

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**INVESTIGAÇÃO GEOELÉTRICA DE POSSÍVEL CONTAMINAÇÃO DO SUBSOLO
NO CAMPUS DA USP EM PIRASSUNUNGA-SP**

Monografia de Trabalho de Formatura

(TF-14/22)

Aluno: Marcus Vinicius André Perez

Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

São Paulo

2014

TF
P438
MVA.i

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900032371

**INVESTIGAÇÃO GEOELÉTRICA DE POSSÍVEL CONTAMINAÇÃO DO SUBSOLO
NO CAMPUS DA USP EM PIRASSUNUNGA-SP**

Monografia de Trabalho de Formatura

(TF-14/22)



Aluno: Marcus Vinicius André Perez

Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

São Paulo

2014

As plantas que vivem em ambientes aquáticos, como as algas, possuem adaptações para sobreviver nesse ambiente. Algumas delas são: a presença de estruturas que permitem a flutuação, a capacidade de armazenar reservas de energia e a presença de mecanismos de defesa contra herbívoros.

As plantas que vivem em ambientes terrestres, como as árvores, possuem adaptações para sobreviver nesse ambiente. Algumas delas são: a presença de estruturas que permitem a absorção de água e nutrientes do solo, a capacidade de armazenar reservas de energia e a presença de mecanismos de defesa contra herbívoros.

As plantas que vivem em ambientes terrestres, como as árvores, possuem adaptações para sobreviver nesse ambiente. Algumas delas são: a presença de estruturas que permitem a absorção de água e nutrientes do solo, a capacidade de armazenar reservas de energia e a presença de mecanismos de defesa contra herbívoros.

As plantas que vivem em ambientes terrestres, como as árvores, possuem adaptações para sobreviver nesse ambiente. Algumas delas são: a presença de estruturas que permitem a absorção de água e nutrientes do solo, a capacidade de armazenar reservas de energia e a presença de mecanismos de defesa contra herbívoros.

São Paulo, 28 de Outubro de 2014

De Acordo,

Marcus Perez

Aluno: Marcus Vinicius André Perez

Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

AGRADECIMENTOS

Ao Gallas, pela orientação, camaradagem, conversas e boas indicações de whisks.

Aos meus pais Marcão e Maga, que, com toda a generosidade, sempre me deram todo o respaldo para que eu chegasse até aqui. Sem estas duas referências, almejar um título de bacharel na USP seria simplesmente impossível.

À minha irmã Carol, por ter me ensinado Cálculo Diferencial. Uma tarefa para poucos.

À Dani, por ser a namorada mais paciente, legal, cabeça-dura e fofinha de todas, e aguentar o mau-humor deste que vos fala.

Aos meus grandes irmãos de outras mães e companheiros de república Gorda, Flor, Fyona, Indigente, Broxa e Funga, pelos longos anos de parceria no Cativoiro, churrascos, cachaçadas homéricas, festas, discussões, filosofias de buteco e todas essas coisas que são essenciais na formação de um bom caráter.

À outras honoráveis personalidades da Geologia, como Cabelinho, Gargalo, Fladmir, Sheila, Dante, Oncinha, Rabikó, Flaminga, Gorgota, Afonso, Arregazzo, Funério, Pará e uns outros pilantras que possivelmente eu estou esquecendo. Obrigado por tornarem a Geo um ambiente muito harmonioso e familiar.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
LISTA DE ANEXOS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	1
3. LOCALIZAÇÃO.....	2
4. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	3
4.1. Geologia regional	3
4.2. Trabalhos anteriores.....	5
4.3. O método da eletrorresistividade	6
4.3.1. Sondagem Elétrica Vertical (SEV).....	6
4.3.2. Caminhamento Elétrico	7
5. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	8
5.1. Materiais.....	8
5.2. Escolha da área	9
5.3. Ensaio de campo	11
5.4. Tratamento dos dados.....	12
6. RESULTADOS OBTIDOS E INTERPRETAÇÕES	13
6.1. Sondagens Elétricas Verticais	13
6.2. Caminhamento Elétrico	17
7. CONCLUSÕES.....	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Localização da área de estudo (adaptado de Google Earth e Wikipedia).....	2
Figura 4.1.1 – Mapa geológico da folha Piraçununga (modificado de Massoli, 1983).....	4
Figura 4.3.1 – O princípio do método da eletrorresistividade (modificado de Telford et al., 1990).....	6
Figura 4.3.1.1 – Arranjo Schlumberger (extraído de Gallas, 2000).....	7
Figura 4.3.2.1 – Arranjo dipolo-dipolo com 5 níveis de investigação (pseudo-seção). (extraído de Gallas, 2000).....	8
Figura 5.1.1 – Materiais para aquisição dos dados: A) bobinas, trena, eletrodos e fios; B) resistivímetro SAS 4000 da ABEM; C) adaptador multicanal acoplado ao resistivímetro (extraído de ABEM, 2010).....	9
Figura 5.2.1 – 1. Lagoa vista de SW para NE, estufa ao fundo. 2. Lagoa vista de NW para SE, descampado ao fundo (jusante).....	10
Figura 5.3.1 – Arranjo dos ensaios de campo a jusante da lagoa principal.....	11
Figura 6.1.1 - SEV 1.....	14
Figura 6.1.2 - SEV 2.....	15
Figura 6.1.3 - SEV 3.....	16
Figura 6.1.4 – Pluviometria na área dos levantamentos entre junho de 2013 e maio de 2014 e média anual. Disponível em www.usp.br/ccps , agosto de 2014.....	17
Figura 6.2.1 – LINHA 1 – Pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada.....	18
Figura 6.2.2 – LINHA 2 – Pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada.....	19
Figura 6.2.3 – LINHA 3 – Pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada.....	20
Figura 6.2.4 – Mapa das resistividades modeladas para 5 níveis de investigação.....	21
Figura 6.2.5 – Visualização tridimensional das distribuições de resistividade.....	22

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I – DADOS DE CAMINHAMENTO ELÉTRICO

ANEXO II – DADOS DAS SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS

RESUMO

A geofísica aplicada vem provando ser uma ferramenta de grande utilidade na investigação de contaminações em subsuperfície, em especial, por meio do método da Eletroresistividade e suas duas principais técnicas: a Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e o Caminhamento Elétrico (CE).

Este trabalho tem como objetivo correlacionar uma pluma de contaminação no subsolo a uma lagoa de descarte, situada no campus da Universidade de São Paulo em Pirassununga – SP, onde são lançados efluentes líquidos decorrentes das atividades da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Para tal, foram realizadas, a jusante da lagoa, três SEVs, com arranjo Schlumberger, e três linhas de CE, com arranjo dipolo-dipolo.

Com o posterior tratamento dos dados, foi possível a elaboração de seções modeladas e mapas em planta de resistividade, além de curvas ajustadas com modelos de camadas geoeletricas.

Os resultados obtidos sugerem que, de fato, os fluidos da lagoa que se infiltraram no subsolo possuem um conteúdo iônico considerável, pois devido a sua influência, aparecem zonas anômalas com baixos valores de resistividade próximas do local.

ABSTRACT

The applied geophysics is proving to be a useful tool to investigate contaminations in subsurface, particularly, by the method of the Electroresistivity and its two main technics: the Electric Vertical Sounding (VES) and the Geoelectrical Profiling.

This work has the objective to correlate a contamination plume in the substrate to a discard lagoon, located at São Paulo University in Pirassununga – SP, where liquid effluents, derived by activities of Zootechny and Food Engineering School, are discharged. Therefore, downstream the lagoon, it was realized three VESs, with Schlumberger array, and three lines of geoelectrical profiling, with dipole-dipole array.

By the later data processing, it was possible to elaborate modeled sections and maps of resistivity, as well fitted curves with geoelectrical layers models.

The achieved results suggest that, indeed, the fluids of the lagoon, that have infiltrated the subsoil, possess a high ionic content, because of its influence, anomalous zones with low values of resistivity appears near the local.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a preservação ambiental nunca esteve tão em alta na história da humanidade. O assunto é pauta nas mais diversas esferas, desde questões governamentais, políticas e legislativas, até conversas informais entre leigos. Tem sido, também, tema frequentemente abordado pelos veículos midiáticos.

Em virtude deste fato, a demanda por conhecimento científico que se aplique às questões ambientais, seja na prevenção ou remediação de contaminações do ar, solos, subsolos, oceanos e rios, também se encontra numa crescente.

A poluição do subsolo ocorre na maior parte das vezes em decorrência de atividade antrópica mal planejada, podendo atingir o lençol freático. Entre as causas mais comuns de contaminação estão o descarte inadequado do lixo doméstico e dos resíduos industriais.

Existem na geologia, especialmente nas áreas da hidrogeologia e geologia ambiental, métodos diretos de investigação de zonas contaminadas já consagrados há muitas décadas. No entanto, são operações que exigem furos de sondagem e poços de monitoramento, o que torna o estudo relativamente caro e lento.

Neste contexto, a geofísica aplicada vem provando ser uma ferramenta de grande valia na investigação de contaminações em subsuperfície. Em especial o método da eletrorresistividade, por meio de suas principais técnicas, a Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e o Caminhamento Elétrico (CE), possibilita tal estudo de maneira bastante ampla. Por ser indireta e não-destrutiva, a geofísica permite a aquisição dos dados com grande rapidez, baixo custo e resultados satisfatórios sem expor os operadores aos contaminantes.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi utilizar o método da eletrorresistividade na detecção de uma pluma de contaminação e correlacioná-la a uma lagoa de descarte, delimitando sua extensão e suas direções de propagação. Secundariamente, pretendeu-se determinar a profundidade do lençol freático e inferir, a partir das informações geoelétricas, a composição do substrato em níveis rasos.

3. LOCALIZAÇÃO

A área dos levantamentos, marcada em azul na Figura 3.1, está localizada internamente ao campus da Universidade de São Paulo, na cidade de Pirassununga – SP. Encontra-se a aproximadamente 213km da capital do estado e pode ser acessada através da Rodovia Anhanguera (SP-330).

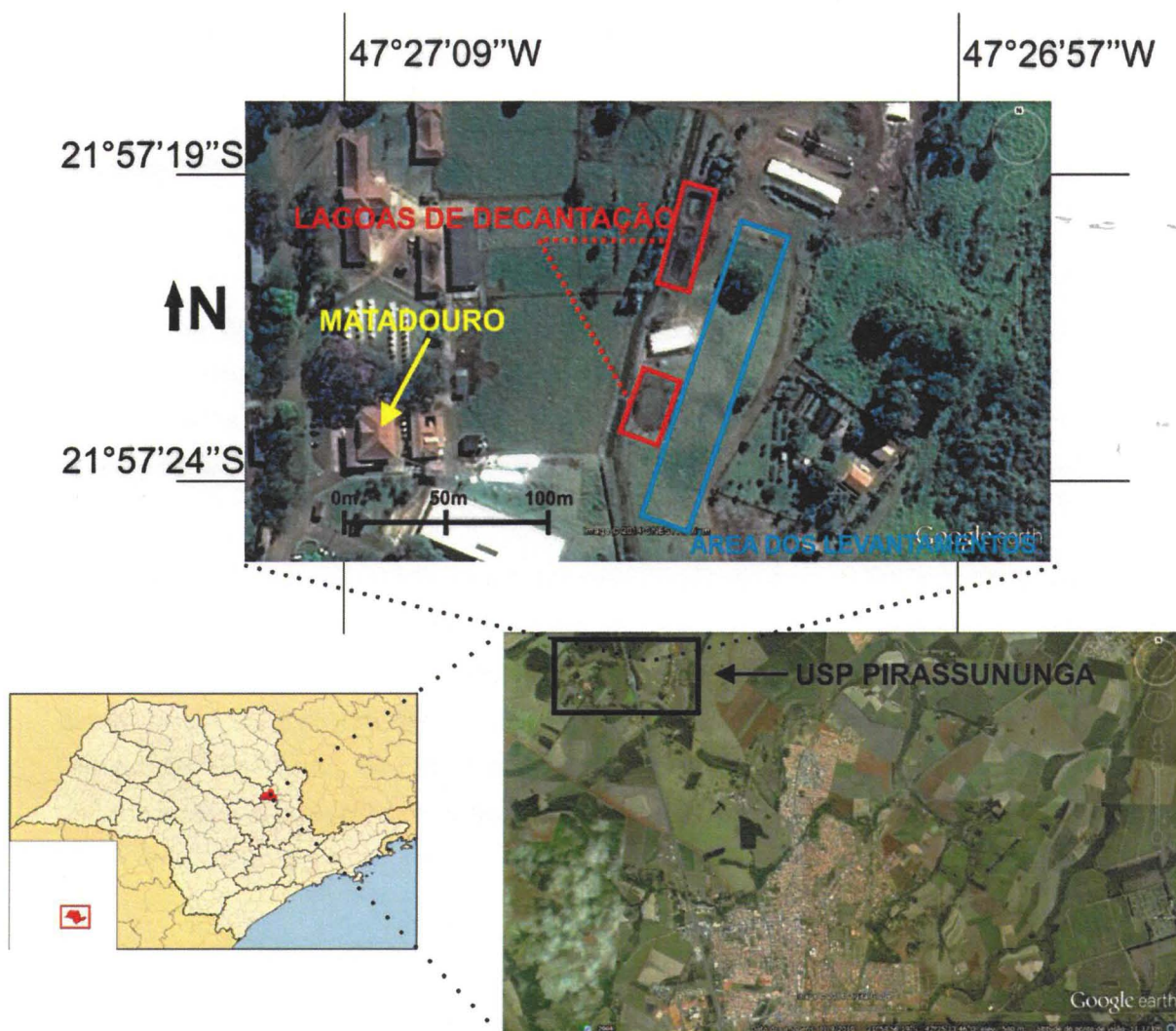


Figura 3.1 – Localização da área de estudo (adaptado de Google Earth e Wikipedia).

4. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

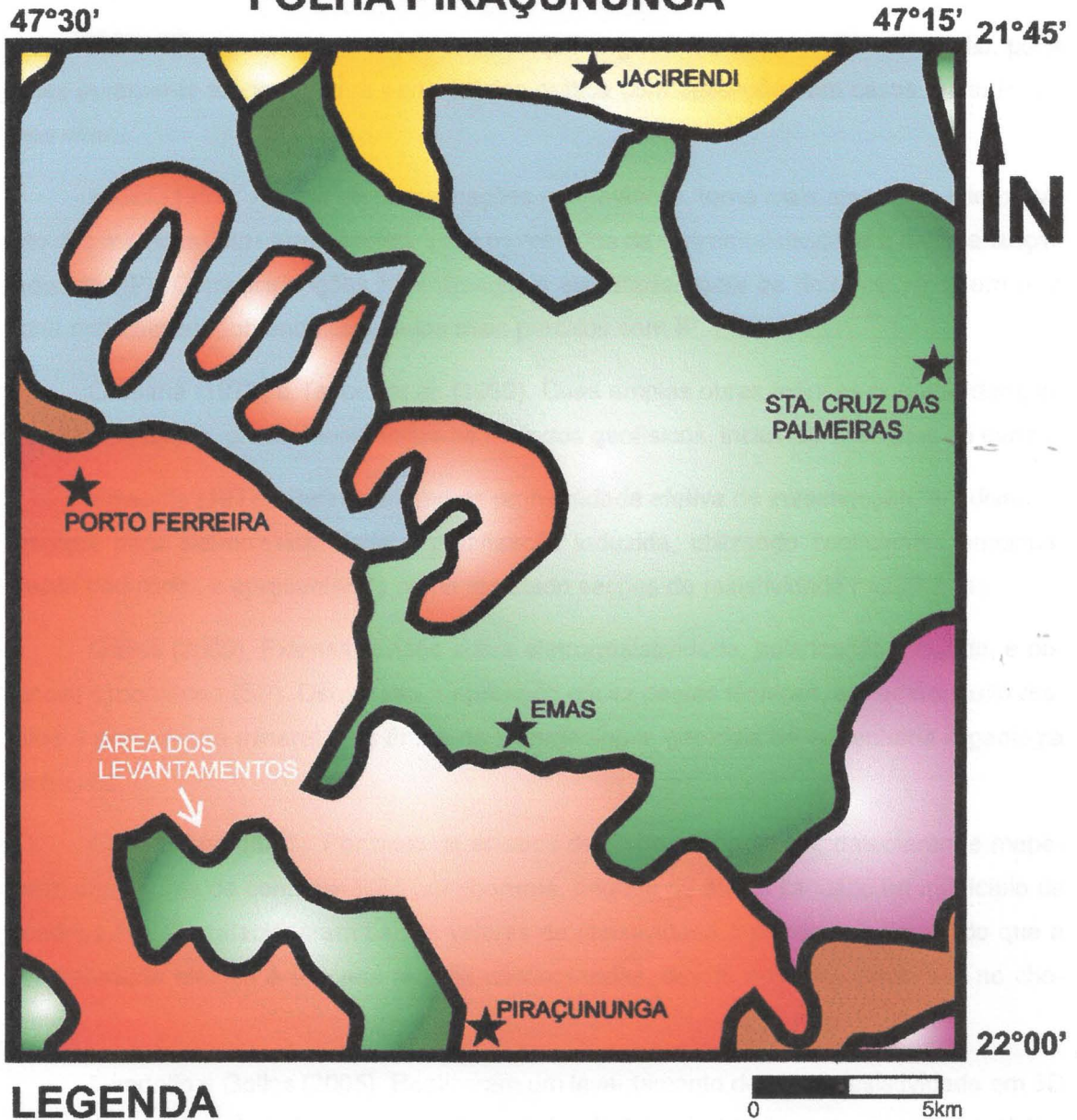
A revisão bibliográfica deste trabalho está dividida em três etapas: a primeira consiste de uma breve contextualização geológica regional; a segunda é a citação de vários trabalhos anteriores, cuja leitura serviu para familiarizar este autor com o tema e embasar as etapas de aquisição e tratamento de dados, bem como suas decorrentes interpretações e conclusões; a terceira, e mais específica, é a apresentação do método da eletrorresistividade e das técnicas do caminhamento elétrico e da sondagem elétrica vertical.

4.1. Geologia regional

A área de estudo está localizada na região nordeste da Bacia do Paraná, definida por Milani e Ramos (1998) como uma bacia intracratônica típica, localizada na porção centro-oriental da América do Sul, com uma extensão de aproximadamente 1,5 milhão de quilômetros quadrados. Abriga, segundo os autores supracitados, um registro estratigráfico que vai desde o Neo-Ordoviciano ao Neo-Cretáceo, abrangendo 400 milhões de anos de história geológica.

Segundo Massoli (1983), na folha Piraçununga (paralelos 21°45' e 22°00' e meridianos 47°15' e 47°30'), onde a área está inserida, afloram, em 70% de sua extensão, sedimentos inconsolidados areno-argilosos, sem estruturas sedimentares da Fm. Piraçununga, com idades terciárias, além de intrusões de diabásio. Subordinadamente, afloram sedimentos da Fm. Corumbataí (Permiano), da Fm. Pirambóia (Triássico) e do Gr. Tatuí (Permiano). A direção das camadas é de aproximadamente N25°W mergulhando 1°/2° para SW (Figura 4.1.1).

MAPA GEOLÓGICO DA FOLHA PIRAÇUNUNGA



LEGENDA

- QUATERNÁRIO
- FM. PIRAÇUNUNGA
- FM. PIRAMBÓIA
- FM. CORUMBATAÍ
- GRUPO TATUI
- DIABÁSIO

- CONTATO GEOLÓGICO
- CIDADE

Figura 4.1.1 – Mapa geológico da folha Piraçununga (modificado de Massoli, 1983).

4.2. Trabalhos anteriores

Há uma vasta quantidade de trabalhos que englobam o tema desta monografia, parte deles puramente teórica e outra parte teórico-prática com aplicações em casos reais. Podemos citar:

Hallof (1957). A partir de aproximações matemáticas, torna mais apurada a interpretação das medidas feitas em superfície para os métodos da eletrorresistividade e da polarização induzida (IP). Compara seções bidimensionais elaboradas para os dois métodos, em uma zona mineralizada, obtendo resultados mais precisos com IP.

Orellana (1972) e Telford et al. (1990). Duas amplas obras teóricas que abordam, de maneira completa, praticamente todos os métodos geofísicos, incluindo exemplos de campo.

Edwards (1977). Define valores de profundidade efetiva de investigação, em diversos arranjos para eletrorresistividade e polarização induzida, utilizando coeficientes empiricamente deduzidos e apresentando como resultado seções de resistividade modificadas.

Gallas (2000). Extensa revisão sobre eletrorresistividade, polarização induzida, e potencial espontâneo (SP). Demonstra a aplicação eficaz destas técnicas, até então muito restritas à prospecção mineral, nas áreas de hidrogeologia, geologia de engenharia e geologia ambiental.

Gallas et al. (2005). Por meio de ensaios de eletrorresistividade, detectaram e mapearam uma pluma de contaminação por chorume, oriunda de aterro sanitário no município de Londrina-PR. Correlacionaram baixos valores de resistividade à pluma, considerando que a condutividade elétrica é alta nas regiões contaminadas, devido aos íons presentes no chorume.

Gandolfo e Gallas (2005). Realizaram um levantamento de eletrorresistividade em 3D utilizando arranjo polo-polo em uma malha regular de 4m x 4m. Obtiveram sucesso na elaboração dos modelos finais de resistividade, porém a custo de um longo tempo despendido na aquisição dos dados.

Gandolfo (2007). Estudo detalhado do imageamento geoeletrico e suas metodologias de aquisição, tratamento e interpretação de dados. Utiliza arranjos dipolo-dipolo, polo-polo, polo-dipolo e Wenner para CE e Schlumberger para SEV, mostrando, através da inversão de dados por softwares, o potencial quantitativo destes métodos.

Gallas et al. (2007). Estudaram a viabilidade da instalação de aterro sanitário na cidade de Timburi – SP, em área situada na zona de recarga do Aquífero Guarani. Utiliza-se de SEVs com arranjo Schlumberger, e caminhamento elétrico em arranjo dipolo-dipolo.

4.3. O método da eletrorresistividade

Este método consiste na medição do parâmetro resistividade (ρ). Para obtê-lo utiliza-se de uma corrente (I) induzida artificialmente por dois eletrodos (A e B) em contato galvânico com o solo. Em outro par de eletrodos (M e N) é medida a diferença de potencial (ddp ou ΔV) (Gallas, 2000) (Figura 4.3.1).

Em situação ideal, com substrato homogêneo e isotrópico, seria possível medir a resistividade real. No entanto, tais condições dificilmente são encontradas na natureza, portanto, o que se mede é a resistividade aparente (ρ_a) (Orellana, 1972), que é dada pela fórmula $\rho_a = K\Delta V/I$, sendo K dependente do posicionamento dos eletrodos pela relação $K = 2\pi/(1/AM - 1/BM - 1/AN + 1/BN)$. As unidades são: constante K em metros (m), resistividade aparente em ohm vezes metro ($\Omega \cdot m$), diferença de potencial em milivolts (mV) e corrente em miliampère (mA).

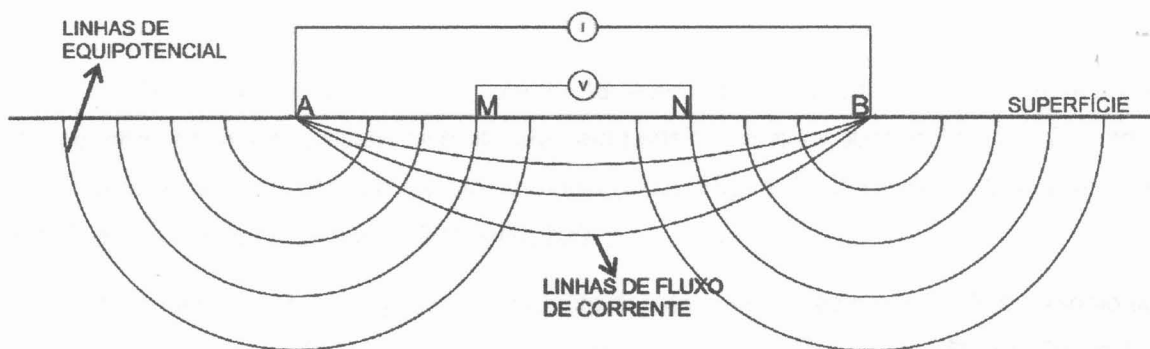


Figura 4.3.1 – O princípio do método da eletrorresistividade (modificado de Telford et al., 1990)

O método da eletrorresistividade possui duas principais técnicas de investigação, a Sondagem Elétrica Vertical e o Caminhamento Elétrico.

4.3.1. Sondagem Elétrica Vertical (SEV)

A SEV é uma técnica muito difundida para obtenção do parâmetro resistividade e suas variações na direção vertical (Gandolfo, 2007). No arranjo Schlumberger (Figura 4.3.1.1), determina-se um ponto central (O) na superfície e, em seguida, são fixados os eletrodos de potencial M e N. A distância (L) entre os eletrodos de corrente A e B vai aumentando progressivamente para a realização das medidas. Os quatro eletrodos A, B, M e N devem estar sempre ao longo de um mesmo perfil (Gallas, 2000).

Caso o sinal se torne muito fraco, a distância entre M e N pode ser aumentada, realizando-se um procedimento conhecido como embreagem, que consiste em repetir a leitura do ΔV com mais de uma abertura para MN e uma mesma distância AB (Gallas, 2000).

