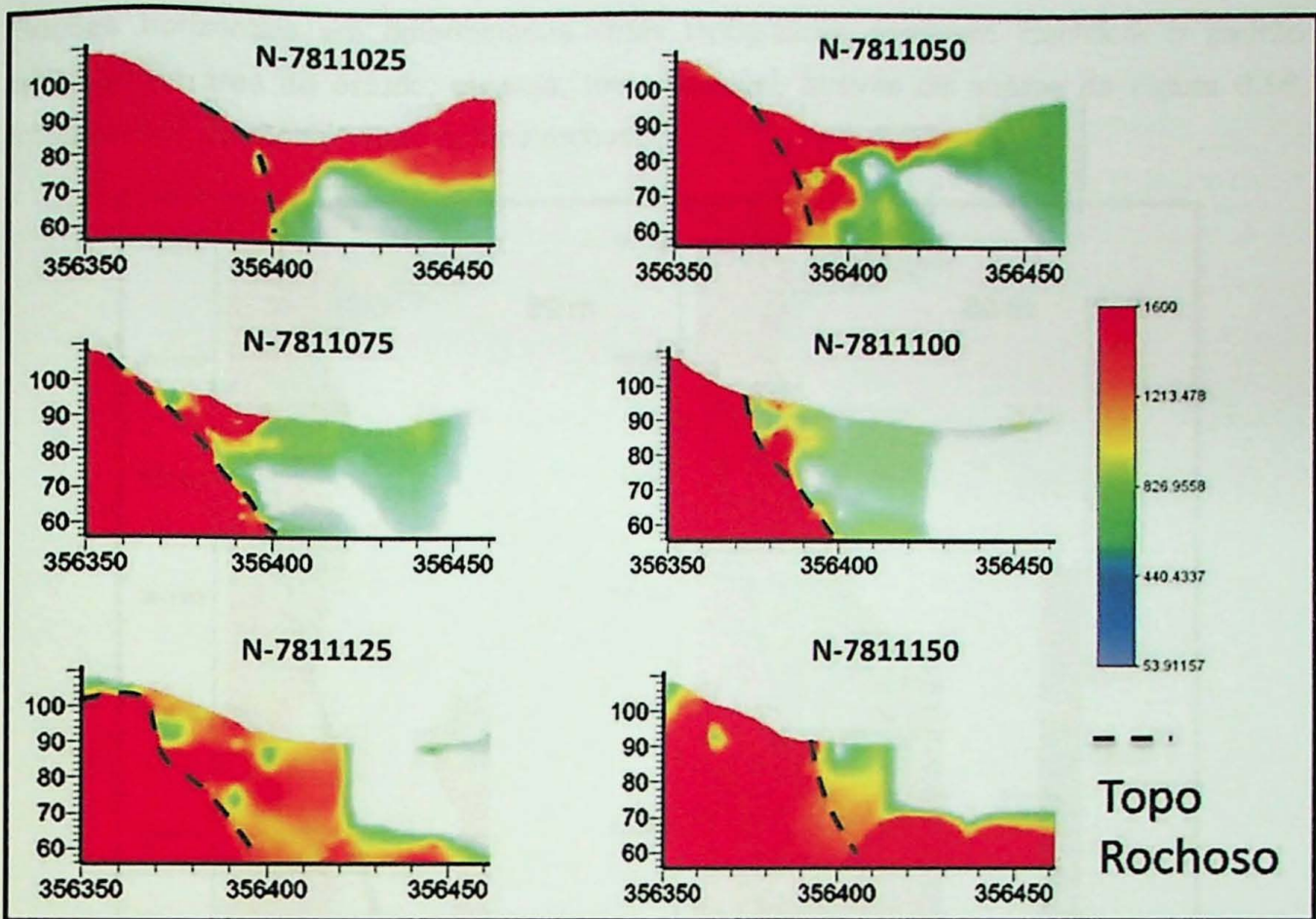


Figura 6.15 – Perfil E-W do maciço rochoso, na coordenada Norte definida na figura.

