

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**MÉTODOS GEOELÉTRICOS EM APOIO AO
MAPEAMENTO DE CONTAMINAÇÃO POR
ESGOTOS DOMÉSTICOS EM SALESÓPOLIS, SP.**

Janaína Trindade Conceição Silva

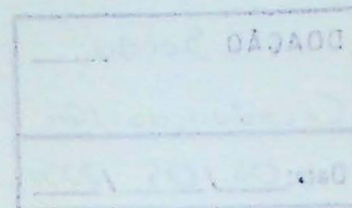
Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2003/32)

SÃO PAULO
2003

TF
S586
JTC.m

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA SEDIMENTAR E AMBIENTAL



**Estudos Geofísicos em Apoio ao Estudo e Avaliação de Área
Contaminada pela Infiltração de Lagoa de Decantação de Esgotos
Domésticos em Salesópolis, SP**



TF – 32/2003

Aluna

Janaína Trindade Conceição Silva

Orientador

Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

TF
5586
JTC.mv

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOLOGIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA SEDIMENTAR E AMBIENTAL

DOAÇÃO Seção.....
Classificação: 161c
Data: 06/05/2004

Estudos Geológicos em Áreas de Estudo e Avaliação de Áreas
Contaminadas pela Infiltração de Líquidos de Detonação de Explosivos
Domésticos em São Paulo, SP



16 - 122000

Assinatura
Prof. Dr. Carlos Roberto da Silva
Diretor
Prof. Dr. José Carlos de Faria Costa

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900014485

**MÉTODOS GEOELÉTRICOS EM APOIO AO
MAPEAMENTO DE CONTAMINAÇÃO POR
ESGOTOS DOMÉSTICOS EM SALESÓPOLIS, SP**

JANAÍNA TRINDADE CONCEIÇÃO SILVA



Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

Prof. Dr. Vagner Elis

Prof. Dr. Ian McReath

[Handwritten signature of José Domingos Faraco Gallas]
[Handwritten signature of Vagner Elis]
[Handwritten signature of Ian McReath]

São Paulo

2003

ÍNDICE

Agradecimentos	v
Resumo	vi
Abstract	vii
1. Objetivos	1
2. Área de Estudo	1
3. Geologia Regional	3
4. Relevância do Projeto	4
5. Métodos de trabalho	5
5.1. Métodos e Técnicas Geofísicas Utilizadas	5
5.1.1. Resistividade Aparente (RA)	5
5.1.1.1. Caminhamento Resistividade	6
5.1.1.2. Arranjo Dipolo-Dipolo/Pseudo-seções de Resistividade	6
5.1.2. Potencial Espontâneo	8
5.1.2.1. Método dos Potenciais	8
5.1.3. Método Eletromagnético (EM)	9
5.2. Procedimento de Campo	11
5.2.1. Caminhamento Elétrico Dipolo-Dipolo	11
5.2.2. Potencial Espontâneo (SP)	12
5.2.3. Caminhamento Eletromagnético	13
6. Fundamentação Bibliográfica	13
7. Resultados Esperados e Comparação entre os Métodos Utilizados	15
8. Atividades Realizadas	16
8.1. Avaliação do Progresso do Projeto	16
9. Resultados Obtidos	17
9.1. Geofísica Referente à Área A	17
9.1.1. Interpretações	25

9.2. Geofísica Referente à Área B	29
9.2.1. Interpretações	29
10. Conclusões	29
11. Referências Bibliográficas	37

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo com os caminhamentos realizados. Extraído e modificado da planta fornecida pela Sabesp (jun. 2003); escala original 1:1000.	2
Figura 2 – Princípio do Método da Eletroresistividade – apostila do curso de Geofísica Aplicada. Modificado de Gallas (2000).	6
Figura 3 – Caminhamento Resistividade/Disposição no campo do arranjo dipolo-dipolo. Modificado de Gallas (2000).	7
Figura 4 – Configuração da Técnica dos Potenciais. Modificado de Gallas (2000).	9
Figura 5 – Interação das ondas eletromagnéticas de um condutor. Modificado de Gallas (2000).	10
Figura 6 – Mapas de Isovalores de Potencial Espontâneo (SP) Área A.	18
Figura 7 – Mapas de Isovalores de Potencial Espontâneo (SP) Área B.	19
Figura 8 – Mapa Potenciométrico da Área A.	20
Figura 9 – Pseudo-seção de Resistividade Aparente Linha A Área A.	21
Figura 10 – Pseudo-seção de Resistividade Aparente Linha B Área A.	22
Figura 11 – Pseudo-seção de Resistividade Aparente Linha A4 Área A.	23
Figura 12 – Pseudo-seção de Resistividade Aparente Linha A40 Área A.	24
Figura 13 – Mapas de Isorresistividades Aparentes Área A.	26
Figura 14 – Seções 3D dos Mapas de Isorresistividades Aparentes referentes aos Níveis 1 e 3 da área A.	27
Figura 15 – Mapa de Isocondutividade Elétrica da Área A.	28

Figura 16 – Pseudo-seção de Resistividade Aparente Linha A1 Área B.	30
Figura 17 – Pseudo-seção de Resistividade Aparente Linha B1 Área B.	31
Figura 18 – Pseudo-seção de Resistividade Aparente Linha C1 Área B.	32
Figura 19 – Pseudo-seção de Resistividade Aparente Linha D1 Área B.	33
Figura 20 – Mapas de Isorresistividades Aparentes referentes aos níveis 2, 4 e 8 da área B.	34
Figura 21 – Seções 3D dos Mapas de Isorresistividades Aparentes referentes aos níveis 2, 4 e 8 da área B.	35
Figura 22 – Mapas de Isocondutividade Elétrica da Área B.	36

ÍNDICE DAS FOTOS

Foto 1 – Vista da Lagoa de Decantação	3
Foto 2 – Equipamento SAS 300B, utilizado para a obtenção dos dados de Resistividade.	12
Foto 3 – Equipamento EM-31, utilizado para obter os dados de Eletromagnetismo	13

Agradecimentos.

Como não podia deixar de ser eu quero agradecer primeiramente a Deus, que sem ele nunca eu estaria aqui. Aos meus pais [Osvaldo e Laurice & Lazinho e Nilce (*in memorian*)] e a todas as minhas duas famílias que sempre me incentivaram no caminho do bem e da verdade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas, que me orientou com dedicação; aos coordenador e autora do Projeto FAPESP que financiou este Trabalho de Formatura: Prof. Dr. Uriel Duarte e a doutoranda Virginia Tezoni Coelho e à Comissão de TF.

Segundamente quero agradecer as pessoas que muito me ajudaram na realização deste trabalho: As minhas amiga, prima e sobrinha de fé minhas irmãs camaradas Lu, Gisele, Elaine e o Paulinho que madrugaram e torraram no campo comigo.

Ao Fernando Pelegri Spinelli, ao Fernando Pelegri Spinelli (assim mesmo, em dobro) que me ajudou nessa empreitada louca que é o *Cyber Space* e todas as outras *cositas* mais (obrigada Moção!). Ao Waldir Leles Martins Filho que salvou meu TF encontrando este no C:\. Ao Jorge Peñaranda "Meguelito", que me proveu de computador (quando o meu morreu) para terminar este trabalho, e à Andréa Franzini e ao Dalmo Tavares que nos transportaram.

Ao Pessoal de apoio (moral): A Silvia Cremonez que me recomendou um ótimo orientador e "baladeu" comigo nas horas amargas. As amigas da Geoklock que não me deixaram desanimar: Alessandra Crespi (AM), Andréa Franzini (ASF), Andréia Yoshinari (AY), Jaqueline Rodrigues, Juliane Tamura (JKT) e Monalisa Horvath (MH) e a amiga Paula (Paulette-Necró) que sempre está por perto apesar de está tão longe. Obrigada *Sheilas* amigas!

Aos meus tutores José Angelo e Sueli Roberta que me deixavam faltar para poder fazer este trabalho.

....só por hoje eu não quero mais chorar
Só por hoje eu não vou me destruir
Posso até ficar triste se eu quiser.
É só por hoje, ao menos isso eu aprendi.

Renato Russo

Resumo

O presente trabalho utiliza técnicas geofísicas para detectar plumas de contaminação provenientes de rachaduras e/ou infiltrações em uma lagoa de decantação de esgoto pertencente a SABESP, no município de Salesópolis, Região Metropolitana de São Paulo, onde se planeja a ampliação da estação de tratamento.

Os métodos utilizados foram: eletrorresistividade – caminhamento elétrico com o arranjo dipolo-dipolo; eletromagnético, com o sistema EM-31 e potencial espontâneo (SP), usando-se a técnica dos potenciais.

Foram levantadas duas áreas adjacentes à lagoa, uma visivelmente contaminada, pois situa-se a jusante da direção preferencial do fluxo, sendo esta o principal objetivo deste trabalho e foi denominada de área B. A outra é uma área maior e é parte integrante do doutorado de Virgínia Tezoni Coelho; esta, foi denominada de área A, aparentemente não apresenta contaminação e na qual serão realizados ensaios diversos com o intuito de determinar o comportamento de diferentes contaminantes, bem como a resposta do meio a estes.

Com os dados obtidos foram construídos pseudo-seções e seções modeladas, mapas e bloco diagramas (simulações 3-D) visando mapear horizontal e verticalmente o comportamento da pluma de contaminação.

A interpretação desses dados levou a confirmação inicial que realmente a área B apresenta-se contaminada, e, que essa contaminação é proveniente de uma fissura/rachadura no fundo da lagoa de decantação. A área A como era esperado não apresenta-se contaminada e a geofísica mostrou apenas os dados referentes a geologia e a zona saturada.

Dentre os métodos utilizados a Eletrorresistividade foi método que melhor serviu a este propósito, os demais métodos serviriam como modelo de comparação, porém por motivos técnicos os dados de Eletromagnetismo não foram aproveitados e os de SP refletiram apenas a geologia local da área B, mas mostrou com razoável precisão as direções preferenciais de fluxos da área A.

Este Trabalho de Formatura viabilizou-se porque os custos diretos (carro, combustível, despesas diversas) foram custeadas pelo Projeto Fapesp citado adiante, uma vez que os objetivos e resultados desta monografia são de interesse ao Projeto e irão integrá-lo.

Abstract

The present Work uses geophysical techniques to detect plumes of contamination proceeding from cracks and/or infiltrations in a lagoon of decantation of sewer pertaining to SABESP, in the city of Salesópolis, Metropolitan Region of São Paulo, where it has been planned the to enlarge of the treatment station.

The used methods were: Eletrorresistivity - Electric Profile (arrangement dipole-dipole); Electromagnetic, (system EM-31) and Self Potential (SP), (using it technique of the potentials).

Two adjacent areas from lagoon had been raised, one visibly contaminated and placed downstream of the preferential direction of the groundwater flow, this area is the main objective of this work and it was determinated as area B. The other one it is a bigger area and it is part integrant of doctorate of Virginia Tezoni Coelho, it was determinated area A, appearly it does not present contamination and diverse geophysics tests will be carried in in the area A to determine the behavior of different contaminants, and to observe the reply of the environment.

Using acquired data pseudo-sections and shaped sections, maps and block diagrams (simulation 3-D) had been constructed, to map in horizontally and Vertically the behavior of the contamination plume.

The interpretation of these data took the initial confirmation that the area B is contaminated, and, that this contamination is proceeding from a fissure/crack in the base of the decantation lagoon. The area A like it was waited does not presented contamination and the geophysics showed only the data referring to the geology and the saturated zone.

Amongst the used methods the Eletrorresistivity it was the method that better served to this intention, the others methods would serve as comparison model, however by reasons technician the data of Electromagnetism had not been used and the data from Self Potential had reflected only the geology local of area B, but it showed with reasonable precision the preferential directions of groundwater flows of the area A.

This Work of Formation was possible because the direct costs (car, fuel, diverse expenditures) had been defrayed by mentionated the Fapesp Project ahead, as the objectives and results of this Monography can add data to the Project and will go to integrate it.

1. Objetivos

Especificamente, este trabalho de formatura visa a detecção e mapeamento da poluição do subsolo/lençol freático utilizando-se métodos geofísicos. A área estudada está contaminada pela infiltração oriunda de uma lagoa de decantação de esgotos domésticos (SABESP) situada no município de Salesópolis. Além deste objetivo, os dados do levantamento geofísico depois de interpretados, irão integrar o projeto FAPESP nº 02/00509-6, Tratamento de Esgotos Domiciliares pelo Processo Misto Lagoa Primária/Fossa Séptica e Infiltração que também contempla o doutorado de Virginia Tezoni Coelho, orientada do Prof. Dr. Uriel Duarte.

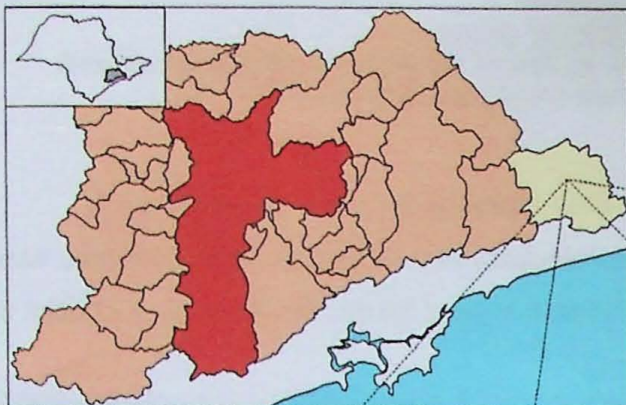
Nos levantamentos de campo foram estudadas duas áreas, estando ambas adjacentes à referida lagoa de decantação de esgotos (**Figura 1**) da SABESP. Para este fim, foram usados métodos geofísicos geoelétricos, principalmente a eletrorresistividade. Também foram empregados os métodos do potencial espontâneo (SP), e eletromagnéticos (EM-31). Antes, cogitava-se a possibilidade da utilização do EM-34 e IP, porém em virtude da realidade da área e dos objetivos a serem atingidos na mesma, optou-se pela eliminação do IP. Da mesma forma, como a profundidade da contaminação e do lençol freático é rasa (entre 0 e 2m), bastaria o alcance do EM-31 para atingir esta profundidade, com isso o método EM-34 também foi eliminado.

Além disso, serão integrados outros dados disponíveis e/ou previstos no âmbito do projeto citado e feita a interpretação integrada.

2. Área de Estudo

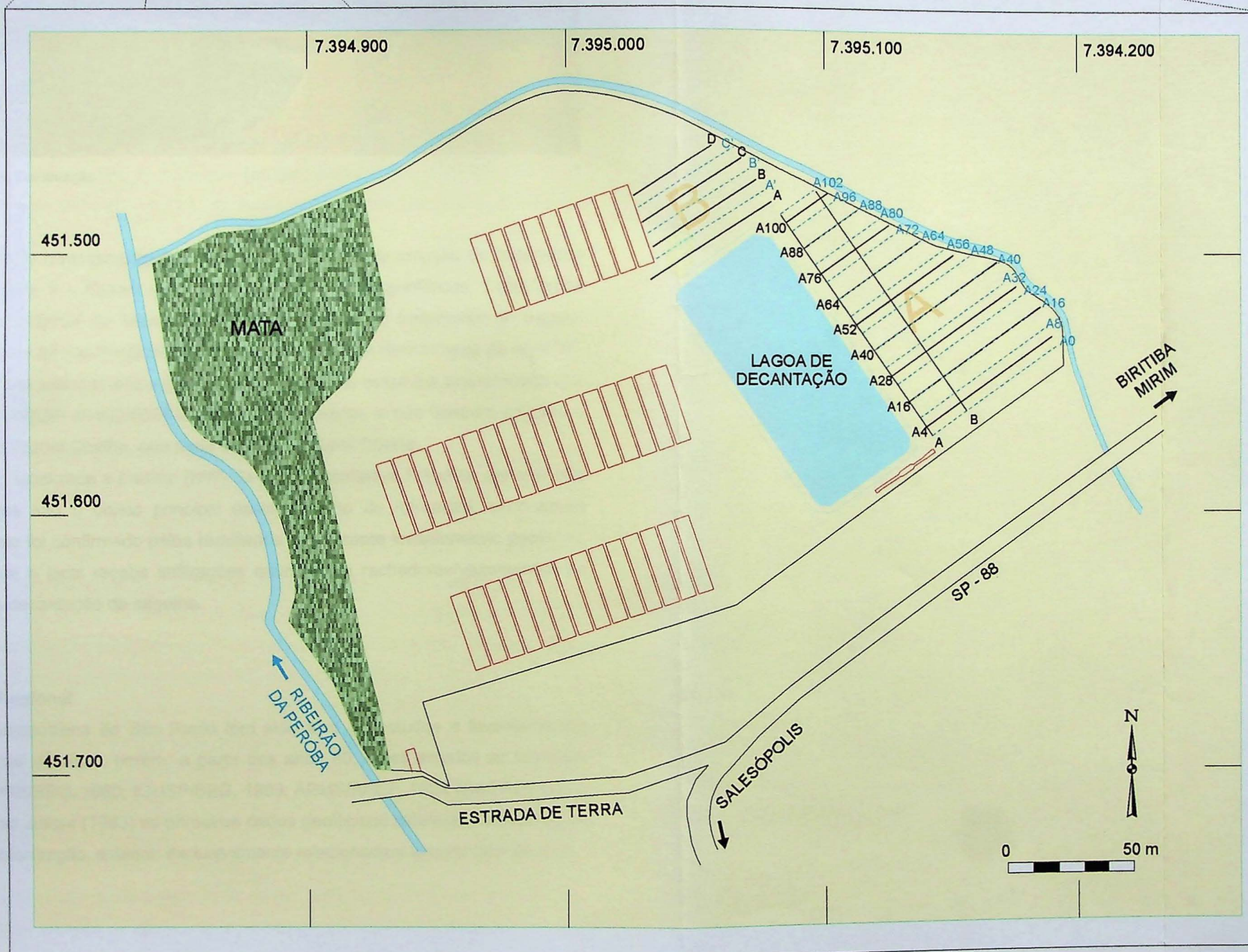
A área de estudos (**Foto 1**) – uma estação de tratamento de esgotos domésticos do distrito de Nossa Senhora dos Remédios – que está sob a jurisdição da SABESP, localiza-se no Município de Salesópolis, situado no extremo leste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Limita-se a SSW e NW com os municípios de Biritiba-Mirim e Guararema, respectivamente. O limite N dá-se com o Município de Santa Branca, a NE, E e SE com o Município de Paraibuna, a S com os Municípios de Bertioga e São Sebastião e a SSE com o Município de Caraguatatuba, conforme ilustra a **Figura 1**.

Esta estação de tratamento é constituída de uma lagoa/piscina com cerca de 5000 m² que recebe o esgoto doméstico do distrito de Nossa Senhora dos Remédios. Os efluentes chegam à lagoa através de canos e são captados diretamente da rede de esgoto da cidade. A área da estação de tratamento encontra-se praticamente circundada por corpos de água, sendo que a W ocorre o Ribeirão da Peroba e a N e E ocorre um outro córrego conforme ilustra a **Figura 1**.



Fonte: Extraído e modificado do site da Prefeitura de São Paulo.

SALESÓPOLIS - DESTRITO NOSSA SENHORA DOS REMÉDIOS



LEGENDA

perfis da área B:

- Métodos SP e EM
- Métodos de resistividade, SP e EM

perfis da área A:

- Método SP
- Método de resistividade e EM

- Área Metropolitana
- Município de São Paulo
- Município de Salesópolis

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo com os caminhamentos realizados. Extraído e modificado da planta fornecida pela Sabesp (jun 2003); escala original 1:1000.

A sudoeste da lagoa foi colocada uma camada de cascalho (um tipo de filtro) e sobre este cascalho estão dispostos três conjuntos de tubos furados que captam a água da lagoa, já tratada e por meio dos quais a água é devolvida para o meio ambiente (**Figura 1**).