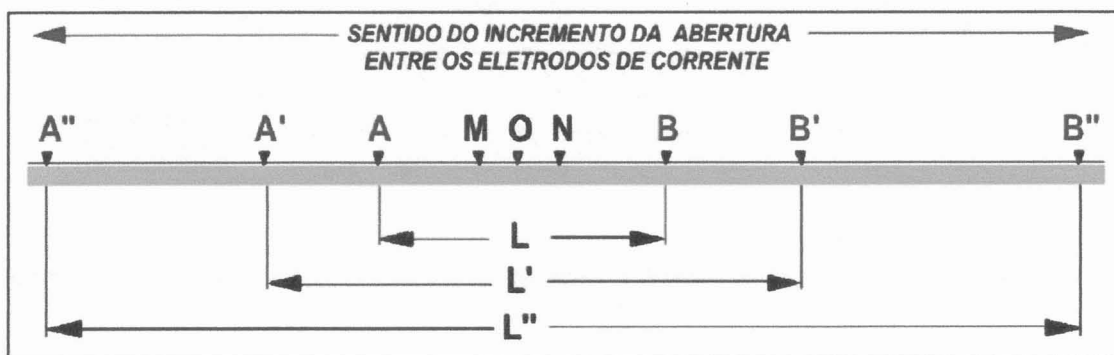


Figura 4.3.1.1 – Arranjo Schlumberger (extraído de Gallas, 2000).

4.3.2. Caminhamento Elétrico

O CE é aplicado para a investigação da resistividade e suas variações laterais, podendo fornecer dados verticais, se realizado para mais de um nível de investigação. O arranjo mais comum para esta técnica é o dipolo-dipolo (D-D) (Figura 4.3.2.1), utilizado amplamente em diversos ramos da geologia (Gandolfo, 2007).

Segundo Gallas (2000), no D-D o dipolo de corrente AB, com centro Ω , e o dipolo de potencial MN, com centro O, têm a mesma abertura denominada L ($AB=MN=L$). Durante o levantamento, para cada nível de investigação o arranjo vai sendo deslocado lateralmente, mantendo-se todas as distâncias constantes. Quando a distância entre os centros dos dipolos é aumentada, aumenta-se também a profundidade de investigação. Analogamente à SEV, os quatro eletrodos devem estar no mesmo perfil e em contato galvânico com o solo.

Os pontos de plotagem das resistividades medidas encontram-se na intersecção de linhas imaginárias, que se prolongam para baixo com ângulo de 45° , a partir das origens Ω e O (Gallas, 2000).

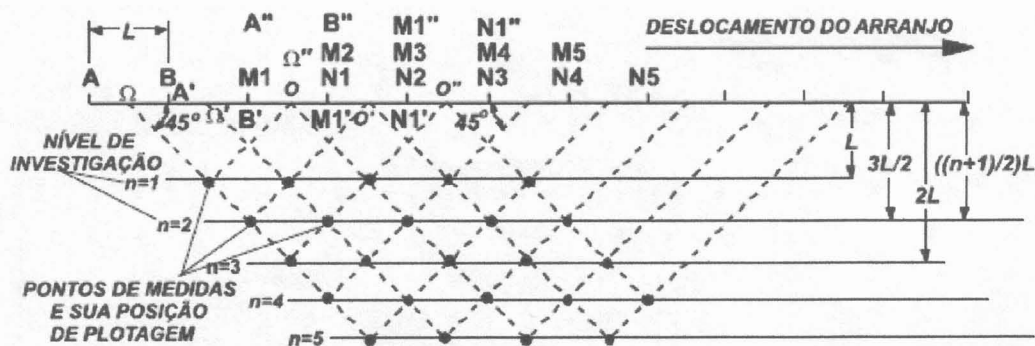


Figura 4.3.2.1 – Arranjo dipolo-dipolo com 5 níveis de investigação (pseudo-seção). (extraído de Gallas, 2000).

5. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

5.1. Materiais

Para a execução dos levantamentos de campo foi utilizado o resistivímetro *Terrameter SAS4000* (Figura 5.1.1), produzido pela *ABEM* da Suécia. O aparelho é próprio para a aquisição de dados de resistividade, polarização induzida e potencial espontâneo. Seu funcionamento consiste na emissão de corrente, com intensidade regulável pelo operador, através dos eletrodos conectados nos terminais C1 e C2 e devolução do valor da resistência ($\Delta V/I$), medida a partir dos eletrodos de potencial conectados aos terminais P1 e P2. É possível trabalhar com vários eletrodos de potencial ao mesmo tempo utilizando o acessório *adaptador multicanal*, que possui oito terminais de potencial compondo quatro canais de leitura (ABEM, 2010). Cada valor de $\Delta V/I$ é multiplicado pela constante K correspondente, obtendo-se assim, a resistividade.

Outros materiais essenciais foram eletrodos, bobinas, fios e trenas, além de demais itens triviais de campo.

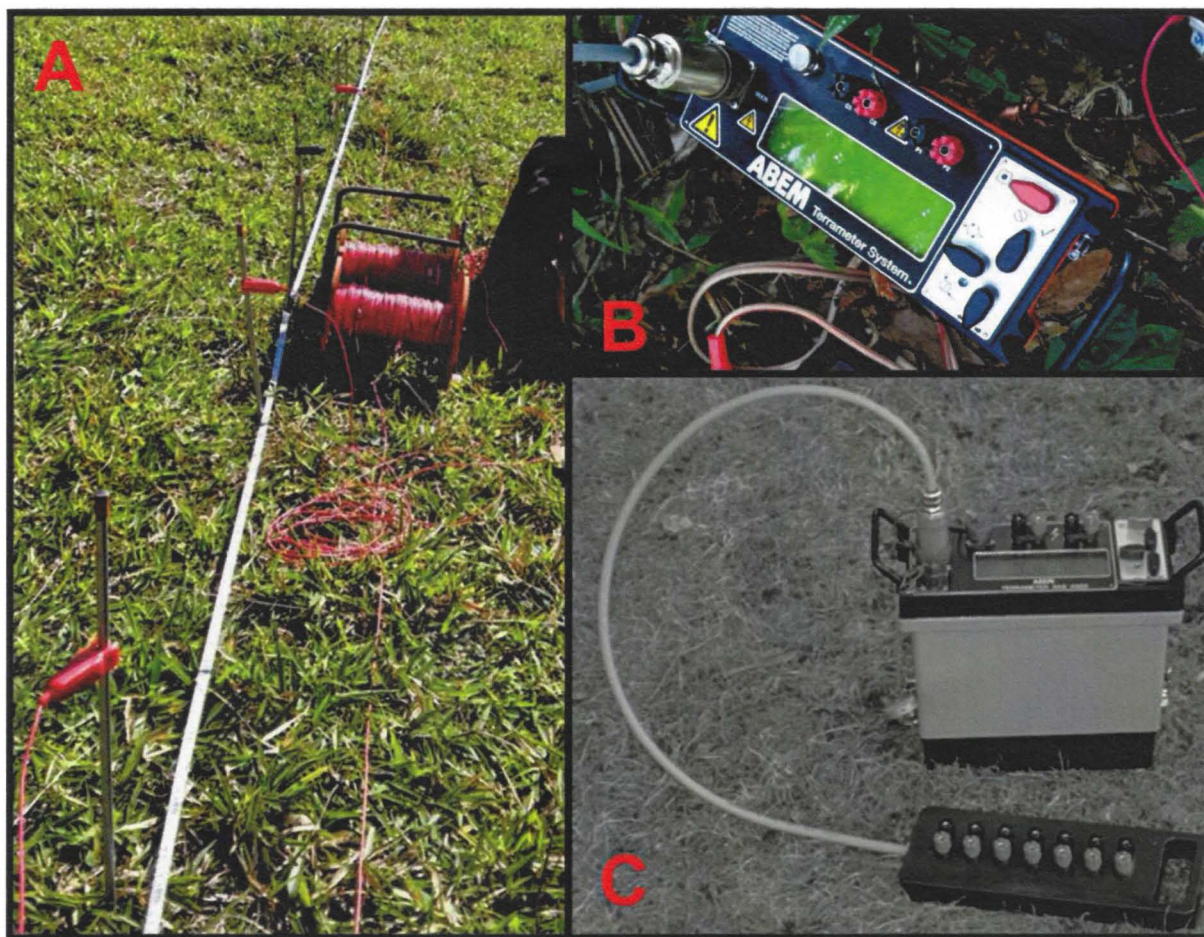


Figura 5.1.1 – Materiais para aquisição dos dados: A) bobinas, trena, eletrodos e fios; B) resistivímetro SAS 4000 da ABEM; C) adaptador multicanal acoplado ao resistivímetro (extraído de ABEM, 2010).

5.2. Escolha da área

A princípio, antes da etapa de campo, haviam sido definidas três possíveis áreas de estudo, relativamente próximas entre si e com aspectos semelhantes, todas internas ao campus da USP em Pirassununga.

No entanto, foi decidido, em função da viabilidade na etapa de aquisição dos dados, e também visando a qualidade dos resultados, concentrar os estudos em apenas uma área, com sua localização e seus limites já apresentados na Figura 3.1. O local em questão é caracterizado por lagoas de descarte (Figura 5.2.1) onde são lançados efluentes líquidos oriundos das atividades da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA –USP), que envolvem experiências com animais e compostos químicos diversos. Estes efluentes podem, ou não, conter contaminantes nocivos ao meio ambiente ou à saúde humana.



Figura 5.2.1 – 1. Lagoa vista de SW para NE, estufa ao fundo. 2. Lagoa vista de NW para SE, descampado ao fundo (jusante).

Observando a topografia e as condições do terreno concluiu-se que o descampado a jusante (Figura 5.2.1) da lagoa maior seria um local adequado para a realização dos levantamentos, pois o fluxo dos líquidos no subsolo deve, teoricamente, fluir neste sentido e, havendo algum tipo de percolação de fluido rico em íons, muito provavelmente as anomalias de resistividade poderiam ser detectadas.

5.3. Ensaios de campo

Os ensaios de eletrorresistividade consistiram em três sondagens elétricas verticais com arranjo Schlumberger, e três linhas de caminhamento elétrico com arranjo dipolo-dipolo, dispostos como exibido na Figura 5.3.1, feitos com o resistímetro SAS 4000 da ABEM. As leituras dos valores de $\Delta V/I$ foram feitas duas vezes para cada ponto de investigação, a fim de evitar possíveis erros de medição.

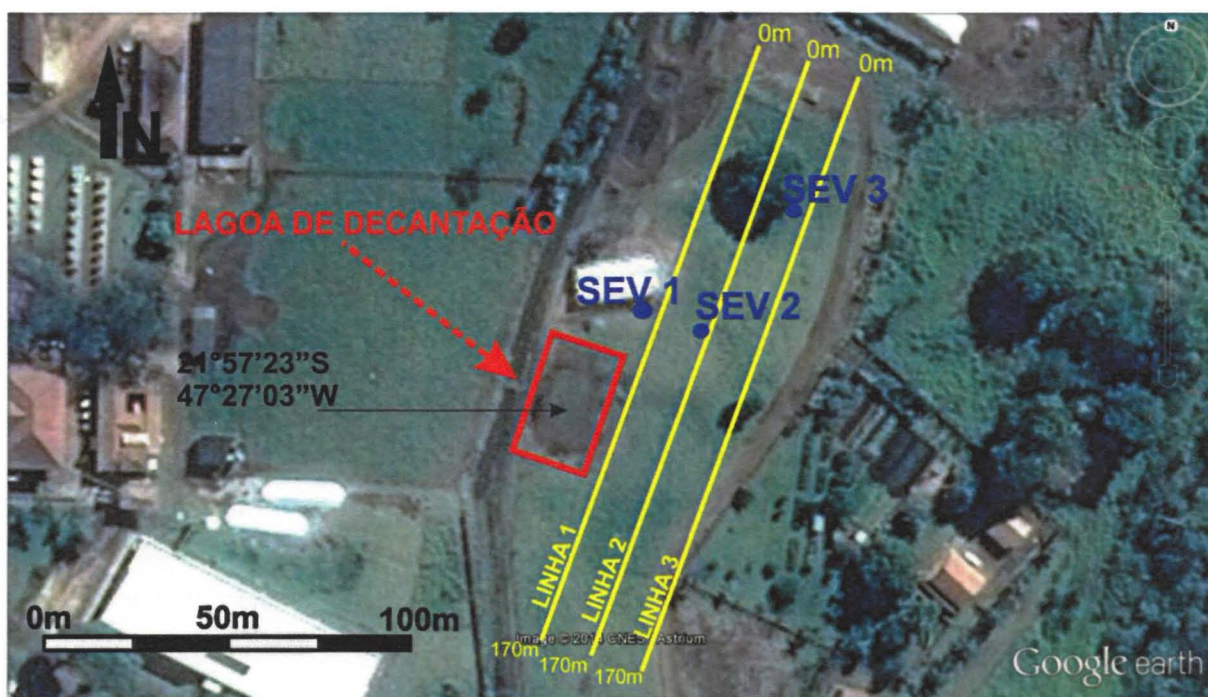


Figura 5.3.1 – Arranjo dos ensaios de campo a jusante da lagoa principal.