A Figura 6.15 mostra os vários perfis produzidos a partir da interpolação dos resultados, nota-se que na porção Leste há regiões sem valores de resistividade, entretanto assume-se que esses locais estejam preenchidos por sedimentos. Assim, nota-se que entre as seções N-7811025 e N-7811125 a espessura de solo pode ultrapassar 40 metros

Ainda na Figura 6.15 observa-se que o maciço rochoso varia de E-356350 a E-356400, ou seja, aproximadamente 50 metros de largura próximo à cota 60 metros. A seção N-7811125 possui uma distribuição complexa nos valores do topo rochoso, sendo interpretada como uma região que possui grande quantidade de matacões ou blocos de rocha.

Seções horizontais em determinadas cotas topográficas permitem identificar o padrão resistivo da área de estudo, ou seja, torna possível, através da análise da Figura 6.16, interpretar o comportamento do topo rochoso.

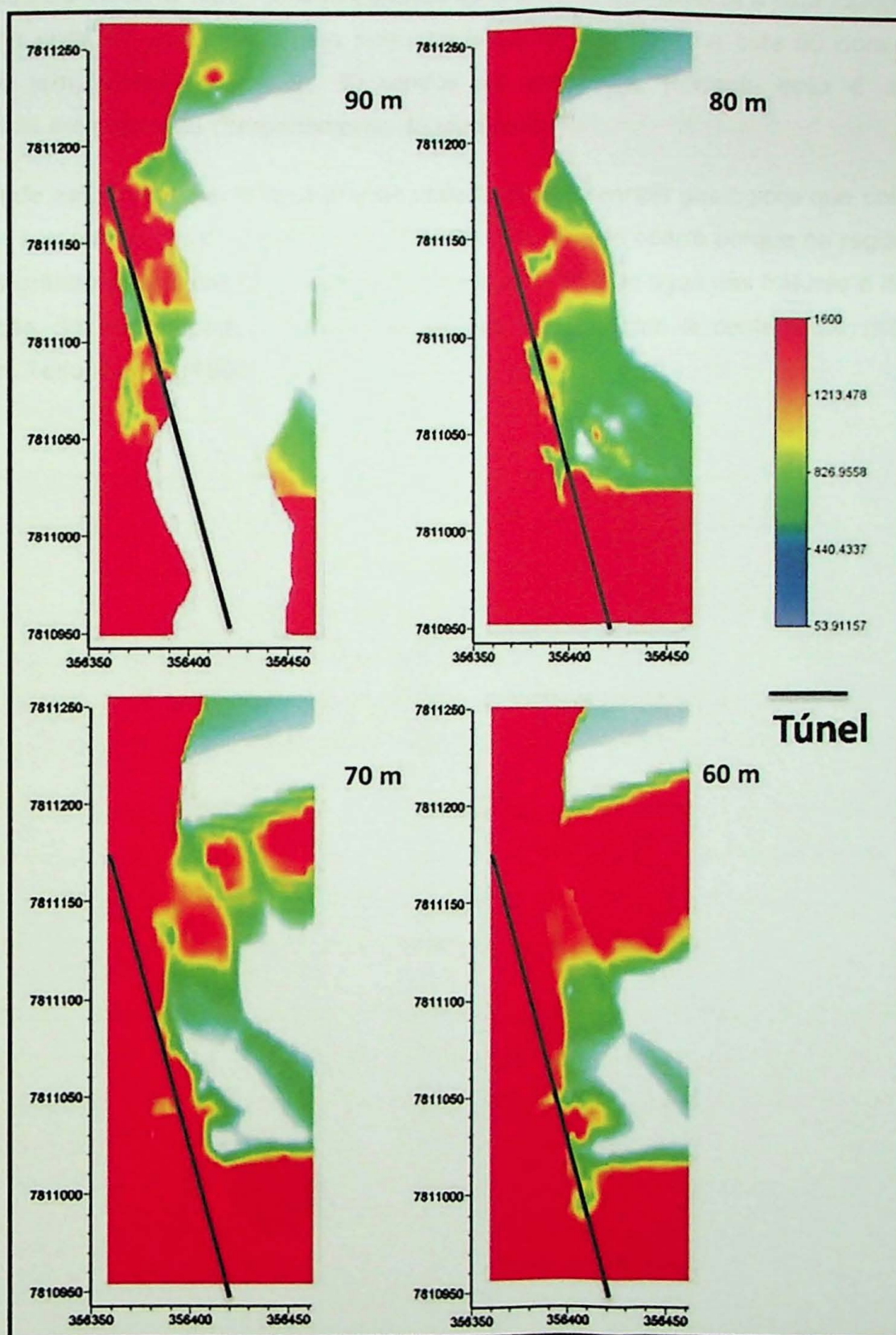


Figura 6.16 – Mapa de resistividade da área de estudo na cota topográfica definida na figura.

Cortes horizontais nas cotas 90, 80, 70 e 60 permitem a visualização em planta dos valores de resistividade, Figura 6.16. No entanto, como a geomorfologia da área representa um vale, alguns valores de resistividade podem não ser visualizados por estarem em cotas inferiores ao corte. O topo rochoso espessa-se à medida que diminui a cota topográfica, ou seja, na cota 90, observa-se uma pequena lasca de maciço e na cota 60 nota-se que o maciço tem, aproximadamente, 50 metros de espessura. Portanto essa é mais uma evidência em planta do comportamento do topo rochoso.

A área de estudo apresenta uma grande variedade de materiais geológicos que conferem às seções valores de resistividade de 0 a 100.000 ohm.m. Isso ocorre porque na região afloram rochas granito-gnáissicas que dependendo da quantidade de água nas fraturas e do grau de alteração da rocha, podem apresentar valores que chegam a centena de milhares de ohm.m. Telford et al.,(1990).

