

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**DELIMITAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO PROVENIENTE DE LAGOA DE DISPOSIÇÃO DE
RESÍDUOS - CAMPUS USP DE PIRASSUNUNGA**

Carolina da Silva Paes

Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

MONOGRAFIA DO TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2017/08)

SÃO PAULO
2017

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências

**DELIMITAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO PROVENIENTE DE LAGOA DE DISPOSIÇÃO DE
RESÍDUOS - CAMPUS USP DE PIRASSUNUNGA**

Carolina Paes

Aluna: Carolina da Silva Paes

De acordo.

far- D. Faraco Gallas
Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2017/08)

SÃO PAULO
2017

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Claudenir e Zélia, que aos trancos e barrancos tornaram esse momento possível. A minha madrinha, Mada, por mostrar acreditar no meu potencial com toda sua fé. Agradeço também meus irmãos pelo exemplo que me dão de que sempre podemos mais do que enxergamos.

Ao Prof. Dr. José Faraco Gallas que guiou meus passos com muita paciência, espírito paterno, uma bagagem imensa de experiências e, claro, um ótimo churrasco e um bom whisky. E o ensinamento mais importante que nunca precisou ser colocado em palavras: na Geologia e na vida, bons amigos e humildade te levam muito além.

Aos alunos da disciplina GSA05191 – Geofísica Aplicada ao Estudo de Poluição Subterrânea por ajudarem nas coletas de campo sempre com muito bom humor e proatividade. Um agradecimento mega especial para as peças fundamentais para que esse trabalho fosse possível: Fernando, Paulinho e Samuca.

Um agradecimento especial ao Dante e a Grega que cooperaram para confecção deste trabalho.

Agradeço a todos os professores do Instituto de Geociências, em especial ao Professor Gergely que talvez não se lembre, mas foi o “sim” dele no processo de transferência interna que fez esse sonho se tornar realidade. Aos professores que convivi brevemente e fizeram meus olhos brilharem para Geologia quando o desânimo tomava conta: Mário Campos e Adriana Alves.

Aos todos os motoristas e funcionários, sem vocês esse lugar não funcionaria com toda certeza. Ao Brasa pelas melhores risadas, desabafo e descontrações na cantina.

Aos amigos que a Geologia e o CEPEGE me deram: Pingola, Lys, Bla, Sinoca, Rega, Vera, Ympa, Xica, Gui, Intrudida, Arregão, Mila, Narubia, Maria, Porca, Mari, Furunkinha, Julio, Come, Medíocre, Casca, Cozido, Hebe, Madshow e Fedida. Todos de alguma forma foram importantes, seja no revezamento de ombro amigo e/ou no de copo.

Aos Astenosféricos, em especial, ao Smeg que além de me emprestar o sofá, emprestou seus ouvidos durante momentos de crise e criação geológicos e ao Mormaço por sempre me salvar nas vésperas das provas.

As Mirtes por serem minha família nessa cidade universitária que serviu para nos unir com muita força. Não é a mistura do Brasil com Egito; é Guarulhos, Mogi e Santos, mas mesmo assim tivemos charme para dançar bonito nesses anos.

Aos amigos oceanográficos por estarem sempre por perto nos sambas, nos vinhos, nas praias e na saudosa Âncora.

Aos colegas da BTX, em especial a Elisa que sempre demonstrou muita compreensão com minhas ausências para a confecção deste trabalho, além de toda motivação para eu crescer cada vez mais profissionalmente.

Obrigada a todos pelos ensinamentos.

SUMÁRIO

1. IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO.....	1
2. RESUMO.....	1
3. ABSTRACT.....	2
4. INTRODUÇÃO.....	3
4.1. Localização.....	4
4.2. Geologia Local.....	8
5. OBJETIVOS.....	9
6. TRABALHOS PRÉVIOS (LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO).....	9
7. MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
7.1. Materiais.....	10
7.2. Métodos.....	10
7.2.1. Sondagem Elétrica Vertical (SEV).....	11
7.2.2. Caminhamento Elétrico (CE).....	11
7.2.2.1 Arranjo Dipolo-Dipolo.....	12
7.3. Ensaios de campo.....	12
7.4. Tratamento dos dados.....	13
8. RESULTADOS OBTIDOS.....	14
8.1. Sondagens Elétricas Verticais.....	14
8.2. Caminhamento Elétrico (CE).....	17
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	23
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

1. IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

Projeto/Nº: Delimitação de Contaminação Proveniente de Lagoa de Disposição de Resíduos – Campus USP de Pirassununga/ TF-17/08

Aluna: Carolina da Silva Paes

Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

2. RESUMO

A geofísica é uma ótima ferramenta para diagnósticos ambientais. Através dela é possível delimitar e estabelecer com precisão características do solo, da água subterrânea e do contaminante de interesse, como no caso deste trabalho.

Para a caracterização ambiental de uma área são realizados levantamentos geofísicos com objetivo de identificar as feições geológicas e hidrogeológicas e a presença da contaminação subterrânea (CETESB, 2001).

Um dos métodos geofísicos mais adequados para a delimitação de plumas de contaminação é a Eletrorresistividade (com as técnicas da Sondagem Elétrica Vertical e do Caminhamento Elétrico) que tem custo relativamente baixo e alta eficácia. (Lima et al., 1995; Elis, 1999; Porsani et al., 2004). O método possibilita a determinação da zona saturada, detecta falhas e/ou fraturas e as diferenças de resistividades dos diferentes estratos geoelétricos que, como neste caso, correlacionam-se com zonas contaminadas. As contaminações no subsolo, incluindo aí a zona saturada, normalmente apresentam menores resistividades que o material circundante não contaminado. Isto deve-se ao fato de que os poluentes enriquecem o meio em seu conteúdo iônico, ocasionando uma maior facilidade na condução da corrente elétrica e, consequentemente, uma diminuição das resistividades.

O presente estudo tem como objetivo delimitar uma pluma de contaminação situada a jusante de uma lagoa onde são depositados rejeitos do matadouro-escola da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos do campus de Pirassununga da Universidade de São Paulo.

Para a delimitação da pluma de contaminantes oriunda da lagoa foram realizados ensaios geofísicos de eletrorresistividade de caminhamento elétrico e sondagens elétricas verticais (SEVs).

Os dados de caminhamento elétrico estão sendo apresentados na forma de pseudo-seções (dados brutos) e de seções modeladas (dados submetidos a processos de inversão).

As SEVs são apresentadas na forma de curvas onde são interpretadas as camadas presentes (estratos geoelétricos).

A interpretação dos resultados permitiu estabelecer os limites da área contaminada

em superfície e em profundidade, bem como a profundidade da zona saturada (nível d'água).

3. ABSTRACT

Geophysics is a great tool for environmental diagnostics. Through it, it is possible to delimit and establish soil, groundwater and contaminant characteristics of interest, as in the case of this work.

For the environmental characterization of an area, geophysical surveys are carried out in order to identify the geological and hydrogeological features besides the presence of underground contamination (CETESB, 2001).

One of the most suitable geophysical methods for the delimitation of contamination plumes is the Eletroresistivity (with the techniques of the Vertical Electrical Survey and electrical profiling dipole-dipole method) that has relatively low cost and high effectiveness. (Elis, 1999; Porsani et al., 2004). The method makes possible the determination of the saturated zone, detects faults and / or fractures and the resistivity differences of the different geoelectrical strata that, as in this case, correlate with contaminated zones. Contamination in the subsoil, including the saturated zone, usually exhibits lower resistivities than the surrounding non-contaminated material. This is due to the fact that the pollutants enrich the medium in its ionic content, causing a greater ease in the conduction of the electric current and, consequently, a decrease of the resistivities.

The present study aims to delimit a plume of contamination located downstream of a pond where waste from the school slaughterhouse of the Faculty of Animal Science and Food Engineering of the Pirassununga campus of the University of São Paulo is deposited.

For the delimitation of the plume of contaminants originating from the lagoon, geophysical tests of electrically conductive electric conductivity and vertical electrical soundings (SEVs) were carried out.

The electrical profiling data are presented in the form of pseudo sections (raw data) and modeled sections (data submitted to inversion processes).

The SEVs are presented in the form of curves where the present layers (geoelectric layers) are interpreted.

The interpretation of the results allowed to establish the limits of the contaminated area in surface and in depth, as well as the depth of the saturated zone (water level).

Keywords: geophysics, contamination, electrical resistivity, pollutant, Pirassununga.

4. INTRODUÇÃO

A contaminação de águas superficiais e subterrâneas é um dos problemas ambientais mais preocupantes atualmente, tendo em vista a importância da água para o meio ambiente.

Nos dias de hoje, os contaminantes são, em sua maioria, oriundos da atividade humana tais como a disposição indevida de resíduos sólidos e efluentes urbanos, rejeitos industriais, agrícolas e de matadouros. Quando dispostos em uma área inadequada, esses contaminantes, através da mobilização e/ou infiltração, podem atingir as águas superficiais e subterrâneas.

