

**Universidade de Évora – Escola de Ciências e Tecnologia**

Mestrado em Engenharia Geológica

Dissertação

**ESTRUTURA GEOELÉTRICA DA PENÍNSULA  
DE SETÚBAL**

Carlos Amigo de Celso

Orientador(es) | António Correia

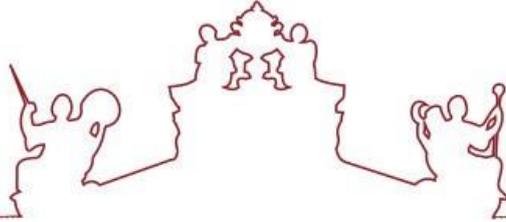
Évora 2022

---

---

---

---



**Universidade de Évora – Escola de Ciências e Tecnologia**

Mestrado em Engenharia Geológica

Dissertação

**ESTRUTURA GEOELÉTRICA DA PENÍNSULA  
DE SETÚBAL**

Carlos Amigo de Celso

Orientador(es) | António Correia

Évora 2022

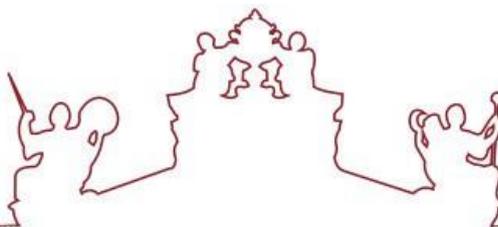
---

---

---

---

---



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente		António Bastos de Pinho (Universidade de Évora)
Vogais		António Correia (Universidade de Évora) (Orientador)
		Júlio Ferreira Carneiro (Universidade de Évora) (Arguente)



## AGRADECIMENTOS

Primeiro manifesto a minha gratidão a Deus, pela sua justiça, proteção, amor e Compaixão.

É meu humilde e sincero agradecimento ao meu orientador Professor Doutor António Correia, pela orientação científica da presente dissertação, em particular pela paciência e dedicação demonstrada para comigo. Que sempre me orientou da melhor forma, com o seu imenso saber. O meu muito obrigado;

À Professora Doutora Isabel Duarte, por todo o apoio prestado ao longo da frequência do Mestrado em Engenharia Geológica, pela motivação e pela ajuda prestado na realização dos trabalhos de investigação;

Ao Professor Doutor Luís Lopes, pela ajuda prestado nos aspetos relacionados a recolha bibliográfica;

Ao Professor Doutor António Bastos Pinho, ao Professor Doutor António Chambel, ao Professor Doutor Ruben Varela, à Professora Doutora Paula Faria, pelos ensinamentos, pela motivação e, pela vossa simpatia e simplicidade;

Aos meus colegas do curso de Mestrado em Engenharia Geológica, em particular ao Zunchany Matola, pelos vários momentos partilhados ao longo do curso;

Aos meus amigos, Ernesto Paulo Relógio, Selene Sanches, Dário Canzenze Elizabeth Salucamba, Joaquim Kawina, pelo apoio prestado durante este percurso;

À minha família pelo apoio e toda ajuda prestado nos momentos mais difíceis, em especial ao meu filho Dérick de Celso, ao meu irmão David Matunda e aos meus pais Celso Matunda e Heriqueta Casimiro.

Um agradecimento final ao Senhor Eng. Sérgio de Meneses Lopes que permitiu o acesso as todas as sondagens elétricas verticais usadas neste estudo e descritas nesta dissertação.

Obrigado a todos por fazerem parte deste percurso.

## TÍTULO

### ESTRUTURA GEOELÉTRICA DA PENÍNSULA DE SETÚBAL

#### RESUMO

Esta dissertação tem como objetivo caracterizar os principais horizontes geoeletricos e suas respectivas espessuras e profundidade na região da Península de Setúbal. Os ensaios geoeletricos foram realizados pela Divisão de Hidrogeologia da antiga Direção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos (atual INAG) na Península de Setúbal nas décadas de 1970 e 1980.

Nesta dissertação descreve-se o método da resistividade. São apresentados os dispositivos geoeletricos mais utilizados bem assim como as suas vantagens e desvantagens; relaciona-se ainda a geologia com a resistividade elétrica e apresentam-se valores de resistividade elétrica de alguns minerais e rochas. Quanto à componente prática descreve-se a metodologia utilizada na aquisição dos dados de campo para a classificação dos horizontes geoeletricos. Neste trabalho selecionaram-se 30 sondagens elétricas verticais (SEV), que foram interpretados utilizando o *software EarthImager*. São ainda apresentados cinco perfis de resistividade elétrica com o objetivo de conhecer e descrever a continuidade das formações geológicas locais.