As SEVs partiram de uma abertura mínima de $AB/2=1,5\text{m}$, chegando a um máximo de 50m para as SEVs 1 e 3, e 60m na SEV 2. As aberturas $MN/2$ foram quase sempre de 0,5m, exceto para a SEV 1, na qual foi realizada a embreagem, tendo passado para $MN/2=2\text{m}$ quando o $AB/2$ atingiu 25m.

O CE foi realizado em três linhas paralelas, com espaçamento entre seções de 15m. Cada seção tem 170m de extensão e 6 níveis teóricos de profundidade de investigação. Foi utilizado um total de nove eletrodos, sendo eles dois de corrente (A e B) e sete de potencial (M e N). O espaçamento dos dipolos foi mantido sempre constante em $AB=MN=10\text{m}$.

A etapa de campo teve duração de três dias e foi realizada no mês de Junho de 2014.

5.4. Tratamento dos dados

As sondagens elétricas verticais fornecem para cada abertura de eletrodos AB um valor correspondente de resistividade. Tais valores são plotados em um gráfico bi-logarítmico de resistividade (ρ) nas ordenadas versus abertura AB/2 nas abcissas, no qual, interligando-se os pontos, obtém-se uma curva de resistividade aparente. Segundo Gallas (2000), este sistema de plotagem é adotado pelo fato de realçar com clareza a relação entre as resistividades e suas variações nos principais estratos geoeletricos.

Posteriormente, os dados das SEVs podem ser inseridos em softwares com algoritmos de inversão matemática. Neste trabalho foi utilizado o aplicativo *IP12Win v.2.1*, que é próprio para sondagens elétricas verticais e polarização induzida, desenvolvido na Universidade Estadual de Moscou e distribuído pela *GeoScan-M Ltd*, Rússia. Este programa elabora uma curva ajustada de resistividade na direção vertical, portanto em apenas 1D, na qual o operador pode intervir manualmente, ajustando a disposição dos estratos geoeletricos de maneira que estes se correlacionem com as informações geológicas de maneira coerente.

O caminhamento elétrico fornece uma pseudo-seção de resistividade aparente, ao longo do perfil do levantamento, com o número de níveis de investigação igual ao número de afastamentos diversos entre o dipolo de corrente e o dipolo de potencial. Para Hallof (1957), cada ponto de plotagem da seção estará na intersecção de linhas que partem do centro dos dipolos de corrente e potencial com um ângulo de 45° em relação à horizontal. Sendo assim, a profundidade do nível de investigação deve ser igual à metade da distância entre os centros dos dipolos.

Para a elaboração de seções modeladas de resistividade utiliza-se de softwares de inversão em 2D. Neste projeto foi utilizado o programa *RES2DINV v3.53* da *GEOTOMO SOFTWARE*, que cria um modelo bidimensional de resistividade sem que sejam necessárias informações geológicas prévias. Gandolfo (2007) o descreve como um software de inversão por suavização (*smooth inversion*) para dados de caminhamento elétrico adquiridos com eletrodos arranjos de forma colinear e com espaçamento constante entre eletrodos adjacentes. O programa permite que, antes da inversão dos dados, o operador ajuste a profundidade dos níveis de investigação. Foram adotadas, então, as profundidades estabelecidas empiricamente por Edwards (1977), que para dipolos de 10m são aproximadamente metade das estabelecidas por Hallof (1957).

Depois de invertidos no *RES2DINV*, os valores de resistividades podem ser importados pelo *SURFER* da *GOLDEN SOFTWARE*, que é um programa próprio para a elaboração de mapas 2D e 3D, onde os pontos de plotagem são interpolados e, a partir disso, são geradas

curvas de isovalores para as resistividades. O programa dispõe de diversos métodos matemáticos de interpolação que podem ser escolhidos pelo operador. Nas seções apresentadas neste trabalho o método utilizado foi o da “Krigagem”, com resultados adequados.

É possível a partir de múltiplas seções modeladas de caminhamento elétrico, gerar um bloco de visualização de resistividade em 3D. O *VOXLER*, também desenvolvido pela *GOLDEN SOFTWARE*, permite criar este tipo de gráfico, a partir de valores matemáticos, por um processo conhecido como *renderização*. Assim como no *SURFER*, também é possível escolher o método matemático pelo qual os valores serão interpolados. Neste trabalho foi utilizado o inverso do quadrado da distância.

Este tipo de interpolação tridimensional apresenta algumas restrições, pois o método bidimensional de aquisição e inversão de dados considera que o substrato seja geoeletricamente isotrópico na direção perpendicular as seções de caminhamento (Gandolfo e Gallas, 2005), o que é meramente uma aproximação teórica e, não necessariamente, corresponde à realidade.

Sendo assim, um bloco tridimensional gerado a partir de levantamentos convencionais de caminhamento elétrico não é um “3D genuíno”. No entanto, quando acompanhado de seções modeladas e mapas em planta de resistividade, se torna um recurso interessante de visualização com uma confiabilidade razoável.

6. RESULTADOS OBTIDOS E INTERPRETAÇÕES

6.1. Sondagens Elétricas Verticais

As Figuras 6.1.1, 6.1.2 e 6.1.3 são os gráficos bi-logarítmicos da SEVs 1, 2 e 3, respectivamente, plotados no software IPI2Win. Em preto vê-se a curva ligando as resistividades plotadas, em azul a espessura e resistividade aparente de cada estrato geoeletrico, e em vermelho a curva ajustada que melhor se adapta à composição. No quadro adjacente, ρ é a resistividade aparente em ohms vezes metro ($\Omega.m$), h é a espessura do estrato geoeletrico em metros e d a profundidade da base da camada, também em metros.

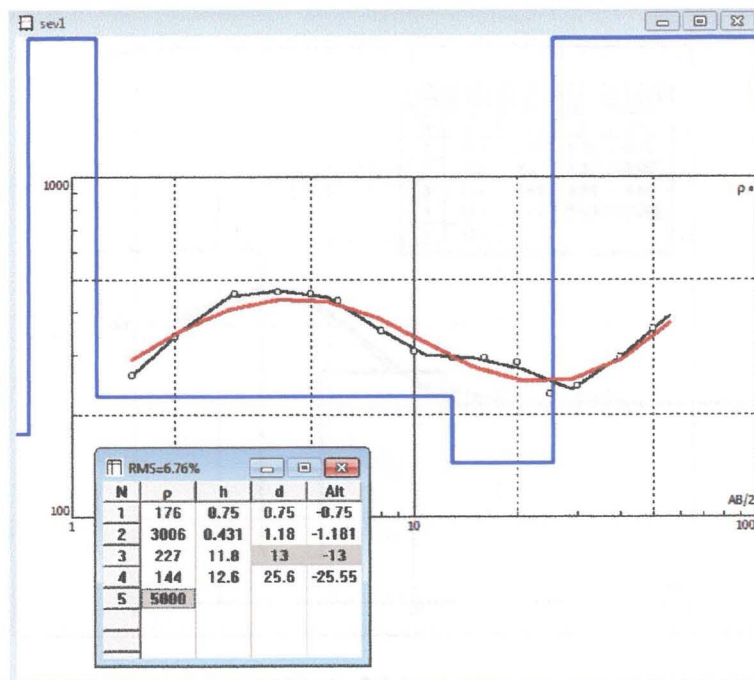


Figura 6.1.1 - SEV 1

Na SEV 1 temos um modelo ajustado com 5 estratos geoeletricos, tendo sido interpretados como:

- 0m a 0,75m – solo úmido, com raízes de grama e capim, $\rho = 176\Omega.m$.
- 0,75m a 1,18m – solo seco, $\rho = 3006\Omega.m$.
- 1,18m a 13m – solo menos resistivo, talvez por influência da franja capilar, ou ainda por infiltração de fluido condutivo, $\rho = 227\Omega.m$.
- 13m a 25,6m – zona saturada, $\rho = 144\Omega.m$.
- A partir de 25,6m – material possivelmente argiloso, compacto e impermeável, $\rho = 5000\Omega.m$.

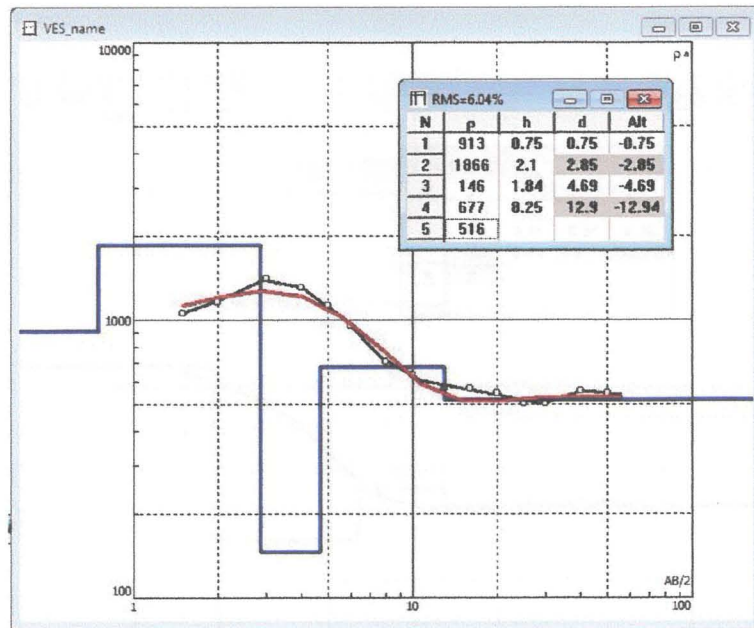


Figura 6.1.2 – SEV2

Para a SEV 2, há também, 5 estratos interpretados:

- 0m a 0,75m – solo úmido, com raízes de grama e capim, $\rho = 913\Omega.m$
- 0,75m a 2,85m – solo seco, $\rho = 1866\Omega.m$
- 2,85m a 4,69m – solo impregnado de material condutivo, $\rho = 146\Omega.m$
- 4,69m a 12,9m – solo úmido, possivelmente zona da franja capilar, $\rho = 667\Omega.m$
- A partir de 12,9m – zona saturada, $\rho = 516\Omega.m$

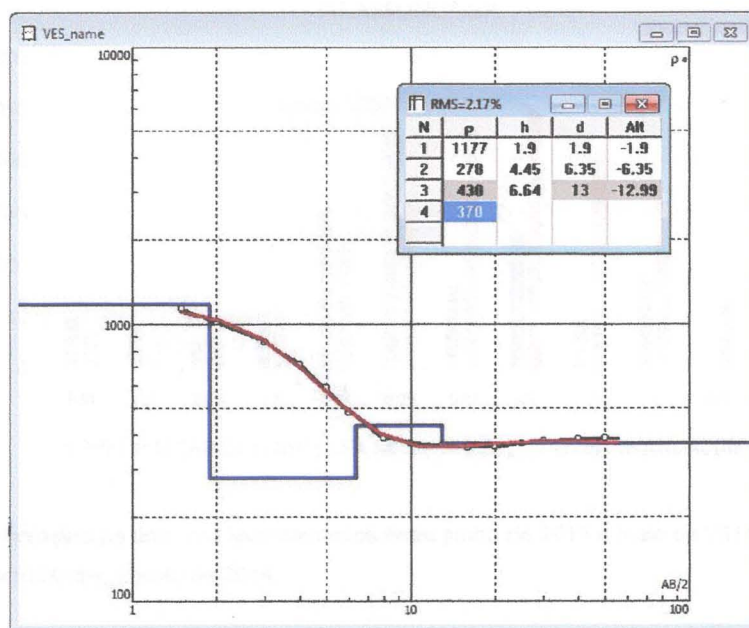


Figura 6.1.3 – SEV3

A SEV 3, diferentemente das demais, foi interpretada com 4 camadas geolétricas:

- 0m a 1,9m – solo seco, $\rho = 1177 \Omega.m$
- 1,9m a 6,35m – solo impregnado de material condutivo, $\rho = 278 \Omega.m$
- 6,35m a 13m – solo úmido, possivelmente zona da franja capilar, $\rho = 430 \Omega.m$
- A partir de 13m – zona saturada, $\rho = 370 \Omega.m$

Nas três sondagens o nível d'água foi interpretado como estando a uma profundidade relativamente alta, aproximadamente 13m, onde se vê nos gráficos uma inflexão sutil na curva ajustada, que indica a influência de uma camada de resistividade mais baixa. Esta conclusão leva em conta o bom senso na análise das SEVs, pois a zona saturada certamente não estaria relacionada às outras inflexões visíveis, que são muito mais rasas (entre 1 e 3m). É válido mencionar também que a região de estudo sofreu com um período de forte seca nos meses que antecederam os levantamentos como mostra a Figura 6.1.4. Este fato também contribuiu para o rebaixamento do N.A..

