

GPR GEOFÍSICA LTDA



RELATÓRIO:

LEVANTAMENTO GEOFÍSICO PARA AVALIAÇÃO
GEOLÓGICA EM ÁREA RURAL NO
MUNICÍPIO DE LIMEIRA (SP)

Outubro de 2010



ÍNDICE

1.	<i>Introdução.....</i>	<i>Pág 2</i>
2.	<i>Metodologia Empregada.....</i>	<i>Pág 3</i>
3.	<i>Levantamento de Campo.....</i>	<i>Pág 09</i>
4.	<i>Processamento dos Dados.....</i>	<i>Pág 10</i>
5.	<i>Modo de apresentação e Interpretação dos levantamentos.....</i>	<i>Pág 10</i>
6.	<i>Conclusões.....</i>	<i>Pág 14</i>
7.	<i>Referências Bibliográficas.....</i>	<i>Pág 15</i>

Anexos digitais: Croqui em CAD e Pseudo-seções em JPG.



1. Introdução

Este relatório apresenta os resultados do levantamento geofísico realizado em Outubro de 2010, em área rural no município de Limeira-SP, local este a ser implantado um aterro sanitário (Figura 1) e anexo em planta CAD.

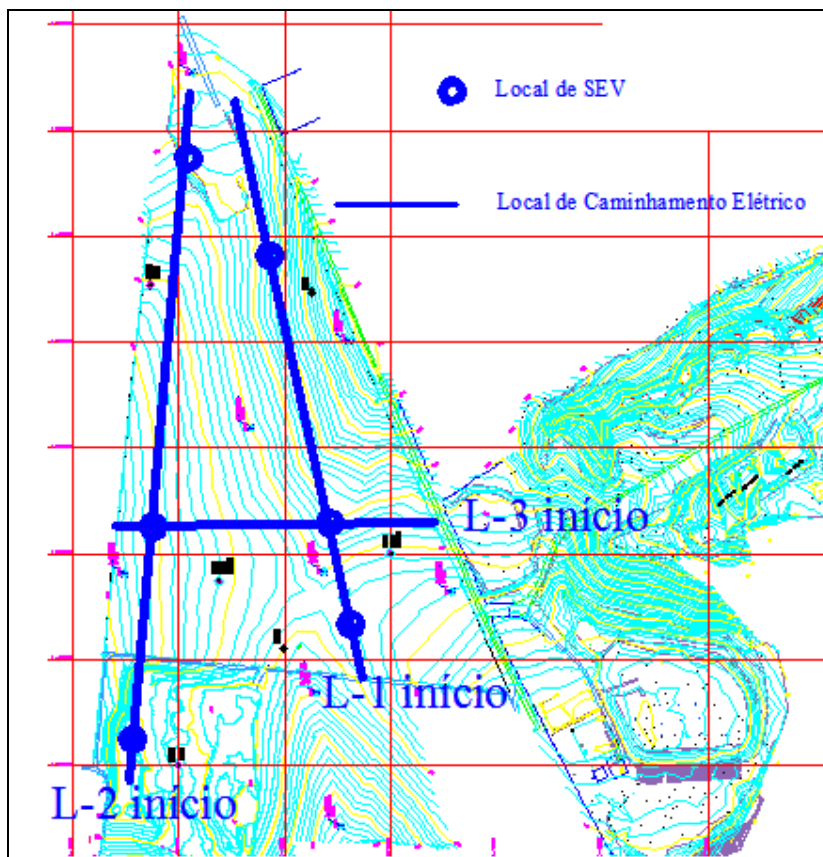


Figura 1. Croqui da área e dos levantamentos executados.

O objetivo primordial do levantamento geofísico aqui apresentado foi à identificação do topo rochoso, sendo também apresentada a diferenciação litológica dos locais estudados.



Neste trabalho, foi utilizado o método de Eletorresistividade, utilizando-se as técnicas de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e Caminhamento Elétrico.

Estas duas técnicas utilizadas conjuntamente proporcionam a detecção dos contrastes nas propriedades físicas em subsuperfície, e que podem ser correlacionadas à variação do material geológico presente (aterro, solo, rocha, etc).

2. Metodologia

Os métodos geofísicos são técnicas de rastreamento em superfície, não invasivos e, portanto, não destrutivos, empregados em diversas aplicações como meio ambiente, geotecnia, engenharia e mineração, assim como na identificação de objetos enterrados.