Foto 1 – Vista da Lagoa de Decantação.

As duas áreas de levantamento geofísico dentro da área da estação de tratamento são indicadas na **Figura 1** – Croqui de localização dos ensaios geofísicos. Estas áreas estão nos planos da SABESP de futura ampliação da estação de tratamento de esgoto. Destas, aquela que situa-se nas borda nordeste da lagoa que será denominada de área “A”. A finalidade principal dos levantamentos geofísicos ali realizados nesta é a incorporação dos mesmos ao projeto FAPESP nº 02/00509-6 citado anteriormente, e que também engloba o doutorado de Virgínia Tezoni Coelho, orientada do Prof. Dr. Uriel Duarte.

A área menor, localizada a jusante (NW) da lagoa Facultativa Primária, denominada área “B”, cujos dados são o objeto principal deste trabalho de formatura, encontra-se contaminada. Este fato foi confirmado pelos resultados do presente levantamento geofísico, que evidenciaram que o local recebe infiltrações oriundas de rachaduras/vazamentos no concreto da lagoa de decantação de esgotos.

3. Geologia Regional

A Região Metropolitana de São Paulo tem sido alvo de estudos e levantamentos geológicos há diversas décadas, porém, a partir dos anos 80, estes estudos se tornaram mais freqüentes (ABGE/SBG, 1980; IGUSP/SBG, 1989; ABMS/ABEF, 1992 *apud* Rodriguez, 1998). De acordo com Juliani (1993) os primeiros dados geológicos referentes à esta região datam do início da colonização, estando exclusivamente relacionada a ocorrências de ouro.

Deve-se a Mawe (1812 *apud* Rodriguez, 1998), as primeiras referências aos sedimentos da Bacia Sedimentar de São Paulo, sendo que esta sofre diferentes denominações até Mezzalira (1972 *apud* Rodriguez, 1998) denominá-la pelo nome atual.

Os conhecimentos sobre a bacia sedimentar e seu embasamento cristalino tiveram grande impulso a partir dos anos 80 quando diversos trabalhos foram realizados nesta região.

Segundo Rodriguez (1998), a região de Salesópolis está englobada em uma porção da RMSP, onde as litologias predominantes são os granitóides das Suítes Graníticas, sendo também de importância relevante as rochas migmatíticas de paleossoma gnáissico do Complexo Costeiro. Contudo, devido à grande proximidade do córrego, a litologia ocorrente na área de estudos deve ser constituída por sedimentos aluviais, compostos essencialmente por areia argilosa e também por solo de alteração dos granitóides.

O nível d'água nas áreas de estudos, de acordo com as observações preliminares, ocorre em profundidades relativamente rasas, da ordem de 0 a 2 m, sendo mais profundo na porção mais a SW e mais raso, chegando a aflorar, na parte mais a NE de ambas as áreas, podendo indicar uma direção de fluxo para nordeste.

4. Relevância do Projeto

Os dados obtidos através da geofísica têm sido largamente utilizados em questões ambientais e têm se mostrado bastante confiáveis para mapeamento e monitoramento de contaminantes em subsuperfície. Os dados diretos são úteis e normalmente indispensáveis, mas podem contaminar zonas não contaminadas confinadas por zona capeadora. Os métodos geofísicos são eficazes por serem métodos indiretos não invasivos e otimizam o emprego dos métodos diretos, geralmente de mais elevado custo (sondagens, p. e.).

No diagnóstico ambiental de áreas poluídas, os levantamentos geofísicos têm por objetivo básico a identificação da presença da contaminação no subsolo, estabelecendo correlações entre as propriedades físicas medidas e as contaminações.

O presente trabalho é específico para o caso contaminações provenientes de esgotos domésticos, sendo importante para estabelecer o impacto ambiental provocado pelos sistemas de esgotamento sanitário. Este tipo de poluição é uma grave agressão ao meio ambiente, causando danos diretos ao solo e às águas subterrâneas e também potencializando a proliferação de doenças, tornando-se um problema de saúde pública.

O projeto no qual esse trabalho de formatura está inserido (Projeto Fapesp, já citado) trata-se da fase de planejamento da implantação de um sistema de esgotamento sanitário, com o intuito de praticar ensaios na área a ser ocupada, e saber quais as respostas do meio

a determinados poluentes. O projeto, posteriormente, de acordo com os resultados dos ensaios, irá propor tratamento adequando aos efluentes domésticos antes que estes sejam despejados na natureza, podendo evitar vários danos à saúde pública.

5. Métodos de Trabalho

5.1. Métodos e Técnicas Geofísicas Utilizadas

Os métodos geofísicos empregados foram o da eletrorresistividade, potencial espontâneo (SP) e o eletromagnético (EM).

A técnica para a eletrorresistividade foi a do caminhamento elétrico com o arranjo dipolo-dipolo. Os dados obtidos a partir deste tipo de arranjo permitiram a identificação dos contrastes laterais e verticais nas resistividades e estabelecer sua correlação com os locais contaminados. Também foi utilizado o método SP, com a técnica dos potenciais, que pode indicar a determinação de direções preferenciais de fluxos. O sistema eletromagnético empregado foi o EM-31, com medidas realizadas ao longo dos mesmos perfis ensaiados com os outros métodos, buscando uma comparação/correlação entre eles.

5.1.1 Resistividade Aparente (R_a)

A resistividade aparente é o parâmetro fornecido pelo método da eletrorresistividade. Seu princípio baseia-se na passagem, pelo solo, de uma corrente elétrica contínua de intensidade I , transmitida por um par de eletrodos A e B, ligado a um emissor E (baterias ou grupo-gerador). Mede-se a diferença de potencial ΔV entre dois eletrodos M e N, conforme mostra a **Figura 2**, e a resistividade aparente (R_a) é dada pela fórmula $R_a = K V/I$, onde:

K = coeficiente que depende das dimensões e arranjo do quadripolo AMNB,

V = diferença de potencial (mV)

I = Corrente elétrica (mA)

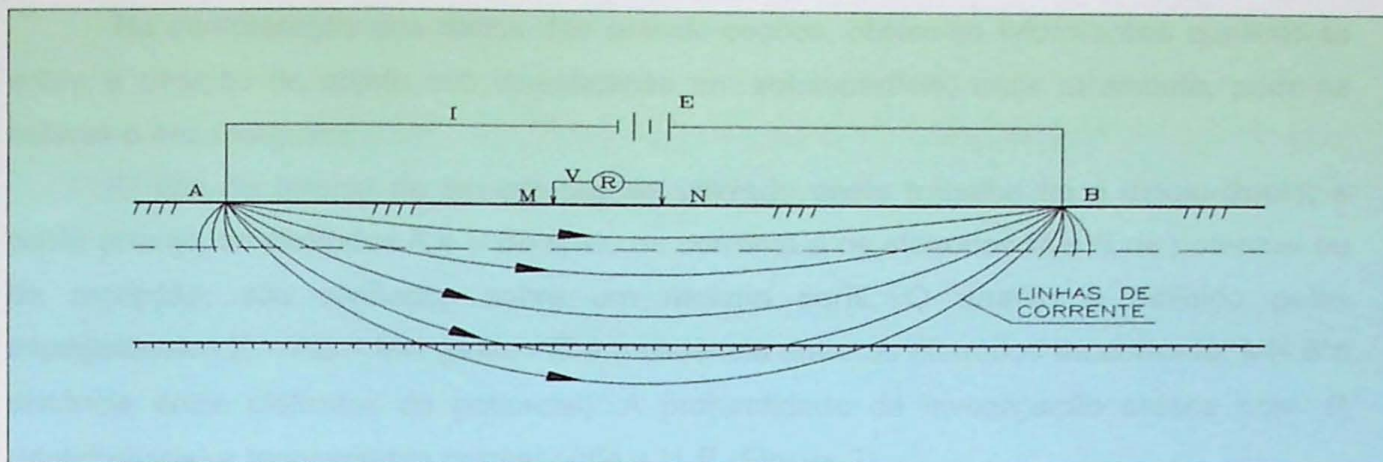


Figura 2 - Princípio do Método da Eletrorresistividade - apostila do curso de geofísica aplicada. Modificado de Gallas, (2002).

5.1.1.1. Caminhamento Resistividade

Trata-se de uma técnica de investigação horizontal, em uma ou em várias profundidades, aproximadamente constantes, a partir de medidas tomadas na superfície do terreno.

A finalidade do caminhamento resistividade é estudar as variações laterais da resistividade do subsolo, sendo muito adequado para detectar contatos geológicos verticais ou inclinados, mineralizações, diques, fraturamentos e/ou falhamentos e outros corpos ou estruturas que se apresentam como heterogeneidades laterais deste parâmetro. Pode ser também utilizada na caracterização de aquíferos e de depósitos de areias e cascalhos, delineando os seus limites.

As investigações efetuadas pelo caminhamento resistividade geralmente são efetuadas ao longo de perfis e os resultados obtidos se relacionam entre si através de um estudo em planta a uma profundidade determinada, ou ainda, através de seções com várias profundidades de investigação (Gallas, 2000).

5.1.1.2. Arranjo Dipolo-Dipolo/Pseudo-seções de Resistividade

As seções obtidas com a utilização desse arranjo são denominadas de pseudo-seções, pois os dados obtidos de diferentes níveis de investigação não correspondem aos valores reais dos parâmetros de cada camada investigada, referindo-se apenas a valores aparentes de resistividade. Da mesma maneira, as profundidades mostradas na seção vertical são também apenas qualitativas.

Na interpretação dos dados das pseudo-seções, obtém-se informações qualitativas sobre a posição do objeto sob investigação em subsuperfície, mais raramente, pode-se estimar o seu mergulho.

O tipo de arranjo de pseudo-seções utilizado neste trabalho foi o dipolo-dipolo, e neste arranjo, os eletrodos A e B de envio de corrente e os eletrodos M e N de potencial ou de recepção, são alinhados sobre um mesmo perfil. O arranjo é definido pelos espaçamentos $X = AB = MN$ (onde AB é a distância entre os eletrodos de corrente; MN é a distância entre eletrodos de potencial). A profundidade de investigação cresce com R (resistividade) e teoricamente corresponde a $\frac{1}{2} R$ (Figura 3).

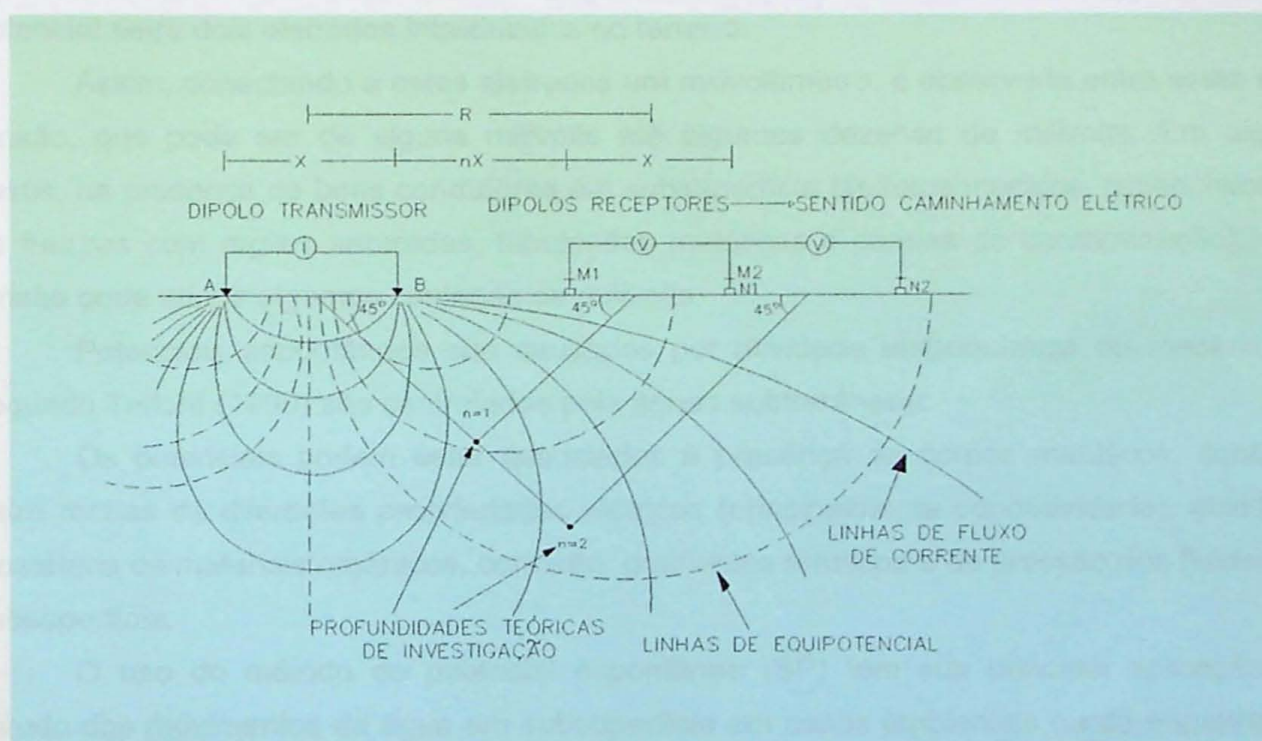


Figura 3- Caminhamento Resistividade/Disposição no campo do arranjo dipolo-dipolo. Modificada de Gallas (2000).

Comumente, as medidas são realizadas em várias profundidades de investigação, isto é, $n = 1, 2, 3, 4$ e 5 , e atribuídas na intercessão das linhas que partem a 45° dos centros de AB e MN.

A cada estação, os dois dipolos são deslocados a uma distância igual a X, e os dados obtidos são plotados nas posições $n = 1, 2, 3, \dots$ e interpolados, gerando uma pseudo-seção de resistividade aparente.

5.1.2. Potencial Espontâneo (SP)

O método do potencial espontâneo ou *Self-Potential* (SP) foi desenvolvido inicialmente para aplicação em prospecção mineral, posteriormente em geotermia, perfilagens de poços e, atualmente, é bastante aplicável em problemas ambientais, em geologia de engenharia e hidrogeologia.

Devido ao pouco conhecimento deste método fora do meio de prospecção mineral, este tem sido pouco utilizado em outras áreas como hidrogeologia, geologia de engenharia ou na geologia ambiental. Sua aplicação é simples, de fácil operacionalidade e baixos custos.

Trata-se de um método de campo natural e baseia-se no fato de que mesmo quando não existe qualquer campo elétrico de origem artificial, é possível medir uma diferença de potencial entre dois eletrodos introduzidos no terreno.

Assim, conectando a estes eletrodos um milivoltímetro, é observada entre estes uma tensão, que pode ser de alguns milivolts até algumas dezenas de milivolts. Em alguns casos, na presença de bons condutores em subsuperfície (sulfetos maciços, preenchimento de fraturas com argilas saturadas, tubulações metálicas e plumas de contaminação), esta tensão pode atingir algumas centenas de milivolts.

Potenciais espontâneos são causados por atividade eletroquímica ou mecânica e segundo Telford (1990) são controlados pela águas subterrâneas.

Os potenciais podem estar associados à presença de corpos metálicos, contatos entre rochas de diferentes propriedades elétricas (principalmente condutividade), atividade bioelétrica de materiais orgânicos, corrosão, gradientes térmicos e de pressão nos fluidos de subsuperfície.

O uso do método do potencial espontâneo (SP) tem sua principal aplicação no estudo dos movimentos da água em subsuperfície em casos ambientais ou de engenharia. As anomalias de SP são geradas pelo fluxo de fluidos, de calor ou de íons no subsolo, e seu estudo tem sido útil para localizar e delinear estes fluxos e as fontes associadas.

5.1.2.1. Método dos Potenciais.

São empregados para a tomada de dados SP dois eletrodos de medidas. Esta configuração requer que um dos eletrodos seja mantido fixo em uma estação-base, enquanto o outro percorre os pontos de medidas nos perfis ou na malha de levantamento.

A **Figura 4** ilustra o procedimento, em que a estação-base é o ponto do eletrodo M e as posições N, N' e N'' referem-se às sucessivas posições do eletrodo itinerante.

O levantamento é efetuado conectando um dos pólos do instrumento de medidas à base fixa e mantendo este junto à mesma. O outro pólo do instrumento é conectado ao eletrodo móvel que se desloca ao longo dos perfis tomando as medições SP nas estações sucessivas.

A grande vantagem desta configuração é a significativa diminuição no erro cumulativo, que pode ocorrer com outra técnica, a dos gradientes.

A reproduzibilidade dos dados obtidos com a técnica dos potenciais, geralmente é bastante melhor do que a obtida com a configuração dos gradientes e a probabilidade de mapear-se “anomalias” causadas por ruídos espúrios é menor.

Deste modo, a menos que existam dificuldades para utilização do dispositivo dos potenciais para a coleta de dados inerentes à área a ser estudada, é sempre preferível o uso da configuração dos potenciais à configuração dos gradientes.

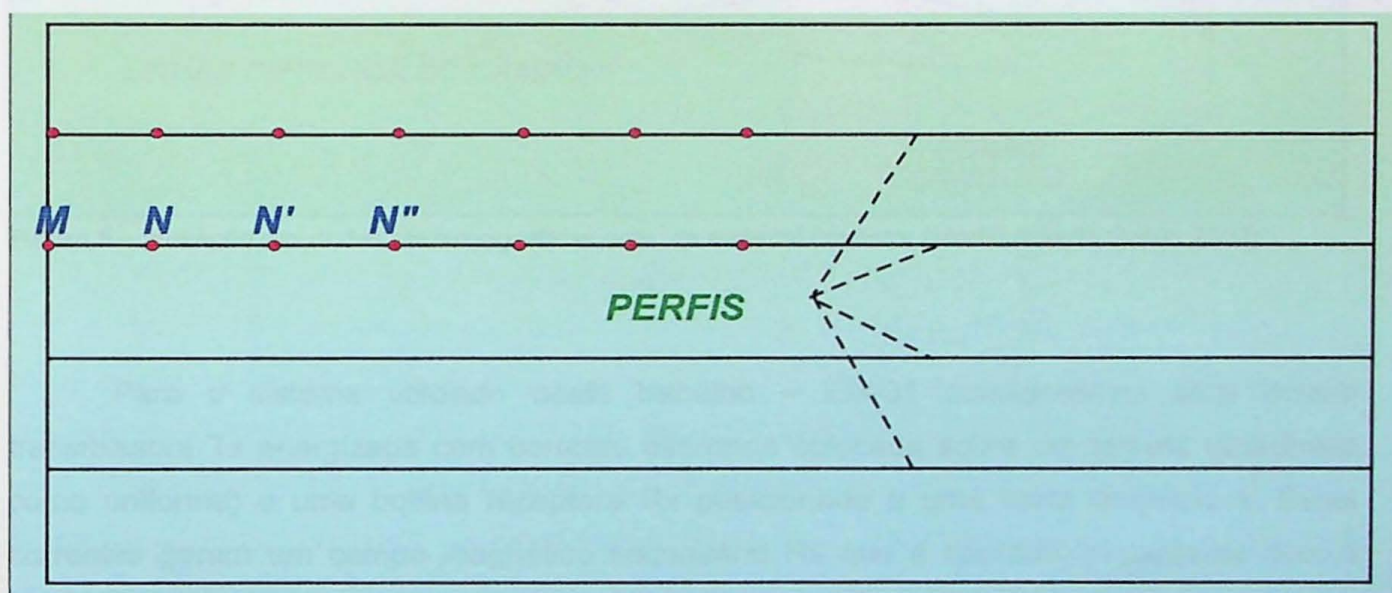


Figura 4- Configuração da Técnica dos Potenciais. Modificada de Gallas, (2000).

5.1.2. Método Eletromagnético (EM)

Nos métodos eletromagnéticos ou de indução são empregados campos eletromagnéticos, gerados por correntes alternadas de origem artificial ou natural.