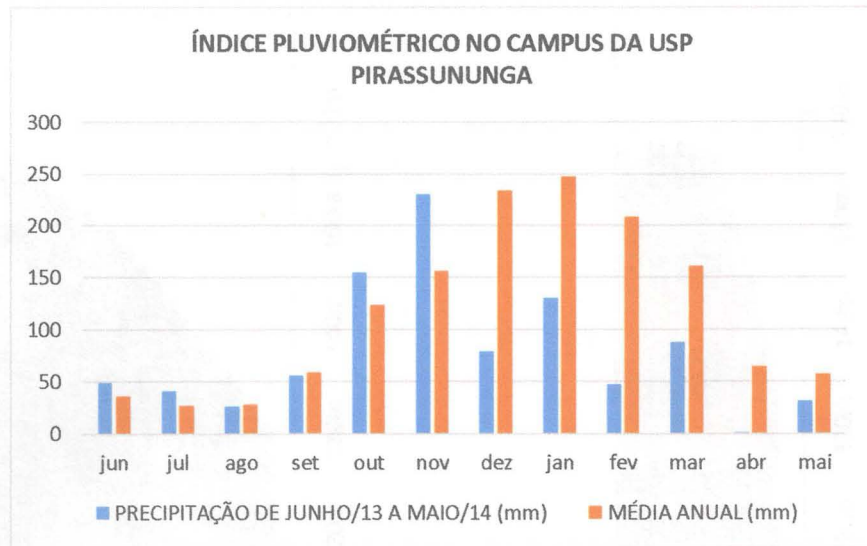


Figura 6.1.4 – Pluviometria na área dos levantamentos entre junho de 2013 e maio de 2014 e média anual. Disponível em www.usp.br/ccps, agosto de 2014.

6.2. Caminhamento Elétrico

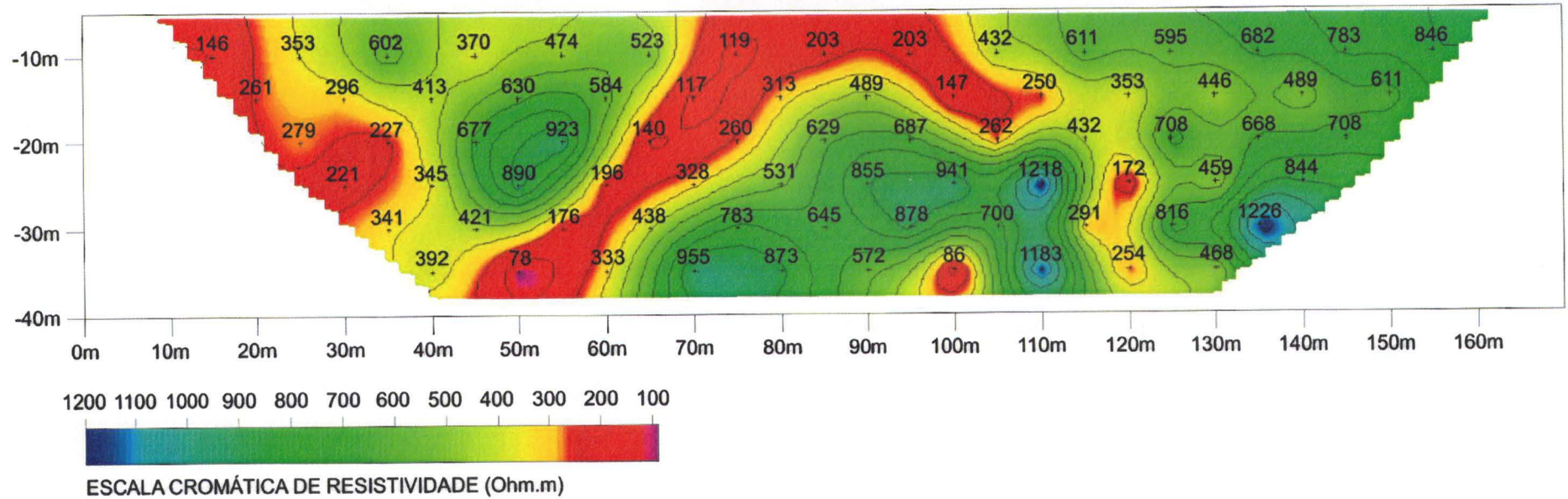
As Figuras 6.2.1, 6.2.2 e 6.2.3 mostram as pseudo-seções de resistividade aparente e suas respectivas seções modeladas para as três linhas de CE.

Com base nos valores de resistividade das seções modeladas foi possível também interpolar os dados em planta, gerando um mapa das resistividades para os níveis de investigação (Figura 6.2.4).

A Figura 6.2.5 mostra a distribuição tridimensional dos valores obtidos a partir do processo bidimensional de inversão de dados.

LINHA 1

PSEUDO SEÇÃO DE RESISTIVIDADE APARENTE



SEÇÃO MODELADA DE RESISTIVIDADE

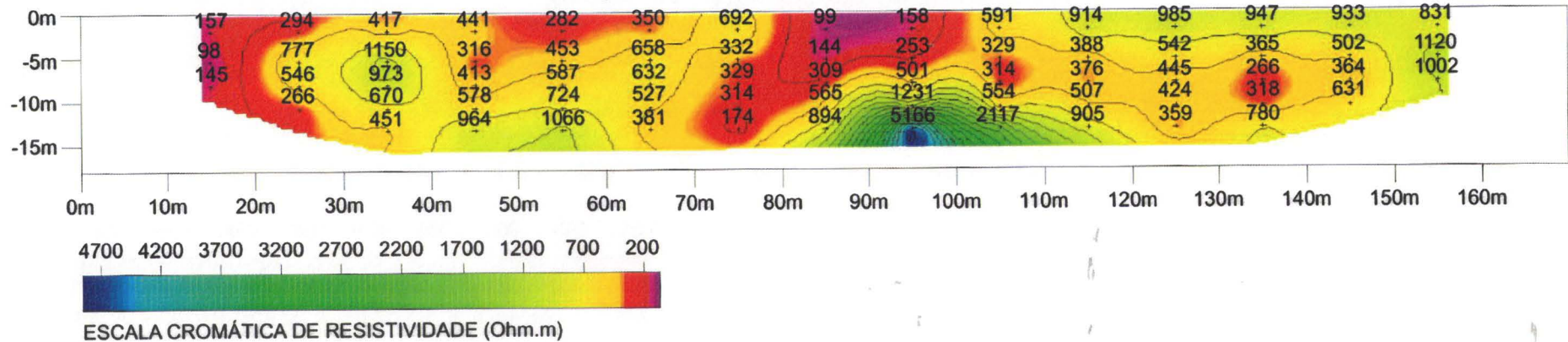
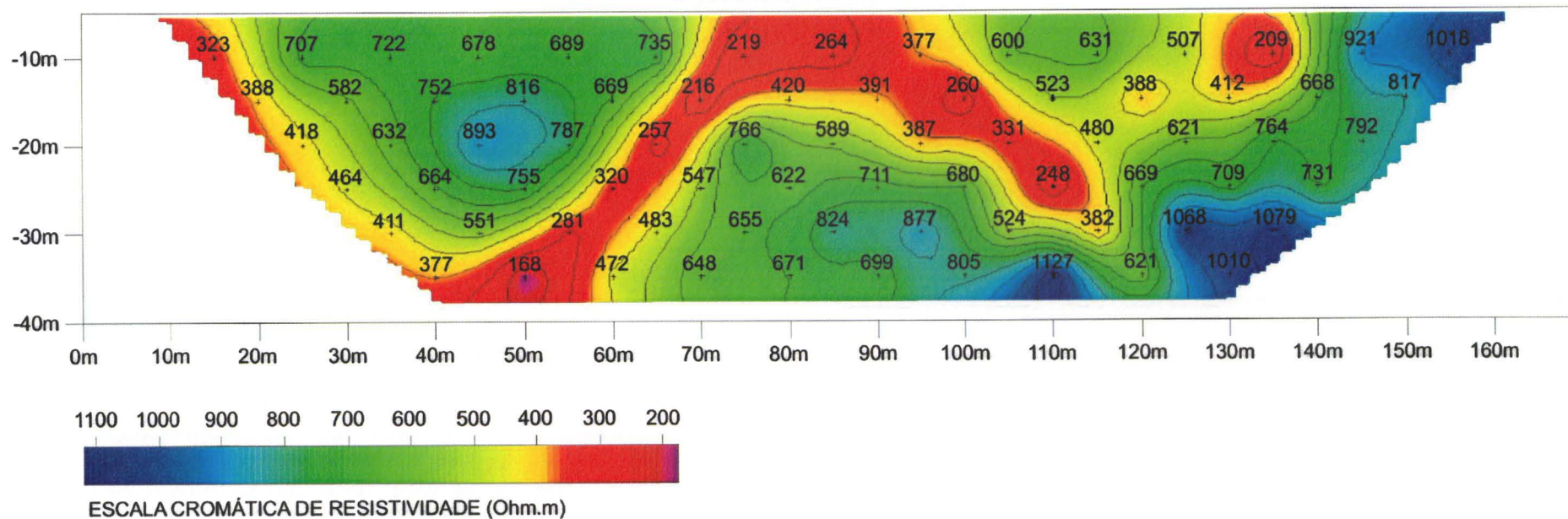


Figura 6.2.1 – LINHA 1 – Pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada.

LINHA 2

PSEUDO SEÇÃO DE RESISTIVIDADE APARENTE



SEÇÃO MODELADA DE RESISTIVIDADE

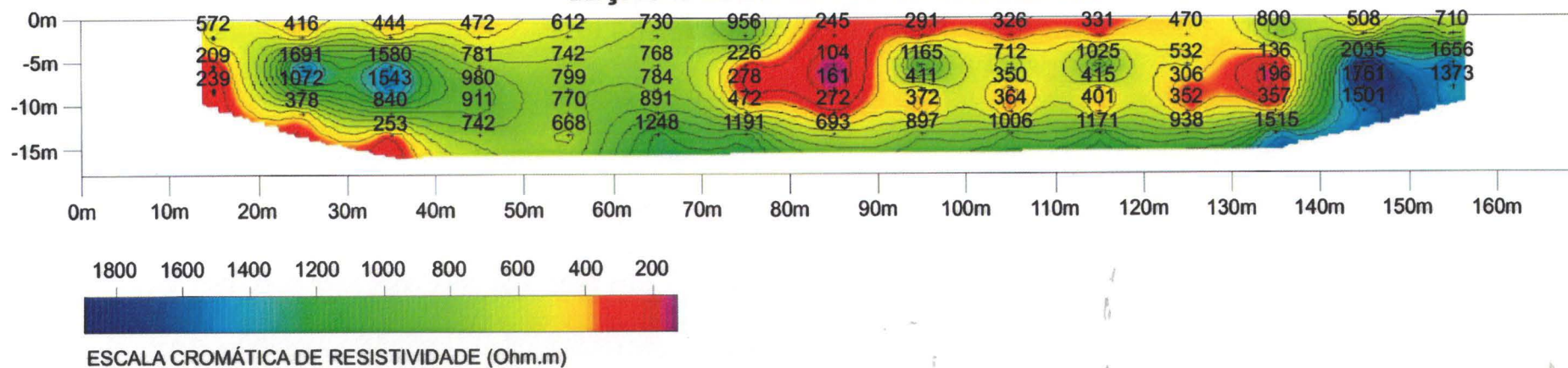
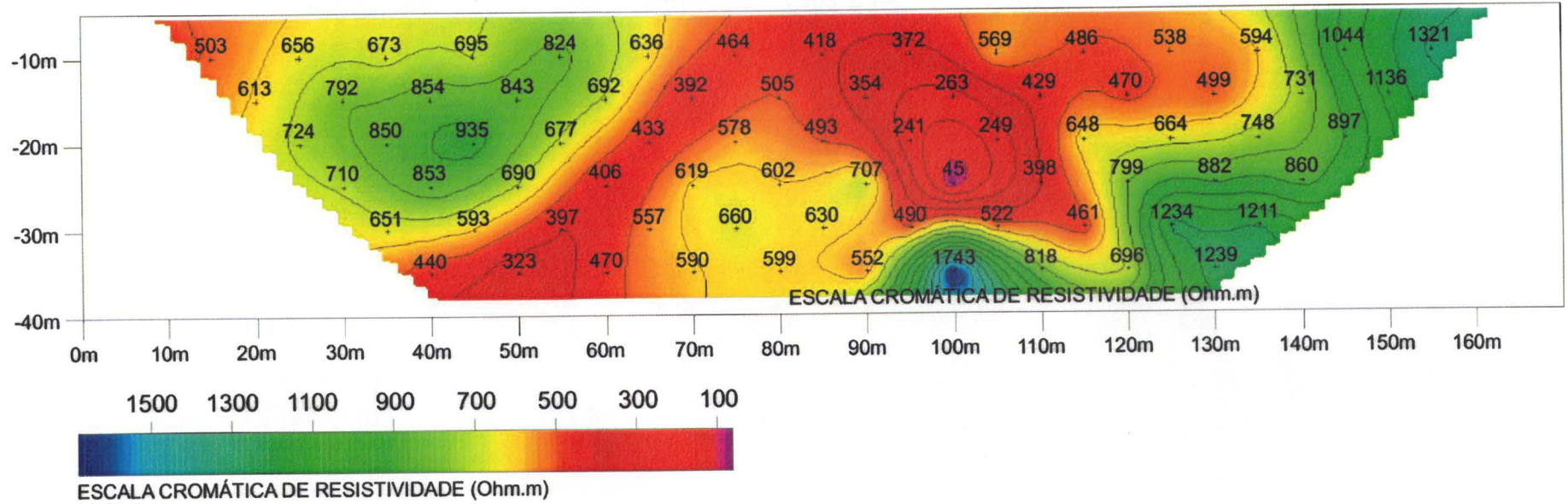


Figura 6.2.2 – LINHA 2 – Pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada.