No caso em questão se utilizou o método da Eletorresistividade, empregando-se a realização de Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) e Caminhamentos elétricos, as quais foram utilizadas para a identificação dos estratos geológicos e identificação da profundidade do topo rochoso (embasamento).

O método geofísico de eletorresistividade, cujos fundamentos se baseiam na injeção de corrente elétrica no solo, na resistividade elétrica dos materiais de subsuperfície e nas variações de voltagem (ddp) provocados pelos elementos anteriores.

Quando uma corrente elétrica é injetada no solo por meio de um par de eletrodos, os padrões de fluxo subsuperficial de corrente refletem a resistividade da subsuperfície. Esses padrões de corrente podem ser mapeados na superfície através de outro par de eletrodos que mede as variações de voltagem. Essas voltagens são uma medida da energia que deve ser despendida para a passagem da corrente através do meio geológico, associadas, portanto, com a resistividade elétrica dos materiais constituintes do terreno.



Através deste método geofísico é possível obter de forma indireta os valores de resistividade elétrica ($\Omega.m$) das camadas geológicas de subsuperfície, bem como estimar a litologia, a profundidade e a espessura desses estratos.

Mas para um melhor entendimento do método de Tomografia Elétrica, devemos primeiro entender os princípios de propagação da corrente elétrica, e estes são de mais fácil entendimento se entendermos primeiramente como é feita uma Sondagem Elétrica Vertical, a qual é uma medida pontual, ao contrário da tomografia elétrica que nos dá informações elétricas bidimensionais e/ou tridimensionais.

2.1. Sondagem Elétrica Vertical (SEV)

De forma geral, através da técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) procura-se definir a espessura e resistividade elétrica dos estratos geológicos como também identificar o posicionamento do embasamento (rocha sã).

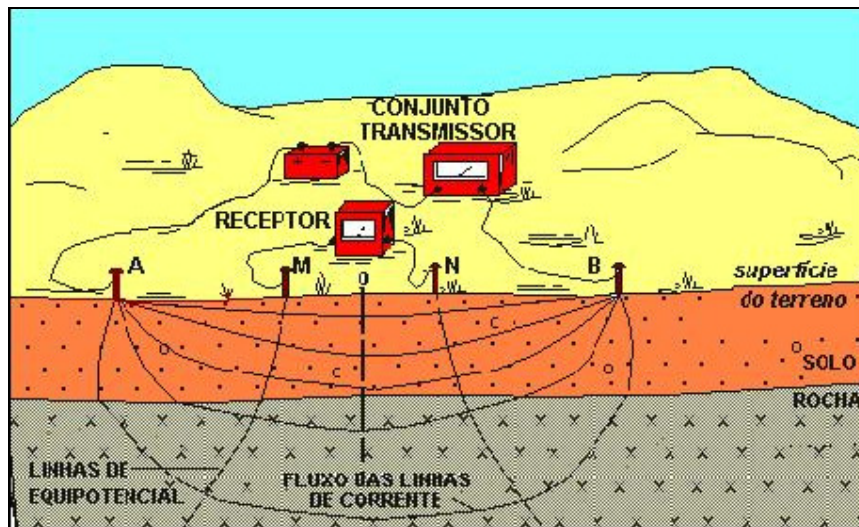


Figura 2. Esquema de aplicação de Sondagem Elétrica Vertical (SEV).

Nesta técnica, obtêm-se, para um ponto central do arranjo de campo (Figura 2), os valores de resistividade *aparente* das camadas de diferentes profundidades.



Posteriormente, através do modelamento geofísico, é possível se determinar as resistividades *verdadeiras* e as espessuras das camadas geolétricas investigadas.

A execução desta técnica em campo (Figura 3) se dá através da injeção de corrente elétrica (I) no solo e da leitura da diferença de potencial obtida (V). A corrente elétrica é transmitida através de dois eletrodos cravados no solo, designados por AB ou eletrodos de corrente. A diferença de potencial (ddp) que se estabelece no local é medida por um milivoltímetro ligado a outro par de eletrodos, também colocados no solo, designados por MN ou eletrodos de potencial.