## 7. CONCLUSÃO

O método de Imageamento Elétrico empregado nesse trabalho de formatura, visando à determinação do topo rochoso, se mostrou muito eficiente atendendo as expectativas. Foi possível identificar zonas mais fraturadas no início e no meio do túnel.

Conclui-se que a técnica utilizada neste trabalho sirva de complemento para os dados gerados pelos métodos diretos, permitindo a identificação de corpos rochosos ou mesmo zonas fraturadas.

Ao aplicar e desenvolver a metodologia utilizada para mapear o contato solo rocha, notou-se que complementar as informações sobre o maciço, com trabalhos geológicos e estruturais, foi fundamental para melhor entendimento da geologia local. Sendo esses trabalhos de grande importância no auxílio das interpretações geofísicas.

Em ambientes geológicos onde predominam a complexidade do meio físico, como em solos que apresentam grande quantidade de blocos de rochas Wardrop (1999) diz que mesmo as perfurações realizadas por sondagens podem não revelar, adequadamente, a estrutura tridimensional do meio, em termos de espessura e composição. No entanto as técnicas de Imageamento Elétrico (3D) que foram utilizadas neste trabalho, em conjunto com os dados de sondagem, permitiram a visualização do topo rochoso e alguns matacões que por serem às vezes pontuais, provavelmente não seriam detectados pelas sondagens convencionais.

A seção L11 possui espaçamento entre os eletrodos de 2.5 metros, os resultados apresentados foram tão satisfatórios quanto às outras seções. A profundidade de aquisição de dados também se mostrou eficiente, talvez mais seções paralelas a L11 e com essa configuração permitisse detalhar ainda mais a área de estudos.

A utilização dessa técnica geofísica em trabalhos de geotecnia e geologia ambiental produz resultados satisfatórios, provavelmente, com os avanços tecnológicos esses métodos também continuarão evoluindo e estarão cada vez mais presentes em trabalhos de geofísica aplicada.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364.

