

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**TÉCNICAS DE ELETORRRESISTIVIDADE PARA DELIMITAÇÃO DE PLUMA DE
CONTAMINANTES ORIUNDA DA LAGOA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO CAMPUS
DA USP EM PIRASSUNUNGA-SP**

Felipe Fernando Ferreira Duarte

Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

Coorientador: Fernando A. Saraiva

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF -2016/17)

São Paulo

2016

TF
D812
FFF.t

Universidade de São Paulo

Instituto de Geociências

TÉCNICAS DE ELETRORRESISTIVIDADE PARA DELIMITAÇÃO DE PLUMA DE
CONTAMINANTES ORIUNDA DA LAGOA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO CAMPUS
DA USP EM PIRASSUNUNGA-SP


Aluno: Felipe Fernando Ferreira Duarte



De acordo.


Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas


Coorientador: Dr. Fernando A. Saraiva

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2016/17)

SÃO PAULO

2016

IGc-Instituto de Geociências



Técnicas de eletrorresistividade para delimitação de pluma
de contaminantes oriunda da lagoa de d
M27134

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais Elenice e Antonio e irmã Jéssica por estarem sempre presentes em minha vida que sempre acreditaram no meu potencial, mesmo muitas vezes a jornada sendo difícil.

Sou grato ao meu orientador e mestre Gallas que sempre me ensinou, aconselhou e instruiu durante todo esse trabalho, tendo uma postura fraterna em todos os momentos, assim como Fernando e Paulinho que sempre me instruíram e auxiliaram durante todo o trabalho de campo.

Agradeço a prefeitura de Pirassununga pela total atenção em prestar ótimos serviços de acomodação, alimentação e logística no campus da universidade para que pudéssemos fazer os estudos do trabalho com o melhor aproveitamento.

Agradeço aos meus amigos Rafael, Dresch e Lucas que me acolheram na República do Chosen, proporcionando inúmeras alegrias juntos e um espírito de companheirismo sem igual, além de todos meus amigos que sempre me apoiaram: Victor, Willy, Lucas, Fábio, Tiago, Felipe, Dante, Yumi, Marianna etc. que espero manter laços de amizade para sempre.

Obrigado a todos por sempre estarem ao meu lado. Levarei vocês em meu coração.

Obrigado, Deus.

Sumário

1. RESUMO	5
2. ABSTRACT.....	5
3. INTRODUÇÃO E OBJETIVO.....	6
4. LOCALIZAÇÃO.....	6
5. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
5.1. Geologia Regional.....	8
5.2. Trabalhos Anteriores	9
6. MATERIAIS E MÉTODOS	10
6.1. Materiais.....	10
6.2. Métodos	10
6.2.1. Sondagem Elétrica Vertical (SEV).....	11
6.2.2. Caminhamento Elétrico (CE).....	12
7. ATIVIDADES EM CAMPO	12
7.1. Tratamento dos dados.....	14
7.2. Resultados obtidos e Interpretação	14
7.2.1. Sondagens Elétricas Verticais.....	14
7.2.2. Caminhamento Elétrico.....	18
8. CONCLUSÃO	22
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

1. RESUMO

Empregando o método de Eletrorresistividade, com uso de duas das suas principais técnicas investigativas, Caminhamento Elétrico (CE) e Sondagem Elétrica Vertical (SEV), podemos comprovar que essa ferramenta nos estudos ambientais é de importância na investigação de contaminações em subsuperfície.

O estudo realizado tem como objetivo correlacionar uma pluma de contaminação no subsolo a jusante de uma lagoa de resíduos, situada no campus da Universidade de São Paulo em Pirassununga-SP, onde são lançados efluentes líquidos decorrentes das atividades da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Foram executadas, a jusante da lagoa, uma linha de CE com equipamento ABEM, três linhas de CE com o equipamento SYSCAL, ambas com arranjo dipolo-dipolo e três SEVs, com arranjo Schlumberger. Posteriormente, com o tratamento dos dados coletados em campo foi possível elaborar seções modeladas e mapas em planta de resistividade além de curvas ajustadas com modelos de camadas geoelétricas.

Os resultados obtidos sugerem que, de fato, os fluidos que infiltraram e que ainda estão presentes no subsolo são oriundos da lagoa de resíduos, pois apresentam um conteúdo iônico considerável e devido a sua influência, aparecem zonas anômalas com baixos valores de resistividade quando comparados com as imediações fora da influência dos fluidos oriundos da lagoa.

2. ABSTRACT

Employing the Electrical Resistivity method, using two of the main investigative techniques, Electric Traverse (EC) and Vertical Electrical Sounding (VES), we can prove that this tool in environmental studies are of importance in the investigation of contamination in the subsurface.

The study aims to correlate a contamination plume underground downstream of a waste lagoon, located on the campus of University of São Paulo in Pirassununga-SP, which are released effluents arising from the activities of the Faculty of Animal Science and Food Engineering. Were executed, pond downstream, an EC line with ABEM equipment three EC lines with SYSCAL equipment, both in dipole-dipole and three VES, with Schlumberger. Later, with the processing of data collected in the field it was possible to prepare shaped sections, maps resistivity plant and adjusted curve with models geoelectric layers.

The results suggest that, in fact, the fluids that have infiltrated and are still present in the basement are from waste lagoon as they contain a considerable ionic content and because of its influence, appear anomalous zones with low resistivity values compared to the surrounding area outside the influence of the fluid coming from the pond.

3. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Atualmente, mais do que nunca, a preservação do meio ambiente demanda grande preocupação, devido ao uso abusivo e muitas vezes não preventivo de ação antrópica, resultando em impactos físicos, químicos, biológicos, geológicos e sociais de uma região, sendo pela presença e lançamento de forma direta ou indireta de substâncias com efeitos deletérios à saúde humana ou que modifiquem o meio ambiente.

Nesse cenário, podemos destacar os estudos feitos desde uma investigação primária, em áreas com potencial de contaminação, até áreas contaminadas em subsuperfície que necessitam de remediação.

Os estudos destacados nesse projeto foram realizados com métodos geofísicos durante as atividades de campo referente à disciplina optativa GSA0519- Geofísica Aplicada ao Estudo da Poluição Subterrânea - sendo utilizado em destaque o método de eletrorresistividade por meio das técnicas de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e do Caminhamento Elétrico (CE).

Podemos mencionar que o objetivo principal desse projeto foi a identificação e delimitação dos possíveis contaminantes presentes no subsolo a jusante da lagoa, gerados por resíduos dos abatedouros, laboratórios e laticínios. Essa delimitação foi possível devido ao contraste entre as resistividades medidas coletadas em campo entre o setor contaminado e o não contaminado.