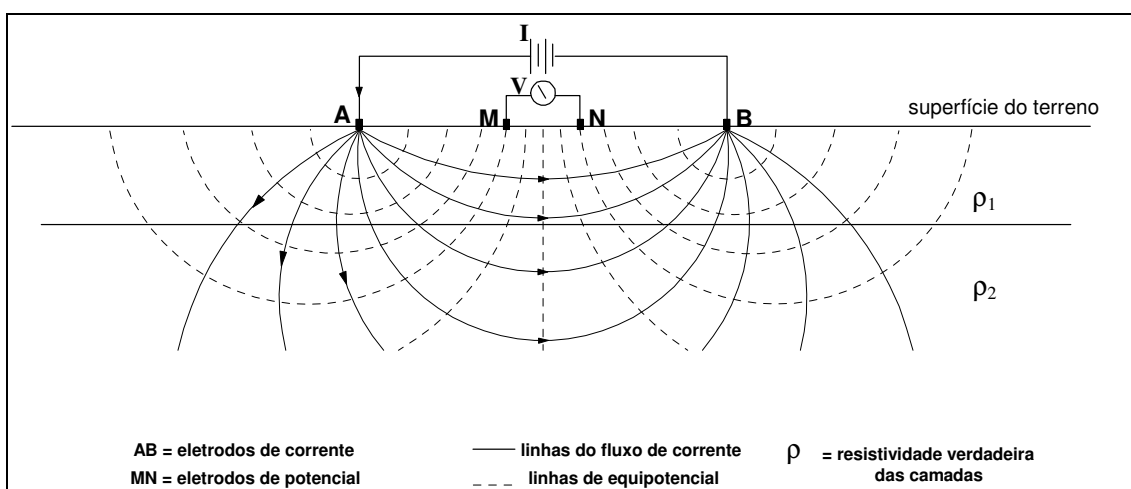


Figura 3. Parâmetros físicos e geométricos das Sondagens Elétricas Verticais.

O ponto de investigação é estabelecido entre os eletrodos e fixo no centro do arranjo. A profundidade atingida depende do meio que a corrente elétrica atravessa em subsuperfície e da distância entre os eletrodos de corrente (AB). Desta forma, a medida que se afastam os eletrodos de corrente durante a execução dos trabalhos de campo, maiores profundidades de investigação poderão ser alcançadas.

Como a corrente elétrica atravessa camadas mais superficiais até atingir a profundidade de interesse, o valor de resistividade elétrica obtido é denominado resistividade aparente (ρ_a). Este valor é calculado pela fórmula $\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$, onde I é o



valor da corrente injetada, ΔV é a tensão (ddp) obtida no milivoltímetro e K é o fator geométrico de distância entre os eletrodos de corrente e potencial.

As resistividades verdadeiras e as espessuras das camadas elétricas são obtidas a partir da interpretação das curvas de campo das SEVs (Figura 4), utilizando-se programas específicos de modelamento geofísico. Os gráficos dessas curvas representam os valores de resistividade aparente em função da abertura dos eletrodos de corrente ($AB/2$), plotados em escala logarítmica (bi-log).