Uma bobina transmissora Tx energizada com corrente alternada é colocada sobre um terreno (assumido como uniforme) e uma bobina receptora Rx conforme ilustra a **Figura 5**. A oscilação temporal do campo magnético causada pela corrente alternada na bobina transmissora provoca uma indução de correntes no subsolo. Estas correntes geram um campo magnético secundário H_s que é captado, juntamente com o campo primário H_p na bobina receptora.

Os parâmetros medidos pelos equipamentos EM são função destes campos, como por exemplo, o vetor resultante H_r , Gallas (2002).

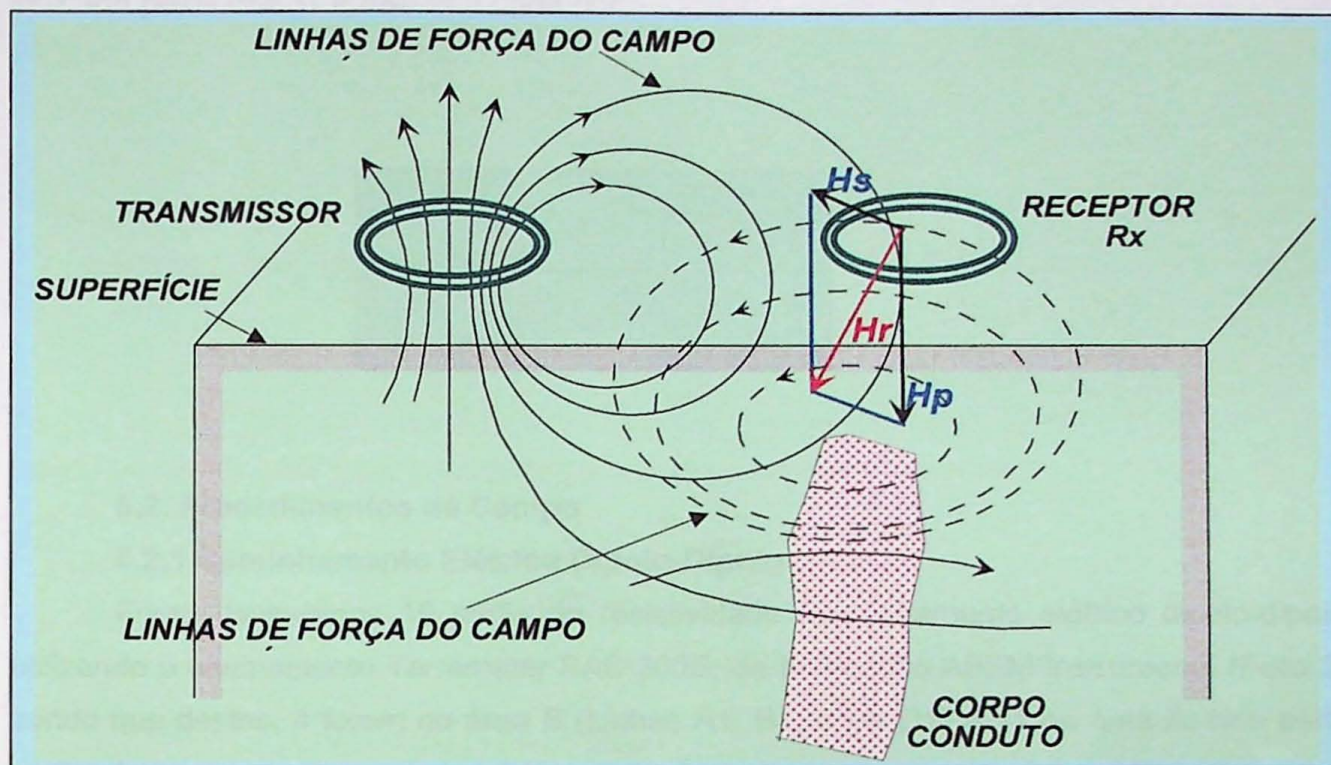


Figura 5 – Interação das ondas eletromagnéticas com um material condutor (Modificado de Gallas 2002).

Para o sistema utilizado neste trabalho – EM-31 consideremos uma bobina transmissora Tx energizada com corrente alternada colocada sobre um terreno (assumido como uniforme) e uma bobina receptora Rx posicionada a uma curta distância s . Estas correntes geram um campo magnético secundário H_s que é captado, juntamente com o campo primário H_p na bobina receptora. O campo magnético secundário é uma função da distância entre bobinas s , da frequência f e da condutividade σ do terreno, expressa como:

$$\frac{H_s}{H_p} \cong \frac{i \omega \mu_0 \sigma s^2}{4}$$

H_s = campo magnético secundário na bobina receptora;
 H_p = campo magnético primário na bobina receptora;
 $\omega = 2\pi f$;
 f = frequência (Hz);
 μ_0 = permeabilidade magnética no espaço livre;
 σ = condutividade do terreno (ohm/m)
 s = distância entre bobinas;
 $i = \sqrt{-1}$.

Desta forma, a relação entre os campos magnéticos secundários e primários fica linearmente proporcional à condutividade do terreno, tornando possível a leitura direta das conectividades medindo-se esta relação. Obtendo-se H_s/H_p , a condutividade aparente indicada pelos EM-31 e EM-34 é dada por:

$$\sigma_a = \frac{4}{\omega \mu_0 s^2} \left(\frac{H_s}{H_p} \right)$$

5.2. Procedimentos de Campo

5.2.1 Caminhamento Elétrico Dipolo-Dipolo

Foram levantados 15 perfis de resistividade (caminhamento elétrico dipolo-dipolo) utilizando o equipamento Terrameter SAS 300B, de fabricação ABEM Instruments (**Foto 2**), sendo que destes, 4 foram na área B (Linhas A1, B1, C1 e D1) e 11 na área A. Nos perfis realizados na área B, os dados foram tomados com espaçamento $AB = MN = 2\text{ m}$, 10 m entre os perfis e medidas tomadas em 8 níveis de investigação.

Dos 4 perfis realizados na área B o mais longo é a Linha A1 que apresenta 54 m de comprimento e o mais curto é a Linha D1 com 38 m, estando estes direcionados paralelamente a borda noroeste da lagoa e apresentando direção NE-SW, (**Figura 1**).

Na área A, dos 11 perfis realizados, 2 deles (Linha A e Linha B) foram dispostos paralelos à borda da lagoa de decantação objetivando detectar a existência de alguma infiltração, sendo que ambos têm 100 m de comprimento e distam 16 m um do outro. A abertura entre eletrodos para esta área foi de $AB = MN = 4\text{ m}$ e as medidas foram tomadas em 5 profundidades. Os demais perfis realizados nesta área estão dispostos ortogonalmente à borda da lagoa e a distância entre perfis foi de 12 m e visou o comportamento dos valores de resistividade atuais para posterior comparação com novos dados a serem tomados futuramente no decorrer do projeto FAPESP e doutorado de Virgínia Tezoni Coelho. (**Figura 1**).



Foto 2- Equipamento SAS 300B, utilizado para obtenção dos dados de Resistividade.

5.2.2. Potencial Espontâneo (SP)

Foram tomadas medidas de Potencial Espontâneo em ambas as áreas, utilizando-se a Técnica dos Potenciais (ou base fixa) cuja configuração está ilustrada na **(Figura 4)**.

Na área B, os caminhamentos foram fixados com espaçamento de 5 m entre os perfis e medidas tomadas a cada 2 m, sendo levantados 7 perfis. Na área A foram ensaiados 14 perfis com medidas de 4 em 4 m espaçamento entre eles de 8 m.

Para a tomada de medidas procedeu-se de acordo com o método de trabalho proposto pela técnica utilizada: foi cavada uma pequena cova em um lugar apropriado (úmido e longe de objetos metálicos) onde foi fixada a base. O procedimento ao longo dos perfis foi similar, também sendo umedecidas as covas.

Os eletrodos impolarizáveis utilizados foram recipientes com fundo poroso e contendo um filamento de cobre imerso em uma solução saturada de CuSO_4 , que permite o contato lento da solução com o terreno.

Por convenção, o eletrodo ligado à estação base é o eletrodo negativo, sendo o eletrodo itinerante o positivo ligado ao pólo positivo do equipamento o milivoltímetro empregado foi da marca Fluke (fabricação USA).

Tomou-se o cuidado de marcar o tempo de início e do término do levantamento para que se fossem corrigidas eventuais flutuações das medidas, caso o período de tomada dos dados ultrapassasse 2 horas.

5.2.3. Caminhamento Eletromagnético

Para o levantamento eletromagnético utilizou-se a mesma malha do Potencial Espontâneo (SP) em ambas as áreas. O método consistiu da utilização do equipamento EM-31 de fabricação sueca Geonics, um equipamento portátil operado por uma pessoa. Para a obtenção dos dados transportou-se o equipamento de ponto a ponto, parando em cada ponto a ser amostrado e efetuando-se as medidas. As leituras foram tomadas considerando-se o campo EM vertical (bobinas horizontais) e horizontal (bobinas verticais).

Para a interpretação dos dados obtidos em campo foram utilizados os *softwares* (Surfer 8, RES2D-INV, Corel Draw 9) que estão disponíveis no Instituto de Geociências (IGc).

Para a locomoção durante os trabalhos de campo foram utilizados veículos do próprio IGc.



Foto 3- Equipamento EM-31, utilizado para obter os dados de Eletromagnetismo.

6. Fundamentação Bibliográfica

O desenvolvimento desse Trabalho de Formatura tem embasamento teórico nos livros e textos básicos que tratam de geofísica e dos métodos aqui empregados, p. e. Telford *et al.* (1990); Orellana (1972); Ward (1990); Keller & Frischknecht (1976); Sumner (1976); Bertin & Loeb (1976); etc., bem como publicações sobre casos históricos da utilização de métodos e técnicas geofísicas aplicadas à hidrogeologia e meio ambientes.

A tese de doutoramento de Gallas (2000) demonstrou como diversas técnicas geofísicas que foram desenvolvidas para uso em prospecção mineral podem ser utilizadas com sucesso em questões ambientais e hidrogeológicas. Braga (2000), recomenda para

questões de hidrogeologia a utilização das técnicas de sondagem elétrica vertical (SEV) e caminhamento elétrico (CE).

Também foi útil a apostila do curso da disciplina GSA-308 Geofísica Aplicada Gallas (2002)

Mendes (1987), em sua tese de doutoramento utiliza técnicas geofísicas para monitorar plumas de contaminação em águas subterrâneas procurando desenvolver técnicas que pudessem ser empregadas em mapeamento e monitoramento de áreas industriais.

CETESB (1999) recomenda os métodos da eletrorresistividade (ER), eletromagnéticos (EM), além de GPR (Ground Penetrating Radar) quando em questões ambientais.

Reynolds & Taylor, (1996) mostraram como é útil o emprego de técnicas geofísicas durante várias fases de um aterro sanitário, durante o planejamento, e implantação e posteriormente na fase de remediação de aterros sanitários já fechados.

Cahyna (1990) empregou o uso de técnicas geoeletricas, sondagem elétrica vertical (SEV-PI) e Perfilagem Resistiva Simétrica (SRP-IP); método Mise-à-la-Masse; medidas da resistividade da água e medidas da resistividade média da rocha para o monitoramento de uma infiltração artificial de cloreto de cálcio em sedimentos flúvio-glaciais.

Mazac *et al.*, (1990) utilizaram um método geoeletrico baseado em modelagem matemática e de laboratório, chamado *Screening Body* para determinar contaminação por óleo presente em água subterrânea.

Ross *et al.*, (1990) empregaram a técnica de eletrorresistividade dipolo-dipolo para mapeamento de antigos aterros sanitários e depósitos de rejeitos químicos e industriais situados em uma Base da Força Aérea Americana no nordeste do estado americano de Utah.

Schwarz (1990) utilizou métodos geofísicos, principalmente geoeletricos para o gerenciamento da exploração de água subterrânea na Bacia do Rio Tolt no estado de Washington, Estados Unidos.

Azambuja *et al.* (1995) utilizaram diversas técnicas geofísicas de resistividade elétrica considerando sua aplicação na identificação de plumas de contaminação por hidrocarbonetos no solo.

Elis (1998), em sua tese de doutorado, usa a eletrorresistividade e também o IP e SP em estudos de disposição de resíduos, fazendo, através dos levantamentos com o método, estimativas das áreas contaminadas em lixões/aterros sanitários situados no interior de São Paulo e Minas Gerais.

Com a necessidade de estudar e determinar as características do sistema aquífero Barreiras/Marituba no estado de Alagoas, Elis *et al* (2001) utilizaram-se de sondagem e caminhamento elétricos para obtenção de informações sobre a estratigrafia e posição da zona saturada nos locais carentes de evidências diretas, além da confirmação de zonas de falha delimitando blocos estruturais que controlam a geologia local.

Dehaini (1991) utilizou métodos geoeletricos (eletrorresistividade e eletromagnético indutivo) para detectar indicação de pluma de poluição em águas subterrâneas no lixão de Ribeirão Preto. Além das técnicas geofísicas utilizou também análises físico-químicas das águas subterrâneas para confirmar posicionamento, intensidade e evolução das plumas de contaminação.

7. Resultados Esperados e Comparação entre os Métodos Utilizados

A realização deste Trabalho de Formatura – TF objetiva a utilização dos dados obtidos através de ensaios geofísicos para estudos de contaminação por esgotos domésticos em Salesópolis/SP, no distrito de Nossa Senhora dos Remédios (Bacia Hidrográfica do Alto Tietê). Parte dos resultados deste TF acha-se inserido em um projeto FAPESP mais abrangente relacionado com o doutorado de Virginia Tezoni Coelho.

A partir dos dados obtidos esperava-se mapear os limites da área contaminada e ter-se uma avaliação da profundidade atingida pela contaminação. Para tal, foram feitas interpretação e análise de pseudo-seções e seções modeladas de resistividade, bem como de mapas e blocos diagramas (simulações 3-D) obtidos a partir das mesmas.

Os dados SP, associados ao monitoramento realizado nos poços da área A indicam as direções dos fluxos, mostrando que estas diferentemente do que indicam as observações preliminares, fluem para norte, porém as observações preliminares destes dados parecem estar indicando uma correlação que reflete mais a geologia local, principalmente na área B. Do mesmo modo, esperava-se uma boa correlação dos dados eletromagnéticos com os demais, contudo, possíveis falhas no equipamento proporcionaram dados pouco significativos.

No entanto, os resultados dos ensaios eletrorresistivos mostraram-se de muito boa qualidade e são suficientes para que os objetivos principais do projeto sejam plenamente atingidos.

O término dos estudos e o tratamento dos dados obtidos, através dos ensaios geofísicos, mostraram um maior entendimento do comportamento dos contaminantes presentes no subsolo/lençol freático em uma área onde são depositados efluentes de esgotos domésticos. A importância deste estudo reside no fato de as conclusões tiradas

deste levantamento/monitoramento poderem ser aplicadas a outras áreas, cujas características físico-químicas do(s) contaminante(s) sejam equivalentes àquelas estudadas neste Trabalho de Formatura, ou ainda naquelas áreas onde as características físicas e geológicas apresentem-se semelhantes.

8. Atividades Realizadas

Durante o período compreendido entre fevereiro e novembro de 2003 foram realizadas as atividades previstas no cronograma, respeitando os prazos e ainda houve o adiantamento da confecção dos mapas das plumas que, a princípio, estavam previstos para agosto, setembro e outubro.

Na segunda parte, compreendida entre agosto a novembro, foi realizada a integração dos dados obtidos nas fases anteriores e a partir daí foram feitas as interpretações de como a geofísica pode ser um método indireto bastante útil para a geologia ambiental.

8.1. Avaliação do Progresso do Projeto

O escopo original do projeto sofreu uma pequena modificação referente a quantidade de métodos que seriam utilizados. Inicialmente, previa-se a utilização de resistividade, IP, SP e EM-31 e EM-34. Em virtude da realidade da área e dos objetivos a serem atingidos na mesma, optou-se pela eliminação do IP. Da mesma forma, como a profundidade da contaminação e do lençol freático é rasa (entre 0 e 2 m), bastaria o alcance do EM-31 para atingir esta profundidade.

Outra modificação foi com relação à área de atuação em que seriam utilizados os dados geofísicos para a realização deste trabalho; a princípio esta estava relacionada com monitoramento de plumas de contaminação na Bacia do Alto Tietê, no Parque Ecológico do Tietê. Tendo surgido a possibilidade de integração deste trabalho de formatura com o referido projeto FAPESP em uma área da mesma bacia e aplicando-se a geofísica em uma situação de contaminação por esgotos domésticos, potencialmente mais interessante, optou-se pela mudança.

Poucas foram as dificuldades que poderiam tornar inviáveis a realização do projeto. Poderia ser citada como a dificuldade mais significativa o mau funcionamento do EM-31, resultando no não aproveitamento dos dados obtidos.

9. Resultados Obtidos.

De acordo com os resultados obtidos, avaliam-se que estes são plenamente satisfatórios, tendo sido possível mapear os limites da área contaminada e ter-se uma avaliação da profundidade atingida pela contaminação. Estes resultados são perfeitamente constatados através de um exame das pseudo-seções e seções modeladas de resistividade, bem como dos mapas e simulações 3-D obtidas a partir das mesmas.

Os dados de SP indicam as direções de fluxo como era esperado, apesar destes parecer estarem indicando uma correlação mais eficiente dos tipos litológicos, arenosos e argilosos. **(Figuras 6 e 7)** Porém quando comparados com os dados dos poços de monitoramento localizados na área A, obtidos a partir dos resultados relacionados a tese de doutorado de Virginia Tezoni Coelho, fica claro que a direção de fluxo preferencialmente para NW na direção do Ribeirão Peroba e não para norte como se era imaginado anteriormente **(Figura 8)**.

Os resultados do levantamento eletromagnético também indicam um mau funcionamento do equipamento, sendo inaproveitáveis estes dados.

Após a obtenção dos dados de campo foram gerados pseudo-seções, seções modeladas, blocos-diagramas e mapas, delimitando a área atingida pela pluma de contaminação.

A análise e interpretação dos resultados serão feitas individualmente para as duas áreas estudadas, áreas A e B, pois conforme citado anteriormente, tratam-se de contextos diferentes, no que se refere à realização desta monografia. Enquanto a área B é área de estudos efetiva, comprovadamente contaminada pelo vazamento da lagoa de decantação, na área A, os ensaios geofísicos foram realizados para complementar o monitoramento e comportamento de contaminantes e ensaios posteriores que serão efetuados no local, no âmbito do Projeto FAPESP.

9.1 Geofísica Referente à Área A

Com os dados de eletrorresistividade foram confeccionadas (usando-se *Surfer* e *RES2D-INV*), duas pseudo-seções e seções modeladas de resistividade paralelas à lagoa de decantação **(Figuras 9 e 10)**. Além desses, foram ensaiados mais 9 perfis ortogonais a lagoa dos quais foram selecionados 2 para serem apresentados neste trabalho **(Figuras 11, e 12)**.