4. LOCALIZAÇÃO

A atividade de campo e a coleta de dados foram executados no município de Pirassununga-SP na área do campus da Universidade de São Paulo, localizada no Centro-Leste do estado de São Paulo a aproximadamente 210 km da capital, sendo a principal via de acesso a Rodovia Anhanguera (SP-330). De acordo com a divisão geomorfológica do estado de São Paulo proposta por ALMEIDA (1964), a folha de Pirassununga está contida na Depressão Periférica. Grande parte do município apresenta topografia suave levemente ondulada (Massoli 1983). Sendo assim, escolhemos realizar os estudos na área

a jusante das lagoas, enfocando a lagoa maior (Figura 4.1), onde o terreno apresentava melhores condições de acesso, sendo um alvo adequado para a realização dos ensaios. Conforme inspeção visual do local, topograficamente a área dos levantamentos geofísicos, seguramente está a jusante desta lagoa, garantindo a interceptação da área impactada pelos levantamentos.

Esses resíduos líquidos, despejados na lagoa (Figura 4.2.), são originados das atividades da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA –USP) por experimentos com animais e lançamento de resíduos/compostos químicos, podendo apresentar risco à saúde humana e ao meio ambiente.

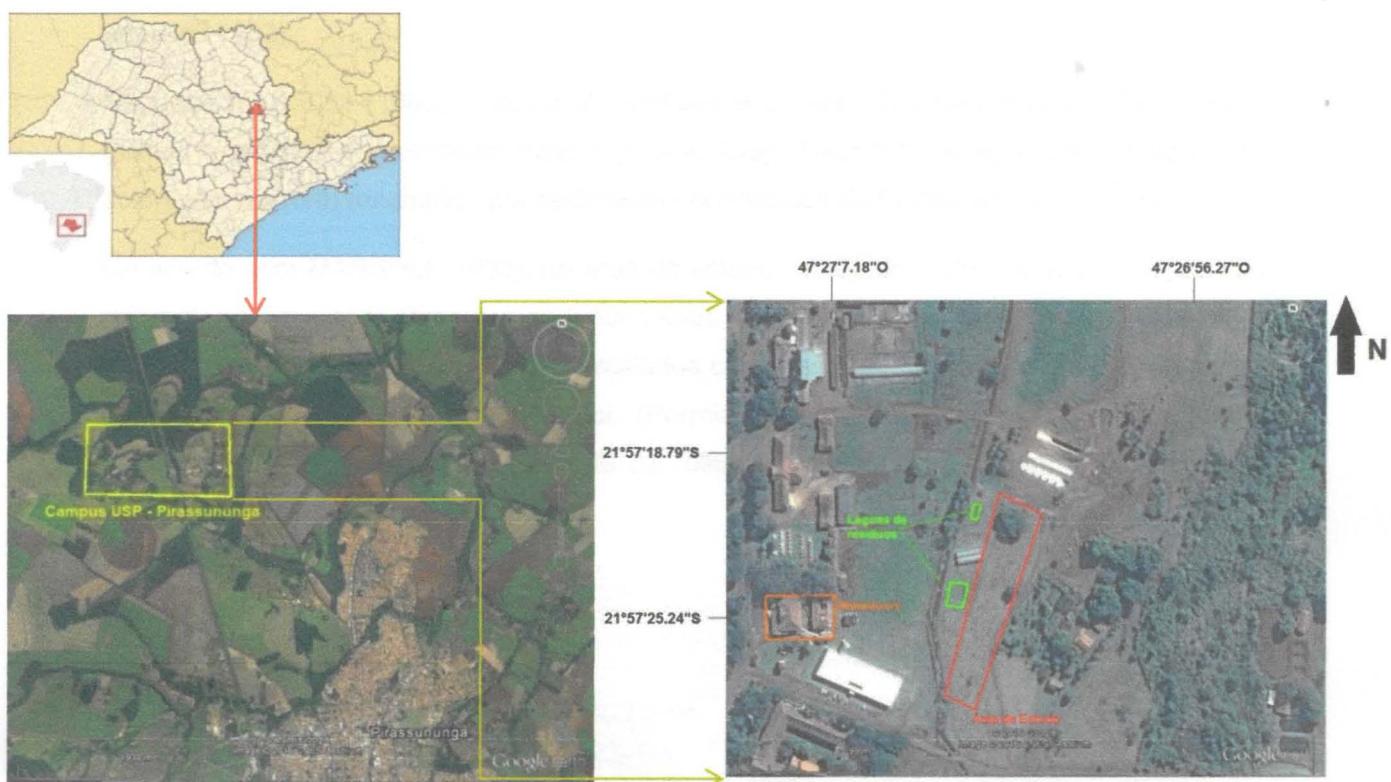


Figura 4.1 – Localização da área de estudo. Adaptado de Google Earth e Wikipedia.



Figura 4.2 – Lagoa vista de SW para NE em descampado no sentido Leste, estando a jusante da lagoa.

5. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. Geologia Regional

Toda a área estudada está situada a leste da Bacia do Paraná, sendo definida por MILANI e RAMOS (1998) como bacia intracratônica tendo aporte sedimentar do Ordoviciano ao Neocretáceo. Além disso, de acordo com a divisão geomorfológica do estado de São Paulo proposta por ALMEIDA (1964), a folha de Pirassununga está contida na Depressão Periférica. Grande parte do município apresenta topografia suave levemente ondulada (Massoli 1983).

Segundo MASSOLI (1983), o substrato rochoso é constituído pela Formação Corumbataí (siltitos e argilitos de coloração rosada) e pelo Grupo Tatuí (siltitos argilosos e argilitos de coloração marrom) recobertos por sedimentos cenozóicos da Formação Piraçununga.

De acordo com MASSOLI (1983), na área de estudo, mais de 70% dos afloramentos são referentes à Formação Piraçununga (sedimentos arenosos e areno-argilosos) e à Formação Serra Geral (intrusões de diabásio intercalados com arenitos). Na porção norte-nordeste da folha aflora a Formação Corumbataí (Permiano) estando recoberta pela Formação Piraçununga. A região norte e sudeste da folha estão aflorando a Formação Pirambóia (Triássico) e o Grupo Tatuí (Permiano).



Figura 5.1.1: Mapa Geológico da Folha de Piraçununga, extraído e editado de MASSOLI (1983).

5.2. Trabalhos Anteriores

Para a realização deste trabalho foi consultada uma fundamentação bibliográfica que incorpora aspectos teóricos e práticos. A quantidade de publicações que abrange o assunto é notável e continua a crescer, por isso a consulta de novas obras foi recorrente para a confecção deste trabalho.

Orellana (1972) e Telford et al. (1990). Duas obras teóricas, sendo a primeira de língua espanhola e a segunda de língua inglesa onde a geofísica, mais precisamente métodos geoelétricos são abordados de maneira vasta e minuciosa. Teorias e exemplos práticos são destrinchados de maneira didática a fim de explanar de forma precisa os métodos.

Gallas (2000), que aborda de forma ampla os métodos geoelétricos e suas principais aplicações nas diversas áreas da geologia, apresentando resultados em casos reais com comprovada eficácia

Gallas et al (2001) trata de estudo geofísico aplicado em área urbana para a detecção de problema geotécnico no Parque do Ibirapuera em São Paulo, onde diversos métodos geofísicos foram aplicados incluindo o de eletrorresistividade. Nesta obra é utilizada e explicada a técnica de caminhamento elétrico assim com os arranjos dipolo-dipolo e gradiente.