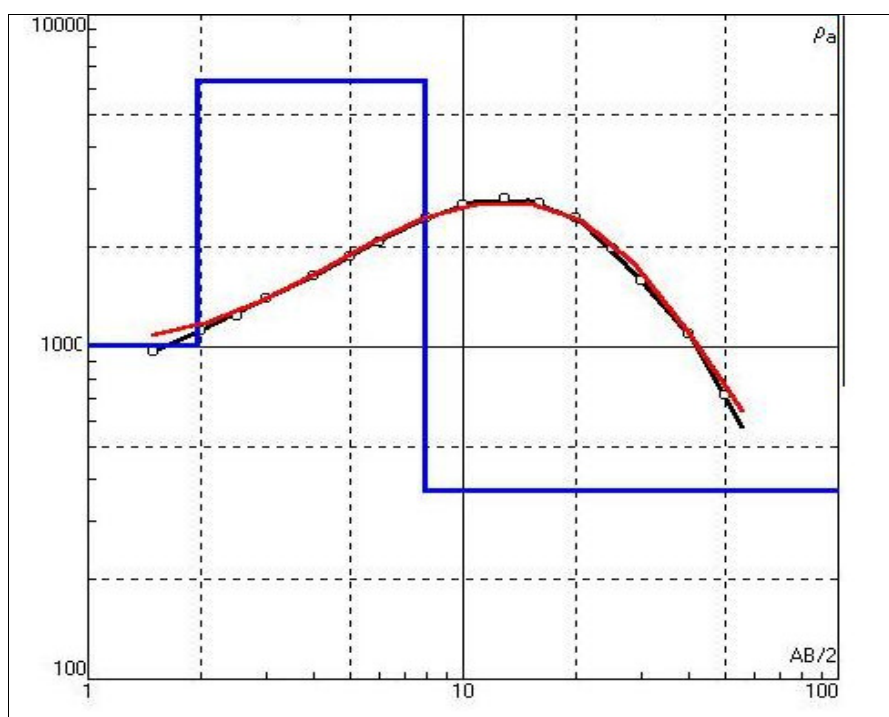


Figura 4. Exemplo de uma curva de campo de uma SEV.

De posse dos dados de espessura e resistividade verdadeira das camadas geoeletricas procura-se correlacioná-las às camadas geológicas observadas nas sondagens e caminhamentos elétricos, por fim, caracterizar a área litologica e hidrogeologicamente de acordo com os dados disponíveis.



O arranjo dos eletrodos adotado no levantamento de campo foi o Schlumberger, devido à qualidade das curvas de campo, da facilidade e rapidez na execução e da menor sensibilidade às variações laterais de resistividade e ruídos provocados, por exemplo, por correntes naturais do solo.

Neste arranjo a condição geométrica de comprimentos é $AB \geq 5MN$, onde a distância MN , teoricamente, tende a zero em relação à distância AB , o que facilita tanto a execução dos levantamentos de campo, como a interpretação dos dados obtidos.

No arranjo Schlumberger o fator geométrico de distâncias entre eletrodos K é dado por:

$$K = \pi \frac{AM \cdot AN}{MN}$$

onde AM é a distância entre o eletrodo de corrente A e o eletrodo de potencial N ; AN é a distância entre os eletrodos A e N ; e MN é a distância entre os eletrodos de potencial M e N .

2.2 Caminhamento Elétrico (CE) ou Tomografia Elétrica (TE)

A segunda técnica utilizada neste trabalho foi o caminhamento elétrico (CE). Esta técnica consiste em se executar uma série de medidas de resistividade aparente na superfície do terreno, com um arranjo fixo de eletrodos de corrente e potencial ($AB=MN$), ao longo de um perfil (Figura 5), constituindo-se numa varredura lateral da área de interesse, com intuito de se investigar a continuidade das feições ou estruturas em subsuperfície.

O resultado deste rastreamento lateral origina, assim, as chamadas pseudo-seções (Figura 6), onde são apresentados os valores plotados das resistividades aparentes medidas, tanto na sua magnitude, como na sua posição espacial (horizontal e em profundidade).

No arranjo dipolo-dipolo, os eletrodos de corrente A e B possuem o mesmo espaçamento dos eletrodos de potencial M e N . De acordo com a Figura 5, observa-se



que $X=AB=MN$, sendo que a profundidade de investigação cresce com a separação entre os eletrodos de corrente e potencial (R) e teoricamente corresponde a $\frac{1}{2}R$.

As medidas que são feitas a várias profundidades de investigação, no caso correspondem aos níveis $n=1,2,3,4$ e 5 e são atribuídas na intersecção das linhas que partem a 45° dos centros AB e MN. A cada estação os dois dipolos são deslocados de uma distância igual a X, e os dados obtidos são plotados nas posições $n=1,2,3,4\dots$ e interpolados, gerando uma pseudo-seção de resistividade aparente, onde a interpretação de estruturas é feita de forma qualitativa, posteriormente modelados quantitativamente através de programas específicos.

A teoria da propagação da corrente elétrica em subsuperfície para esta técnica é a mesma utilizada para as SEV's. O diferencial se encontra na disposição espacial dos eletrodos de corrente e potencial, pois com estas mudanças na geometria dos eletrodos passamos a fazer uma investigação das variações laterais da subsuperfície, ao invés de fazermos uma investigação vertical e pontual como nas SEV's.