Os métodos geofísicos adequados para a delimitação da pluma de contaminação são os de Eletrorresistividade (Sondagem Elétrica Vertical e Caminhamento Elétrico) que têm custo relativamente baixo e alta eficácia; possibilita a determinação da zona saturada, delimitar falhas e fraturas, e as diferenças de resistividades em diferentes estratos geoelétricos.

O presente estudo foi realizado em conjunto com a disciplina optativa GSA 0519 - Geofísica Aplicada à Poluição Subterrânea ministrada pelo Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas.

4.1. Localização

Inicialmente para o estudo foram definidas quatro lagoas possíveis (A, B, C e D) onde são dispostos os rejeitos oriundos do matadouro e de outros laboratórios-escola do campus de Pirassununga da USP, conforme a Figura 1.

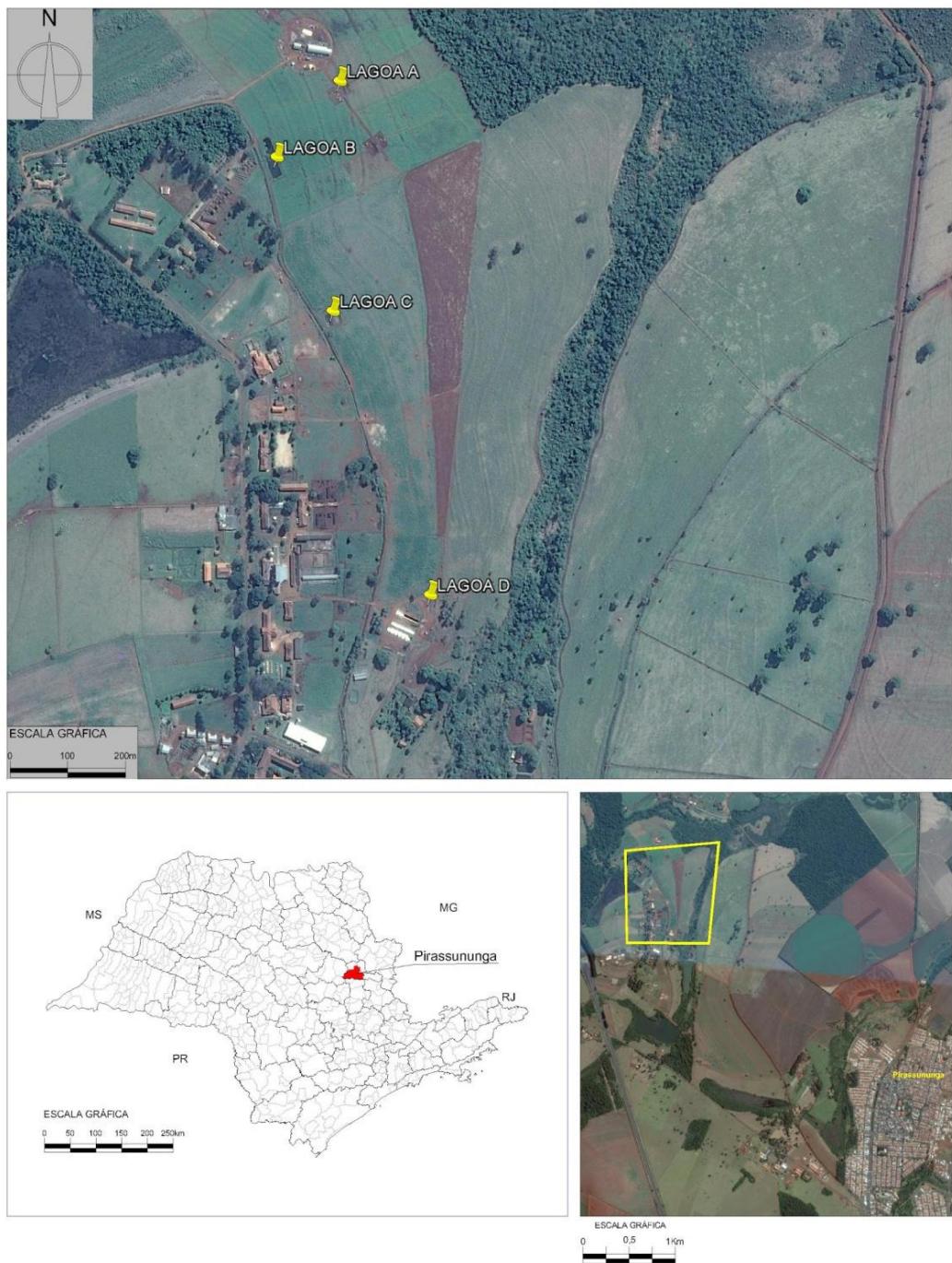


Figura 1: O polígono em amarelo delimita a área das possíveis lagoas do estudo. Imagem de localização da área estudada. (Extraída de *Google Earth*)

A escolha das lagoas do ponto C se deu principalmente pela facilidade de acesso e vegetação constituída basicamente por gramíneas, o que facilitou a aquisição dos dados. O local é caracterizado por duas lagoas de decantação, sendo uma mais antiga, quase seca, e situadas uma a jusante da outra (Figura 2) que contêm contaminantes.

As coordenadas geográficas dos vértices (A, B, C e D) das lagoas do ponto C são apresentadas na Tabela 1.1. As lagoas de disposição dos resíduos são visualizadas em

detalhe nas figuras 3A e 3B.

Tabela 1.1 – Coordenadas UTM (WGS84) Dos vértices das lagoas do ponto C.

Vértice	X	Y
A	0246807	7570582
B	0246832	7570594
C	0246797	7570605
D	0246825	7570616



Figura 2: Imagem Google Earth e localização dos levantamentos geofísicos. As letras A, B, C e D são os vértices das lagoas e suas coordenadas constam na Tabela 1.1.



Figura 3A: Lagoa C, escolhida para o estudo.



Figura 3B: Lagoa C, escolhida para o estudo e área dos levantamentos geofísicos a jusante da mesma.

4.2. Geologia Local

A área a ser estudada está localizada no município de Pirassununga, situado na borda leste da Bacia do Paraná. Segundo ALMEIDA (1964), a folha de Piraçununga está na Depressão Periférica da zona Mogi Guaçu. Na figura 4 é possível observar o Mapa Geológico da Folha de Piraçununga.

Segundo MASSOLI (1983), a coluna estratigráfica local é composta por siltitos e argilitos do Grupo Tatuí, e siltitos da Formação Corumbataí, arenitos da Formação Pirambóia, e areias da Formação Piraçununga, além de intrusões de diabásio e sedimentos quaternários.

De acordo com MASSOLI (1983), o litotipo mais frequente são as areias do Terciário e as intrusões de diabásio, ambas pertencentes à Formação Piraçununga, contemplando aproximadamente cerca de 70% da folha. Na porção Norte observa-se a Formação Corumbataí (Permiano) sendo recoberta pela Formação Piraçununga. A Formação Pirambóia (Triássico) se restringe ao norte da folha enquanto o Grupo Tatuí (Permiano) se restringe ao extremo sudeste.



Figura 4: Mapa Geológico da Folha de Piraçununga, extraído de Massoli (1983).

Localmente, na área estudada, foram observados solos de alteração avermelhados, e constituídos de argilas, siltos e areias que, pelo seu aspecto podem ser oriundos das intrusões de diabásio e/ou da Formação Piraçununga.

5. OBJETIVOS

Delimitar a contaminação das águas subterrâneas a jusante da lagoa onde são dispostos rejeitos do matadouro ou outro laboratório-escola da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ/USP), no campus de Pirassununga da USP com o emprego de métodos geoelétricos que irão possibilitar a caracterização geológica em subsuperfície, determinação do nível d'água e extensão da pluma de contaminação.

6. TRABALHOS PRÉVIOS (LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO)

A literatura de trabalhos que possuem o mesmo objetivo ou similar ao presente é extensa e incorpora aspectos teóricos e práticos, além de exemplos que utilizam os mesmos métodos geofísicos que serão aplicados neste Trabalho de Formatura.

Os métodos geofísicos foram abordados teoricamente por Orellana (1972) e Telford et al. (1990), entre outros, em especial métodos geoelétricos; exemplos práticos também são feitos a fim de demonstrar os métodos.

Gallas (2000) apresenta uma explicação e discussão sobre métodos geofísicos, tais como IP (Polarização Induzida), potencial espontâneo (SP) e eletrorresistividade. Este estudo apresenta técnicas geofísicas nas áreas de prospecção mineral, hidrogeologia, geologia de engenharia e geologia ambiental.

Gallas et al (2001) realizaram um estudo geofísico aplicado para a detecção de problema geotécnico no Parque do Ibirapuera em São Paulo, onde o principal método utilizado foi o de eletrorresistividade, utilizando a técnica de caminhamento elétrico (CE) com arranjo dipolo-dipolo.