Os perfis realizados nesta área apresentam 5 níveis de amostragem e atingem uma profundidade teórica de 12 m. A partir dos níveis de amostragem foram confeccionados

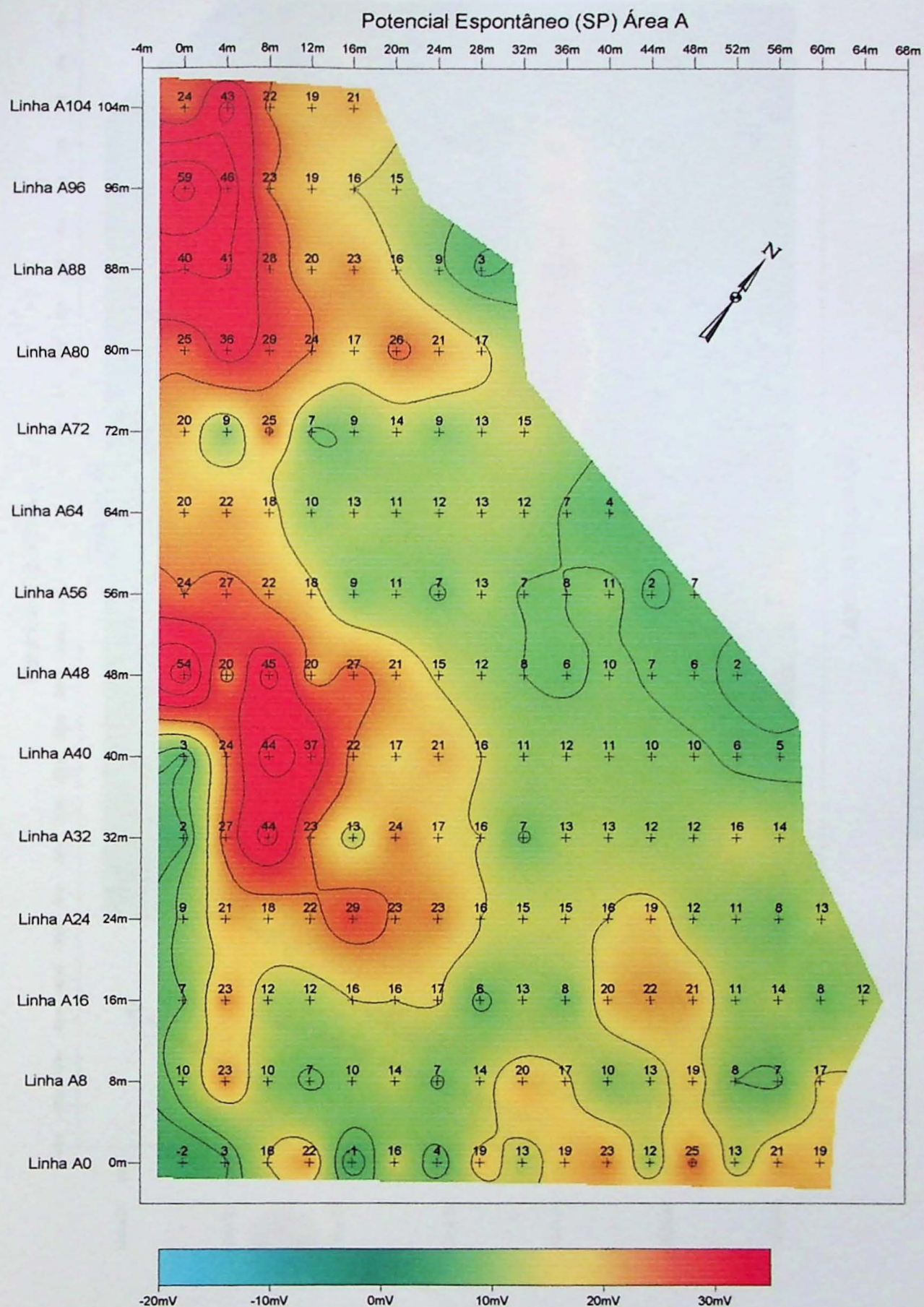


Figura 6 - Mapa de Isovalores de Potencial Espontâneo Área A

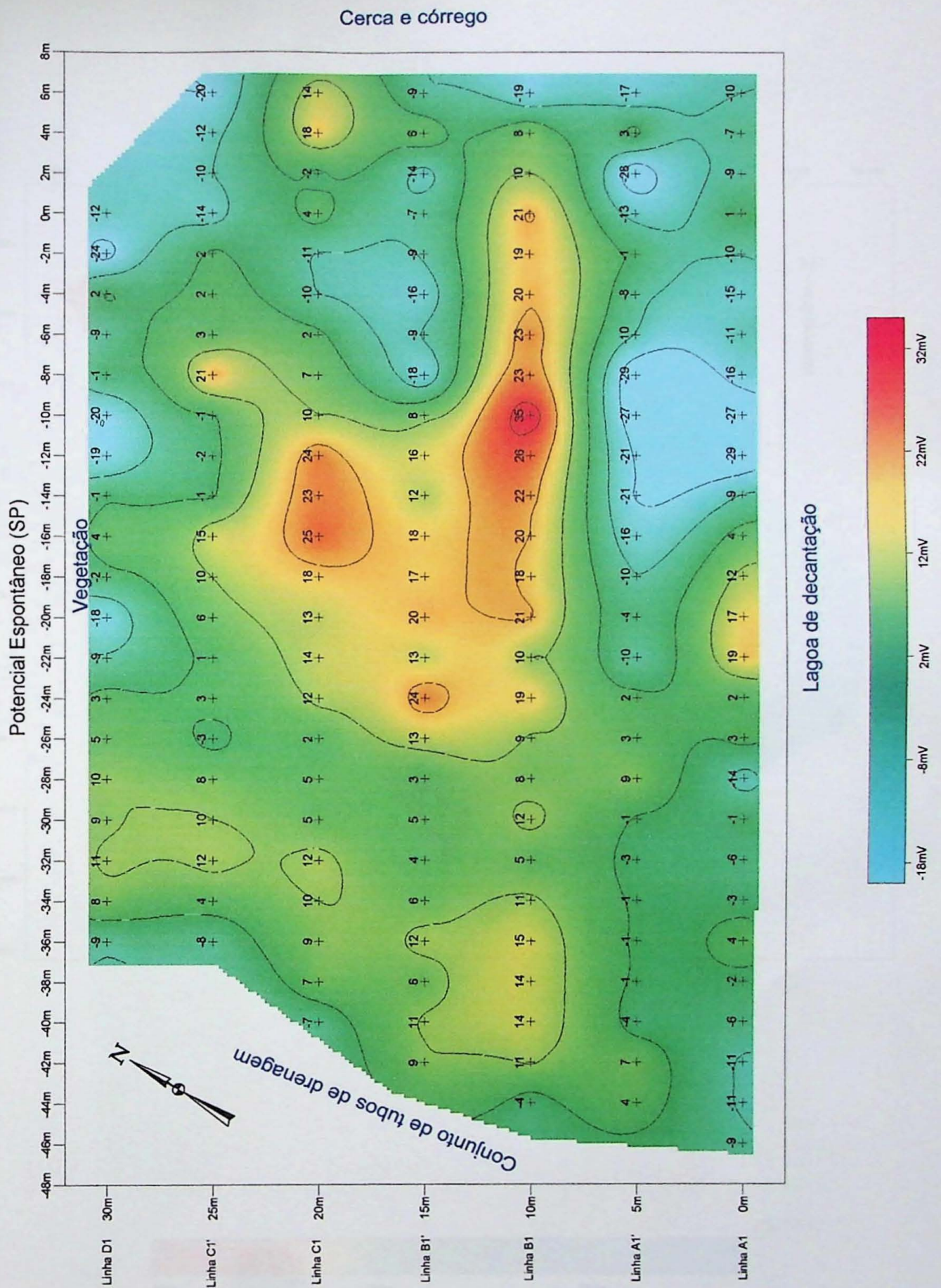


Figura 7 - Mapa de Isovalores de Potencial Espontâneo (SP) Área B

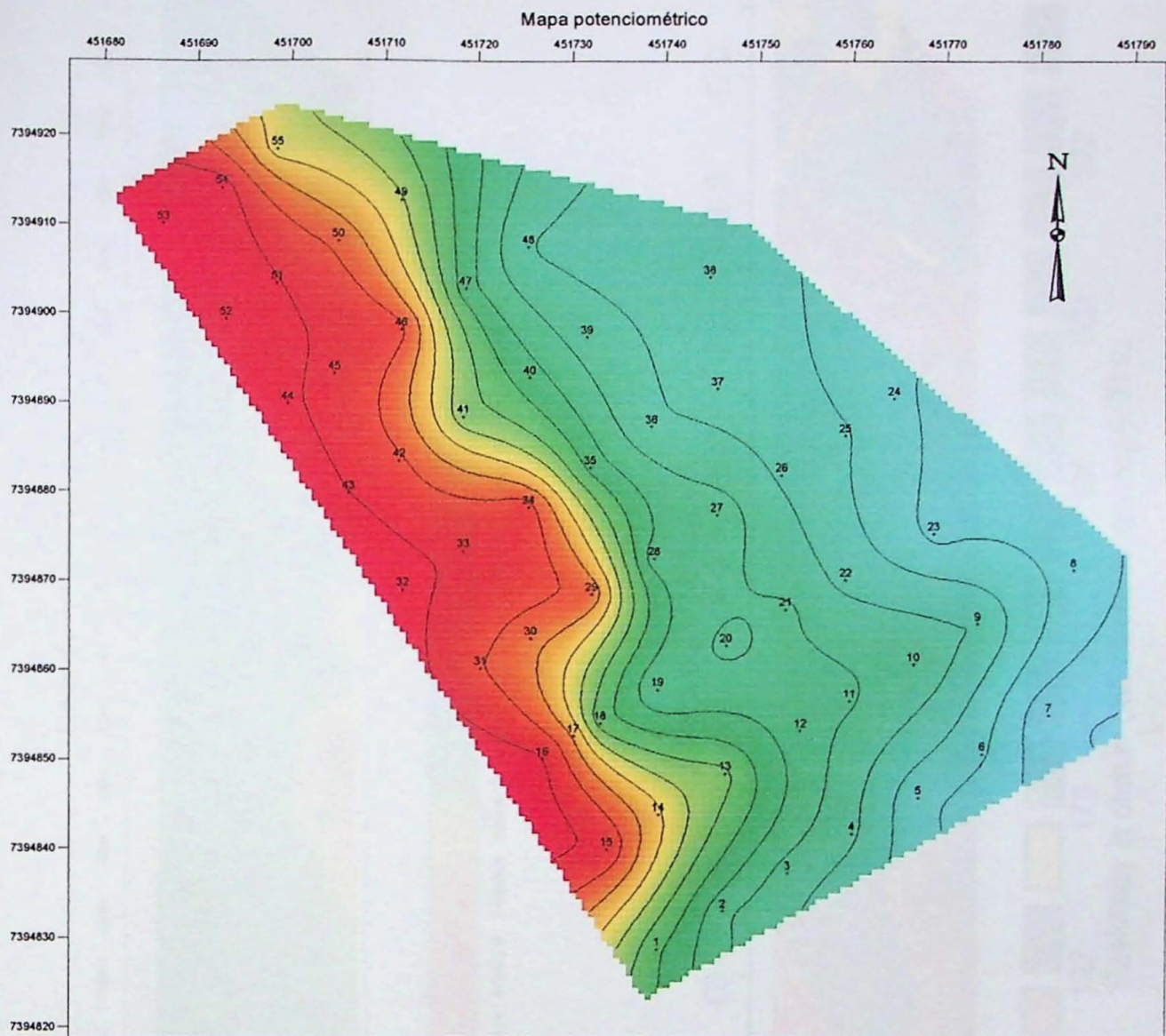


Figura 8 - Mapa Potenciométrico da Área A

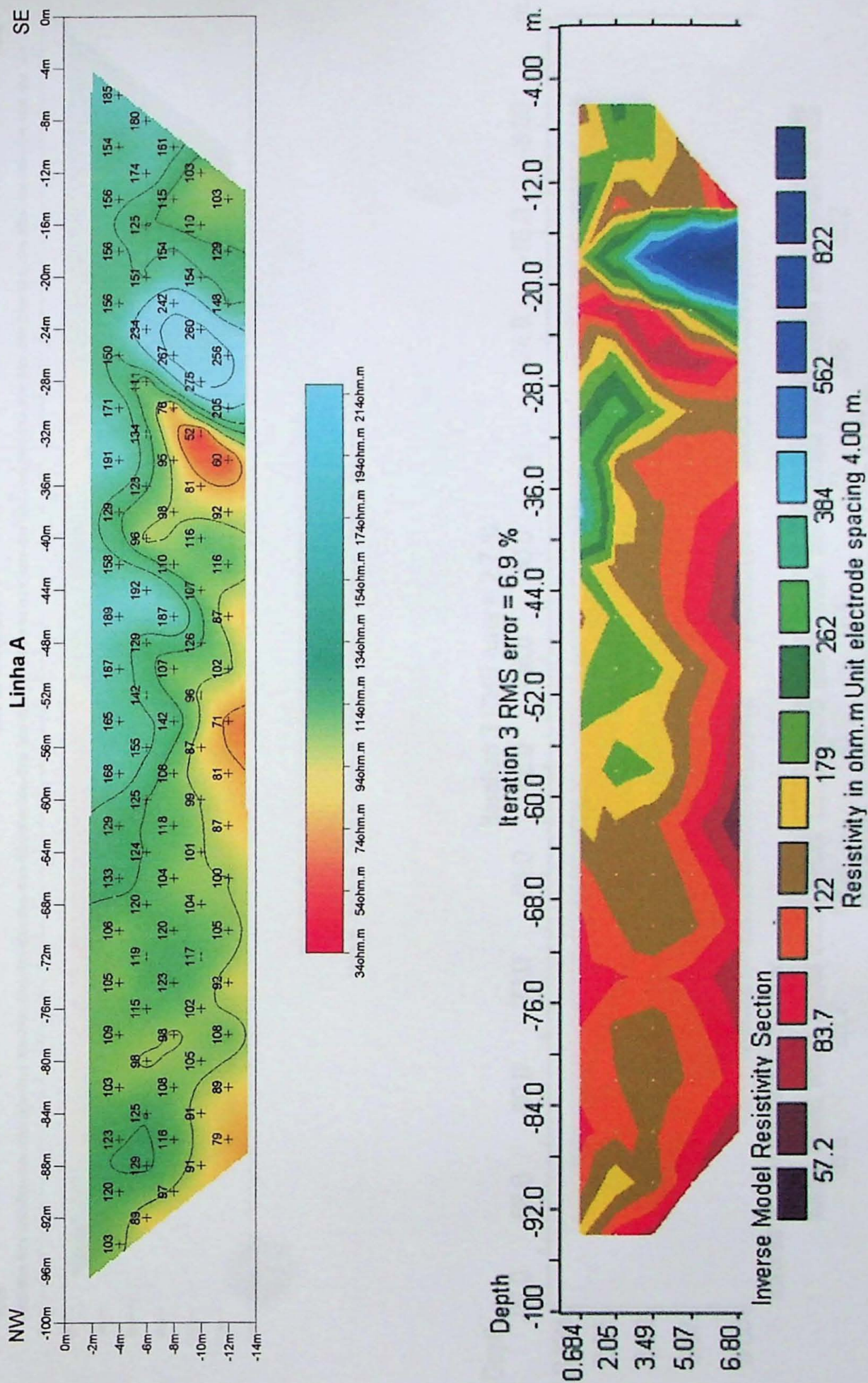


Figura 9 - Pseudo-seção de Resistividade Aparente Linha A Área A

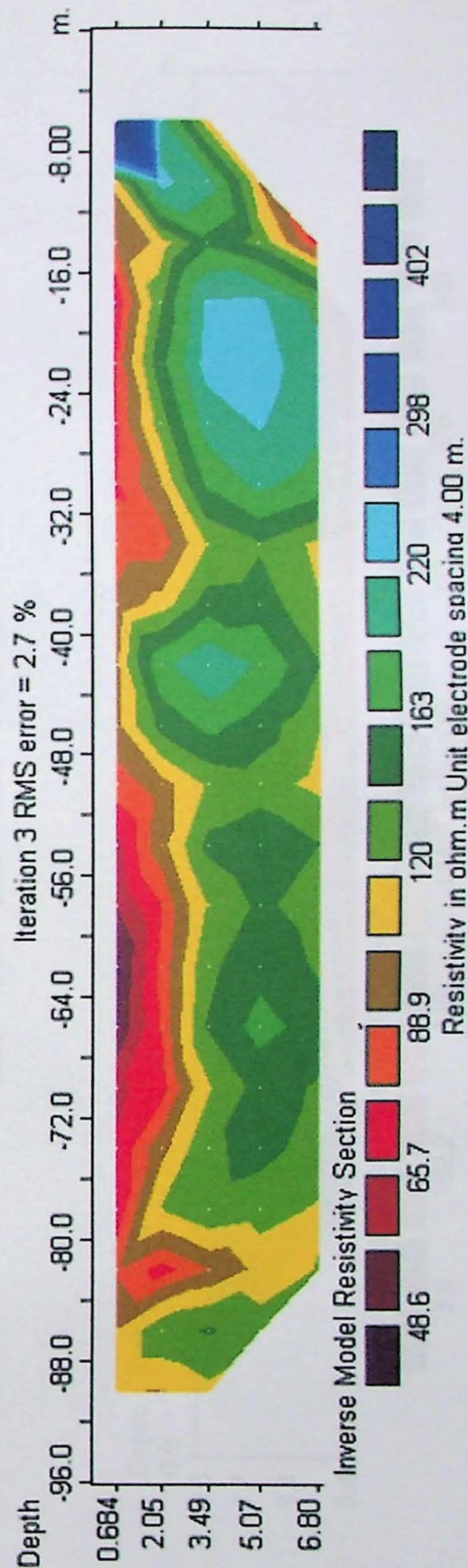
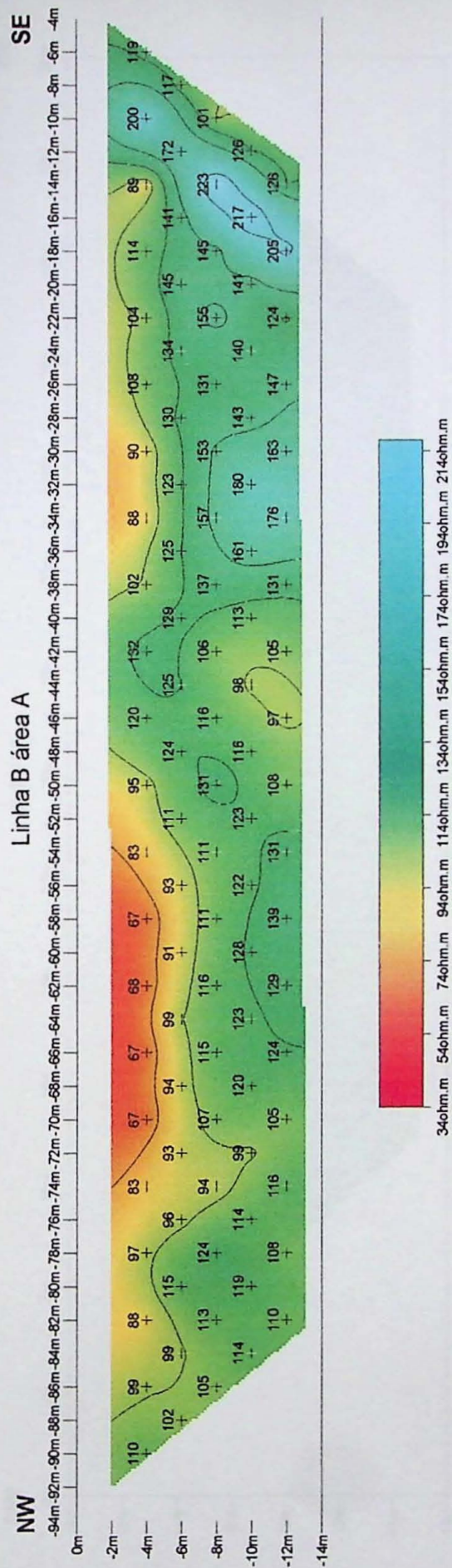