Gallas et al (2005) expõem uma vasta e detalhada explicação de métodos geofísicos, tais como SP e eletrorresistividade que foram utilizados no estudo de áreas de recalque no perímetro urbano de Taubaté, SP. Nesta pesquisa as áreas de recalque foram configuradas como aquelas que apareciam com baixa resistividade devido à presença de água que fora absorvida por argilas colapsíveis. Levantamentos utilizando técnicas de caminhamento elétrico (CE) e arranjo dipolo-dipolo foram utilizados para a confecção de diversas imagens e perfis.

Gallas et al. (2005) em trabalho realizado no município de Londrina, PR, onde ensaios de eletrorresistividade mostraram uma pluma de contaminação causada por um aterro sanitário. Nesta pesquisa os resultados mapearam com clareza a área contaminada a jusante do aterro sanitário, identificada pelas baixas resistividades.

Gandolfo (2007) em sua tese de doutorado visou realizar uma revisão e um aperfeiçoamento de métodos de aquisição e processamento de dados geofísicos. Esta obra contempla vários métodos geofísicos assim como as técnicas utilizadas para um melhor processamento de dados.

Becegato *et al.* (2009) tratam da poluição de águas subsuperficiais no município de Saudade do Iguaçu no Paraná, onde há contaminação devida à presença de um lixão desativado. A umidade natural do lixo, a água de constituição dos vários materiais e a dissolução natural de matéria orgânica são fatores que contribuem para o agravamento da situação. Neste trabalho o uso do método de geofísico de eletrorresistividade e o uso da técnica de caminhamento elétrico com arranjo dipolo-dipolo ajudam de maneira prática e eficiente a ilustrar o que foi praticado também neste trabalho.

Camargo (2013) em seu trabalho de formatura trata sobre a questão da contaminação do solo devido ao descarte inapropriado de carcaças animais no campus da USP em Pirassununga. Este trabalho estuda plumas de contaminações em áreas próximas das que foram agora estudadas e apresentou resultados que poderão ser comparados ao trabalho que aqui foi desenvolvido.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1. Materiais

Com a aplicação do método de eletrorresistividade foram necessários para as atividades de campo o uso dos seguintes equipamentos: eletrodos, multímetro, resistivímetro, fios, bússola, GPS, trena e outras ferramentas básicas. Nas atividades de escritório, os dados coletados em campo foram tratados em softwares gratuitos disponibilizados pelo Instituto de Geociências – USP.

6.2. Métodos

Os levantamentos dos dados de campo foram adquiridos com base no método de eletrorresistividade, o qual se utiliza de uma corrente elétrica (I) induzida artificialmente através de dois eletrodos (A e B) que estão em contato galvânico com o solo para que se possa medir a diferença de potencial (ΔV), estabelecida por essa corrente, entre outros dois eletrodos (M e N) posicionados nas proximidades, podendo determinar a resistividade aparente (ρ_a), calculada pela seguinte relação (Gallas *et. al.* 2000):

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

sendo K um fator geométrico, ou seja, ele depende das dimensões do arranjo entre os eletrodos AMNB, sendo expressado como:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}}$$

Vale ressaltar que a escolha e o dimensionamento dos arranjos serão de acordo com os objetivos pretendidos como, por exemplo, no estudo de heterogeneidades das resistividades, apresentando caráter vertical no caso de meios estratificados, ou caráter lateral no caso de diques ou falhas. Para esses dois casos podemos aplicar duas técnicas da eletrorresistividade. No caso de heterogeneidades verticais usamos a Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e para heterogeneidades laterais utilizamos a técnica de Caminhamento Elétrico (CE). Podemos entendê-las melhor a seguir.

6.2.1. Sondagem Elétrica Vertical (SEV)

Esta técnica geoelétrica consiste na execução de uma série de medidas de resistividade aparente efetuadas com um arranjo eletródico em que se promove uma separação crescente entre eletrodos de emissão e de recepção. É viável para o estudo de meios estratificados podendo-se estabelecer as variações verticais de resistividade e correlacioná-las, por exemplo, com a profundidade do nível freático e/ou diferentes estratos geoelétricos. Com a determinação de um ponto (O) centrado no meio, à medida que se incrementa a distância entre os eletrodos de corrente A e B, o volume total da subsuperfície incluída na medida também aumenta, o que permite a investigação de profundidades maiores, com a condição de que os eletrodos de corrente A e B estejam alinhados com os de potencial (M e N) no mesmo o perfil (Gallas, 2000). Desta forma, os resultados obtidos com as medidas estarão estreitamente ligados às variações da resistividade com a profundidade. Para a execução desta técnica pode-se utilizar o arranjo Schlumberger esquematizado na figura 6.2.1.1.

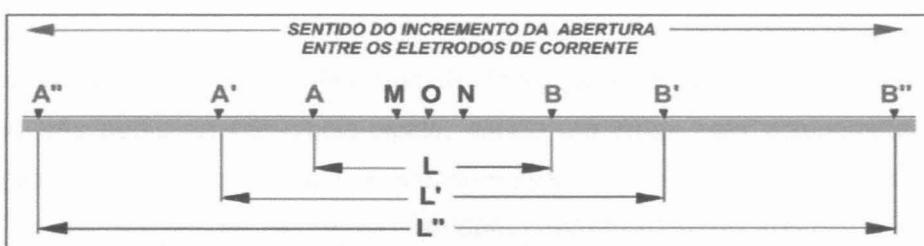


Figura 6.2.1.1: Arranjo Schlumberger (original de Gallas, 2000).

6.2.2. Caminhamento Elétrico (CE)

O Caminhamento Elétrico visa determinar as variações laterais das resistividades, sendo empregado para a identificação de corpos mineralizados, diques, falhas, fraturamentos. O arranjo (Figura 6.2.2.1) mais utilizado nessa técnica é o dipolo-dipolo (D-D), onde a distância entre os eletrodos de corrente (A e B) é a mesma distância entre os eletrodos de potencial (M e N). Com a condição de que os eletrodos estejam em contato galvânico com o solo, fazemos a leitura dos pares M e N igualmente espaçados com os eletrodos A e B posicionados no inicio da linha do perfil, sendo que os pontos médios de distância são proporcionais ao espaçamento (Becegato et al., 2009). Depois os eletrodos A e B são deslocados para a posição seguinte na mesma linha, então se faz novamente todo o procedimento.