LINHA 3

PSEUDO SEÇÃO DE RESISTIVIDADE APARENTE



SEÇÃO MODELADA DE RESISTIVIDADE

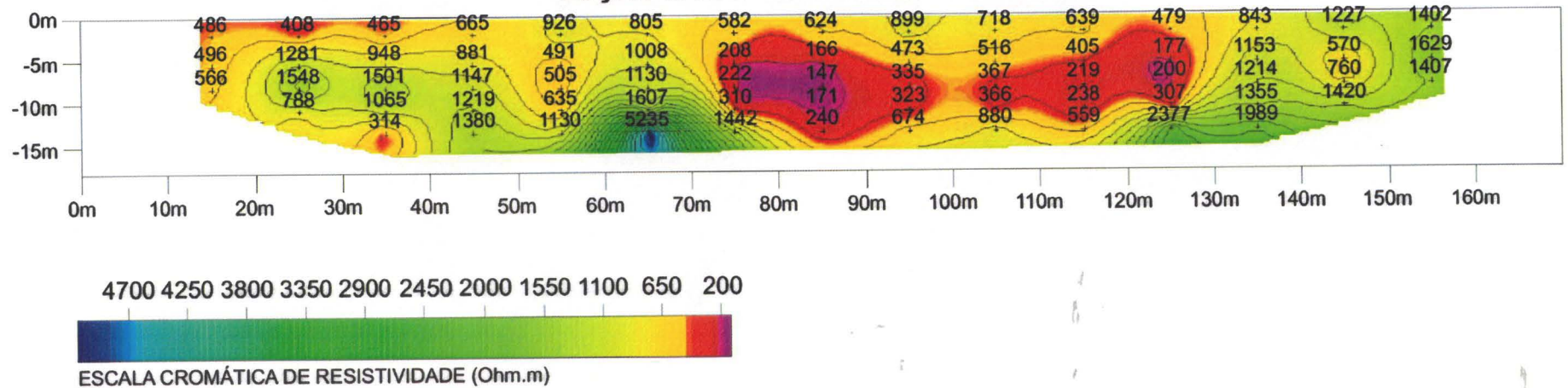


Figura 6.2.3 – LINHA 3 – Pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada.

RESISTIVIDADES MODELADAS 5 NÍVEIS DE INVESTIGAÇÃO

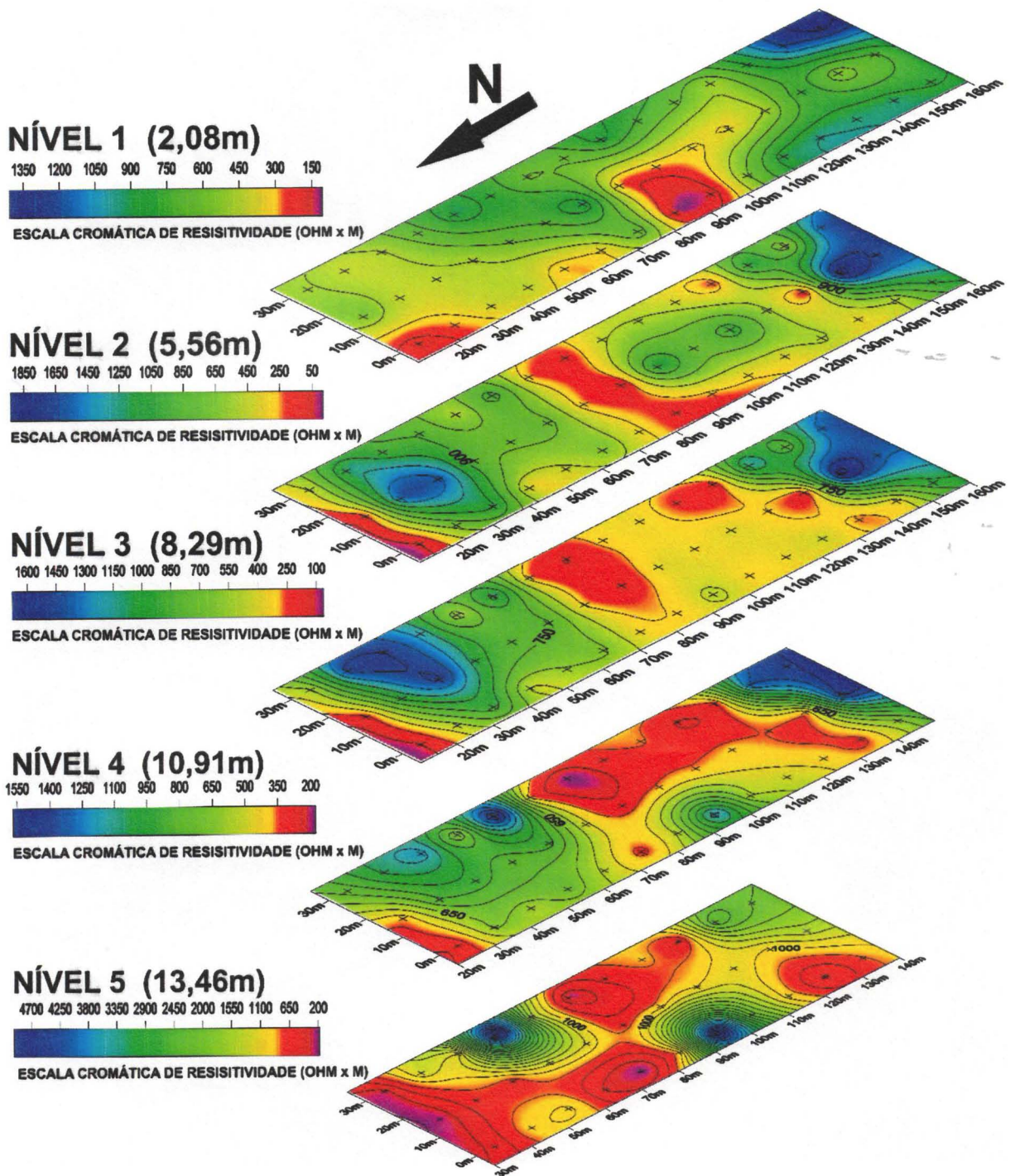
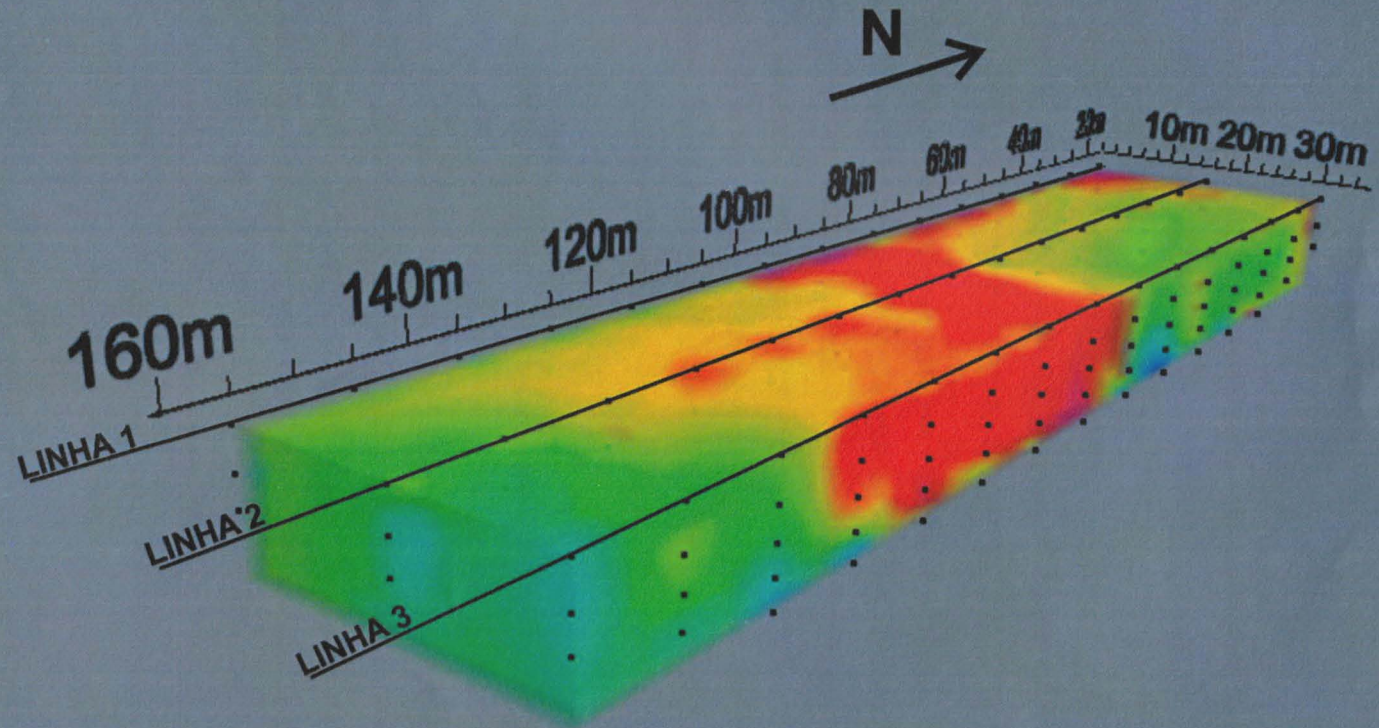


Figura 6.2.4 – Mapa das resistividades modeladas para 5 níveis de investigação.

MODELO TRIDIMENSIONAL DE RESISTIVIDADE



ESCALA CROMÁTICA DE RESISTIVIDADE (ohm x m)



Figura 6.2.5 – Visualização tridimensional das distribuições de resistividade.

Observando as figuras é possível notar algumas diferenças entre as pseudo-seções, com as profundidades teóricas de Hallof (1957), e as seções modeladas a partir da inversão de dados do RES2DINV, com as profundidades de Edwards (1977). Devido ao processamento matemático do software, os 6 níveis teóricos medidos em campo são ajustados para 5 níveis.

Nas três pseudo-seções podemos notar que entre as estacas de 80 e 100m aproximadamente, alinhadas à lagoa da Figura 5.2.1, temos valores baixos de resistividade, se comparados com os demais, formando um padrão em formato de "V" invertido, onde seus flancos se propagam em dois sentidos, atingindo maiores profundidades e grandes distâncias laterais. Na linha 3, apesar de existir, este padrão está um pouco menos evidente, estando a maior concentração das baixas resistividades entre as estacas de 95 e 105m.

Analisando as seções modeladas, também é possível distinguir com facilidade as zonas de baixa resistividade associadas à lagoa entre 80 e 100m, coincidindo com as anomalias das pseudo-seções, porém, com seus limites muito mais restritos e sem o padrão mencionado acima. Na seção da linha 1, vemos valores abaixo de 260 ohm x m nas estacas 85m e 95m destacados em rosa e vermelho, que atingem uma profundidade de até 5,5m. Na linha 2, estas baixas resistividades chegam até a estaca de 75m e a uma profundidade de mais de 10m. Já na linha 3, há um grande espalhamento destes valores, lateralmente de 75m a 125m, atingindo mais de 13m de profundidade.