Figura 10 - Pseudo-seção de Resistividade Aparente Linha B Área A

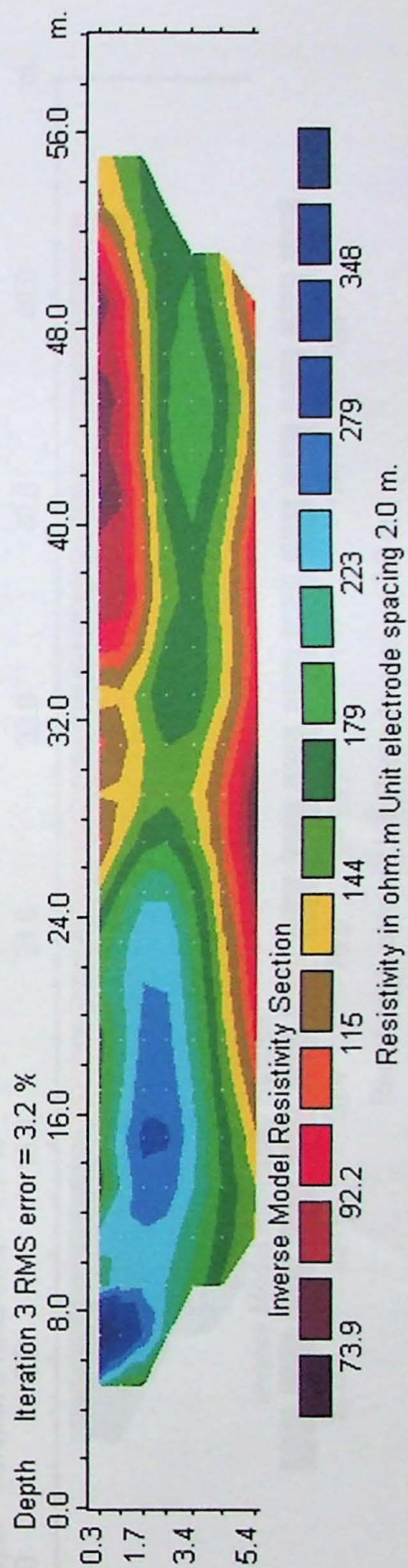
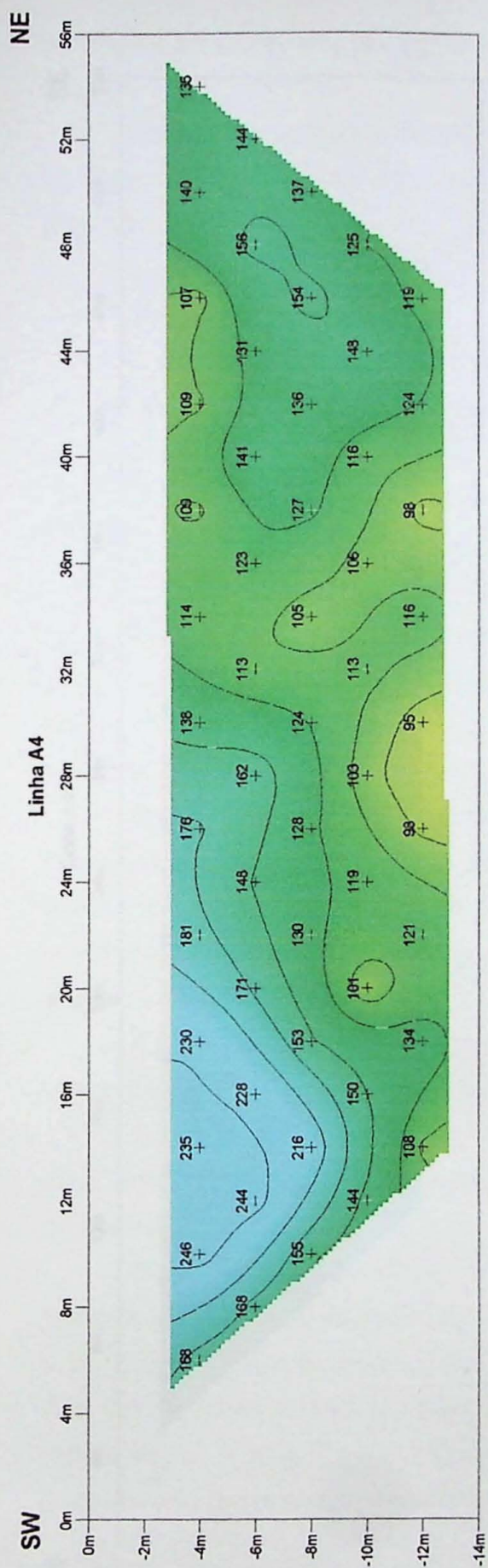


Figura 11 - Pseudo-seção de Resistividade Aparente Linha A4 Área A

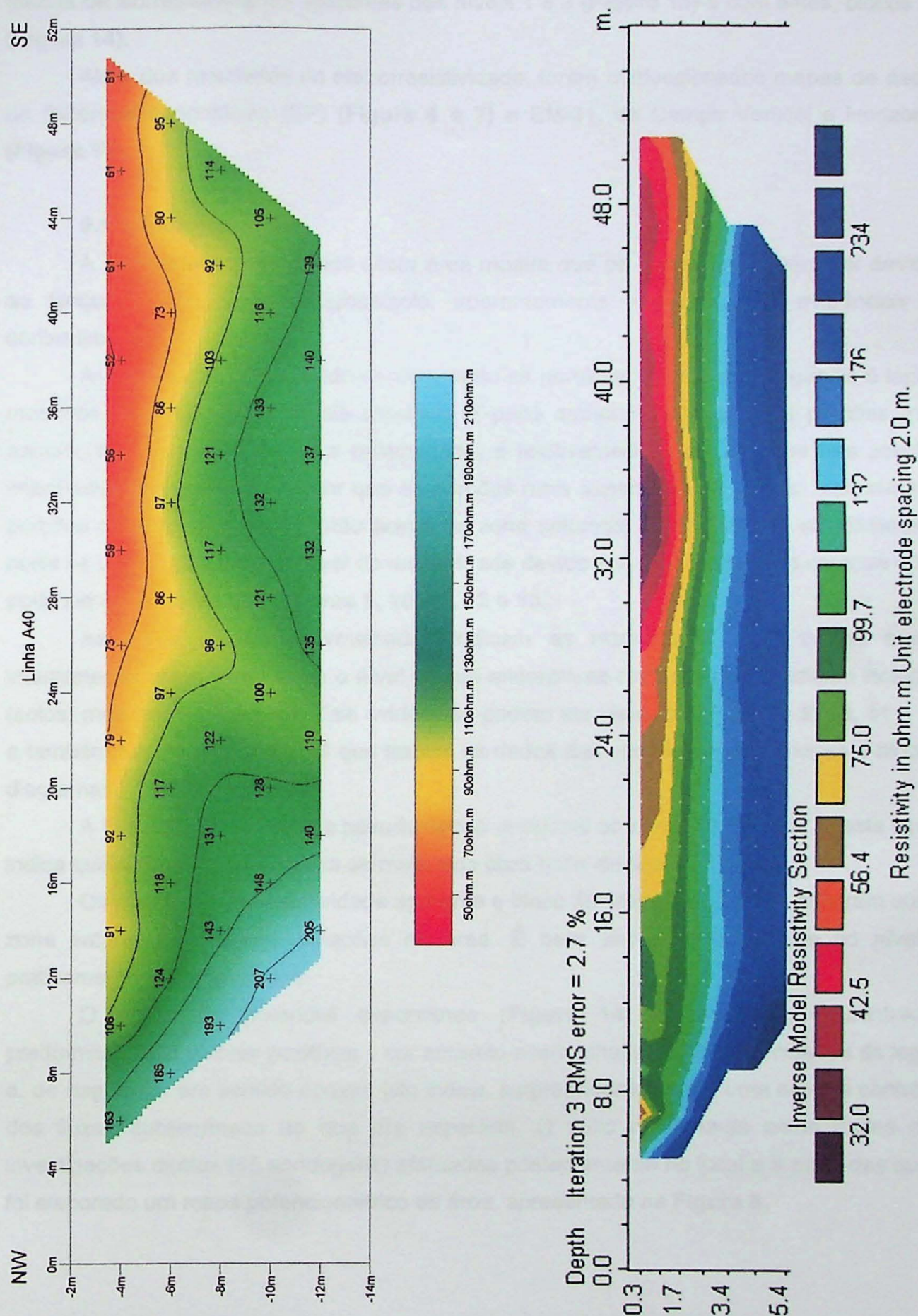


Figura 12 - Pseudo seção de Resistividade Aparente Linha A40 Área A

mapas de isorresistividades aparentes dos níveis 1 e 3 (**Figura 13**) e com estes, blocos 3D (**Figura 14**).

Além dos resultados de eletrorresistividade, foram confeccionados mapas de dados de Potencial espontâneo (SP) (**Figura 6 e 7**) e EM-31, de Campo Vertical e Horizontal (**Figura 15**).

9.1.1. Interpretações

A interpretação dos dados desta área mostra que os contrastes devem ser devidos ao lençol freático, tipos litológicos/solo, aparentemente não indicando evidências de contaminação.

A observação das pseudo-seções, tanto as paralelas quanto as ortogonais à lagoa, mostram que nas porções mais próximas à parte sudeste da lagoa, nas porções mais superficiais e mais profundas a resistividade, é relativamente mais alta que nas porções intermediárias. Isso pode indicar que as porções mais superficiais da porção sudeste e as porções adjacentes à lagoa estão acima da zona saturada. A medida que se afasta para norte há uma queda considerável da resistividade devido aos sais dissolvidos na água como pode ser observados nas **Figuras 9, 10, 11, 12 e 13**.

As cores amarelo-avermelhadas indicam as resistividades mais baixas e são interpretadas como locais onde o nível d'água encontra-se mais raso e/ou indicam litologias (solos) mais ricos em argilas. Tais evidências podem ser vistas nas **Figuras 9, 10, 11 e 12**, e também nas **Figuras 13 e 14** que trazem os dados das pseudo-seções, mapas e blocos-diagramas.

A **Figura 10** mostra uma pseudo-seção ortogonal ao ponto 40 do perfil A, esta figura indica que a zona saturada torna-se mais rasa para norte da área.

Os mapas de isorresistividade aparente e bloco 3D (**Figuras 13 e 14**) mostram que a zona saturada apresenta variações na área. É bem visível no nível 1 e no nível 3 praticamente já desapareceu.

O mapa de potencial espontâneo (**Figura 14**) mostra uma concentração predominante de valores positivos – cor amarelo-avermelhada – nas proximidades da lagoa e, de negativos, em sentido oposto. Isto indica, surpreendentemente, uma direção contrária dos fluxos subterrâneos do que era esperada. O fluxo confirma-se pelos dados das investigações diretas (55 sondagens) efetuadas posteriormente no local e a partir das quais foi elaborado um mapa potenciométrico da área, apresentado na **Figura 8**.

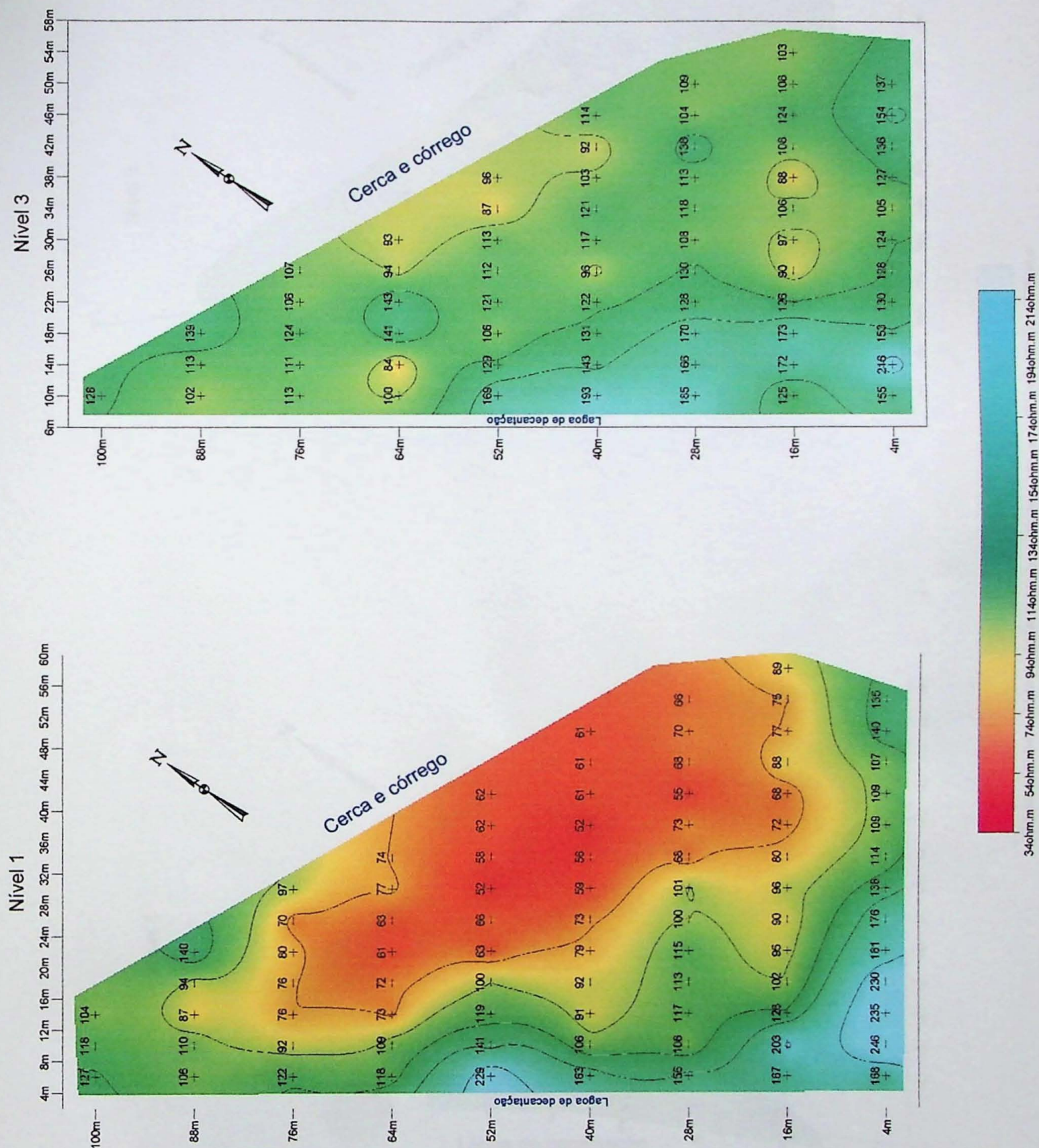


Figura 13 - Mapas de Isorresistividades Aparentes Área A

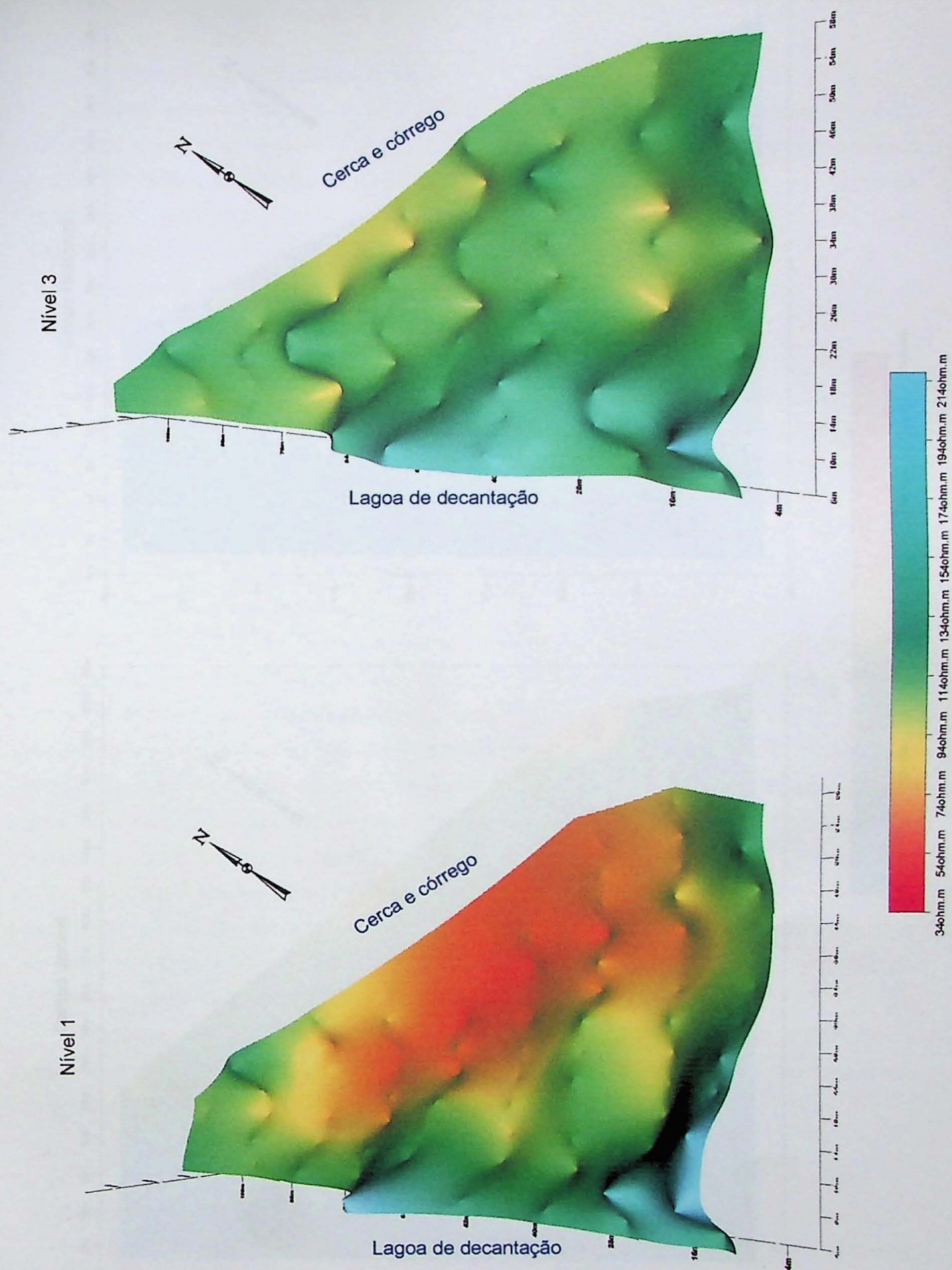


Figura 14 - Seções 3D dos Mapas de Isorresistividades Aparentes Referentes aos Níveis 1 e 3 da área A.