Gallas et al (2005) mapearam área contaminada a jusante de um aterro sanitário no município de Londrina, no Paraná, através de ensaios de eletrorresistividade. Este caso é bastante similar ao estudo proposto neste Trabalho de Formatura.

Moreira (2009) fez um estudo para monitorar áreas de disposição de resíduos domésticos através de diversos métodos geofísicos, sendo as principais técnicas: sondagem elétrica vertical (SEV) e caminhamento elétrico (CE) com os arranjos dipolo-dipolo e Schlumberger. As áreas de baixa resistividade foram associadas a plumas de contaminação devido à dissolução de matéria orgânica e a liberação de íons em águas subsuperficiais.

Becegato et al (2009) utilizaram métodos geofísicos no município de Saudade do

Iguaçu, no Paraná, a fim de delimitar uma possível pluma de contaminação de um depósito de lixo desativado. O método aplicado foi o de eletrorresistividade, utilizando a técnica de caminhamento elétrico (CE) com arranjo dipolo-dipolo. Também este caso se assemelha a este Trabalho de Formatura.

Becegato *et al* (2016) realizaram um estudo geofísico no município de Renascença, no Paraná, através da técnica de caminhamento elétrico (CE) com arranjo dipolo-dipolo, gravimetria a fim de gerar pseudo-seções de resistividade e os modelos de profundidade, representativos da distribuição lateral e vertical das resistividades.

7. MATERIAIS E MÉTODOS

7.1. Materiais

Para a coleta de dados em campo foram utilizados cabos isolados, eletrodos metálicos, resistivímetro Terrameter de fabricação sueca ABEM modelo SAS 300B, trenas etc, que foram disponibilizados pelo Instituto de Geociências da USP.

O método usado para a obtenção de dados foi o da eletrorresistividade empregando diferentes técnicas, tais como sondagem elétrica vertical (SEV) no arranjo Schlumberger e caminhamento elétrico (CE) com arranjo dipolo-dipolo.

7.2. Métodos

A eletrorresistividade é um método geoelétrico baseado na determinação da resistividade elétrica através da injeção de uma corrente elétrica no solo. Pode ser utilizada para a determinação de contrastes nesta propriedade física e estabelecer correlações com estratos geológicos e mapeamento de plumas de contaminantes.

É possível calcular a resistividade aparente a partir da distância entre os eletrodos. A fórmula geral para o cálculo das resistividades é:

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

onde K é o fator geométrico definido como:

$$\begin{aligned} \Delta V &= K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} && \text{diferença de potencial (Volts)} \\ I &= && \text{corrente elétrica (Ampère)} \\ \rho &= && \text{resistividade (Ohm.m)} \end{aligned}$$

O método da eletrorresistividade pode ser empregado, dentre outras opções, segundo as técnicas de Caminhamento Elétrico (CE) e da Sondagem Elétrica Vertical (SEV), conforme Gallas (2003).

7.2.1. Sondagem Elétrica Vertical (SEV)

A Sondagem Elétrica Vertical tem como objetivo a investigação das heterogeneidades verticais das resistividades para definir características como profundidade do nível d'água e espessura dos diferentes litotipos. Também é usada em casos em que deseja conhecer a profundidade de topo rochoso/espessura de manto de alteração.

Segundo ORELLANA (1972), no arranjo *Schlumberger*, que foi utilizado neste trabalho, a profundidade investigada aumenta conforme se expande a abertura entre os eletrodos de corrente A e B, o centro O deve permanecer fixo assim como a distância entre os eletrodos M e N , conforme a Figura 5.

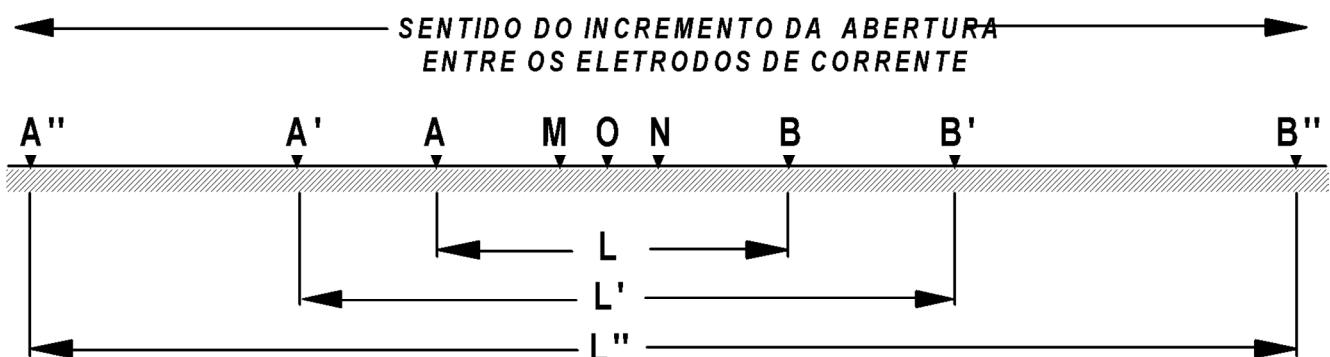


Figura 5: Arranjo *Schlumberger* (Fonte: Gallas, 2000).

7.2.2. Caminhamento Elétrico (CE)

O Caminhamento Elétrico, ou perfilagem horizontal, busca variações laterais de resistividade que indicam a presença de diques, falhas, fraturas e a identificação de corpos mineralizados. (Gallas, 2000).

7.2.2.1 Arranjo Dipolo-Dipolo

O dispositivo de eletrodos que foi usado neste trabalho foi o dipolo-dipolo. Os eletrodos A e B de corrente e os eletrodos M e N de potencial são alinhados no mesmo perfil. O arranjo é definido pelas aberturas $AB = MN$

Neste arranjo as medidas são realizadas em diferentes profundidades de investigação (diversos valores de n) desta forma: mantém-se uma posição fixa dos eletrodos de corrente AB e as medidas de potencial são feitas deslocando-se os eletrodos de MN ao longo do perfil de medidas a distâncias iguais a l : M_1N_1 ($n = 1$); M_2N_2 ($n = 2$); M_3N_3 ($n = 3$) e assim sucessivamente.

Na sequência, movem-se os eletrodos de corrente para $A'B'$ (movimento = l) e são feitas as medidas entre as posições $M'_1N'_1$; $M'_2N'_2$ etc.

A plotagem das medidas é na intersecção a 45° das origens \wedge e O de cada dipolo, sendo a profundidade (teórica) naquele ponto ($profundidade = (n+1)l/2$, sendo $n = 1; 2; 3$ etc). Entre esses pontos/valores são traçadas curvas de isovalores.

- A profundidade investigada aumenta com a distância R e, na pseudo-seção gerada, corresponde a $\frac{1}{2} R$ (Figura 6).

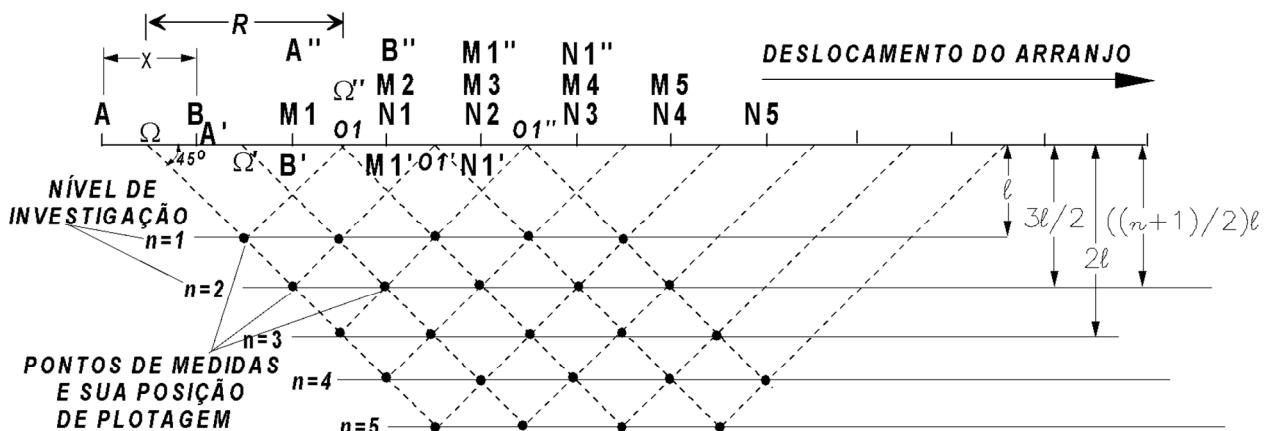


Figura 6: Procedimento de Caminhamento Elétrico através do arranjo dipolo-dipolo. (fonte: Gallas, 2000).

7.3. Ensaios de campo

Foram feitas três sondagens elétricas verticais (SEVs) com arranjo Schlumberger e três linhas (1, 2 e 3) de caminhamento elétrico (CE) com arranjo dipolo-dipolo, cujas localizações são apresentadas na Figura 3. As SEVs foram todas feitas na linha 2, sendo que a SEV 1 foi posicionada no ponto 80m; a SEV 2 no ponto 50m e a SEV 3 no ponto 130m.