**Palavras-Chave:** Horizontes geoeletricos; método da resistividade elétrica; sondagens elétricas verticais; inversão geoeletrica.

## **TITLE**

### **GEOELECTRIC STRUCTURE OF THE SETÚBAL PENINSULA**

#### **ABSTRACT**

This dissertation aims to characterize the main geoelectric horizons and their respective thicknesses and depths in the Setubal Peninsula region. The geoelectric soundings were carried out by the Hydrogeology Division of the former General Directorate of Hydraulic Resources of Portugal (now INAG) on the Setubal Peninsula in the 1970s and 1980s.

This dissertation describes the resistivity method. The most used geoelectric devices are presented, as well as their advantages and disadvantages; geology is also related to electrical resistivity, and electrical resistivity values of some minerals and rocks are presented. As for the practical component, the methodology used in the acquisition of field data for the classification of geoelectric horizons is described. In this work 30 vertical electrical soundings (SEV) were selected, which were interpreted using the EarthImager software. Five electrical resistivity profiles are also presented in order to know and describe the continuity of local geological formations.

Key words: Geoelectric horizons; electrical resistivity method; vertical electrical sounding; geoelectrical inversion.

## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	I
<b>RESUMO</b> .....	II
<b>ABSTRACT</b> .....	III
<b>ÍNDICE GERAL</b> .....	IV
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	VII
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	IX
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1. Introdução</b> .....	2
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	4
<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	4
<b>2. Fundamentação teórica</b> .....	5
2.1. Introdução .....	5
2.2. Método da resistividade elétrica .....	8
2.2.1. Fundamentos teóricos .....	8
2.2.2. Corrente elétrica no solo.....	9
2.2.3. Resistividade elétrica real e resistividade elétrica aparente .....	13
2.2.4. Dispositivos geoeletricos.....	14
2.2.5. Configuração de Schlumberger .....	15
2.3. Profundidade de investigação .....	17
2.4. Procedimento de aquisição de dados .....	18
2.5. Sondagem elétrica vertical (SEV).....	18
2.6. Vantagens e limitações do método da resistividade elétrica.....	20
2.6.1. Vantagens .....	20
2.6.2. Limitações .....	21
2.7. Geologia e a resistividade elétrica.....	21

2.8.	Resistividade elétrica de alguns minerais e rochas .....	21
2.9.	Efeitos dos minerais argilosos.....	23
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>		<b>24</b>
<b>GEOLOGIA DA REGIÃO DE SETÚBAL.....</b>		<b>24</b>
<b>3.</b>	<b>Geologia da região da Península de Setúbal .....</b>	<b>25</b>
3.1.	Geomorfologia .....	28
3.2.	Enquadramento hidrogeológico .....	29
3.2.1.	Bacia do Tejo-Sado .....	30
<b>CAPÍTULO 4.....</b>		<b>31</b>
<b>MATERIAIS E METODOLOGIA PARA.....</b>		<b>31</b>
<b>AQUISIÇÃO DE DADOS.....</b>		<b>31</b>
4.1.	Metodologia utilizada .....	32
4.2.	Equipamentos.....	32
4.3.	Aquisição de dados .....	33
4.4.	Interpretação dos dados das sondagens elétricas verticais .....	34
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>		<b>36</b>
<b>RESULTADOS .....</b>		<b>36</b>
<b>5.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>37</b>
5.1.	Perfil de resistividade elétrica A – A´ .....	37
5.2.	Perfil de resistividade elétrica B – B´ .....	38
5.3.	Perfil de resistividade elétrica C – C´ .....	38
5.4.	Perfil de resistividade elétrica D – D´ .....	39
5.5.	Perfil de resistividade elétrica E – E´ .....	39
<b>CAPÍTULO 6.....</b>		<b>40</b>
<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>		<b>40</b>
<b>6.</b>	<b>Discussão dos resultados.....</b>	<b>41</b>