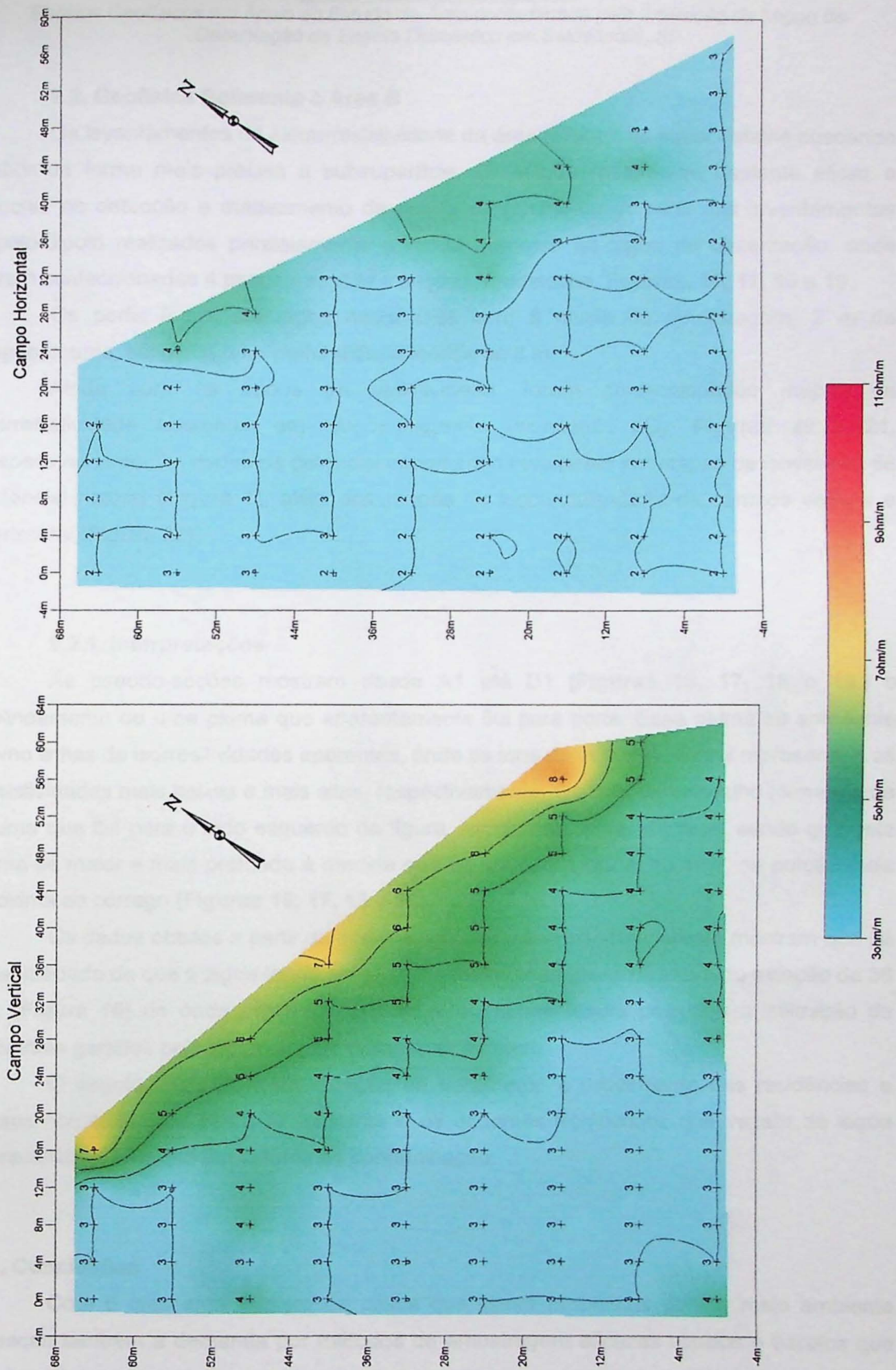


Figura 15 - Mapas de Isocondutividade elétrica da Área A

9.2. Geofísica Referente à Área B

Os levantamentos de eletrorresistividade da área B foram de maior detalhe buscando cobrir de forma mais precisa a subsuperfície. O método mostrou-se bastante eficaz e preciso na detecção e mapeamento da pluma contaminante. A partir dos levantamentos dipolo-dipolo realizados paralelamente à borda noroeste da lagoa de decantação, onde foram confeccionadas 4 pseudo-seções e seções, modeladas, **Figuras 16, 17, 18 e 19**.

Os perfis foram efetuados nesta área com 8 níveis de amostragem, 2 m de espaçamento, atingindo uma profundidade teórica de 8 m.

Ainda com os dados de resistividade, foram confeccionados mapas de isorresistividade aparentes em blocos-diagrama (simulação 3D), **Figuras 20 e 21**, respectivamente. Os dados de potencial espontâneo resultaram em mapas de isovalores de potencial natural (**Figura 7**), além dos mapas de isocondutividade de campos vertical e horizontal (**Figura 22**).

9.2.1. Interpretações

As pseudo-seções mostram desde A1 até D1 (**Figuras 16, 17, 18 e 19**) o delineamento de uma pluma que aparentemente flui para norte. Essa pluma se apresenta como linhas de isorresistividades aparentes, onde os tons de vermelho e azul representam as resistividades mais baixas e mais altas, respectivamente. Os tons de vermelho formam uma pluma que flui para o lado esquerdo da figura, isto é, para norte da área, sendo que esta torna-se maior e mais profunda à medida que se afasta da lagoa, ou seja, na porção mais próxima ao córrego (**Figuras 16, 17, 18 e 19**).

Os dados obtidos a partir da interpretação da resistividade aparente mostram que há possibilidade de que a lagoa tenha sofrido uma rachadura/fissura na altura da estação de 36 m, (**Figura 16**) de onde provém a pluma. A rachadura/fissura propiciou a infiltração de efluentes gerados pela lagoa, esgoto doméstico, no caso.

O esgoto captado nesta estação de tratamento é proveniente das residências e casas comerciais do bairro ali existente e os efluentes domésticos que vazam da lagoa caracterizam-se como uma pluma de contaminação.

10. Conclusões

Com o crescente número de casos que listam problemas com o meio ambiente cresceu também a demanda por métodos de amostragem eficazes rápidos e baratos que diagnostiquem possíveis problemas que venham a propiciar problemas ambientais