As SEVs foram realizadas com uma abertura inicial $AB/2 = 1,5$ m chegando a final $AB/2 = 60$ m. A abertura inicial $MN/2$ foi de 0,5 m, sendo que a embreagem (“embreagem”- repetição da leitura ΔV com duas aberturas MN para uma mesma abertura AB – a passagem foi de $MN/2 = 0,5$ m para $MN/2 = 2,0$ m) foi realizada quando o $AB/2 = 25$ m. O caminhamento elétrico foi executado em 3 linhas, sendo que cada uma delas tem 150 metros de extensão. O arranjo foi realizado com aberturas $AB=MN=10$ m e 06 níveis de investigação.

7.4. Tratamento dos dados

O tratamento de dados obtidos foi feito com o emprego dos softwares Surfer 8, RES2DINV e IPI2WIN, com auxílio do Microsoft Excel para geração de tabelas.

Os valores de resistividade aparente obtidos para cada abertura correspondente de eletrodos AB nas SEVs são plotados em um gráfico bi-logarítmico de abertura AB/2 versus

resistividade (ρ), a interligação desses pontos gera uma curva de resistividade aparente que, segundo Gallas (2000), é adotado por realçar as variações nos principais estratos geoelétricos. Posteriormente, esses dados foram inseridos no software IPI2WIN cujo algoritmo de inversão matemática elabora uma curva ajustada de resistividade em uma dimensão, sendo que essa curva pode ser moldada manualmente pelo intérprete a fim de definir os estratos geoelétricos de forma mais coerente.

No CE são feitas várias medidas que refletirão diferentes profundidades, gerando pseudo-seções de resistividades e profundidades aparentes. Para Hallof (1957), cada ponto plotado na seção estará na intersecção de linhas que partem do centro dos dipolos de corrente e potencial com um ângulo de 45º em relação à horizontal (Figura 6). Sendo assim, a profundidade do nível de investigação deve ser igual à metade da distância entre os centros dos dipolos (R , conforme Figura 6).

Para o tratamento e interpretação dos dados do caminhamento dipolo-dipolo utilizou-se o software de inversão RES2DINV (Abem Instruments, 1998) para duas dimensões, que cria um modelo bidimensional de resistividade. Segundo Loke & Barker (1996) e Gandolfo (2007), trata-se de um software de inversão por “suavização vinculada” para dados de CE obtidos com eletrodos arranjados de forma colinear e espaçamentos constantes.

Os valores de resistividade depois de invertidos são exportados para o software Surfer 8 para elaboração de mapas 2D e blocos-diagrama, onde os pontos de plotagem são interpolados pelo método da “Krigagem” que produz mapas a partir de dados espaçados de forma irregular e, a partir disso, são geradas curvas de isovalores para as resistividades.

Dentre os diversos métodos de interpolação fornecidos pelo software, o escolhido foi o da “Krigagem”. De acordo com LANDIM (2000) é o ideal para situações onde a anomalia não ocorre em toda a área e sim localmente.

8. RESULTADOS OBTIDOS

Uma vez coletados os dados de campo, os mesmos foram tratados com auxílio dos softwares mencionados, obtendo-se os resultados apresentados a seguir.

8.1. Sondagens Elétricas Verticais

As medidas de resistividade obtidas a partir da sondagem elétrica vertical foram tratadas com o software IPI2WIN, o qual, a partir de tratamento, inversão e interpretação, revelou os resultados apresentados nas figuras 7, 8 e 9.

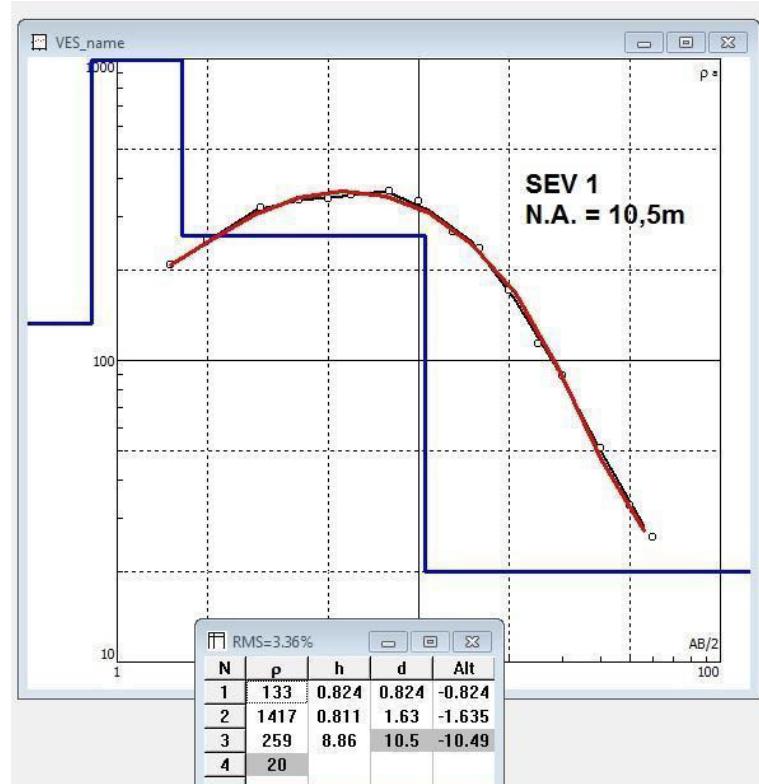


Figura 7: SEV 1.

Na SEV 1 temos um modelo ajustado com 4 estratos geoelétricos, tendo sido interpretados como:

Profundidade (m)	Interpretação	Resistividade ($\Omega \times m$)
Até 0,82	Solo com matéria orgânica	133
0,82 até 1,63	Solo seco	1417
1,63 até 10,5	Solo seco + franja capilar	259
10,5 em diante	Solo saturado	20

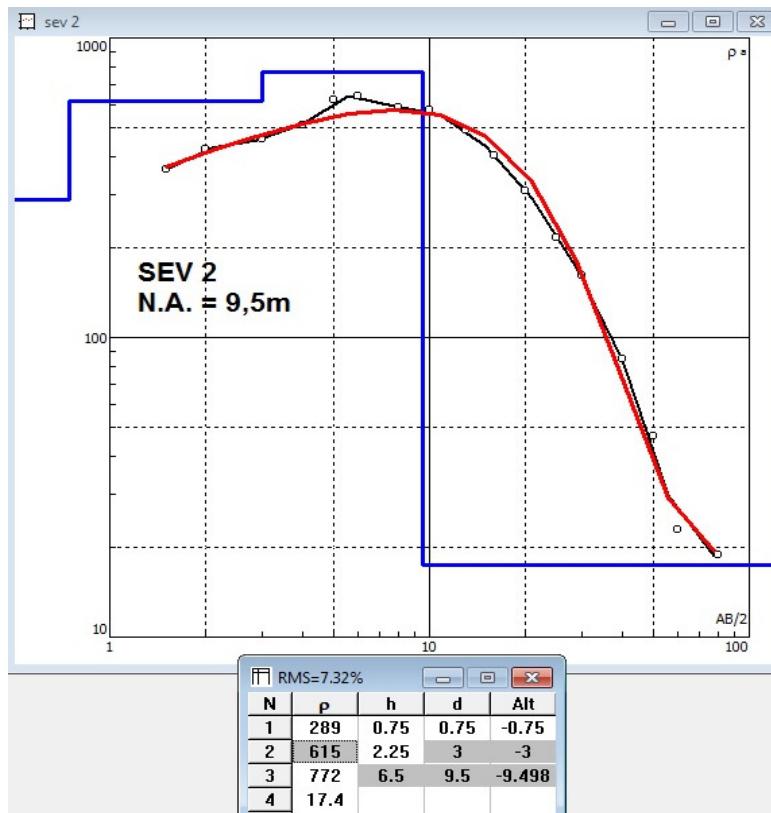


Figura 8: SEV 2.