CPRM, 2007. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, Ecoporanga-SE-24-Y-A-III escala 1:100.000. 50p.

Elis V.R., Hiodo F. Y., Porsani J. L., Mendonça, Dal Pozzo C. A., H. A. P. Gallas J D. F., 2003. Eletrorresistividade e magneto Resistividade no estudo de zonas de fratura: Metodologia e Aplicação. Sociedade Brasileira de Geofísica. 6p.

Gallas J. D. F. 2000. Principais Métodos Geométricos e suas Aplicações em Prospecção Mineral, Hidrogeologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental. 174p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

Galli V. L., Blanco R. G., Iyomasa W. S., 2003. GPR e Eletrorresistividade na identificação de pequenos túneis. III Workshop de geofísica aplicada à engenharia e meio ambiente 25-34p.

Gandolfo, O. C. B. 2007 Um estudo do Imageamento Geométrico na Investigação Rasa. Universidade de São Paulo, IGC-USP ,Tese de Doutorado, 215p.

Gandolfo, O. C. B. Gallas, J. D. F. 2007. O arranjo pólo-dipolo como alternativa ao dipolo-dipolo em levantamentos 2D de eletrorresistividade.

Hallof P. G. 1957. On the interpretation of resistivity and induced polarization measurements: Cambridge, MIT, Ph.D. thesi

Roncato J.G. J. 2009. As suítes graníticas tipo-s do norte do Espírito Santo na região das folhas Ecoporanga, Matena, Montanha e Nova. Dissertação de Mestrado, Universidade federal de Belo Horizonte.119p.

Shevnin, V., Mousatov, A., Ryjov, A., Delgado-Rodriquez, O. 2007. Estimation of clay content in soil based on resistivity modelling and laboratory measurements. *Geophysical Prospecting* 55, 265–275.

Takahashi, T., 2004, Suggested Methods for land geophysics in rock engineering ISRM International Society for Rock Mechanics. 30p.

Telford, W. M., L. P. Geldart, and R. E. Sheriff, 1990, Applied geophysics: Cambridge University Press. United States Environmental Protection Agency /USEPA/, 1993, Criteria for solid waste disposal facilities — A guide for owners/operators: EPA/530-SW-91-089.

Ward S. H. 1990. Resistivity and induced polarization methods. Geotechnical and environmental Geophysics. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists (SEG), v.1: Review and Tutorial, p. 147-89.

Wardrop, D.R., 1999. A study on the accuracy of sand and gravel reserve estimates. The Quarterly Journal of Engineering Geology 32, 81-86.

ANEXO  
1

# ANEXO

## 1

**DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DA SONDAGEM S1**

Intervalo (m)		Descrição	Alteração
0	25,65	Solo arenoso avermelhado saturado em água a partir da profundidade de 19.94 contendo, por vezes, alguns blocos de rochas.	A-5
25,65	25,9	Rocha granítica alterada com cristais de feldspato com perda de brilho com materiais de alteração mascarando a cor original da rocha , observa-se alguns cristais remanecentes à alteração de biotita.	A-3
25,9	30,65	Trecho da Sondagens sem recuperação de testemunho, provavelmente porque a sondagem encontrou outra camada de solo.	A-5
30,65	32,15	Rocha granítica alterada com cristais de feldspato com perda de brilho com materiais de alteração mascarando a cor original da rocha, observa-se uma estrutura maciça desta porção do testemunho mesmo sendo mais fraturada e conseqüentemente mais alterada, a mineralogia predominante varia entre quartzo azulado e não azulado, biotita, feldspato e granada.	A-3
32,15	32,35	Rocha com as mesmas características da anteriormente descrita, porém com alteração menos intensa.	A-2
32,35	34,75	Rocha com textura gnáissica finamente bandado marcada pelos planos de foliação compostos por biotita com espessura de 1cm. Intercalada por lentes de granulação mais grossa composta por quartzo, feldspato e granada com estrutura mais maciça.	A-1
34,75	36,25	Rocha granítica com textura porfirítica com cristais de Feldspato e estrutura maciça. Observa-se minerais de quartzo azulado compondo a matriz da rocha podendo apresentar porções com pirita, granada mais intersticiais.	A-1
36,25	37,8	Rocha com textura gnáissica finamente bandado marcada pelos planos de foliação compostos por biotita, intercalado por rocha granítica com textura inequigranular de estrutura maciça apresentando coloração alaranjada, porém sem perda da resistência e/ou coerência.	A-1

**DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DA SONDAAGEM S2**

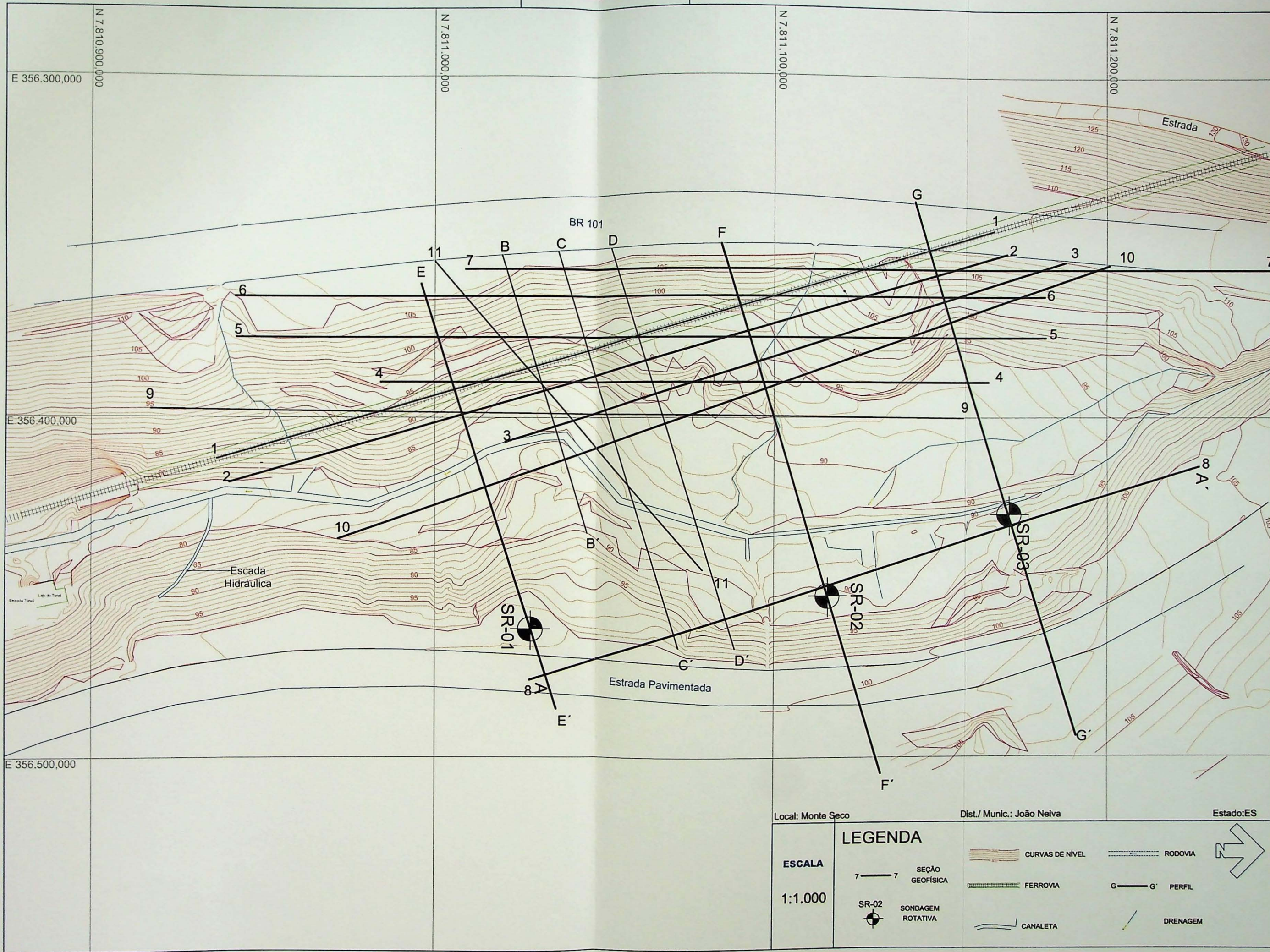
Intervalo (m)		Descrição	Alteração
0	30,5	Solo arenoso avermelhado saturado em água contendo, por vezes, alguns blocos de rochas.	A-5
30,5	31,45	Rocha gnaissica com lentes de granito de 10 cm intercalados na profundidade de 30.8. Observa-se nos planos de fratura alteração A-2, provavelmente proveniente da percolação de fluidos neste local.	A-2
31,45	31,75	Porção de rochas granítica com textura ígnea porfirítica com cristais de Feldspato e Granada chegando a 5cm, observa-se também aglomerados de granada que ressaltam esta textura, a rocha apresenta estrutura maciça com mineralogia inequigranular da matriz contendo quartzo azulado, biotita e feldspato.	A-1
31,75	37,5	Rocha gnaissica com lentes de granito de 10 cm intercalados, com lentes de biotitas definindo a foliação principal da rocha. A rocha apresenta-se com alteração incipiente, bem homogênea.	A-1
37,5	42,33	Trecho de rocha gnáissica mais homogênea com alteração ausente exceto pelos planos de fraturas que apresentam minerais com perda do brilho e diminuição da coerência ao risco do canivete, em especial entre a profundidade de 40.53 apresentando uma coloração esverdeada na superfície (clorita?).	A-1

**DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DA SONDAAGEM S3**

Intervalo (m)		Descrição	Alteração
0	21,5	Solo arenoso avermelhado saturado em água contendo, por vezes, alguns blocos de rochas.	A-5
21,5	21,9	Rocha granítica porfirítica com cristais de feldspatos chegando a 5 cm, ocorrem lentes de anfibólio(?) intercalados com biotita e cristais de granada.	A-3
21,9	22,7	Rocha gnaissica com lentes de biotita marcando a foliação da rocha de aproximadamente 5mm, possui uma matriz contendo cristais equigranulares de quartzo e feldspato.	A-2
22,7	25,1	Porção mais heterogênea com intercalações de 10 cm entre gnaisse e granito.	A-1
25,1	27	Gnaisse apresentando foliação centimétrica marcada pelos planos de biotita intercalados por cristais de quartzo, feldspato, biotita, granada e anfibólio(?).	A-1
27	27,5	Rocha granítica porfirítica com cristais de feldspatos chegando a 5 cm, ocorrem lentes de anfibólio(?) intercalados com biotita e cristais de granada podendo apresentar planos de fraturas.	A-1
27,5	32,15	Rocha gnaissica com lentes de biotita marcando a foliação e cristais de quartzo, feldspato e granada compoendo a matriz. Na profundidade 28.51 ocorrem planos de fraturas alterados (A2), resultando na perca da resistência dos minerais ao canivete.	A-1

# ANEXO

## 2



Local: Monte Seco		Dist./ Munic.: João Neiva		Estado: ES
<b>ESCALA</b> 1:1.000	<b>LEGENDA</b>			
	SEÇÃO GEOFÍSICA SONDAGEM ROTATIVA	CURVAS DE NÍVEL FERROVIA CANALETA	RODOVIA PERFIL DRENAGEM	

DOAÇÃO \_\_\_\_\_  
TSC-05P  
Date: 27/04/14