Se considerarmos que estes valores anômalos são decorrentes da percolação de fluidos ricos em íons despejados na lagoa, podemos, mesmo sem um estudo próprio para determinar as direções de fluxo, inferir com base na Figura 6.2.4, como este líquido mais condutivo se infiltra no subsolo. Vemos que nos níveis 1, 2, 3 e 4 a condutividade vai aumentando progressivamente nos sentidos leste e sul. No nível 5, que pelo inferido nas SEVs já se encontraria na zona saturada, vemos um grande espalhamento das baixas resistividades em várias direções. Esta movimentação do fluido condutivo é também visível no modelo tridimensional da Figura 6.2.5, onde pode-se ver com facilidade a propagação para leste e sul, e em profundidades maiores conforme a possível contaminação se afasta da lagoa.

7. CONCLUSÕES

Em relação aos objetivos estabelecidos para este trabalho temos:

- 1) Os resultados obtidos através do caminhamento elétrico deixam clara a existência de uma pluma (possivelmente de material contaminante) com alto conteúdo iônico que se correlaciona espacialmente com a lagoa alvo da investigação.

Esta correlação é estabelecida observando-se os contrastes laterais e verticais, onde os baixos valores de resistividade podem ser atribuídos à percolação de fluido condutivo oriundo da lagoa.

A pluma, que se propaga para baixo penetrando o subsolo e, preferencialmente, nos sentidos leste e sul, tem suas dimensões laterais variando de 20 a 55m, e atinge, pelo menos, 15m de profundidade.

- 2) As três sondagens elétricas verticais apontam o nível d'água a 13m de profundidade. Tal conclusão é baseada nas curvas ajustadas que apresentam, por volta dos 13m, uma inflexão resultante da influência de um estrato geoeletrico de baixa resistividade indicativo da zona saturada.

Levou-se em conta, também, o baixo índice pluviométrico registrado nos meses que antecederam os levantamentos. Fato que contribui para o rebaixamento do nível freático.

- 3) Analisando as curvas ajustadas das SEVs, foi possível inferir a composição dos primeiros 20m de substrato que, no geral, fica entre a alternância de horizontes de solo úmido, solo seco e zona saturada, além de horizontes sob influência do fluido condutivo.
- 4) Aliando os resultados das SEVs aos do caminhamento elétrico, é válido afirmar que a possível contaminação já atingiu a profundidade do lençol freático.

Sendo assim, podemos concluir que o método da eletrorresistividade empregado neste trabalho cumpriu com pleno êxito todos os objetivos propostos, sendo muito vantajoso pela rapidez e baixo custo na aquisição dos dados, se comparado a métodos diretos de investigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEM. 2010. Instruction manual Terrameter SAS4000/SAS1000. Sweden.
- EDWARDS, L.S.A. 1977. A modified pseudosection for resistivity and induced-polarization. *Geophysics*, 42(5):1020-1036.
- GALLAS, J.D.F. 2000. Principais Métodos Geoeletricos e Suas Aplicações em Prospeção 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., 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.
- GALLAS, J.D.F., TAIOLI, F., VIEIRA, F.L. 2007. Geoelectrical investigation to select an area to install a sanitary landfill over the Guarani Aquifer. *In: X Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica*, Rio de Janeiro. Anais do X Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica.
- GANDOLFO, O.C.B. 2007. Um estudo do imageamento geoeletrico na investigação rasa. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, USP. 215p.
- GANDOLFO, O.C.B., GALLAS, J.D.F. 2005. Eletorresistividade 3d – uma avaliação preliminar da técnica. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(2): 191-198.
- GEOScan-M Ltd. 2002. IPI2Win(MT) v2.0. User's Guide. Russia.
- GEOTOMO SOFTWARE, Geoelectrical Imaging 2D & 3D, 2010. RES2DInv v3.59 Manual. Malaysia.
- GOLDEN SOFTWARE, Inc. 2012. Voxler 3 User's Guide. CO, U.S.A.
- GOLDEN SOFTWARE, Inc. 2013. Surfer 11 Self-Paced Training Guide. CO, U.S.A.
- HALLOF, P.G. 1957. On the interpretation of resistivity and induced polarization measurements. Ph.D. Thesis, MIT, Cambridge. 216p.
- MASSOLI, M. 1983. Geologia da folha de Piraçununga, SP. *Rev. Inst. Geol.*, jan./dez., vol.4, no.1-2, p.25-51.
- MILANI, E.J., RAMOS, V.A. 1998. Orogenias Paleozóicas no domínio Sul-Occidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Rev. Bras. de Geociências*, dez., 28(4):473-484.
- ORELLANA, E., 1972. Prospeccion geoelectrica en corriente continua. Madrid: Paraninfo, 523p.
- TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E., 1990. *Applied Geophysics*. 2º ed., New York, Cambridge University Press. 774p.

ANEXO I
DADOS DE CAMINHAMENTO ELÉTRICO

LINHA 1

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		0	10	20	30	0,771	188,496	145,3304
NÍVEL 2				30	40	0,346	753,984	260,8785
NÍVEL 3				40	50	0,1478	1884,96	278,5971
NÍVEL 4				50	60	0,0586	3769,92	220,9173
NÍVEL 5				60	70	0,0517	6597,36	341,0835
NÍVEL 6				70	80	0,0371	10555,78	391,6193

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		10	20	30	40	1,8753	188,496	353,4865
NÍVEL 2				40	50	0,39209	753,984	295,6296
NÍVEL 3				50	60	0,12075	1884,96	227,6089
NÍVEL 4				60	70	0,091511	3769,92	344,9891
NÍVEL 5				70	80	0,063851	6597,36	421,248
NÍVEL 6				80	90	0,007404	10555,78	78,15708

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		20	30	40	50	3,19158	188,496	601,6
NÍVEL 2				50	60	0,547602	753,984	412,8829
NÍVEL 3				60	70	0,359118	1884,96	676,9224
NÍVEL 4				70	80	0,236015	3769,92	889,7577
NÍVEL 5				80	90	0,026665	6597,36	175,9156
NÍVEL 6				90	100	0,031551	10555,78	333,0418

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		30	40	50	60	1,962821	188,496	369,984
NÍVEL 2				60	70	0,835078	753,984	629,6352
NÍVEL 3				70	80	0,4894	1884,96	922,5002
NÍVEL 4				80	90	0,052076	3769,92	196,3228
NÍVEL 5				90	100	0,066416	6597,36	438,1727
NÍVEL 6				100	110	0,090431	10555,78	954,5685

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		40	50	60	70	2,512571	188,496	473,6096
NÍVEL 2				70	80	0,774316	753,984	583,8222
NÍVEL 3				80	90	0,07437	1884,96	140,1837
NÍVEL 4				90	100	0,087075	3769,92	328,2652
NÍVEL 5				100	110	0,118664	6597,36	782,866
NÍVEL 6				110	120	0,082743	10555,78	873,414

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		50	60	70	80	2,775777	188,496	523,2228
NÍVEL 2				80	90	0,154753	753,984	116,6815
NÍVEL 3				90	100	0,137823	1884,96	259,7907
NÍVEL 4				100	110	0,140913	3769,92	531,2307
NÍVEL 5				110	120	0,09779	6597,36	645,1536
NÍVEL 6				120	130	0,054151	10555,78	571,6074

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		60	70	80	90	0,632541	188,496	119,2315
NÍVEL 2				90	100	0,415369	753,984	313,1814
NÍVEL 3				100	110	0,333907	1884,96	629,4015
NÍVEL 4				110	120	0,226845	3769,92	855,1868
NÍVEL 5				120	130	0,133123	6597,36	878,2586
NÍVEL 6				130	140	0,00811	10555,78	85,60283

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		70	80	90	100	1,078355	188,496	203,2656
NÍVEL 2				100	110	0,648774	753,984	489,165
NÍVEL 3				110	120	0,364538	1884,96	687,1391
NÍVEL 4				120	130	0,249595	3769,92	940,9543
NÍVEL 5				130	140	0,106144	6597,36	700,2716
NÍVEL 6				140	150	0,112082	10555,78	1183,116

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		80	90	100	110	1,078255	188,496	203,2468
NÍVEL 2				110	120	0,195124	753,984	147,1205
NÍVEL 3				120	130	0,139243	1884,96	262,4674
NÍVEL 4				130	140	0,323107	3769,92	1218,087
NÍVEL 5				140	150	0,044111	6597,36	291,0135
NÍVEL 6				150	160	0,024075	10555,78	254,1251

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		90	100	110	120	2,291953	188,496	432,024
NÍVEL 2				120	130	0,331887	753,984	250,2375
NÍVEL 3				130	140	0,229015	1884,96	431,6839
NÍVEL 4				140	150	0,045572	3769,92	171,8027
NÍVEL 5				150	160	0,123683	6597,36	815,9829
NÍVEL 6				160	170	0,044345	10555,78	468,0953

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		100	110	120	130	3,24085	188,496	610,8872
NÍVEL 2				130	140	0,46858	753,984	353,3018
NÍVEL 3				140	150	0,375598	1884,96	707,9872
NÍVEL 4				150	160	0,121653	3769,92	458,6205
NÍVEL 5				160	170	0,18582	6597,36	1225.921

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		110	120	130	140	3,158966	188,496	595,4524
NÍVEL 2				140	150	0,592153	753,984	446,4736
NÍVEL 3				150	160	0,354378	1884,96	667,9875
NÍVEL 4				160	170	0,223905	3769,92	844,103

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		120	130	140	150	3,615761	188,496	681,5564
NÍVEL 2				150	160	0,648826	753,984	489,2042
NÍVEL 3				160	170	0,375585	1884,96	707,9626

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$
NÍVEL 1	130	140	150	160	4,154439	188,496	783,0952
NÍVEL 2			160	170	0,810107	753,984	610,8079

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$
NÍVEL 1	140	150	160	170	4,490353	188,496	846,4136

LINHA 2

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		0	10	20	30	1,7117	188,496	322,6486
NÍVEL 2				30	40	0,51479	753,984	388,1434
NÍVEL 3				40	50	0,22167	1884,96	417,8391
NÍVEL 4				50	60	0,12316	3769,92	464,3033
NÍVEL 5				60	70	0,062318	6597,36	411,1343
NÍVEL 6				70	80	0,035697	10555,78	376,8095

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		10	20	30	40	3,7496	188,496	706,7846
NÍVEL 2				40	50	0,77222	753,984	582,2415
NÍVEL 3				50	60	0,33554	1884,96	632,4795
NÍVEL 4				60	70	0,17607	3769,92	663,7698
NÍVEL 5				70	80	0,083445	6597,36	550,5167
NÍVEL 6				80	90	0,015921	10555,78	168,0585

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		20	30	40	50	3,8291	188,496	721,77
NÍVEL 2				50	60	0,99692	753,984	751,6617
NÍVEL 3				60	70	0,47368	1884,96	892,8679
NÍVEL 4				70	80	0,20026	3769,92	754,9642
NÍVEL 5				80	90	0,042572	6597,36	280,8628
NÍVEL 6				90	100	0,044741	10555,78	472,276

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		30	40	50	60	3,5963	188,496	677,8882
NÍVEL 2				60	70	1,0818	753,984	815,6599
NÍVEL 3				70	80	0,41761	1884,96	787,1781
NÍVEL 4				80	90	0,08483	3769,92	319,8023
NÍVEL 5				90	100	0,073179	6597,36	482,7882
NÍVEL 6				100	110	0,061364	10555,78	647,7446

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		40	50	60	70	3,6574	188,496	689,4053
NÍVEL 2				70	80	0,88759	753,984	669,2287
NÍVEL 3				80	90	0,13636	1884,96	257,0331
NÍVEL 4				90	100	0,14514	3769,92	547,1662
NÍVEL 5				100	110	0,099218	6597,36	654,5769
NÍVEL 6				110	120	0,063533	10555,78	670,6401

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		50	60	70	80	3,8986	188,496	734,8705
NÍVEL 2				80	90	0,28658	753,984	216,0767
NÍVEL 3				90	100	0,40641	1884,96	766,0666
NÍVEL 4				100	110	0,1649	3769,92	621,6598
NÍVEL 5				110	120	0,12485	6597,36	823,6804
NÍVEL 6				120	130	0,066217	10555,78	698,9718

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$
NÍVEL 1		60	70	80	90	1,1624	188,496 219,1078
NÍVEL 2				90	100	0,55653	753,984 419,6147
NÍVEL 3				100	110	0,3127	1884,96 589,427
NÍVEL 4				110	120	0,18849	3769,92 710,5922
NÍVEL 5				120	130	0,13293	6597,36 876,9871
NÍVEL 6				130	140	0,076224	10555,78 804,6035

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$
NÍVEL 1		70	80	90	100	1,3986	188,496 263,6305
NÍVEL 2				100	110	0,51844	753,984 390,8955
NÍVEL 3				110	120	0,20516	1884,96 386,7184
NÍVEL 4				120	130	0,18041	3769,92 680,1313
NÍVEL 5				130	140	0,07939	6597,36 523,7644
NÍVEL 6				140	150	0,10673	10555,78 1126,618