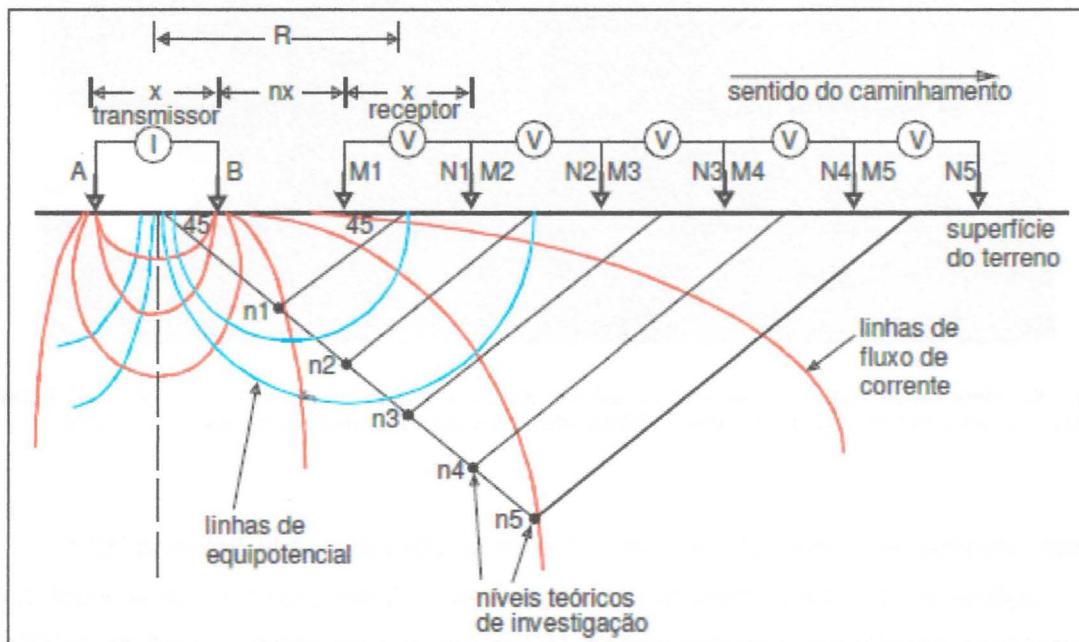


Figura 6.2.2.1: Esquema de Caminhamento Elétrico com arranjo Dipolo-Dipolo (Bocegato et al., 2009).

7. ATIVIDADES EM CAMPO

Os ensaios pelo método eletrorresistividade, exibidos na Figura 7.1, consistiram na técnica de três perfis de CE dipolo-dipolo, sendo um deles pelo equipamento ABEM e também pelo SYSCAL e os outros dois somente pelo SYSCAL ao longo das linhas 1, 2 e 3 paralelas e equidistantes em 15 metros. Também foram executadas três SEVs (SEVs 1, 2 e 3) nas estacas 90m, 140m e 40m respectivamente, na Linha 1 com arranjo Schlumberger.

As leituras dos valores de $\Delta V/I$ foram feitas duas vezes para cada ponto de investigação, a fim de evitar possíveis erros de medição.



Figura 7.1 – Arranjo dos ensaios de campo a jusante das lagoas (em verde). Linhas em amarelo: CE com o aparelho SYSCAL; e linha em vermelho: CE com o aparelho ABEM; e estações das SEVs marcadas em azul.

O CE pelo ABEM foi realizado na linha 1 e tem de 170 metros de extensão com 6 níveis teóricos de profundidade de investigação. Foi utilizado o arranjo dipolo-dipolo com $AB=MN=10\text{m}$. No CE realizados com o SYSCAL as três seções apresentavam comprimento de 200 metros, estando espaçadas entre si de 15 metros, contendo 40 eletrodos posicionados a cada 5 metros.

As SEVs partiram de uma abertura mínima de $AB/2=1,5\text{m}$, chegando a um comprimento $AB/2$ total de 100m para a SEV 1 e para as SEVs 2 e 3 chegando a 130m. As aberturas MN foram de 0,5m, tendo passado para $MN=2\text{m}$ quando o $AB/2$ atingiu 30m.

7.1. Tratamento dos dados

Nas sondagens elétricas verticais são fornecidos valores de resistividade para cada abertura correspondente de eletrodos AB. Esses valores são plotados em um gráfico bilogarítmico de abertura AB/2 nas abcissas versus resistividade aparente (p_2) nas ordenadas. A interligação desses pontos gera uma curva de resistividade aparente que, de acordo com Gallas (2000), este sistema de plotagem é adotado pelo fato de realçar com clareza a relação entre as resistividades e suas variações nos principais estratos geoelétricos.

O caminhamento elétrico fornece uma pseudo-seção de resistividade aparente, ao longo do perfil do levantamento, com o número de níveis de investigação igual ao número de pares de eletrodos de potencial.

Os valores das SEVs podem ser inseridos em softwares com algoritmos de inversão matemática, sendo utilizado o aplicativo *IPI2Win v.2.1*, o qual elabora uma curva ajustada de resistividade unidimensional, na qual o intérprete pode fazer uma ajuste manual da disposição de estratos geoelétricos de maneira que estes se correlacionem com as informações geológicas de maneira coerente.

Para a elaboração de seções modeladas de resistividade utiliza-se de softwares de inversão em 2D. Neste projeto foi utilizado o programa *RES2DINV v3.54* da *GEOTOMO SOFTWARE (2004)*, que cria um modelo bidimensional de resistividade sem que sejam necessárias informações geológicas prévias. Gandolfo (2007) o descreve como um software de inversão por suavização (*smooth inversion*) para dados de caminhamento elétrico adquiridos com eletrodos arranjados de forma colinear e com espaçamento constante entre eletrodos adjacentes.

Depois de invertidos no *RES2DINV*, os valores de resistividades podem ser exportados para o *SURFER 8*, que é um programa próprio para a elaboração de mapas em planta e em seções, onde os pontos de plotagem são interpolados e, a partir disso, são geradas curvas de isovalores para as resistividades.

7.2. Resultados obtidos e Interpretação

7.2.1. Sondagens Elétricas Verticais

As Figuras 7.2.1.1; 7.2.1.2 e 7.2.1.3 são os gráficos bilogarítmicos da SEVs 1, 2 e 3, respectivamente, resultantes do processamento pelo software IPI2Win. Em preto vê-se a

curva ligando as resistividades plotadas (dados medidos em campo), em azul a espessura e resistividade aparente de cada estrato geoelétrico, e em vermelho a curva de melhor ajuste aos dados medidos em campo. No quadro adjacente, ρ é a resistividade aparente em ohms X metro ($\Omega \cdot m$), h é a espessura do estrato geoelétrico em metros e d a profundidade da base da camada, também em metros.