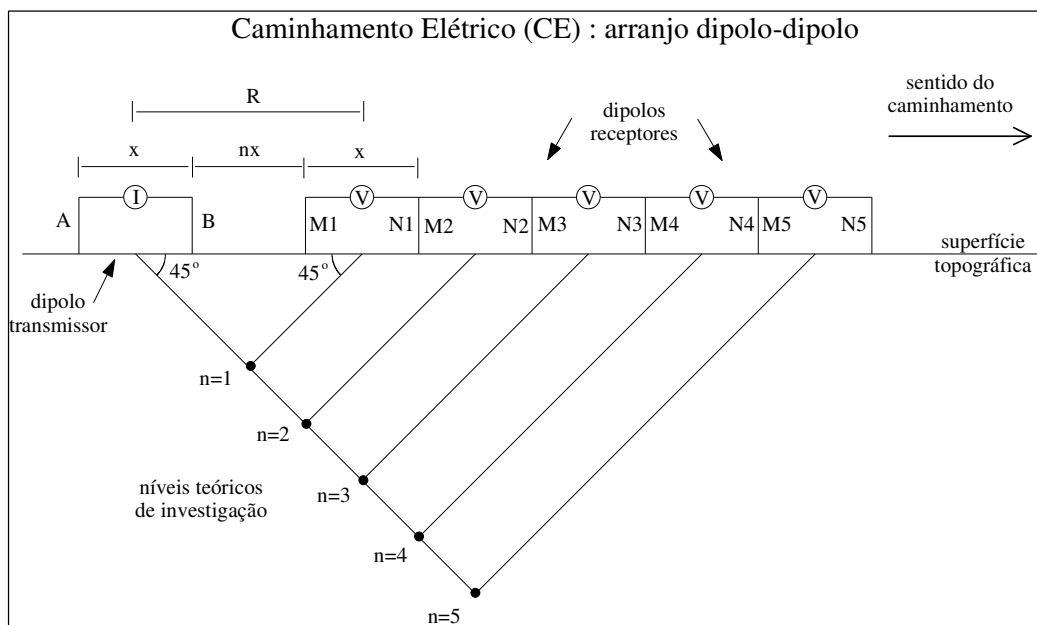


Figura 5: Disposição de campo do arranjo dipolo-dipolo

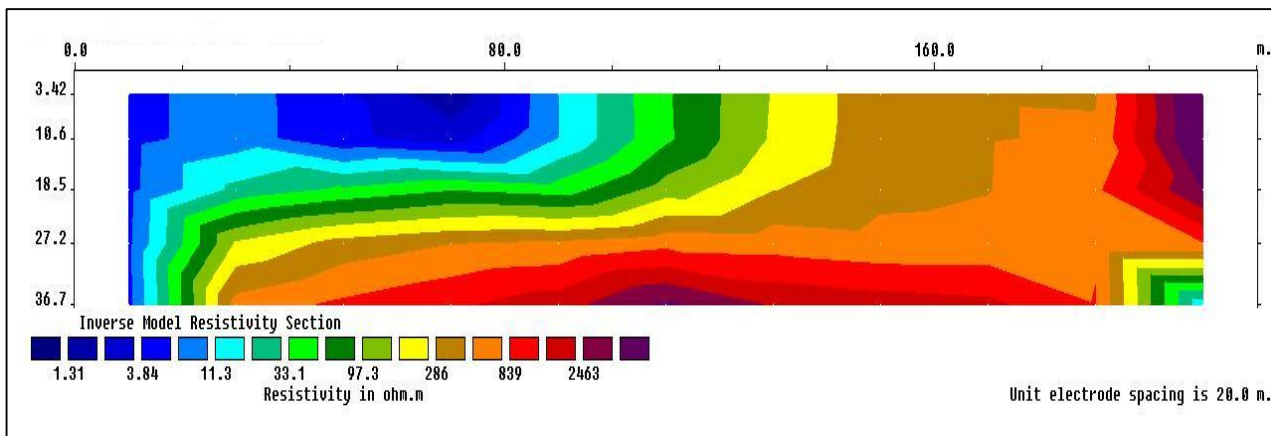


Figura 6. Exemplo de pseudo-seção modelada de um caminhamento elétrico.

3. Processamento dos Dados

O modelamento geoeletrico das camadas, a partir dos dados de resistividade aparente obtidos nas SEVs, foram executados através da utilização de software IPI2WIN e para o processamento dos dados de caminhamento elétrico foi utilizado o *software* Res2Dinv.

Assim, foi possível abordar a definição dos estratos geoeletricos de forma quantitativa, determinando suas resistividades verdadeiras e espessuras.