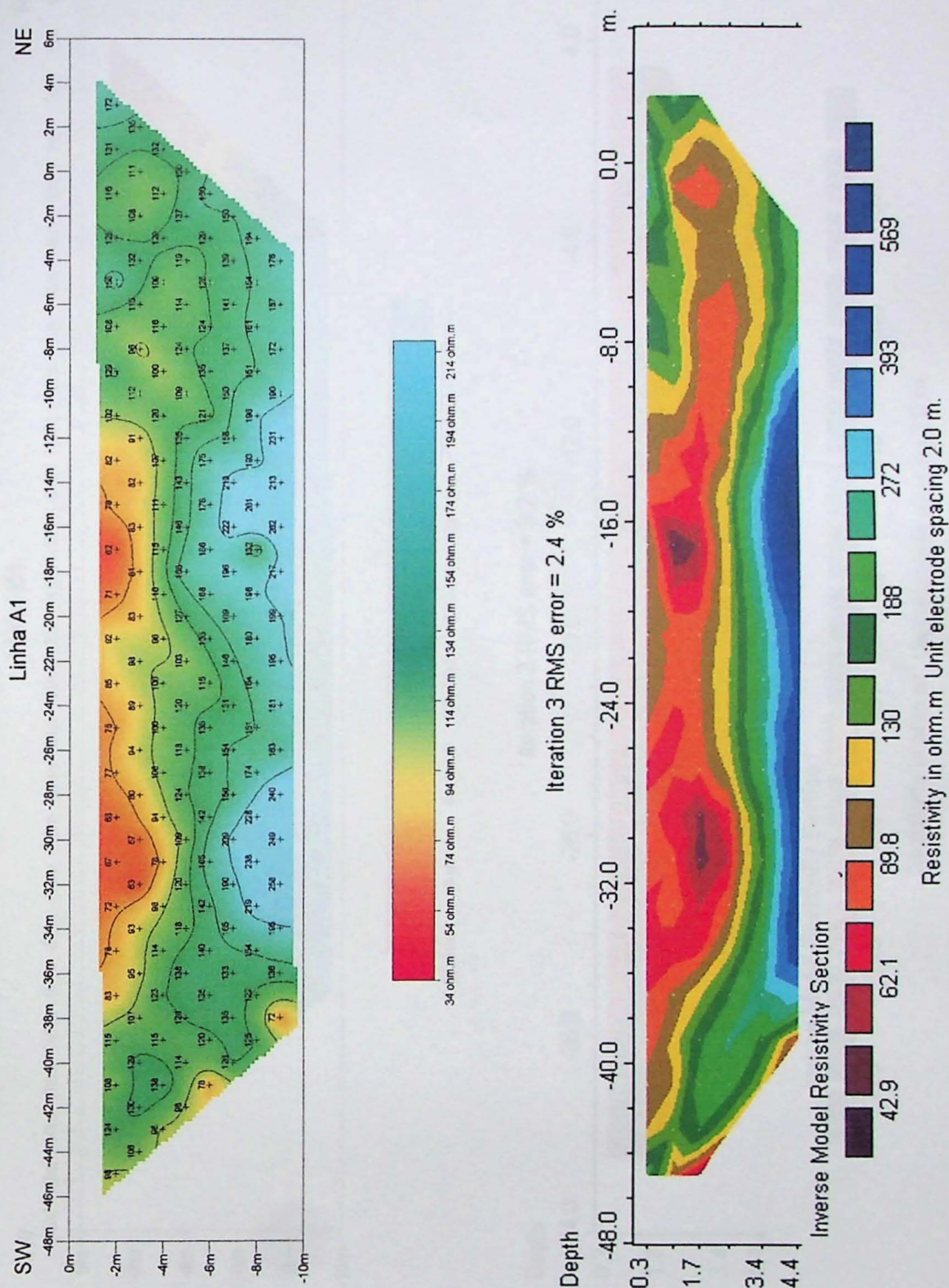


Figura 16 - Pseudo-seção de Resistividade Aparente Linha A1 Área B

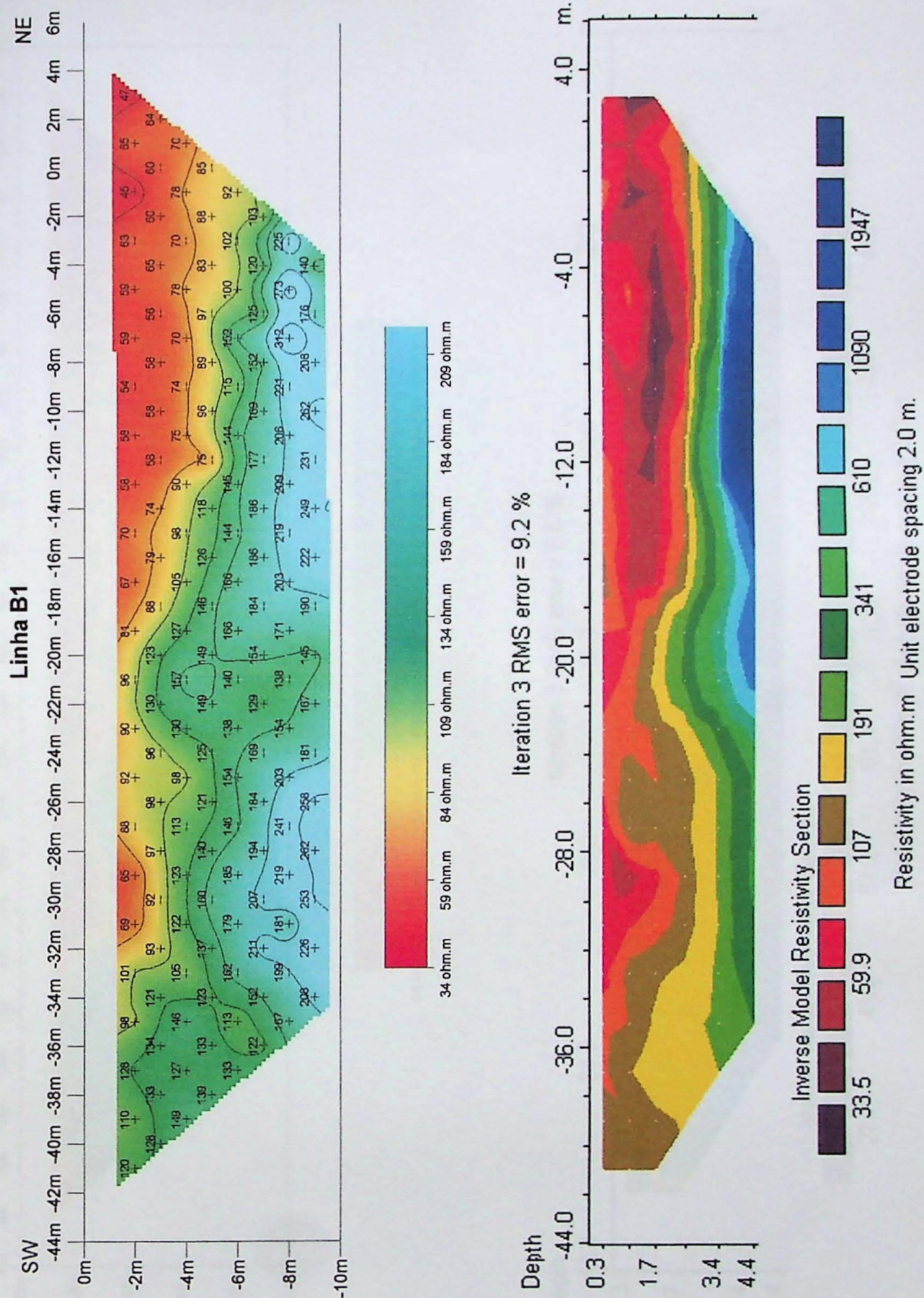


Figura 17 - Pseudo-seção de Resistividade Aparente Linha B1 Área B

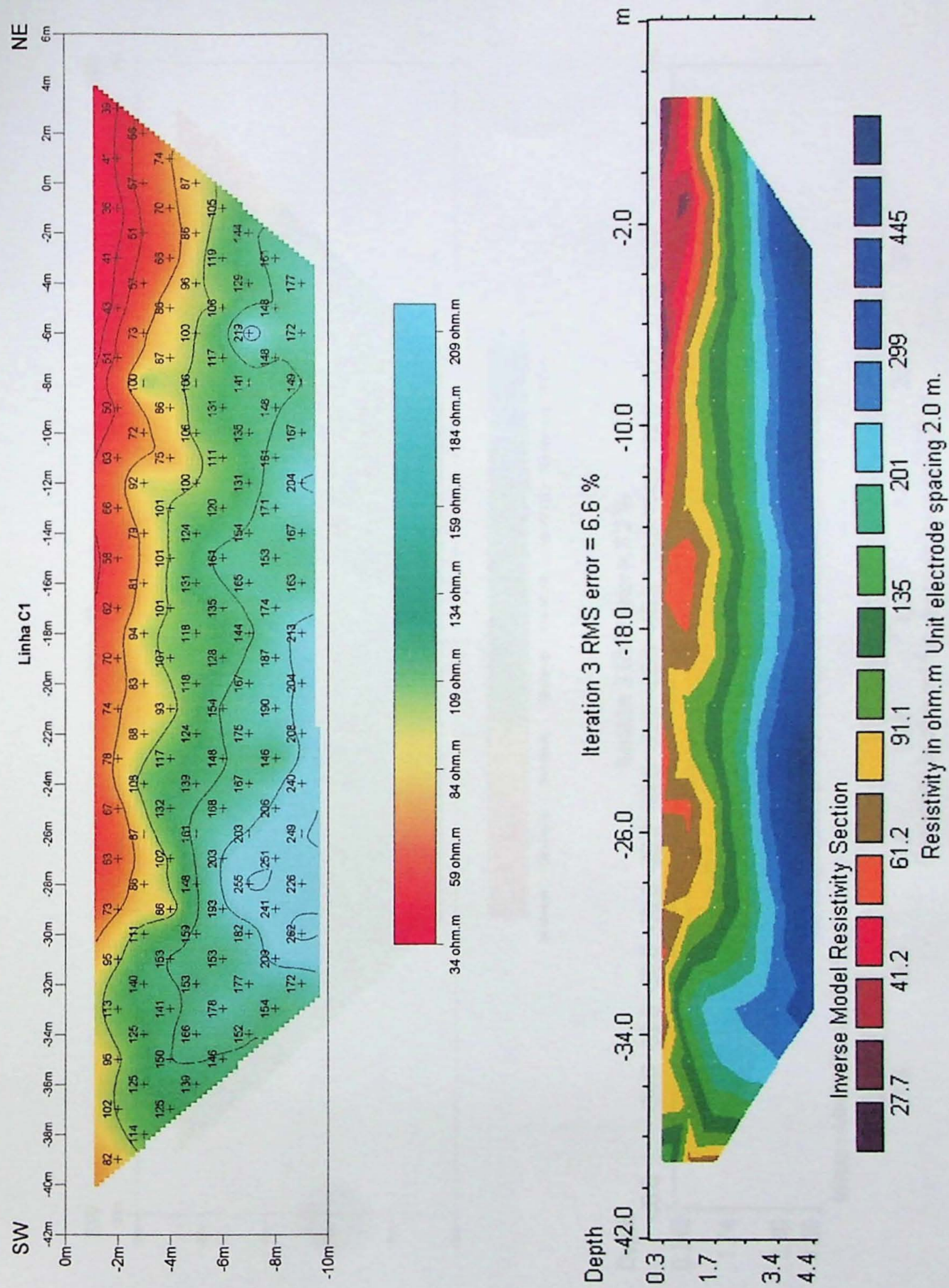


Figura 18 - Pseudo-seção de Resistividade Aparente Linha C1 Área B

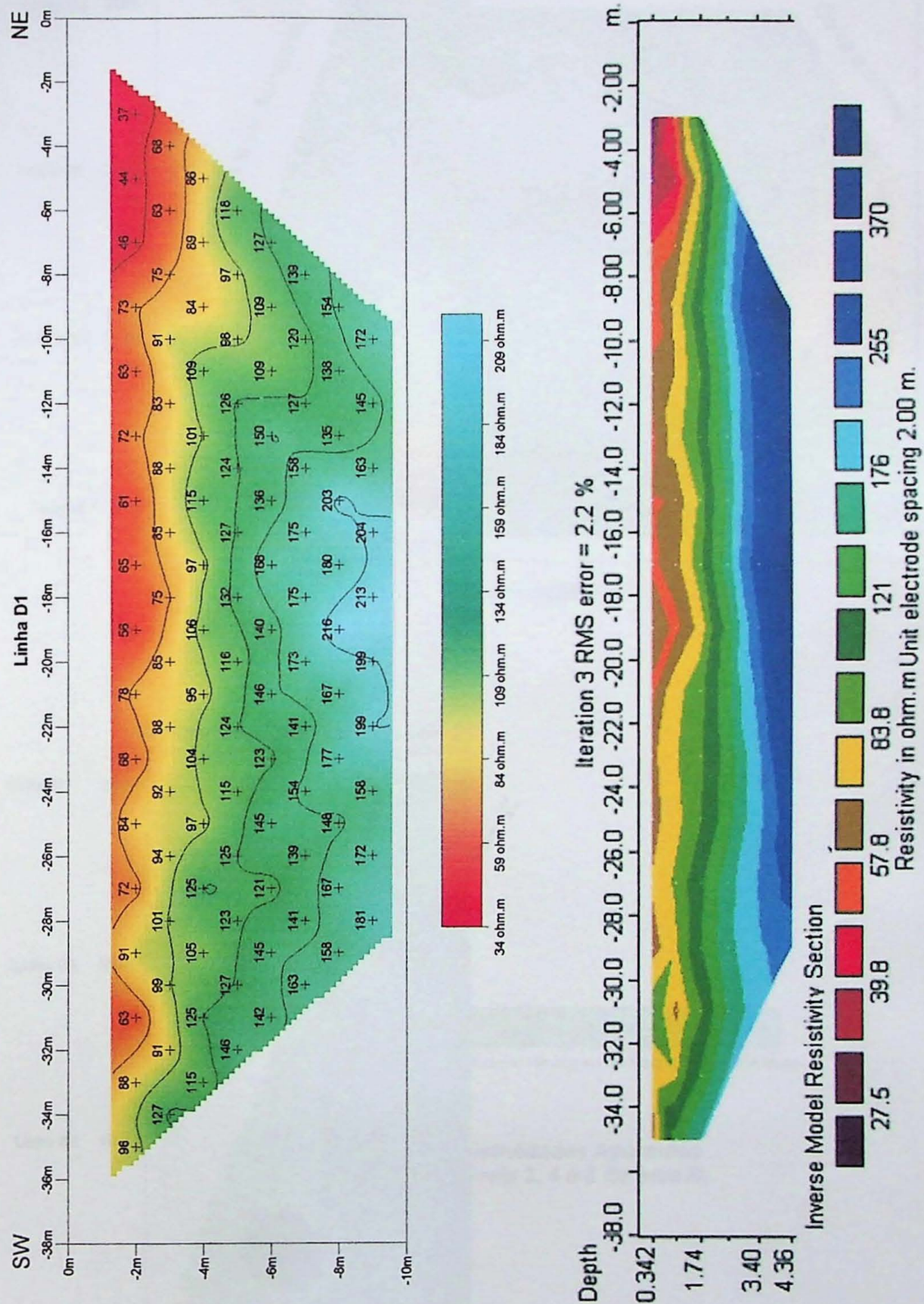


Figura 19 - Pseudo-seção de Resistividade Aparente Linha D1 Área B

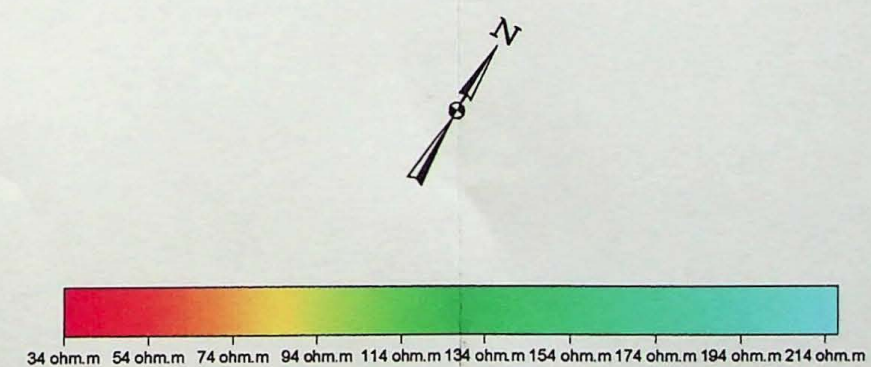
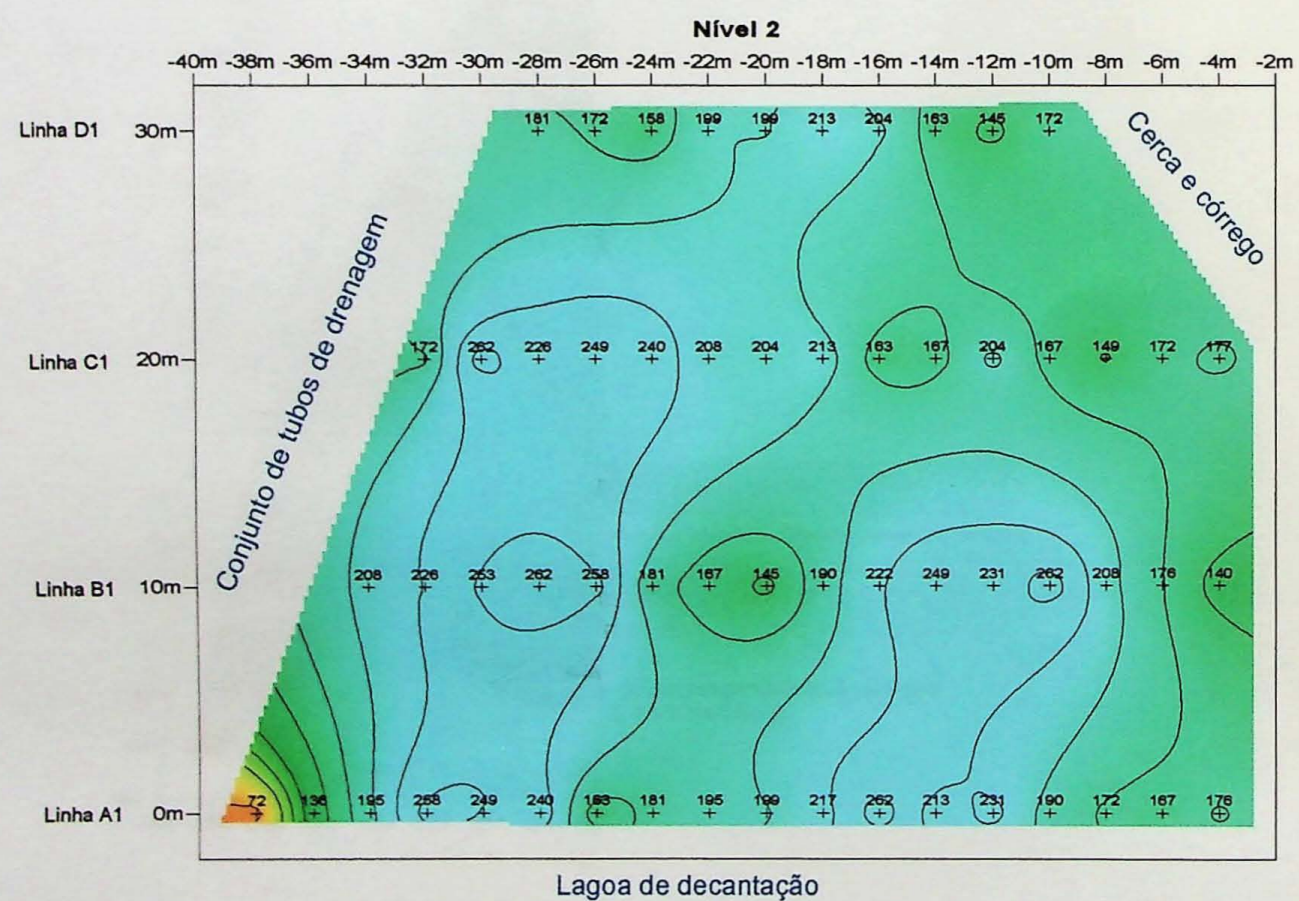
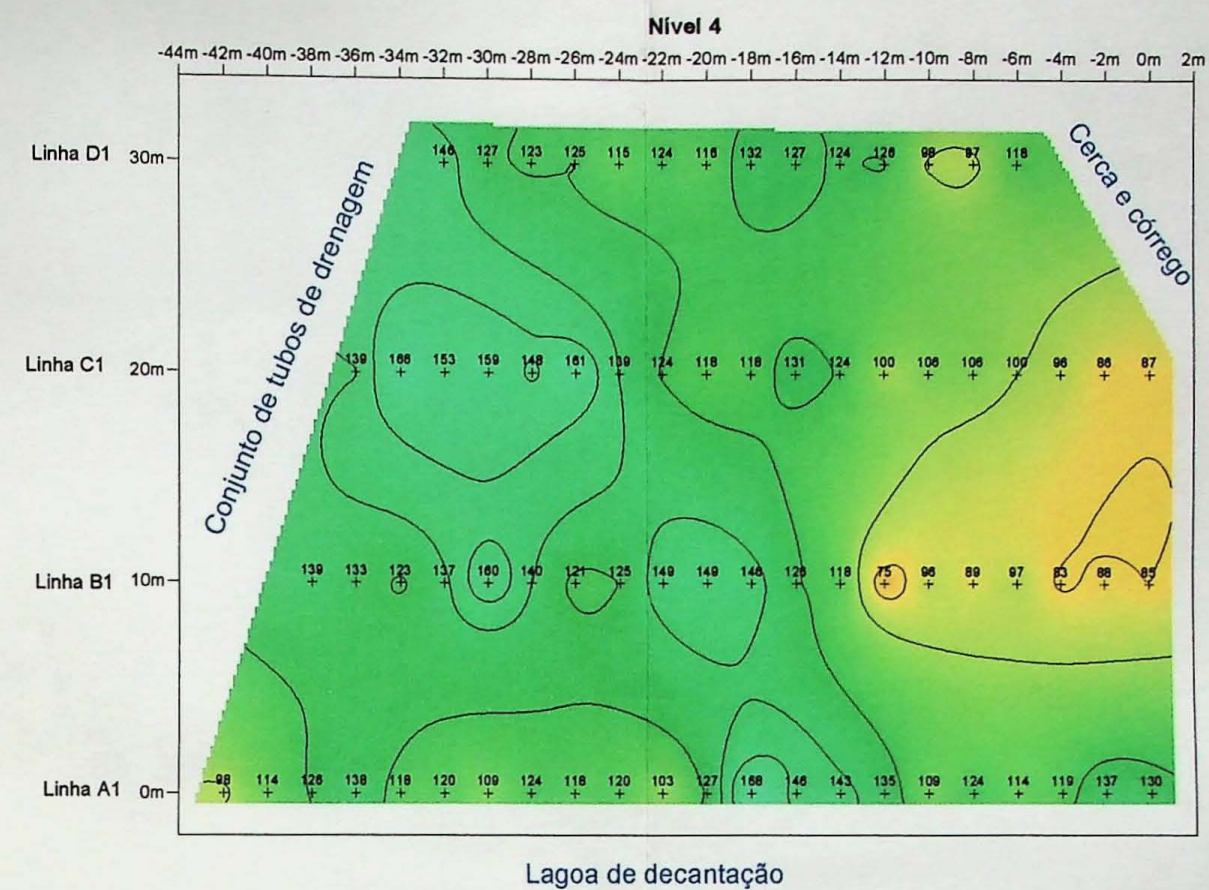
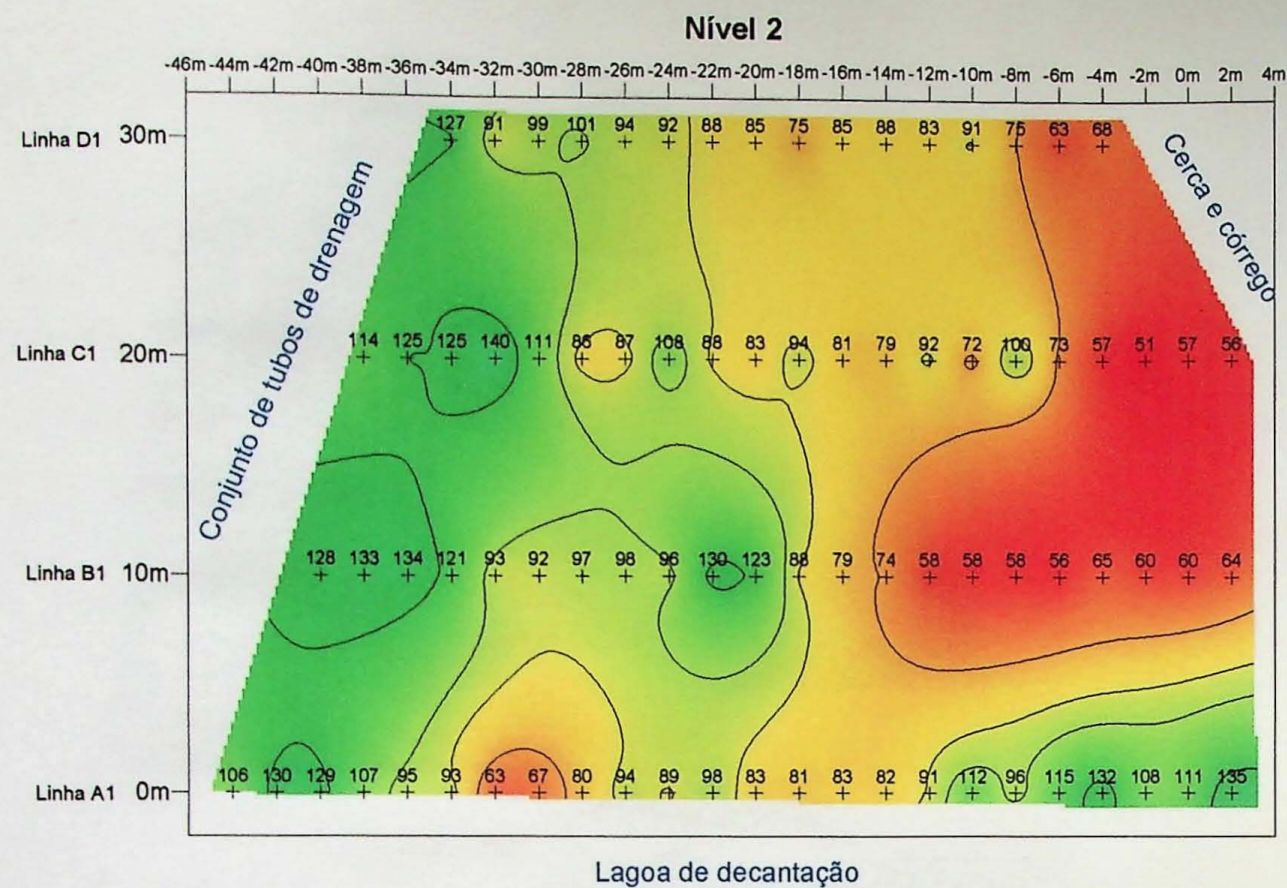


Figura 20 - Mapas de Isorresistividades Aparentes referentes aos níveis 2, 4 e 8 da área B.

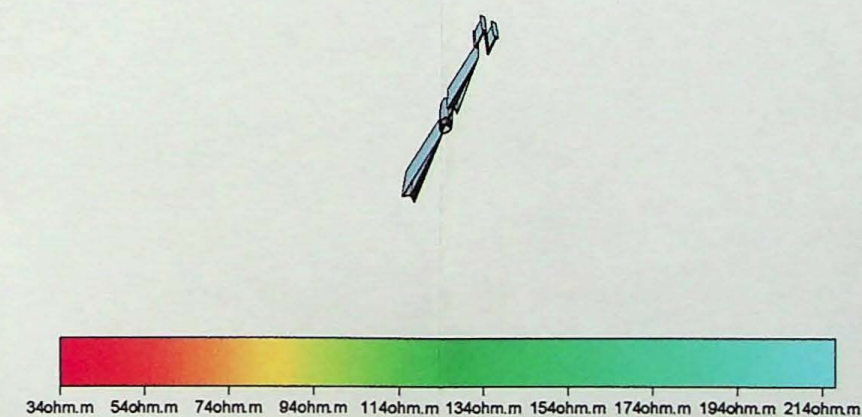
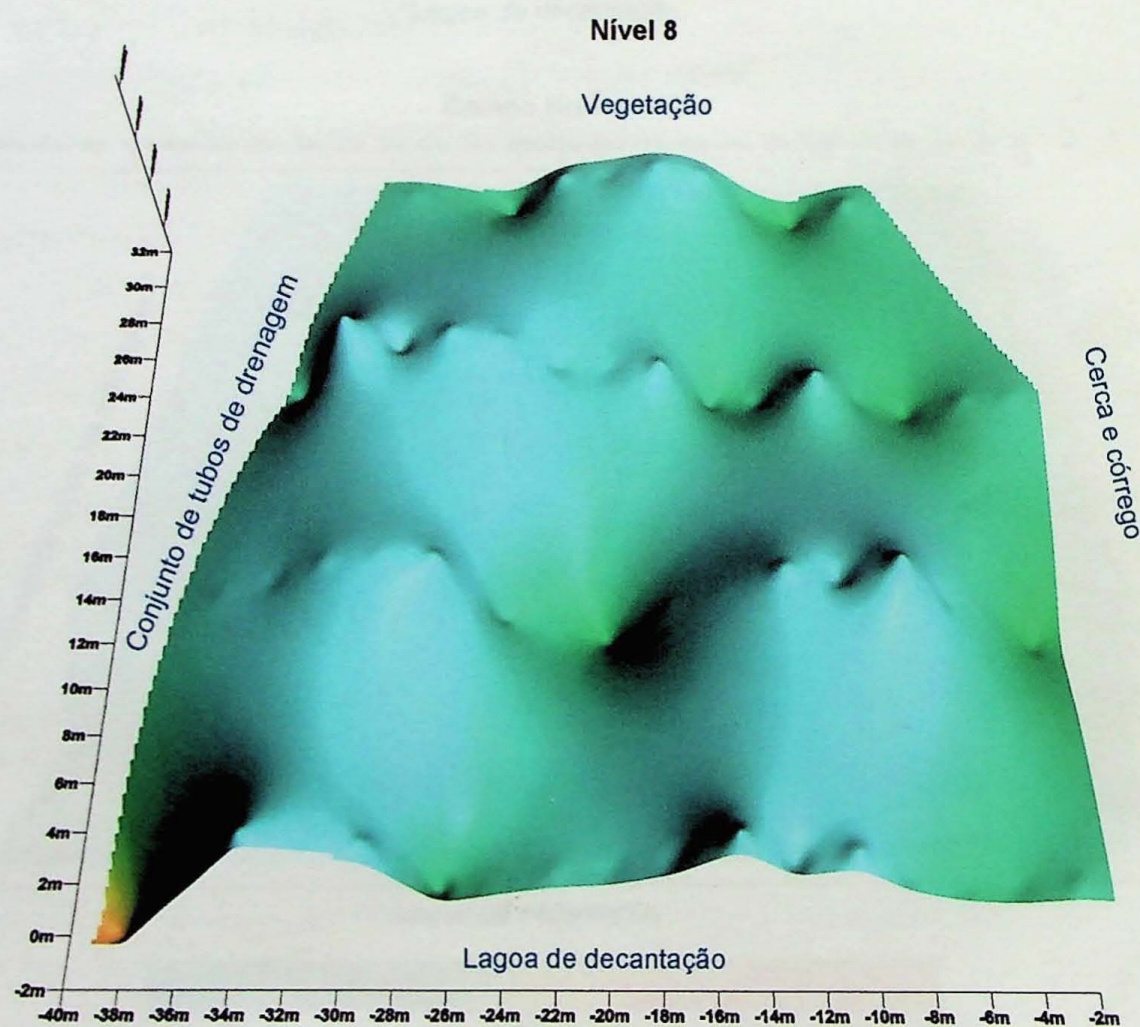
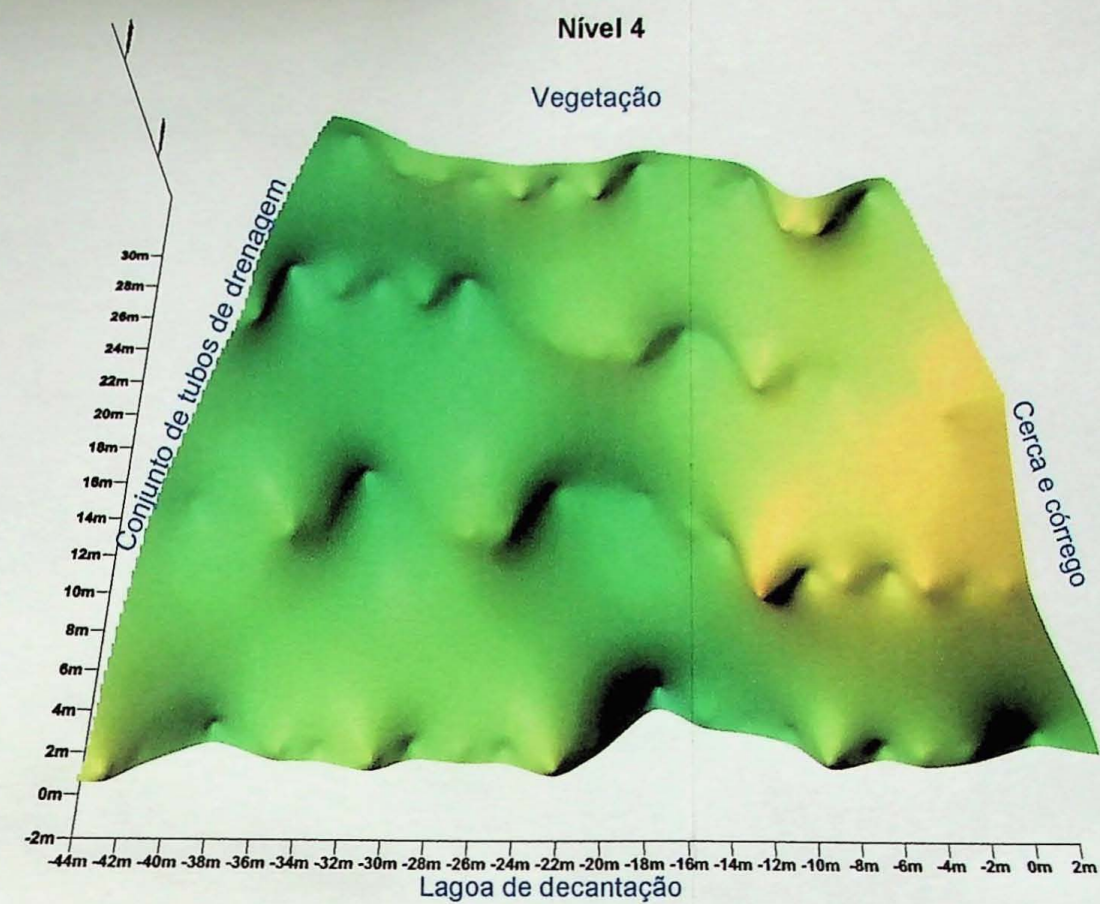
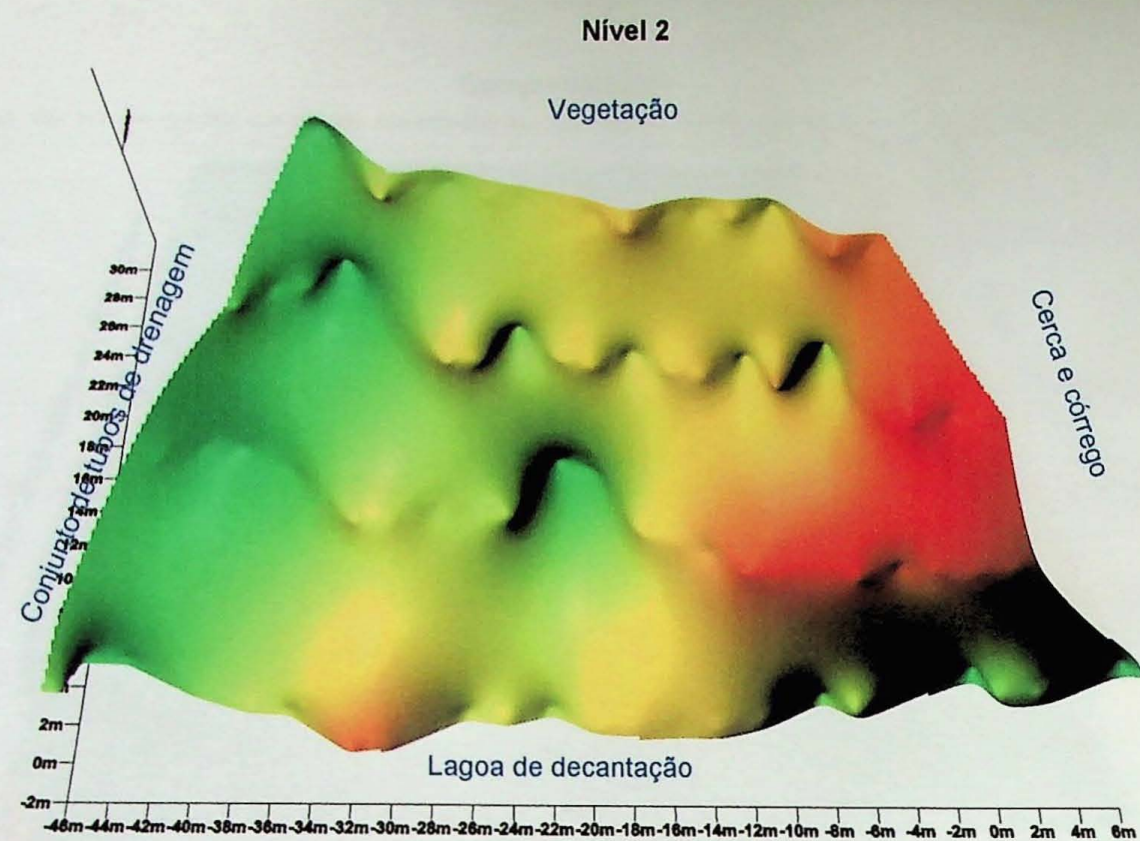
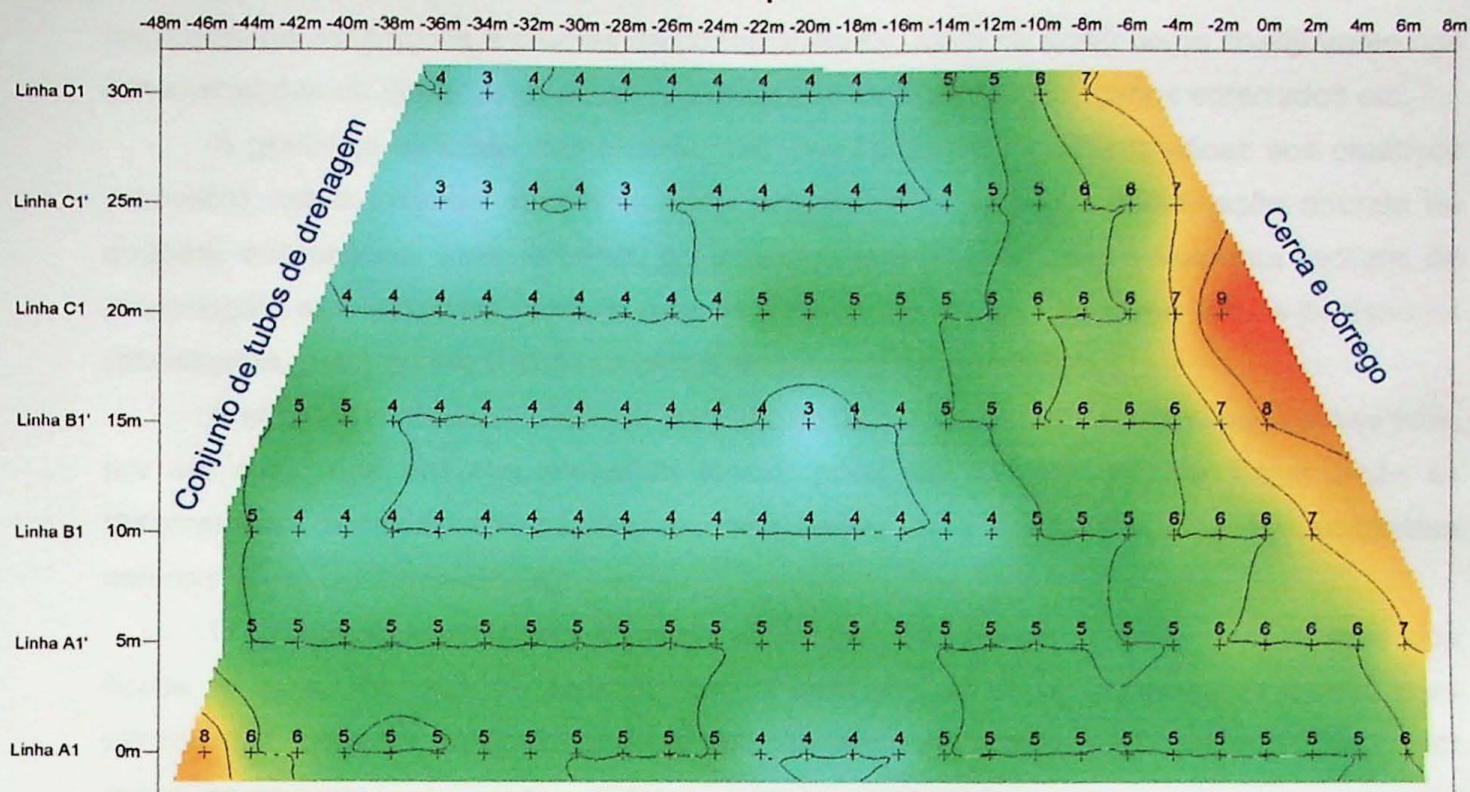