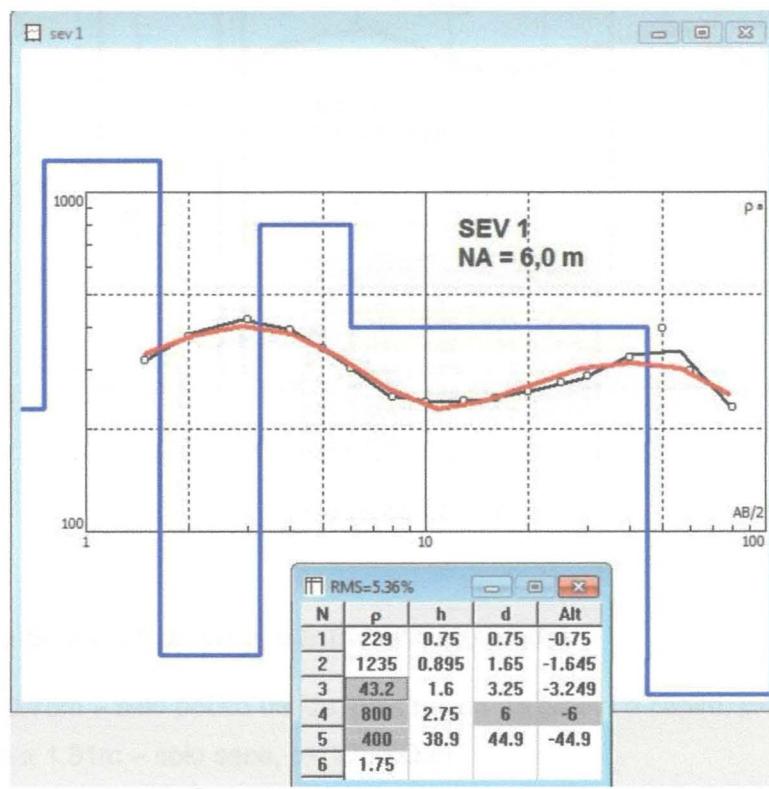


Figura 7.2.1.1 – SEV 1.

Na SEV 1 temos um modelo ajustados com 6 estratos geoelétricos, tendo sido interpretados como:

- 0m a 0,75m – solo orgânico, com raízes de grama e capim, $\rho = 229 \Omega \cdot m$.
- 0,75m a 1,65m – solo seco, $\rho = 1235 \Omega \cdot m$.
- 1,65m a 3,25m – solo com maior condutividade, provavelmente por influência da infiltração de fluido condutivo superficialmente, $\rho = 43,2 \Omega \cdot m$.
- 3,25m a 6,00m – franja capilar, zona parcialmente saturada, $\rho = 800 \Omega \cdot m$.
- 6,00m a 44,90m – zona saturada, possivelmente arenoso/argiloso, além da possível presença do contaminante pela queda da resistividade, $\rho = 400 \Omega \cdot m$.
- A partir de 44,90m – Zona saturada, baixa resistividade, de provável caráter argiloso, $\rho = 1,75 \Omega \cdot m$

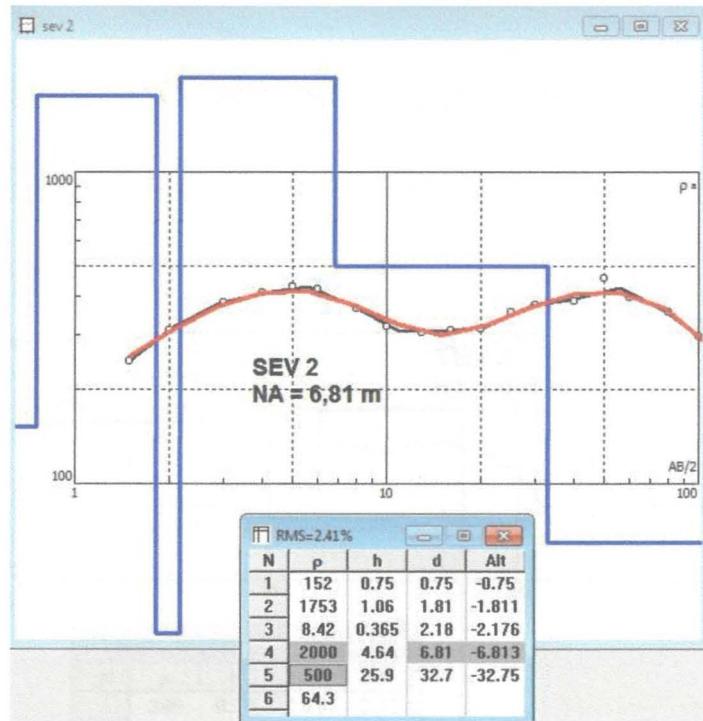


Figura 7.2.1.2 – SEV 2.

Para a SEV 2, há também, 6 estratos interpretados:

- 0m a 0,75m – solo pouco úmido, com raízes de grama e capim, $\rho = 152 \Omega.m$
- 0,75m a 1,81m – solo seco, $\rho = 1753 \Omega.m$
- 1,81m a 2,18m – solo com material muito condutivo, $\rho = 8,42 \Omega.m$
- 2,18m a 6,81m – zona da franja capilar até zona saturada, $\rho = 2000 \Omega.m$
- 6,81m a 32,7m – zona saturada com presença de material condutivo, $\rho = 500 \Omega.m$.
- A partir de 32,7m – Zona geologicamente mais condutiva, $\rho = 64,3 \Omega.m$

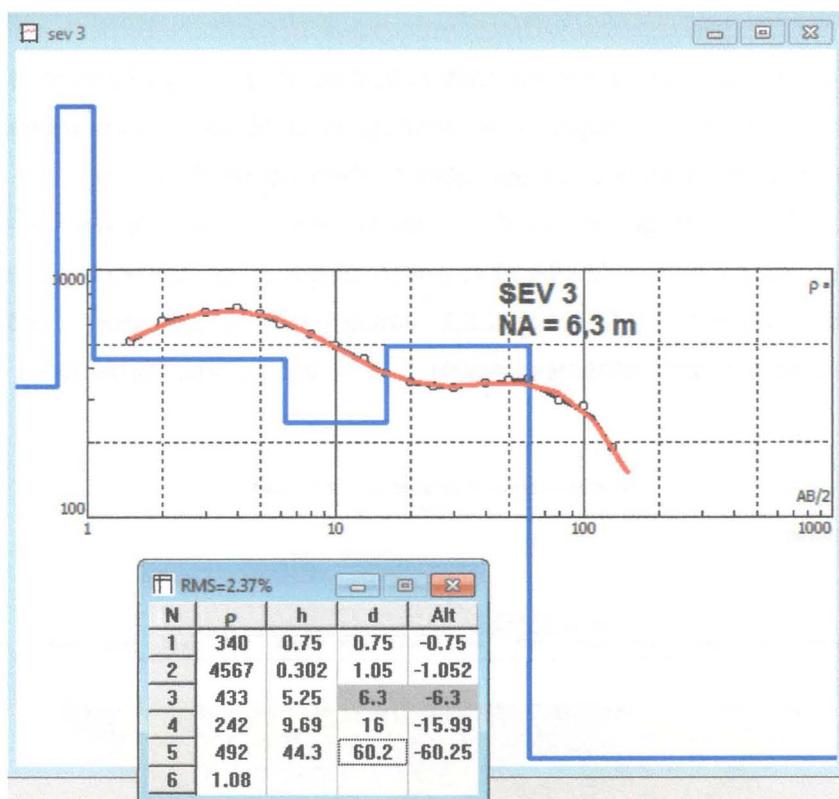


Figura 7.2.1.3 – SEV 3.