Na SEV 2 temos um modelo ajustado com 4 estratos geoelétricos, tendo sido interpretados como:

Profundidade (m)	Interpretação	Resistividade ($\Omega \times m$)
Até 0,75	Solo com matéria orgânica	289
0,75 até 3,0	Solo seco	615
3,0 até 10,5	Solo seco + franja capilar	772
10,5 em diante	Solo saturado	17,4

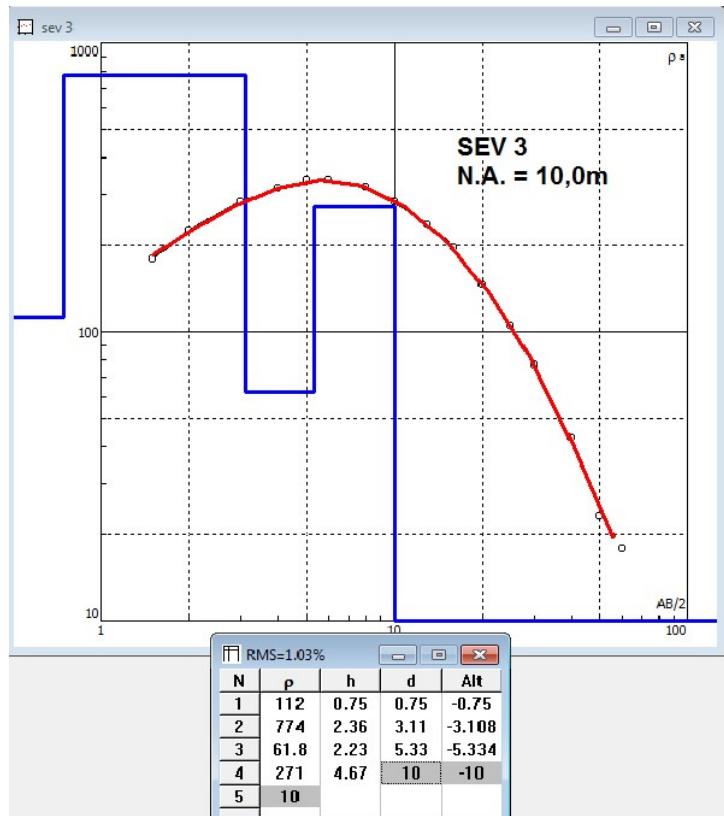


Figura 9: SEV 3

Na SEV 3 temos um modelo ajustado com 5 estratos geoelétricos, tendo sido interpretados como:

Profundidade (m)	Interpretação	Resistividade ($\Omega \times m$)
Até 0,75	Solo com matéria orgânica	112
0,75 até 3,11	Solo seco	774
3,11 até 5,33	Solo seco + franja capilar	61,8
5,33 até 10	Solo seco arenoso (?) + franja capilar	271
10 em diante	Solo saturado	10

Legenda das figuras 7, 8 e 9:

Linhas azuis: no eixo Y = valor de resistividade; no eixo X = espessura/profundidade da base e topo do estrato geoelétrico (na tabela h= espessura e d=prof. do topo e da base).

o = valor medido (dado de campo) de resistividade.

Curva vermelha = curva ajustada / modelada pelo programa IPI2WIN.

Intervalos de resistividade para os estratos geoelétricos modelados:

Solo com matéria orgânica: 112 a 289 $\Omega \times m$.

Solo seco: 615 a 1417 $\Omega \times m$.

Solo seco + franja capilar: 61,8 a 772 $\Omega \times m$.

Solo saturado: 10 a 20 $\Omega \times m$.

Obs.: na SEV 3, para um melhor ajuste matemático da curva modelada, houve a necessidade de inserir mais uma camada / estrato geoelétrico.

8.2. Caminhamento Elétrico (CE)

A partir de dados de resistividades coletados em 3 perfis e com o auxílio dos softwares RES2DINV e Surfer 8 foram obtidas as pseudo-seções de resistividades aparentes e seções de resistividades modeladas. A partir delas é possível mapear a pluma de contaminação presente definindo-se sua dimensão e localização em subsuperfície para diferentes níveis.

As Figuras 10, 11 e 12 mostram as pseudo-seções de resistividade aparente e suas respectivas seções modeladas para as linhas 1, 2 e 3 de CE.

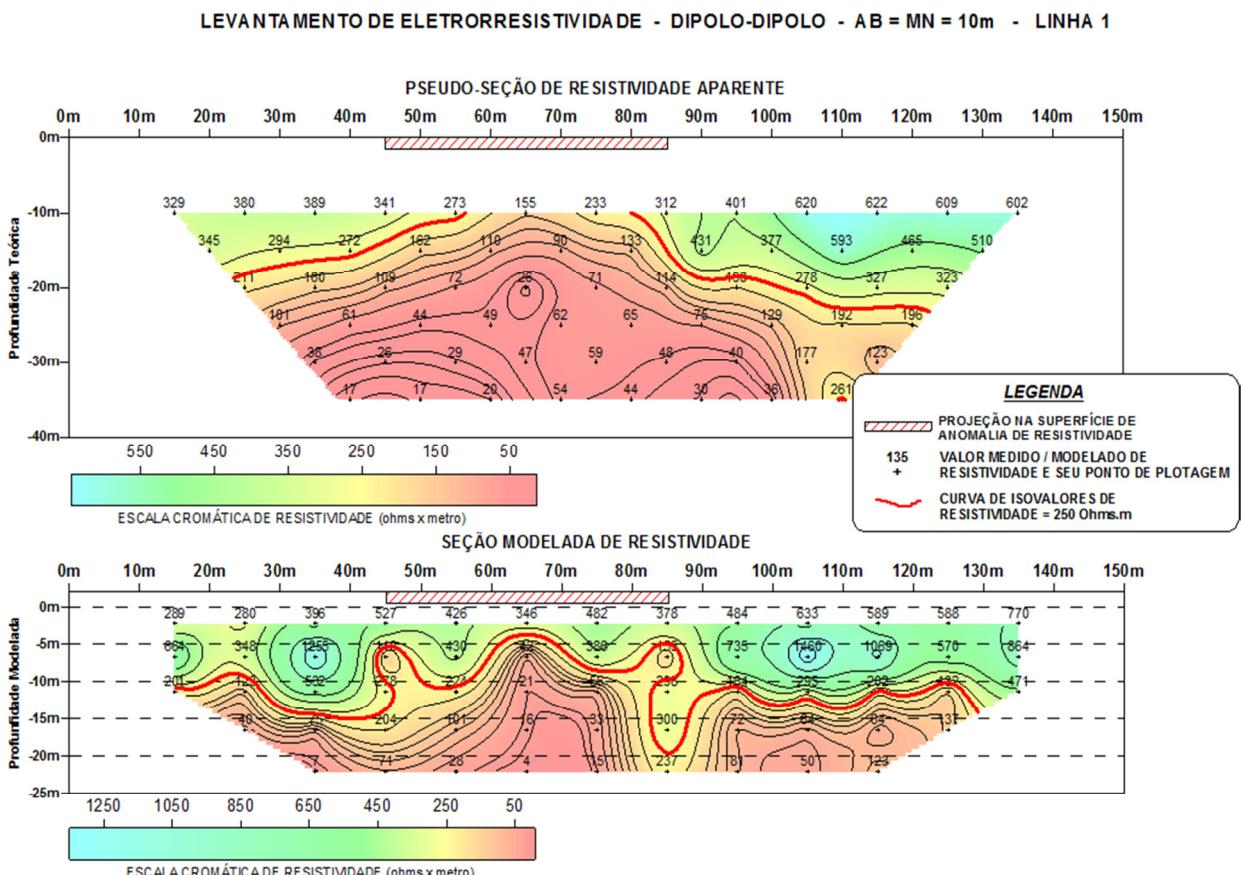


Figura 10: Pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada de resistividade da Linha 1.