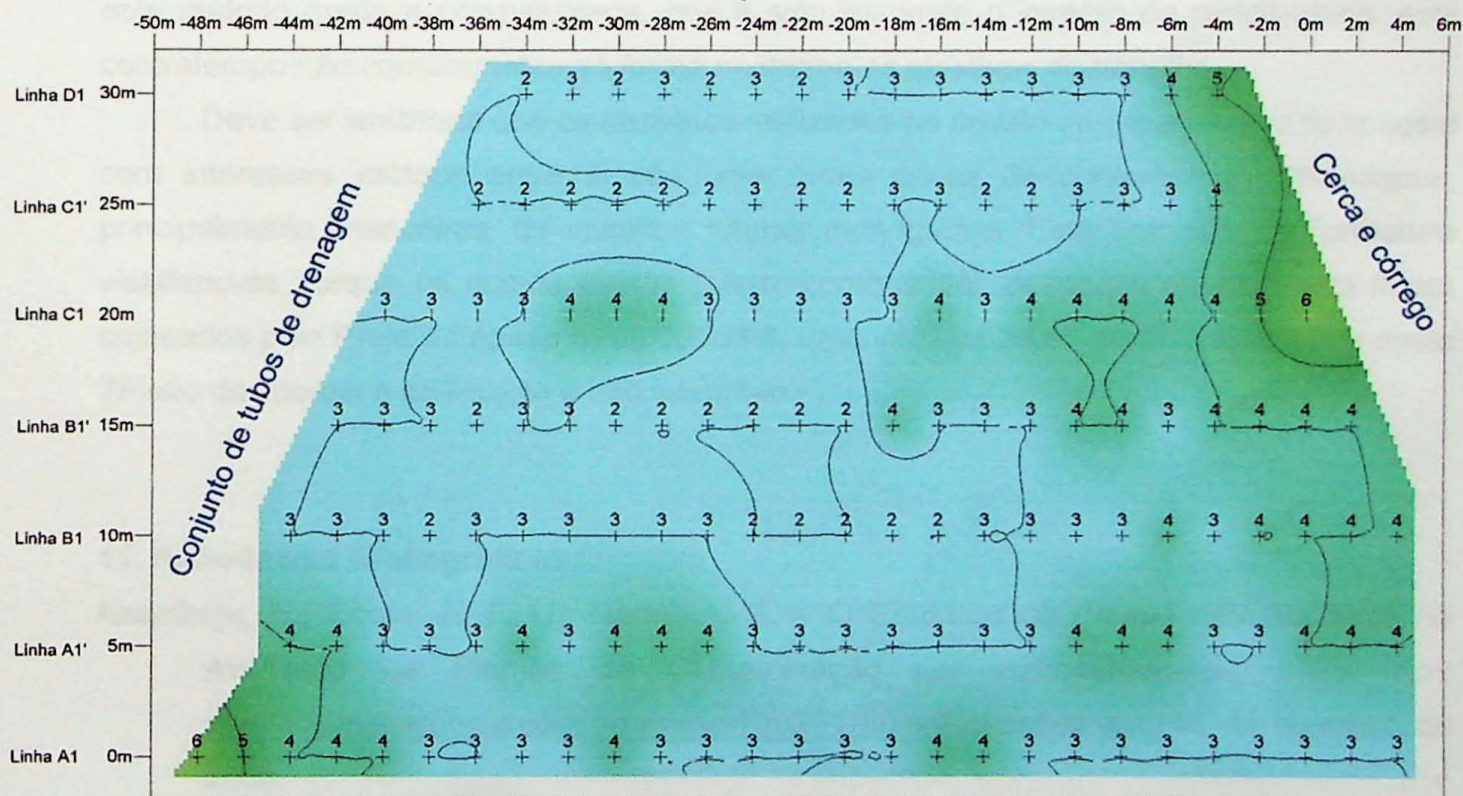
Figura 21 - Seções 3D dos Mapas de Isorresistividade Aparentes referentes aos níveis 2, 4 e 8 da área B.

Campo Vertical



Lagoa de decantação

Campo Horizontal



Lagoa de decantação

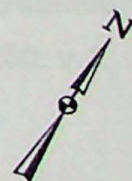
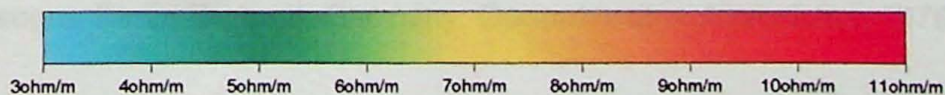


Figura 22 - Mapas de Isocondutividade Elétrica da Área B

(vazamentos, infiltrações e plumas de contaminação), além de servir como coadjuvante nas determinações de direções de fluxo, profundidade de nível d'água, canos enterrados etc.

A geofísica aplicada demonstrou ser uma ferramenta bastante eficaz aos objetivos propostos neste trabalho, qual seja o de detectar e mapear a contaminação oriunda de esgotos domésticos. Vale lembrar, no entanto, que esta é uma ferramenta indireta de prospecção, servindo para otimizar mas sem descartar as investigações diretas posteriores (sondagens, p. e.) no sentido de confirmar as anomalias identificadas.

A eletrorresistividade mapeou com eficiência a zona contaminada, uma vez que esta, por ser mais rica em seu conteúdo iônico, pode ser identificada nos locais onde as resistividades medidas apresentem-se mais baixas (a condução elétrica em ambientes naturais dá-se de forma iônica).

O potencial espontâneo, no caso da área A, indicou as direções preferenciais dos fluxos no local. No caso da área B, não foi possível indicar os fluxos preferenciais, mas parece que pode-se estabelecer uma relação entre as zonas positivas com um maior conteúdo de material argiloso.

Quanto ao método eletromagnético, devido aos problemas instrumentais, os dados obtidos não são confiáveis e não puderam ser devidamente aproveitados. No entanto, como este método mede a condutividade, que é simplesmente o inverso da resistividade, este contratempo não comprometeu de forma nenhuma os objetivos do trabalho.

Deve ser lembrado que os trabalhos realizados no âmbito de projetos com recursos e com interesses mútuos entre si são uma forma eficaz de contornar as dificuldades, principalmente financeiras, de viabilizar futuras monografias. Este Trabalho de Formatura viabilizou-se porque os custos diretos (carro, combustível, despesas diversas etc) foram custeados pelo Projeto Fapesp nº 02/00509-6, uma vez que os objetivos e resultados deste TF são de interesse ao Projeto e irão integrá-lo.

11. Referências Bibliográficas

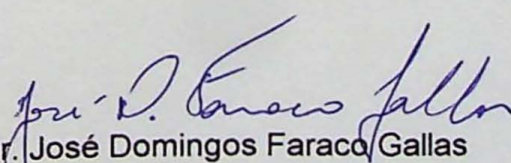
- Azambuja, E.; Costa, A. F. U.; Nanni, A. S. – O Emprego da Prospecção Geofísica na Avaliação de Plumais de Contaminação por Hidrocarbonetos, 1995. Em: <http://www.azambuja.com.br/acervo/REGEO99.pdf>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2003.
- Bertin, J. & Loeb, J. - Experimental and theoretical aspects of induced polarization. Gebruder Borntraeger, Berlin-Stuttgart, Germany: Geopublicaton Associates, 1976. p. 250. v.1.

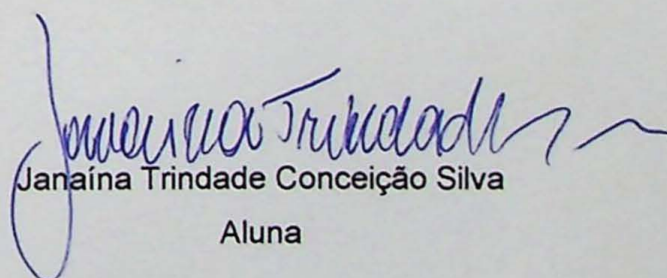
- Braga, A. C. O., - Métodos Geoeletricos Aplicados: Modelo: Hidrogeologia - UNESP, 2000, Em: [http:// www.rc.unesp.br/igce/aplicada/geoeletricos](http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/geoeletricos). Acesso em: 4 de março de 2003.
- Cahyna, F., - Monitoring of Artificial Infiltration Using Geoelectrical Methods – Geotechnical and environmental Geophysics. Society of Exploration Geophysicists v.2: Enviromental and Groundwater, 1990. p.101-106.
- CETESB – Projeto SETESB – GTZ – Métodos Geofísicos 6200, 1999. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/anexos/download/6200.pdf. Acesso em: 02 de fevereiro de 2003.
- Dehaini, J. Geofísica: Um instrumento de Estudo da Poluição das águas Subterrâneas – Trabalho de Graduação. Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo – 1991. 62p.
- Elis, V. R. - Avaliação da Aplicabilidade de Métodos Elétricos de Prospecção Geofísica no Estudo de Áreas Utilizadas para Disposição de Resíduos - Tese Doutorado em Geociências e Meio Ambiente – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro – SP. UNESP, 1998. 264p.
- Elias, V.R., Barroso, C.M.R., Chiang, C.H. – Ensaio de Resistividade Aplicados em Estudos Hidrogeológicos em Maceió, Alagoas-Brasil – In VII Congresso Internacional da Sociedade Brasileira Geofísica – Salvador, BA. 2001. p. 395-398.
- Gallas, J. D. F., - Principais Métodos Geoeletricos e suas Aplicações em Prospecção Mineral, Hidrogeologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental – Tese de Doutoramento em Geociências e Meio Ambiente - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro – SP. UNESP, 2000. 175p.
- Gallas, J. D. F., - Apostila do curso da Disciplina GSA-308 – Geofísica Aplicada, 2002.
- Juliani. C. – Geologia, Paragênese e Aspectos Metalogenéticos dos Grupos Serra de Itaberaba e São Roque, na Região das Serras de Itaberaba e da Pedra Branca, NE da Cidade de São Paulo – Tese de Doutoramento - Instituto de Geociências – USP, São Paulo, SP. 1993, 694p.
- Keller, G. V. & Frischknecht, F. C. 1977. Electrical methods in geophysical prospecting. Oxford: Pergamon Press, 1977, 517 p.
- Mazác, O.; Benes, L.; Landa, I.; Masckova, A. – Determination of the Extent Oil Contamination in Groundwater by Geoelectrical Methods. – Geotechnical and Environmental Geophysics. Society of Exploration Geophysicists v.2: Enviromental and Groundwater, 1990, p.107 – 112.

- Mendes, J. M. B. – Técnicas Geofísicas Aplicadas no Mapeamento e Monitoramento de Poluição e Contaminação de Águas Subterrâneas – Tese de Doutorado, – São Paulo, SP. Instituto de Geociências - USP. 1987. 196p.
- PREFEITURA DE SÃO PAULO – Em:
http://www6.prefeitura.sp.gov.br/guia/guiadacidade/mapas/0001/upload_imagem/mapa_regiao_metropolitana.jpg. Acesso em: 10 de março de 2003.
- Orellana, E. - Prospección geoeletrica en corriente continua. Madrid: Paraninfo, 1972. 523 p.
- Reynold, J. M., & Taylor, D. I. – Use of Geophysical Surveys the During Planning, Construction and Remediation of Landfills. From Bentley, S.P. (ed) Engineering Geology of Waste Disposal. London: Published by Geological Society. Geological Society Engineering, Special Publication, 1996. p. 93 – 98 nº 11.
- Rodriguez, S.K. – Geologia Urbana da Região Metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - 1998. 171 p.
- Ross, H. P.; Mackelprang, C. E.; Wrigth, P. M. – Dipole-dipole Electrical Resistivity Surveys at Waste Disposal Study Sites in Northern Utah – Geotechnical and Environmental Geophysics. Society of Exploration Geophysicists v.2: Enviromental and Groundwater, 1990. p.145 – 152.
- Schwarz, S. D. – Application of Geophysicals Methods to Groundwater Exploration in the Tolt River Basin, Washington State - Society of Exploration Geophysicists. Enviromental Groundwater, 1990. p.213 – 217, v .II.
- Sumner, J. S. Principles of induced polarization for geophysical exploration. New York: Elsevier Scientific Publishing Co., 1976, 277p.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E. Applied geophysics. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 770 p.
- Ward, S. H., - Resistivity and Induced Polarization Methods. Geotechnical and Environmental Geophysics. Society of Exploration Geophysicists, v.1: Review and Tutorial, 1990. p.147-89

São Paulo, 11 de outubro de 2003.

De acordo,


Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas
Orientador


Janaina Trindade Conceição Silva
Aluna