As seções de caminhamento elétrico, processadas e interpretadas são apresentadas mais adiante neste relatório. Nesta interpretação podem ser observados os valores de resistividade verdadeira, a profundidade e a interpretação litológica dos estratos geoeletricos. Os resultados provenientes das interpretações das curvas das SEV's foram utilizados para uma melhor interpretação dos caminhamentos elétricos, e seus resultados estão inseridos nas interpretações destes caminhamentos.



4. Levantamentos de Campo

Primeiramente foram estipulados os locais onde seriam executados os perfis no terreno, após demarcou-se as linhas a serem executadas, as quais tiveram suas posições demarcadas em campo pela equipe da contratante, a qual também realizou a limpeza das mesmas.

Foram realizados 03 (três) Caminhamentos Elétricos (CE's), chamados de L1, L2 e L3, com comprimentos respectivos de 1.120, 1.280 e 600 metros, perfazendo assim o total previamente estipulado de 3.000 metros lineares. Estes foram realizados com arranjo dipolo-dipolo, de 20m de abertura entre eletrodos ($AB=MN=20m$) e proporcionando 05 níveis de investigação, permitindo a modelagem geofísica até mais de 35 metros de profundidade (Ex. Figura 6).

Além destas foram executadas mais 06 (seis) SEV's em pontos escolhidos no terreno, ver locais em Planta CAD anexa ou na figura-1.

5. Modo de apresentação e interpretação dos levantamentos

Os métodos de investigações geofísicas são conhecidos por ser não serem destrutivos ou invasivos, isto é, permitem saber as condições geológicas da subsuperfície sem atingir diretamente a área estudada.

Neste trabalho, o objetivo primordial dos levantamentos geofísicos foi mapear os contatos e feições geológicas através da variação da resistividade elétrica dos meios percorridos pela corrente elétrica, este parâmetro medido nas investigações geoeletricas é a resistividade elétrica do meio, sendo a unidade de medida expressa em Ohm.m.

Vale salientar que em levantamentos geofísicos por eletrorresistividade é comum encontrar valores de resistividade elétrica desde poucas unidades de Ohm.m, até milhares de Ohm.m, de acordo com as variações litológicas existentes no subsolo.



Os resultados das interpretações dos Caminhamentos Elétricos (CE's) das áreas investigadas forneceram informações que possibilitaram a estimativa das profundidades dos contatos geológicos.

Os valores de resistividade elétrica foram representados através de uma escala Cromática, variando entre 0 à milhares de Ohm.m. Deste modo, as variações das resistividades podem ser acompanhadas ao longo da Seção e a escala cromática adotada pode ser vista em detalhe abaixo de cada seção de caminhamento (em anexo). Abaixo (Figura 7) podemos ver um exemplo esquemático destas escalas.

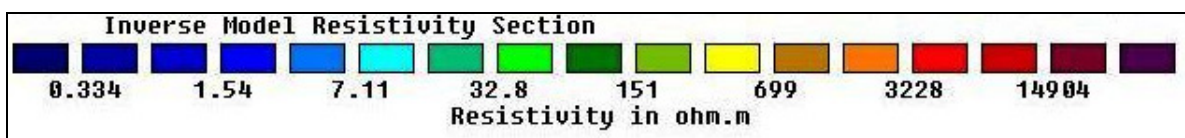


Figura 7: Escala Cromática adotada para representação dos valores de resistividade elétrica.

A fim de correlacionar os estratos geoeletricos representados pela escala cromática com os prováveis tipos de materiais existentes na subsuperfície foram confeccionados as pseudo-seções de caminhamento elétrico modeladas e interpretadas (Figura 8 a 10) que correlacionam os valores de resistividade com a provável litologia em subsolo.

Para isto, utilizou-se das informações colhidas através de sondagens diretas existentes no local (SPT), além das SEV's e dos caminhamentos elétricos, além das observações de campo e do conhecimento anteriormente adquirido em diversos levantamentos geofísicos adotando a mesma técnica e equipamento.

Vale a pena ressaltar que os valores de resistividade e seus respectivos modelos geoeletricos adotados nesse relatório, se enquadram especificamente ao intervalo de valores que foram encontrados ao longo dos trabalhos de campo, não servindo de referência ou base a qualquer outro local.



Abaixo e em anexo digital, são apresentadas as pseudo-seções de caminhamento elétrico já interpretadas.