LEVANTAMENTO DE ELETRORESISTIVIDADE - DIPOLO-DIPOLÓ - AB = MN = 10m - LINHA 2

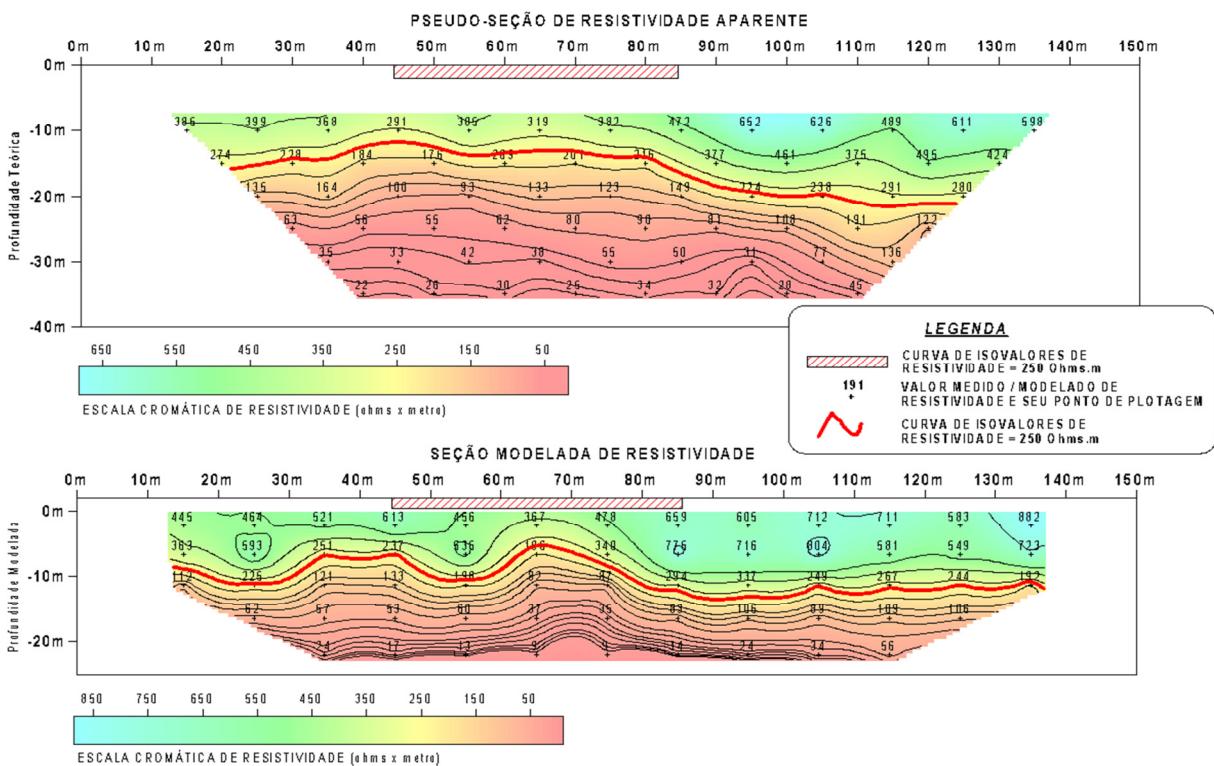


Figura 11: Pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada de resistividade da Linha 2

LEVANTAMENTO DE ELETRORESISTIVIDADE - DIPOLO-DIPOLÓ - AB = MN = 10m - LINHA 3

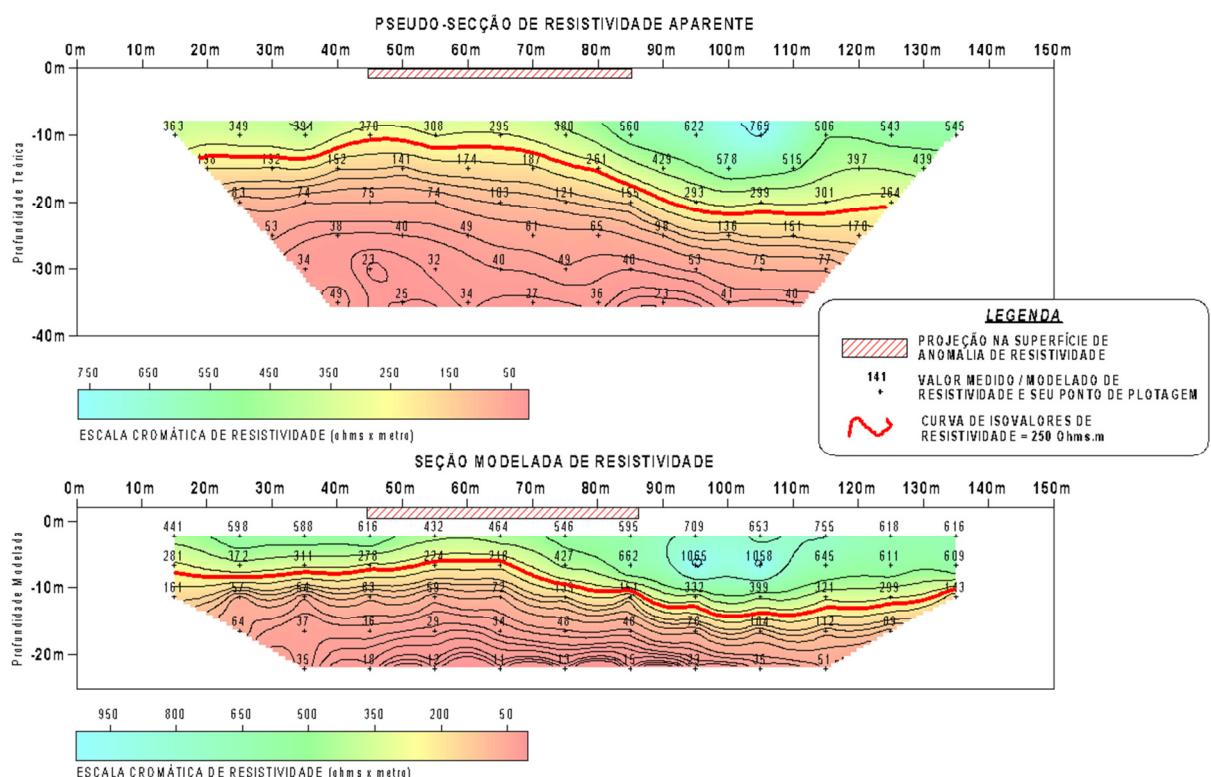


Figura 12: Pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada de resistividade da Linha 3

As pseudo-seções são bastante similares às seções modeladas. Isto se deve ao fato de que a geologia local é sedimentar – planoestratiforme. Assim sendo, os processos de inversão pouco modificam os dados brutos originais, contrariamente ao que acontece em geologias cristalinas, onde as resistividades apresentam grandes variações laterais.

Nas seções modeladas, é possível distinguir as zonas de baixa resistividade associadas à lagoa entre 55 e 75 metros, coincidindo com as anomalias da pseudo-seção, como esperado em tal situação geológica (planoestratiforme).

Foi salientada em vermelho, nas pseudo-seções e seções modeladas, a curva de isovalores de 250 Ω.m, que interpretou-se estar correlacionada à presença da zona saturada (nível d'água) e, ao centro das seções, a elevação desta curva de isovalores também correlaciona-se com a presença do contaminante.

Foi possível também interpolar os dados em planta, gerando mapas das resistividades modeladas para os níveis de investigação conforme Figura 13 a 17.

A análise destes mapas para diferentes níveis de investigação permite que se visualizem as distribuições das resistividades em planta e em profundidade, que se correlacionam com o comportamento tridimensional da pluma de contaminantes.

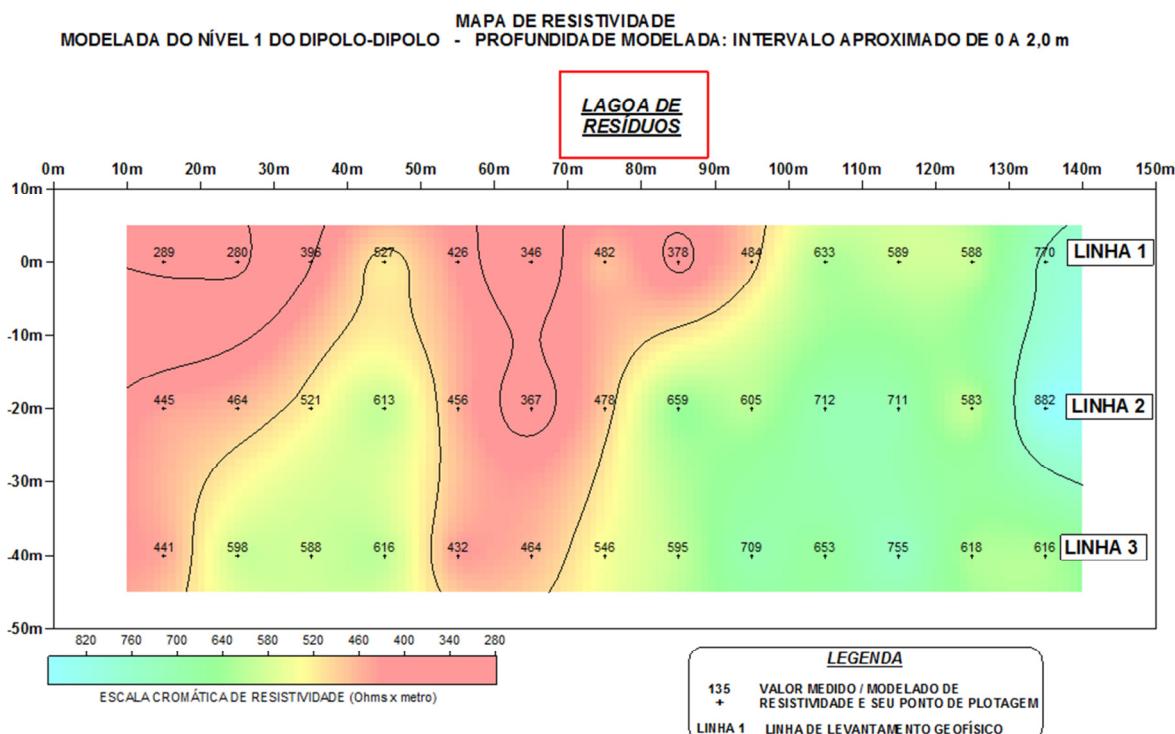


Figura 13: Mapa de resistividade modelada do nível 1.