A SEV 3, assim como as demais, foi interpretada com 6 camadas geoelétricas:

- 0m a 0,75m – solo superficial com matéria orgânica, $\rho = 340 \Omega.m$
- 0,75m a 1,05m – solo seco, $\rho = 4567 \Omega.m$
- 1,05m a 6,3m – zona da franja capilar até a zona saturada, $\rho = 433 \Omega.m$
- 6,3m a 16m – zona saturada, $\rho = 242 \Omega.m$.
- 16m a 60,2m – zona saturada $\rho = 492 \Omega.m$.
- A partir de 60,2m – zona geologicamente condutiva, $\rho = 1,08 \Omega.m$

Nas três sondagens o nível d'água foi interpretado como estando a uma profundidade de aproximadamente 6,5 m, onde se vê nos gráficos uma inflexão sutil na curva ajustada, que indica a influência de uma camada de resistividade mais baixa. Esta conclusão leva em conta o bom senso na análise das SEVs, pois a zona saturada certamente não estaria relacionada às outras inflexões visíveis, que são muito mais rasas (entre 1m e 3m).

7.2.2. Caminhamento Elétrico

Com a condição de que os eletrodos estejam em contato galvânico com o solo, fazemos a leitura dos pares M e N igualmente espaçados com os eletrodos A e B posicionados no inicio da linha do perfil, sendo que os pontos médios de distância são proporcionais ao espaçamento (Becegato et al., 2009). A Figura 7.2.2.1 apresenta uma pseudo-seção de resistividade aparente obtida pelo ABEM e uma seção de resistividade modelada obtida pelo Syscal. As Figuras 7.2.2.2 e 7.2.2.3 mostram as seções de resistividade modeladas das Linhas 2 e 3 respectivamente com dados coletados pelo SYSCAL.

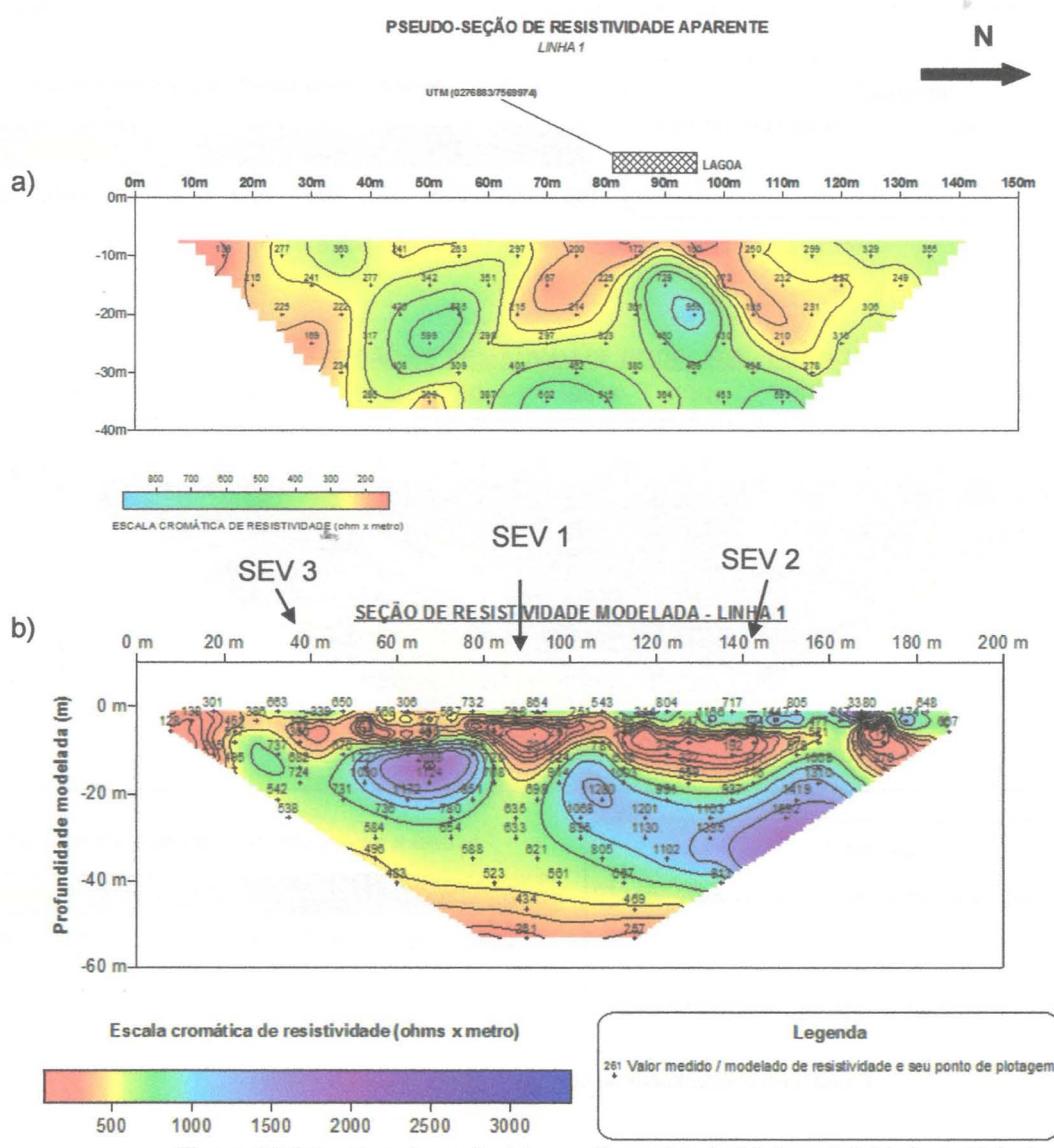


Figura 7.2.2.1 – Pseudo-seção (a) e seção modelada (b) de resistividade da Linha 1.