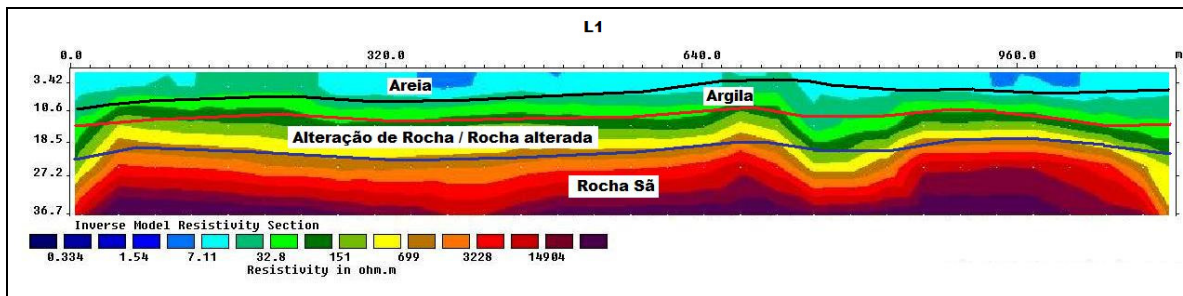


Figura 8: Perfil de caminhamento elétrico L-1

Neste perfil de caminhamento elétrico (L-1) podemos observar uma camada superficial de areia (acima da linha preta), a qual tem espessura aproximada de 1,1 a 10,0 metros. Logo abaixo se observa uma camada de argila (abaixo da linha preta e acima da linha vermelha) que tem seu topo variando entre 1,1 metro a 10,0 metros, e tem sua base variando entre 11,0 e 15,0 metros. Abaixo destas camadas de sedimentos encontra-se um solo de alteração e/ou rocha alterada (abaixo da linha vermelha e acima da linha azul) com topo variando entre 11,0 e 15,0 metros e base variando entre 18,5 e 25,0 metros. E por fim abaixo desta camada encontramos o topo da rocha sã, o qual tem seu topo variando entre 18,5 a 25,0 metros de profundidade (abaixo da linha azul).

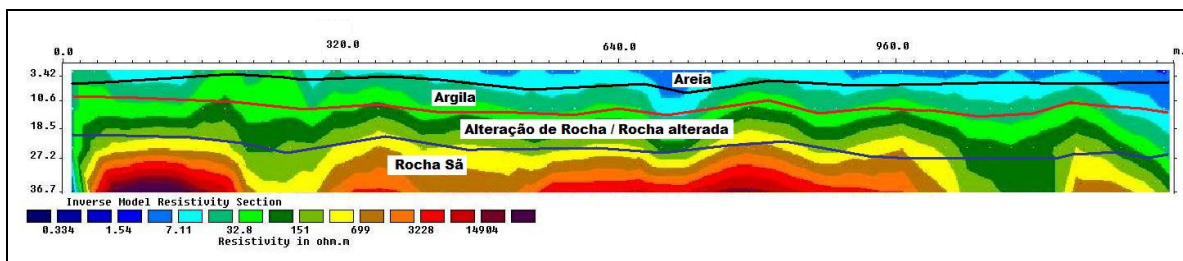


Figura 9: Perfil de caminhamento elétrico L-2

Neste perfil de caminhamento elétrico (L-2) podemos observar uma camada superficial de areia (acima da linha preta), a qual tem espessura aproximada de 1,0 à 6,0 metros. Logo abaixo se observa uma camada de argila (abaixo da linha preta e acima da linha vermelha) que tem seu topo variando entre 1,0 metro e 6,0 metros, e tem sua base variando entre 10,0 e 12,0 metros. Abaixo destas camadas de sedimentos encontra-se um solo de alteração e/ou rocha alterada (abaixo da linha vermelha e acima da linha azul) com topo variando entre 10,0 e 12,0 metros e base variando entre 19,0 e 25,0 metros. E por fim abaixo desta camada encontramos o topo da rocha sã, o qual tem seu topo variando entre 19,0 e 25,0 metros de profundidade (abaixo da linha azul).