**MAPA DE RESISTIVIDADE
MODELADA DO NÍVEL 2 DO DIPOLO-DIPOLO - PROFUNDIDADE MODELADA: INTERVALO APROXIMADO DE 0 A 6,5 m**

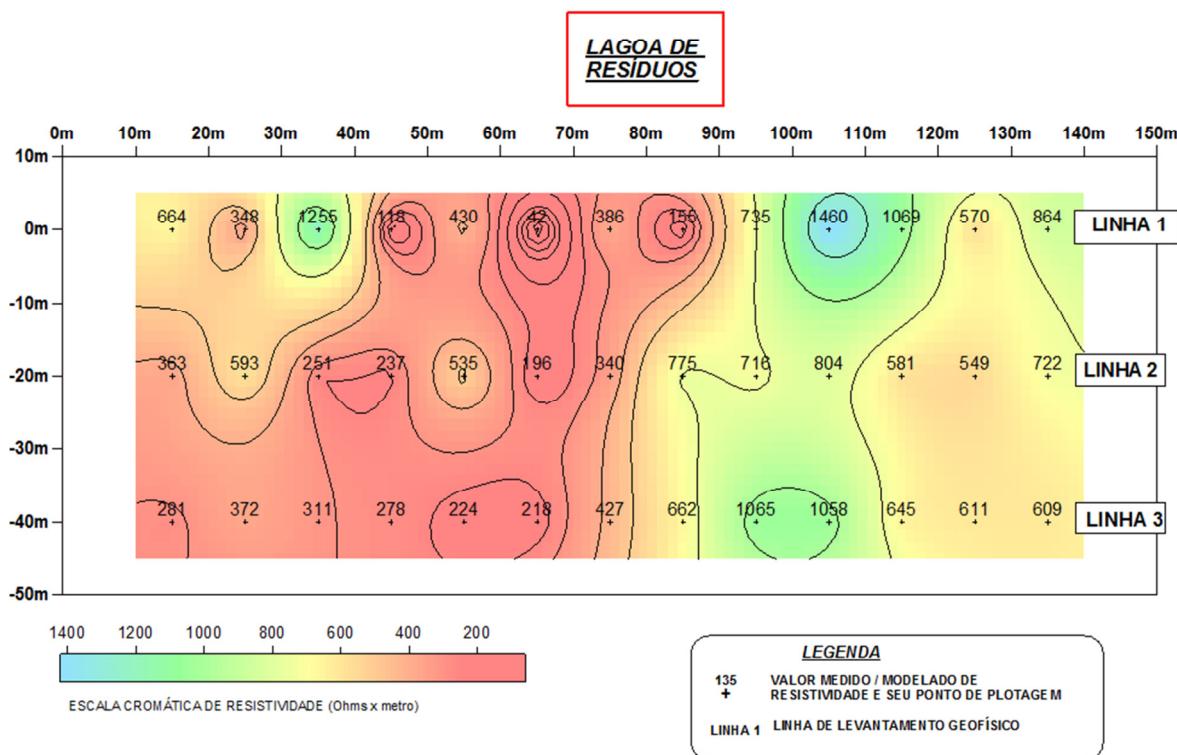


Figura 14: Mapa de resistividade modelada do nível 2.

**MAPA DE RESISTIVIDADE
MODELADA DO NÍVEL 3 DO DIPOLO-DIPOLO - PROFUNDIDADE MODELADA: INTERVALO DE 0 A 11,34m**

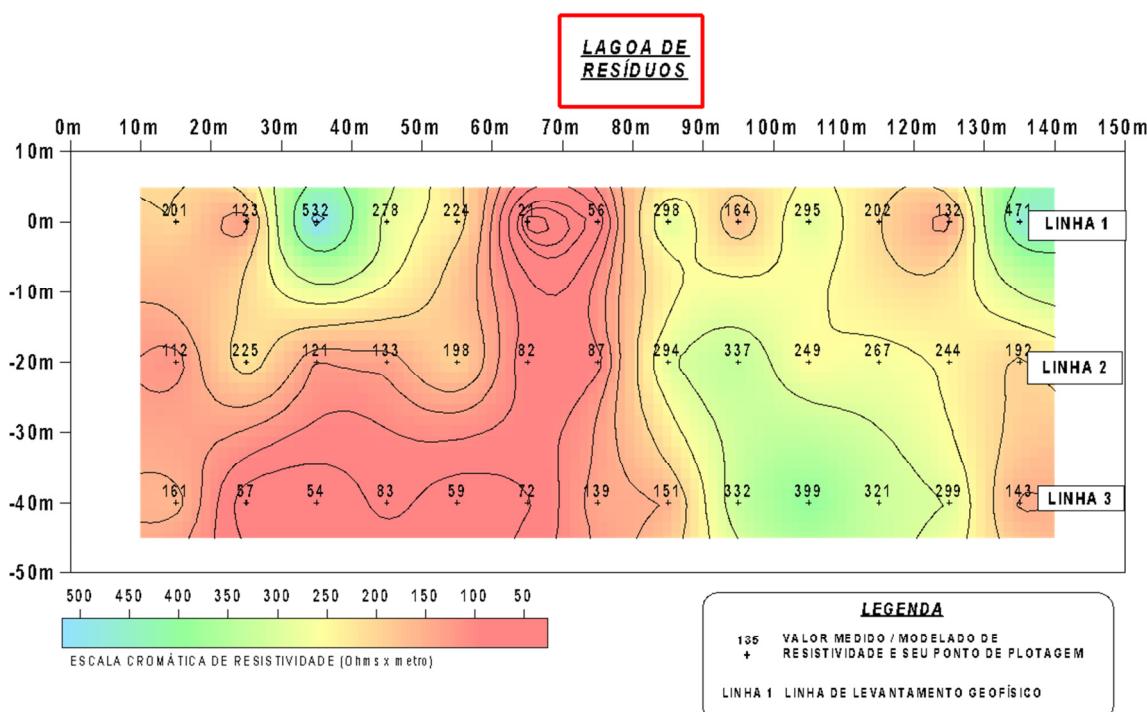


Figura 15: Mapa de resistividade modelada do nível 3.

**MAPA DE RESISTIVIDADE
MODELADA DO NÍVEL 4 DO DIPOLO-DIPOLO - PROFUNDIDADE MODELADA: INTERVALO DE 0 A 16,45m**

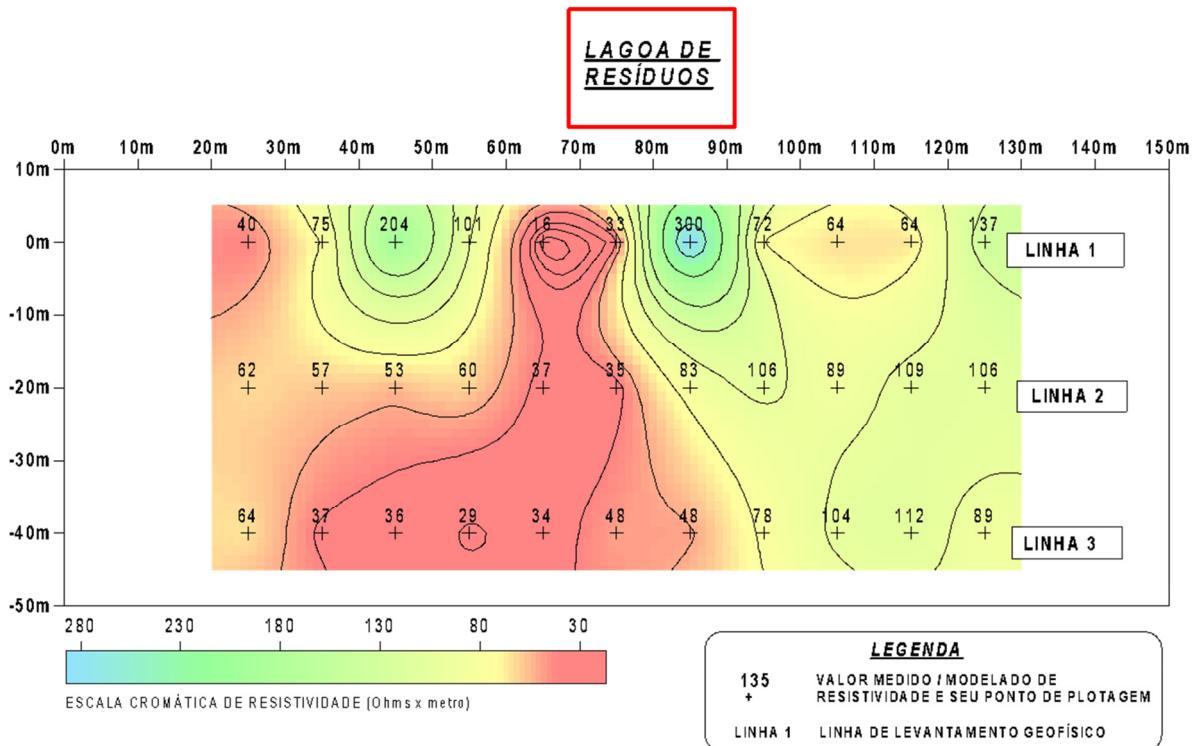


Figura 16: Mapa de resistividade modelada do nível 4.