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$
NÍVEL 1		80	90	100	110	2,0026	188,496 377,4821
NÍVEL 2				110	120	0,34456	753,984 259,7927
NÍVEL 3				120	130	0,17557	1884,96 330,9424
NÍVEL 4				130	140	0,06582	3769,92 248,1361
NÍVEL 5				140	150	0,057904	6597,36 382,0135
NÍVEL 6				150	160	0,058788	10555,78 620,553

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$
NÍVEL 1		90	100	110	120	3,1822	188,496 599,832
NÍVEL 2				120	130	0,69407	753,984 523,3177
NÍVEL 3				130	140	0,25465	1884,96 480,0051
NÍVEL 4				140	150	0,1775	3769,92 669,1608
NÍVEL 5				150	160	0,16192	6597,36 1068,245
NÍVEL 6				160	170	0,095644	10555,78 1009,597

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$
NÍVEL 1		100	110	120	130	3,3501	188,496 631,4804
NÍVEL 2				130	140	0,51444	753,984 387,8795
NÍVEL 3				140	150	0,32944	1884,96 620,9812
NÍVEL 4				150	160	0,18799	3769,92 708,7073
NÍVEL 5				160	170	0,16359	6597,36 1079,262

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$
NÍVEL 1		110	120	130	140	2,6913	188,496 507,2993
NÍVEL 2				140	150	0,54677	753,984 412,2558
NÍVEL 3				150	160	0,40546	1884,96 764,2759
NÍVEL 4				160	170	0,19389	3769,92 730,9498

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$
NÍVEL 1		120	130	140	150	1,1064	188,496 208,552
NÍVEL 2				150	160	0,88609	753,984 668,0977
NÍVEL 3				160	170	0,42009	1884,96 791,8528

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$
NÍVEL 1	130	140	150	160	4,8874	188,496	921,2554
NÍVEL 2			160	170	1,0835	753,984	816,9417

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$
NÍVEL 1	140	150	160	170	5,4006	188,496	1017,991

LINHA 3

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		0	10	20	30	2,6673	188,496	502,7754
NÍVEL 2				30	40	0,81287	753,984	612,891
NÍVEL 3				40	50	0,38386	1884,96	723,5607
NÍVEL 4				50	60	0,18836	3769,92	710,1021
NÍVEL 5				60	70	0,098681	6597,36	651,0341
NÍVEL 6				70	80	0,041688	10555,78	440,0492

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		10	20	30	40	3,4815	188,496	656,2488
NÍVEL 2				40	50	1,051	753,984	792,4372
NÍVEL 3				50	60	0,45112	1884,96	850,3432
NÍVEL 4				60	70	0,22622	3769,92	852,8313
NÍVEL 5				70	80	0,08982	6597,36	592,5749
NÍVEL 6				80	90	0,030577	10555,78	322,764

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		20	30	40	50	3,5707	188,496	673,0627
NÍVEL 2				50	60	1,1329	753,984	854,1885
NÍVEL 3				60	70	0,49587	1884,96	934,6951
NÍVEL 4				70	80	0,18297	3769,92	689,7823
NÍVEL 5				80	90	0,060125	6597,36	396,6663
NÍVEL 6				90	100	0,04455	10555,78	470,2598

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		30	40	50	60	3,6893	188,496	695,4183
NÍVEL 2				60	70	1,1176	753,984	842,6525
NÍVEL 3				70	80	0,35922	1884,96	677,1153
NÍVEL 4				80	90	0,10761	3769,92	405,6811
NÍVEL 5				90	100	0,084425	6597,36	556,9821
NÍVEL 6				100	110	0,055901	10555,78	590,0784

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		40	50	60	70	4,3693	188,496	823,5956
NÍVEL 2				70	80	0,91787	753,984	692,0593
NÍVEL 3				80	90	0,22987	1884,96	433,2958
NÍVEL 4				90	100	0,16432	3769,92	619,4733
NÍVEL 5				100	110	0,10004	6597,36	659,9999
NÍVEL 6				110	120	0,056737	10555,78	598,9031

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		50	60	70	80	3,3751	188,496	636,1928
NÍVEL 2				80	90	0,51997	753,984	392,0491
NÍVEL 3				90	100	0,30666	1884,96	578,0418
NÍVEL 4				100	110	0,15976	3769,92	602,2824
NÍVEL 5				110	120	0,095518	6597,36	630,1666
NÍVEL 6				120	130	0,052269	10555,78	551,7399

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		60	70	80	90	2,4596	188,496	463,6248
NÍVEL 2				90	100	0,67028	753,984	505,3804
NÍVEL 3				100	110	0,26177	1884,96	493,426
NÍVEL 4				110	120	0,18742	3769,92	706,5584
NÍVEL 5				120	130	0,074318	6597,36	490,3026
NÍVEL 6				130	140	0,1651	10555,78	1742,759

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		70	80	90	100	2,2155	188,496	417,6129
NÍVEL 2				100	110	0,4699	753,984	354,2971
NÍVEL 3				110	120	0,1278	1884,96	240,8979
NÍVEL 4				120	130	0,011814	3769,92	44,53783
NÍVEL 5				130	140	0,079058	6597,36	521,5741
NÍVEL 6				140	150	0,077469	10555,78	817,7454

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		80	90	100	110	1,9755	188,496	372,3738
NÍVEL 2				110	120	0,34826	753,984	262,5825
NÍVEL 3				120	130	0,13218	1884,96	249,154
NÍVEL 4				130	140	0,10559	3769,92	398,0659
NÍVEL 5				140	150	0,069858	6597,36	460,8784
NÍVEL 6				150	160	0,06589	10555,78	695,5201

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		90	100	110	120	3,0172	188,496	568,7301
NÍVEL 2				120	130	0,56874	753,984	428,8209
NÍVEL 3				130	140	0,34392	1884,96	648,2754
NÍVEL 4				140	150	0,21202	3769,92	799,2984
NÍVEL 5				150	160	0,18705	6597,36	1234,036
NÍVEL 6				160	170	0,11734	10555,78	1238,615

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		100	110	120	130	2,5794	188,496	486,2066
NÍVEL 2				130	140	0,62374	753,984	470,29
NÍVEL 3				140	150	0,35244	1884,96	664,3353
NÍVEL 4				150	160	0,23393	3769,92	881,8974
NÍVEL 5				160	170	0,18355	6597,36	1210,945

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$
NÍVEL 1	110	120	130	140	2,8552	188,496	538,1938
NÍVEL 2			140	150	0,662	753,984	499,1374
NÍVEL 3			150	160	0,39666	1884,96	747,6882
NÍVEL 4			160	170	0,22805	3769,92	859,7303

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$	
NÍVEL 1		120	130	140	150	3,1534	188,496	594,4033
NÍVEL 2				150	160	0,96977	753,984	731,1911
NÍVEL 3				160	170	0,47597	1884,96	897,1844

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$
NÍVEL 1	130	140	150	160	5,5362	188,496	1043,552
NÍVEL 2			160	170	1,5064	753,984	1135,801

	A(m)	B(m)	M(m)	N(m)	$\Delta V/I$ (Ω)	K(m)	$\rho(\Omega.m)$
NÍVEL 1	140	150	160	170	7,0065	188,496	1320,697

ANEXO II
DADOS DAS SONDAGENS ELÉTRICAS
VERTICAIS

SEV 1

AB/2 (m)	MN/2 (m)	K (m)	$\Delta V/I$ (Ω)	ρ ($\Omega.m$)
1,5	0,5	6,28	37,9	238,012
2	0,5	11,78	26,2	308,636
3	0,5	27,48	15	412,2
4	0,5	49,48	8,46	418,6008
5	0,5	77,75	5,3	412,075
6	0,5	112,31	3,5	393,085
8	0,5	200,27	1,6	320,432
10	0,5	313,37	0,886	277,6458
13	0,5	530,14	0,504	267,1906
16	0,5	803,46	0,331	265,9453
20	0,5	1255,85	0,206	258,7051
25	0,5	1962,71	0,107	210,01
25	2	487,73	0,47	229,2331
30	0,5	2826,64	0,078	220,4779
30	2	703,71	0,347	244,1874
40	2	1253,49	0,236	295,8236
50	2	1960,35	0,182	356,7837

SEV 2

AB/2 (m)	MN/2 (m)	K (m)	$\Delta V/I$ (Ω)	ρ ($\Omega.m$)
1,5	0,5	6,28	168,4	1057,552
2	0,5	11,78	98,6	1161,508
3	0,5	27,48	51,3	1409,724
4	0,5	49,48	26,4	1306,272
5	0,5	77,75	14,57	1132,818
6	0,5	112,31	8,5	954,635
8	0,5	200,27	3,55	710,9585
10	0,5	313,37	2,02	633,0074
13	0,5	530,14	1,069	566,7197
16	0,5	803,46	0,708	568,8497
20	0,5	1255,85	0,436	547,5506
25	0,5	1962,71	0,256	502,4538
30	0,5	2826,64	0,1777	502,2939
40	0,5	5025,76	0,1108	556,8542
50	0,5	7853,19	0,07	549,7233
60	0,5	11308,94	0,049	554,1381

SEV 3

AB/2 (m)	MN/2 (m)	K (m)	$\Delta V/I$ (Ω)	ρ ($\Omega.m$)
1,5	0,5	6,28	182	1142,96
2	0,5	11,78	86,5	1018,97
3	0,5	27,48	31,3	860,124
4	0,5	49,48	14,48	716,4704
5	0,5	77,75	7,61	591,6775
6	0,5	112,31	4,3	482,933
8	0,5	200,27	1,93	386,5211
10	0,5	313,37	1,19	372,9103
13	0,5	530,14	0,684	362,6158
16	0,5	803,46	0,448	359,9501
20	0,5	1255,85	0,286	359,1731
25	0,5	1962,71	0,1904	373,7
30	0,5	2826,64	0,133	375,9431
40	0,5	5025,76	0,0768	385,9784
50	0,5	7853,19	0,0495	388,7329

1200 32 0 186 306 1521

DOAÇÃO

IGC - USP

Data: **25 / 02 / 15**

70

40

30

20

10

00

30

20

10

00

30

20

10

00

30

20

10

00

30

20

10

00

30

20

10

0 130 522 2536

0 341 344 1814

0 218 530 1152

0 003 356 1331

0 101 510 007

0 308 328 3023

0 217 382 0404

0 204 383 1804

0 002 331 0408

1 7 781 433

3 2 303 002

4 1 413 002

5 48 418 0008

6 71 415 5

7 38 303 030

8 112 172 011

9 112 172 011

10 112 172 011

11 112 172 011

12 112 172 011

13 112 172 011

14 112 172 011

15 112 172 011

16 112 172 011

17 112 172 011

2EA 3

2EA 3

2EA 3

0 000 204 1181

0 011 248 1533

0 1104 228 8245

0 1111 203 1011

0 120 203 0238

0 430 241 2209

0 308 268 8211

1 000 202 1181

1 03 023 0018

3 22 110 3082

8 2 324 212

14 21 1125 219

30 4 1200 311

21 3 1402 114

86 0 1101 2102

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

60

50

40

30

20

10

00

60

50

40

30

20

10

00

60

50

40

30

20

10

00

60

50

40

30

0 000 204 1181

0 011 248 1533

0 1104 228 8245

0 1111 203 1011

0 120 203 0238

0 430 241 2209

0 308 268 8211

1 000 202 1181

1 03 023 0018

3 22 110 3082

8 2 324 212

14 21 1125 219

30 4 1200 311

21 3 1402 114

86 0 1101 2102

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

70

60

50

40

30

20

10

00

70

60

50

40

30

20

10

00

70

60

50

40

30

20

10

00

70

0 000 204 1181

0 011 248 1533

0 1104 228 8245

0 1111 203 1011

0 120 203 0238

0 430 241 2209

0 308 268 8211

1 000 202 1181

1 03 023 0018

3 22 110 3082

8 2 324 212

14 21 1125 219

30 4 1200 311

21 3 1402 114

86 0 1101 2102

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

80

70

60

50

40

30

20

10

00

80

70

60

50

40

30

20

10

00

80

70

60

50

40

30

20

0 000 204 1181

0 011 248 1533

0 1104 228 8245

0 1111 203 1011

0 120 203 0238

0 430 241 2209

0 308 268 8211

1 000 202 1181

1 03 023 0018

3 22 110 3082

8 2 324 212

14 21 1125 219

30 4 1200 311

21 3 1402 114

86 0 1101 2102

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

90

80

70

60

50

40

30

20

10

00

90

80

70

60

50

40

30

20

10

00

90

80

70

60

50

0 000 204 1181

0 011 248 1533

0 1104 228 8245

0 1111 203 1011

0 120 203 0238

0 430 241 2209

0 308 268 8211

1 000 202 1181

1 03 023 0018

3 22 110 3082

8 2 324 212

14 21 1125 219

30 4 1200 311

21 3 1402 114

86 0 1101 2102

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

189 4 1125 211

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

00

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10