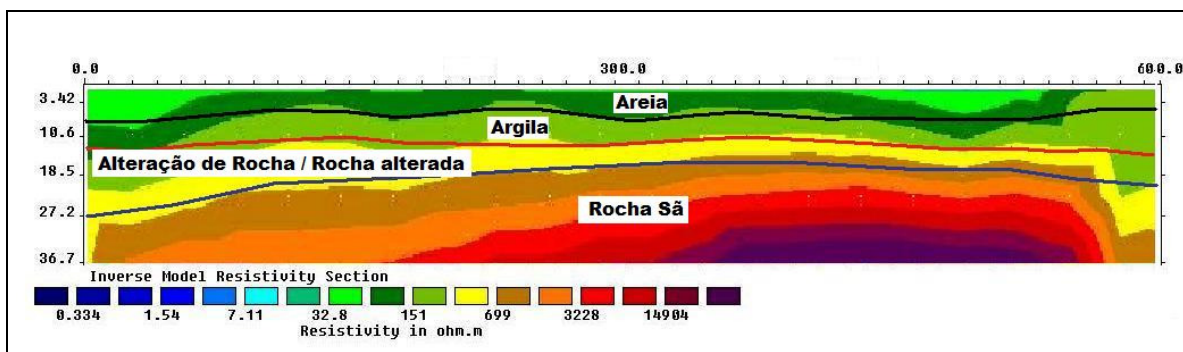


Figura 10: Perfil de caminhamento elétrico L-3

Neste perfil de caminhamento elétrico (L-3) podemos observar uma camada superficial de areia (acima da linha preta), a qual tem espessura aproximada de 3,0 à 6,0 metros. Logo abaixo se observa uma camada de argila (abaixo da linha preta e acima da linha vermelha) que tem seu topo variando entre 3,0 metros e 6,0 metros, e tem sua base variando entre 11,0 e 13,0 metros. Abaixo destas camadas de sedimentos encontra-se um solo de alteração e/ou rocha alterada (abaixo da linha vermelha e



acima da linha azul) com topo variando entre 11,0 e 13,0 metros e base variando entre 18,0 e 27,0 metros. E por fim abaixo desta camada encontramos o topo da rocha sã, o qual tem seu topo variando entre 18,0 e 27,0 metros de profundidade (abaixo da linha azul).

6. Conclusões

O levantamento geofísico realizado e aqui apresentado neste relatório apontou a existência de diferentes feições geológicas presentes nas áreas estudadas. Como padrão tem-se a existência de uma camada de areia superficial, um solo argiloso logo abaixo, em seqüência tem-se uma camada de solo de alteração e/ou alteração de rocha e por fim o topo rochoso.

Os resultados da avaliação das seções de caminamento elétrico e das Sondagens Elétricas Verticais em diferentes locais indicaram uma relativa homogeneidade, tanto lateral, como em profundidade nos materiais de subsuperfície.

Neste contexto, para planejamento dos trabalhos a serem realizados no local, pode se definir uma escala de dureza dos materiais identificados neste trabalho conforme a seguinte seqüência:

- 1- Camada superficial (areia+argila), nesta camada tem-se um material bastante mole e friável, de fácil remoção com máquinas leves.
- 2- Abaixo desta tem-se uma camada de solo de alteração/rocha alterada a qual normalmente tem uma dureza considerável, necessitando assim de máquinas de grande porte para sua remoção.
- 3- E por fim tem-se o topo rochoso, o qual se apresenta com uma dureza muito elevada, necessitando de material explosivo para sua remoção.

A partir da avaliação preliminar aqui reportada e dos resultados obtidos neste trabalho, recomenda-se a realização de uma investigação confirmatória no site, consistindo na execução de sondagens diretas para a comprovação das profundidades das referidas camadas em subsuperfície.



Além disso, recomenda-se que as informações obtidas neste levantamento geofísico sejam observadas em sua totalidade, conforme as discussões inseridas ao longo do corpo deste relatório, com intuito de se subsidiar os futuros trabalhos de remoção de solo a serem executados na área.

Cotia-SP, 27/10/2010

7. Referências Bibliográficas

ORELLANA, E. (1982) **Prospeccion geoelectrica en corriente continua**. Madrid, Editora Paraninfo. 578p.

RES2DINV version 3.54 (2004) Manual do programa de inversão (2D) de caminhamento elétrico, 133p.

Equipe Técnica:

Wagner França Aquino – MSc Geofísico

Odirlei Neumann - Geofísico

Marcio Corrêa da Silva - Geólogo

Odair Marcos Neumann – Técnico de Campo em Geofísica

Leandro Batista de Lima - Técnico de Campo em Geofísica

Alex Santos Silva - Técnico de Campo em Geofísica