**MAPA DE RESISTIVIDADE
MODELADA DO NÍVEL 5 DO DIPOLO-DIPOLO - PROFUNDIDADE MODELADA: INTERVALO DE 0 A 22,02m**

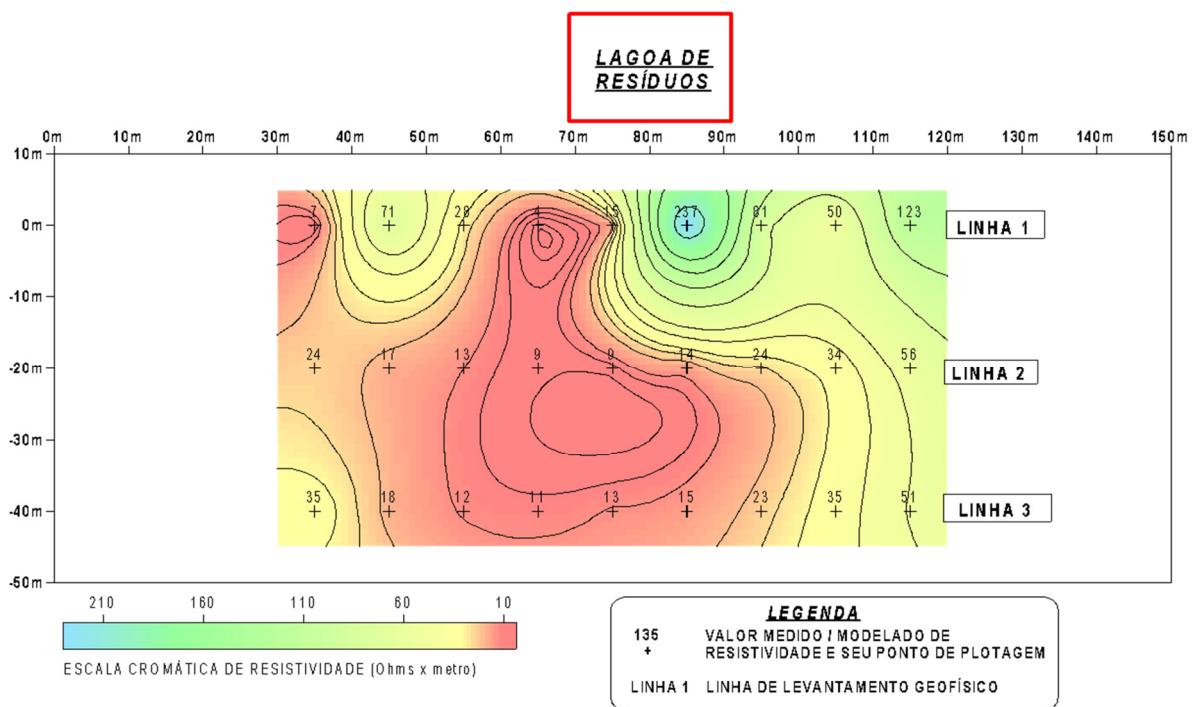


Figura 17: Mapa de resistividade modelada do nível 5.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme esperado, o Trabalho de Formatura atingiu seus objetivos, qual seja o de detectar/delimitar uma área contaminada.

A pluma de contaminação oriunda da lagoa de disposição de rejeitos foi delimitada, principalmente em seus limites laterais e praticamente também em profundidade (tridimensionalmente).

As resistividades mais baixas indicam uma correlação com a presença dos contaminantes, conforme observado.

Devido à presença da zona saturada e/ou aspectos litológicos (maior conteúdo de argilas, p. ex.), a profundidades a partir de 10 m, as baixas resistividades podem se confundir com a presença de contaminantes. No entanto, mesmo dentro desta zona saturada/argilosa, as resistividades decrescem localmente em relação aos seus entornos, o que indica que a pluma de contaminação ultrapassa o nível máximo modelado (da ordem de 22 m).

Uma correlação razoável entre as resistividades da pluma e o substrato encaixante deve ser com base nas diferentes profundidades de investigação.

Como observado no mapa do primeiro nível (profundidade de 0 a 2m, provavelmente solo seco) a zona contaminada tem resistividades da ordem de 400 $\Omega\cdot m$ e a encaixante da ordem de 600 $\Omega\cdot m$.

Já no mapa do nível 2 (prof. de 0 a 6,5m, pouca água), a contaminação apresenta resistividades entre 200-400 $\Omega\cdot m$ e o meio circundante tem 500-1000 $\Omega\cdot m$.

O nível 3 (prof. 0 a 11,34m) possui a zona contaminada com resistividades menores que 100 $\Omega\cdot m$ e no entorno as resistividades são acima de 300 $\Omega\cdot m$.

Para o mapa do nível 4 (prof. 0 a 16,5m) o poluente tem resistividades abaixo de 30-40 $\Omega\cdot m$ e o meio ao redor tem acima de 100 $\Omega\cdot m$.

Finalmente, no nível 5 e último (prof. de 0 a 22m), as resistividades da região com presença de contaminantes tem resistividades menores que 10-20 $\Omega\cdot m$ e o subsolo do entorno tem resistividade acima de 35 $\Omega\cdot m$.

De acordo com o apresentado neste Trabalho de Formatura, acredita-se que o mesmo alcançou o esperado, qual seja o de uma aplicação com sucesso de uma ferramenta extremamente útil em Geologia Aplicada e, não menos importante, proporcionou uma experiência da autora no meio profissional

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEM INSTRUMENTS, 1998. Geoelectrical Imaging 2D & 3D – RES2DINV, ver. 3.3 for Windows 3.1, 95 and NT. Rapid 2D Resistivity & IP inversion using the least-squares method. By M. H. Loke. ABEM Instruments, P. O. Box 20086, S-161 02 Bromma, Sweden. Paginação irregular.

ALMEIDA, F.F.M. - 1964 - Fundamentos geológicos do relevo paulista. In: SÃO PAULO. INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO. Geologia do Estado de São Paulo. São Paulo, p.169-263. (Boletim, 41)

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 – SP. Revista Geográfica Acadêmica v.3, n.1, 9p.

BECEGATO, V. A. et al . Tomografia elétrica 2D e gravimetria para detecção de sítio contaminado por derivados de petróleo em área de passivo ambiental. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro , v. 21, n. 4, p. 643-654, Dec. 2016

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 2001. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Projeto de Cooperação Técnica Brasil-Alemanha/CETESB-GTZ. 2. ed., São Paulo, 398 pp

ELIS VR. 1999. Avaliação da aplicabilidade de métodos elétricos de prospecção geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro SP, 264 pp.

FACHIN, S. J. S., H. Felix, SHIRAIWA, S., BORGES, W. R., MIGLIORINI, R. B. (2006). Aplicação de métodos geofísicos para identificar áreas contaminadas por resíduos de um curtume. Rev. Bras. Geof., São Paulo , v. 24, n. 1, p. 129-138.

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, 19(1), 33-46.

GALLAS, J. D. F.; MALAGUTTI FILHO, W. ; PRADO, R.L. ; TAIOLI, F., 2003. Lixão do Alvarenga - Mapeamento da Pluma de Contaminação pelos Métodos Geoelétricos.. In:

VIII Congresso da Sociedade Brasileira de Geofísica, 2003, Rio de Janeiro. Anais do VIII Congresso da Sociedade Brasileira de Geofísica, 2003.

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.

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

GIANNETTI BF, ALMEIDA CMVB, BONILLA SH & VENDRAMET O. 2001. Nosso Cromo de cada dia: Benefícios e Riscos. Revista de Graduação da Engenharia Química, Ano IV, 8: 55-58.

HALLOF, P.G., 1957. On the interpretation of resistivity and induced polarization measurements. Ph.D. Thesis, MIT, Cambridge.

LANDIM, P.M.B. Introdução aos métodos de estimativa espacial para confecção de mapas. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatématica,Texto Didático 02, 20 pp. 2000.

LIMA OAL de, SATO HK & PORSANI MJ. 1995. Imaging industrial contaminant plumes with resistivity techniques. Journal of Applied Geophysics, 34: 93-108.

PORSANI JL, FILHO WM, ELIS VR, SHIMELES F, DOURADO JC & MOURA HP. 2004. The use of GPR and VES in delineating a contamination plume in a landfill site: a case study in SE Brazil. Journal of Applied Geophysics, 55(3): 199-209.

LOKE, M.H. & BARKER, R.D., 1996, Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. Geophysical Prospecting, 44, 131-152

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

MOREIRA, C. A. 2009. Geofísica aplicada no monitoramento de área de disposição de resíduos sólidos domiciliares. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Rio Claro, 169p.

ORELLANA, E., 1972. Prospección geoelectraca encorriente continua. Madrid: Paraninfo, 523p.

TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E., 1990. Applied Geophysics. 2o ed., New York, Cambridge University Press. 774p.