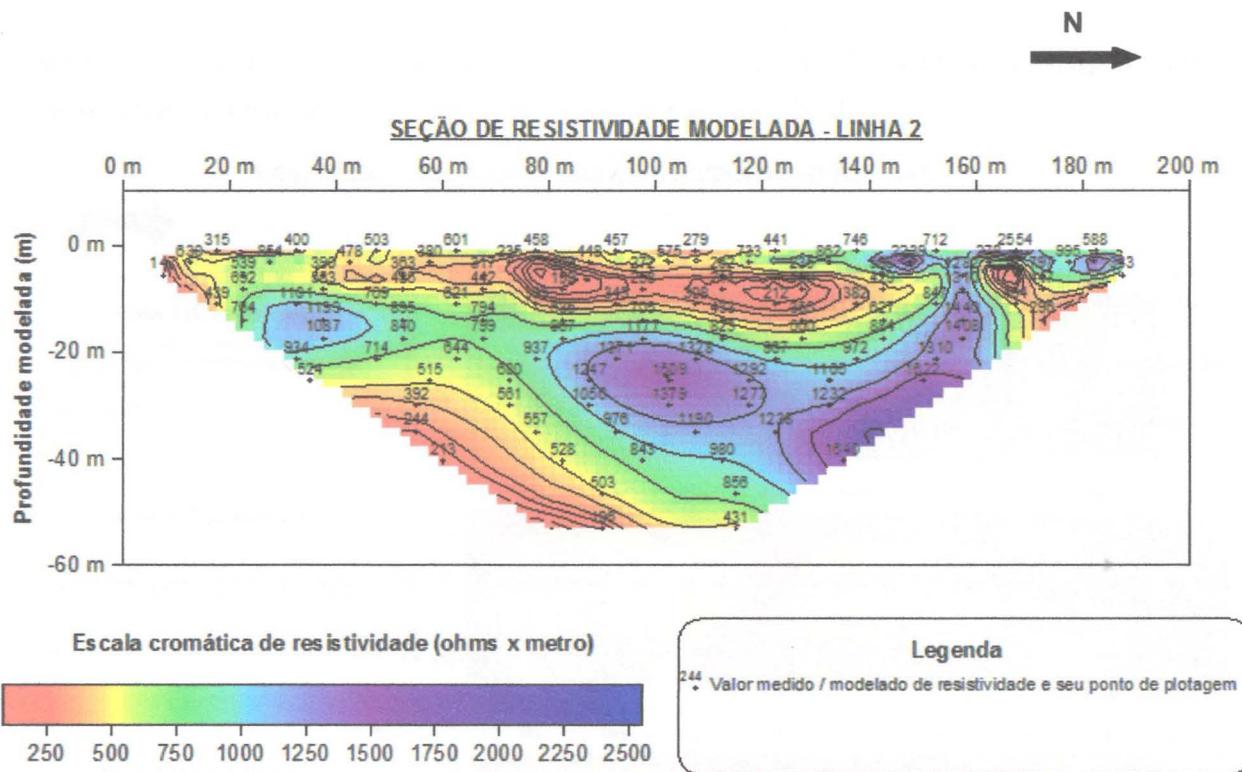


Figura 7.2.2.2 - Seção modelada de resistividade da Linha 2.

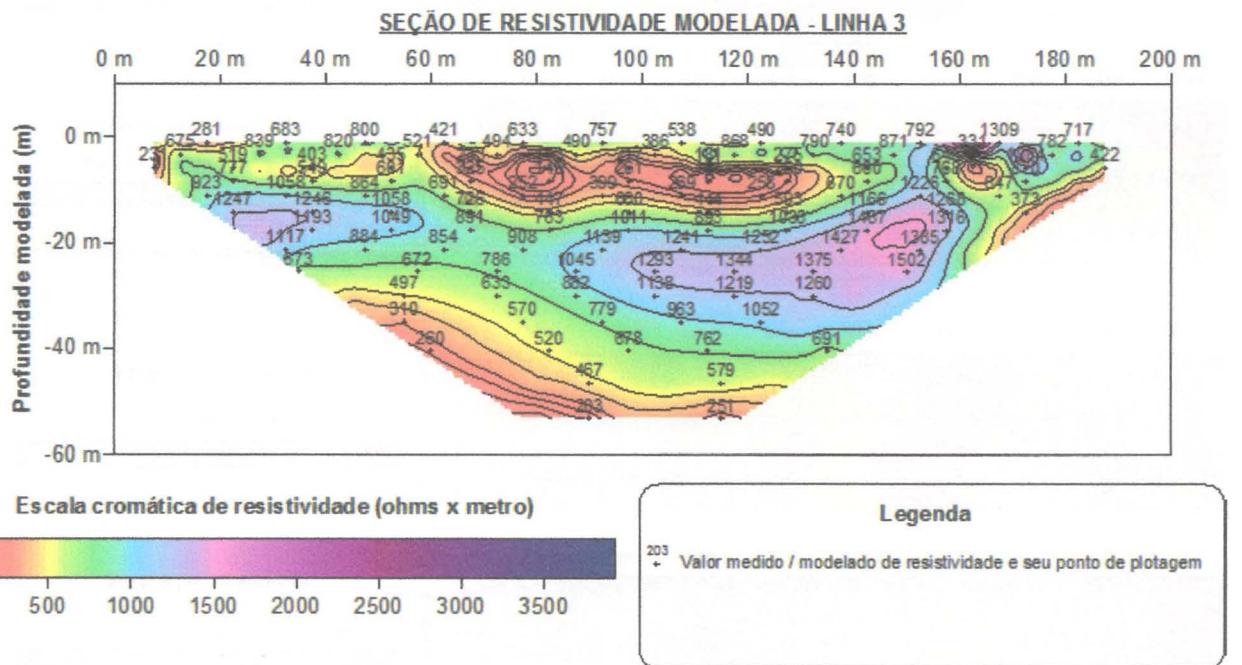


Figura 7.2.2.3 - Seção modelada de resistividade da Linha 3.

Com base nos valores de resistividade das seções modeladas foi possível também interpolar e apresentar os dados em planta, permitindo estimar os limites da pluma em 03

dimensões (Gandolfo e Gallas, 2005). Para tanto, foram elaborados mapas das resistividades modeladas para 06 (seis) níveis de investigação (Figura 7.2.2.4).

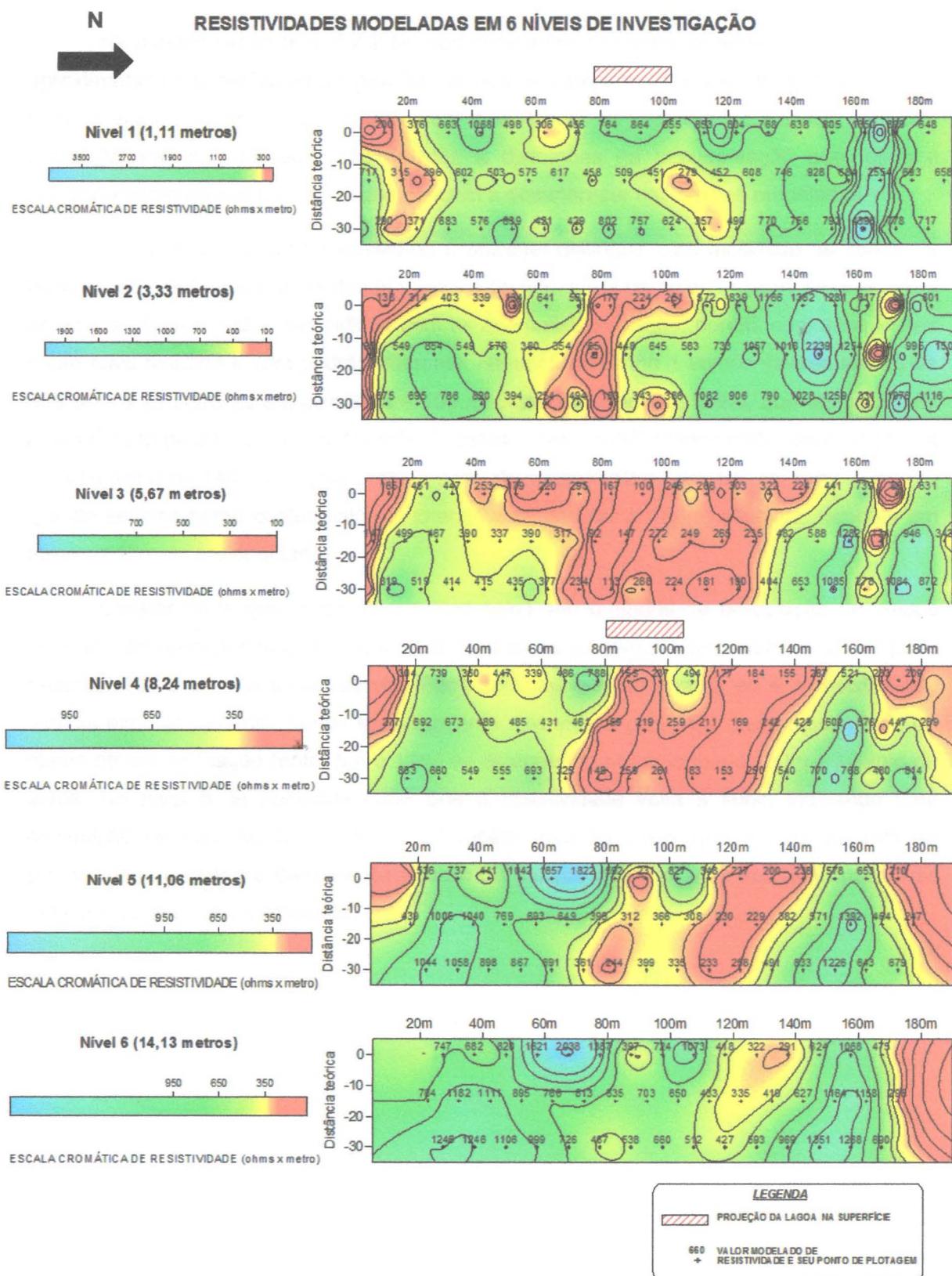


Figura 7.2.2.4 – Mapa das resistividades modeladas para 6 níveis de investigação.

Na pseudo-seção (Fig. 7.2.2.1a) podemos notar que entre as estacas de 80 e 100m aproximadamente, alinhadas à lagoa, temos valores baixos de resistividade, se comparados com os demais, formando um padrão com dois flancos se propagando em dois sentidos. Estes flancos, na realidade, são devidos a distorções na pseudo-seção que, após o processamento de inversão de dados, tendem a desaparecer nas seções modeladas.

No caso das seções modeladas, é possível distinguir com facilidade as zonas de baixa resistividade associadas desde a estaca de 50m até a de 140m. A lagoa situa-se entre as estacas 80m e 100m, coincidindo com as anomalias da seção, porém, com seus limites muito mais restritos e com padrão diferente. Na seção da linha 1 vemos valores abaixo de 300 ohm x m entre as estacas 80m e 100 m destacados em vermelho, que atingem uma profundidade de até 13 metros. Na linha 2, estas baixas resistividades estão desde a estaca de 60m até a de 140m e a uma profundidade de mais de 12 m. Por fim, na linha 3, há um grande espalhamento destes valores, lateralmente de 60m a 130m, atingindo também em torno de 12m de profundidade.

Considerando que estes valores anômalos são oriundos da percolação de fluidos ricos em íons contidos nos dejetos lançados na lagoa, podemos interpretar que este líquido mais condutivo se infiltra no subsolo. Pode-se notar que do nível 2 ao 4 a resistividade diminui expressivamente, sendo esse aumento referente à presença mais concentrada da pluma de contaminação (entre 5m e 11m) se estendendo por pelo menos 30m a jusante da lagoa. No nível 5, já podemos notar que a resistividade volta a subir, indicando uma diminuição de contaminantes. Por fim, também pode-se inferir que abaixo de 14m de profundidade a pluma é bem menos intensa ou mesmo ausente, uma vez que observa-se um claro aumento da resistividade.

8. CONCLUSÃO

Finalizando o trabalho chega-se à conclusão de que o método geofísico da eletrorresistividade consiste em uma análise de ótima precisão e rapidez nos resultados, em que suas técnicas de CE e SEV, mostraram-se adequadas para esse tipo de pesquisa, trazendo resultados positivos.

Através dos dados do caminhamento elétrico podemos notar que, de fato, a contaminação está presente na área de estudo de acordo com as anomalias existentes nas linhas de CE em que mostram baixas resistividades. A pluma de contaminação possui extensão lateral de aproximadamente 80m e estende-se por pelo menos 30m a jusante da lagoa, onde sua maior concentração está presente entre 5m e 11m de profundidade.

A ausência do contaminante só ocorre abaixo dos 14m de profundidade, provavelmente por características geológicas locais, onde foram medidas altas resistividades. Como o nível d'água foi interpretado a 6,5m (aferido pelos dados das SEVs) e supondo-se que esteja contaminado, a poluição ainda não atingiu profundidades maiores (acima de 14m).

Concindo, o método de eletrorresistividade, com as técnicas empregadas de CE e SEV atenderam as expectativas e foram determinantes para a elaboração desse trabalho, gerando dados confiáveis que futuramente poderão ser utilizados em novos estudos da área ou mesmo para possível remediação da área estudada.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F.F.M. (1964). Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico*, 41:167-263.

Becegato, V. A., Stefanato, R., Ferreira, F. J. F., Cunha, J. U., Cabral, J. B. P. (2009). Investigações geofísicas aplicadas no lixão desativado do município de Saudade do Iguaçu – PR. *Revista Geográfica Acadêmica v.3, n.1, 9p.*

Gallas, J. D. F. (2000). *Principais Métodos Geoelétricos e Suas Aplicações em Prospecção Mineral, Hidrologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, UNESP (Rio Claro). 174p.

Gallas, J. D. F. Taioli, F., Malagutti Filho, W., Prado, R. L., & Dourado, J. C. (2001). Métodos e técnicas geoelétricas rasas na delimitação de área afetada por ruptura em teto de túnel urbano. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 19, n. 1, p. 33-46.

Gallas, J.D.F., Taioli, F., Silva, S.M.C.P., Coelho, O.G.W. & Paim, P.S.G., (2005). Contaminação por chorume e sua detecção por resistividade. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(1): 51-59.

Geotomo Software (2004). *RES2DINV (v.3.54) and RES3DINV (v.2.14) for Windows 98/ME/2000/NT/XP. Geoelectrical Imaging 2D & 3D, 130p.*

Gandolfo, O. C. B., Gallas, J. D. F., (2005). Eletrorresistividade 3D – Uma avaliação preliminar da técnica. *Revista Brasileira de Geofísica*, vol. 23(2), 2005.

Gandolfo, O. C. B., (2007). *Um estudo do imageamento geoelétrico na investigação rasa*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, USP. 215p.

Massoli, M, (1983). Geologia da folha de Piraçununga, SP. *Rev. Inst. Geol., jan./dez., vol.4, no.1-2, p.25-51.*

Milani, E.J., Ramos, V.A., (1998). Orogenias Paleozóicas no domínio Sul-Ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Rev. Bras. de Geociências*, dez., 28(4):473-484.

Orellana, E., 1972. Prospección geoelectrica em corriente continua. Madrid: Paraninfo, 523p.

Telford, W.M.; Geldart, L.P.; Sheriff, R.E., (1990). *Applied Geophysics*. 2º ed., New York, Cambridge University Press. 774p.