<b>6.1. Introdução</b> .....	41
6.2. Discussão dos resultados obtidos .....	41
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	43
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E</b> .....	43
<b>SUGESTÕES PARA O FUTURO</b> .....	43
<b>7. Conclusões</b> .....	44
<b>7.1. Recomendações de trabalho para o futuro</b> .....	45
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	47
<b>ANEXO I:</b> .....	52
<b>ANEXO II</b> .....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principais métodos geofísicos (Fonte: Braga, 2006). .....	6
Figura 2. Principais áreas de atuação da geofísica aplicada (Fonte: Braga, 2006). .....	6
Figura 3. Parâmetros usados no cálculo da resistividade elétrica de um material (Kearey et al, 1984). .....	9
Figura 4. Linhas de corrente (a azul) e as equipotenciais (a cor de laranja). É de notar que as superfícies equipotenciais são superfícies semi-esféricas (Fonte: Braga, 2006). .....	11
Figura 5. Distribuição do potencial elétrico (linhas a vermelho) entre os elétrodos A e B e das linhas de corrente entre esses dois elétrodos (a azul) num meio homogêneo, isotrópico e semi-infinito. Determinar a diferença de potencial entre os pontos P e Q é equivalente a determinar a diferença de potencial entre os elétrodos M e N à superfície. .	12
Figura 6. Exemplo hipotético de sucessão de formações geológicas com heterogeneidade e anisotropia distribuídas lateralmente e em profundidade (Fonte: Bortolin, 2014). .....	14
Figura 7. Configuração de campo Schlumberger (Fonte: Braga, 2006). .....	16
Figura 8. Fração da corrente que passa abaixo da profundidade z para uma dada separação entre os elétrodos corrente A e B (Fonte: Kearey et al, 1984). .....	17
Figura 9. Esquema de campo de uma sondagem elétrica vertical com arranjo Schlumberger, com a distribuição das linhas de corrente (a cor de laranja) e das linhas de igual potencial elétrico (a verde) Borges, (2002). .....	19
Figura 10. Curva típica para um modelo de 4 camadas de SEV com arranjo Schlumberger. (Fonte: Ward (1990) e Porsani (1994)). .....	20
Figura 11. Extrato das cartas geológicas das folhas 34-D e 38-B (Manuppella et al, 1999). Legenda na Figura 12. ....	25
Figura 12. Legenda das Folhas 38-B e 34-D, respetivamente. Aplicável na Figura 11. ....	26
Figura 13. Morfologia de Setúbal (Vanney e Mougenot, 1986 in Manuppella, 1999). ....	28
Figura 14. Unidades hidrogeológicas portuguesas. (Fonte: SNIRH.apambiente.pt). ....	29
Figura 15. Localização dos pontos de sondagens elétricas verticais. ....	33
Figura 16. Conversão dos dados da resistividade elétrica aparente em resistividade elétrica real a partir do software EarthImager 1D. Lado esquerdo da figura: pontos a preto - leituras de campo; pontos a vermelho - curva gerado pelo software; linha azul - modelo geoeletrico com a representação de camadas. Lado direito da figura: modelo geoeletrico a uma dimensão gerado pelo software EarthImager (com as resistividades elétricas reais e profundidade de cada uma das camadas do modelo). ....	34
Figura 17. Representação dos 5 perfis construídos ao longo das sondagens elétricas verticais (SEVs). ....	35

Figura 18. Perfil de resistividade elétrica A – A'. <b>A</b> - dados de campo (pseudo secção de resistividade elétrica aparente); <b>B</b> – Pseudo secção de resistividade elétrica aparente que se obtem fazendo correr o modelo geoeétrico representado em <b>C</b> ; <b>C</b> – Modelo obtido por inversão matemática dos dados de campo representados em <b>A</b> . Nas Figuras 19 a 22 apenas serão apresentadas as secções <b>C</b> , i.e., os modelos geoeétricos. ....	37
Figura 19. Perfil de resistividade B – B'.....	38
Figura 20. Perfil de resistividade elétrica C – C'.....	38
Figura 21. Perfil de resistividade elétrica D – D'.....	39
Figura 22. Perfil de resistividade elétrica E – E'.....	39

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Dispositivos geométricos mais comuns e respectivas expressões para cálculo da resistividade elétrica aparente (Fonte: Sharma, 1997). .....	15
Tabela 2. Diferenças práticas entre as configurações Schlumberger e Wenner.....	16
Tabela 3. Resistividade elétrica e condutividade elétrica de alguns minerais e rochas (Telford et al. (1990) e Aktarakçi (2008)).....	22
Tabela 4. Materiais e equipamentos utilizados no campo.....	33



**CAPÍTULO 1**  
**INTRODUÇÃO**

## 1. Introdução

As primeiras investigações relacionadas com os métodos geoeletricos remontam ao século XVIII. O método da resistividade elétrica (em inglês electrical resistivity - ER), em especial, foi um dos primeiros a serem estudados. Os primeiros registos conhecidos são atribuídos a Gray e Wheeler que, em 1720, publicaram alguns trabalhos sobre a resistividade elétrica das rochas, e a Watson que, em 1746, descobriu que o solo é um condutor elétrico. (Orellana, 1972).

Os métodos geoeletricos com injeção de corrente elétrica no solo passaram a receber especial atenção a partir do final do século XIX. Um marco importante na história dos métodos geoeletricos é o ano de 1915, quando o Conrad Schlumberger e Frank Wenner idealizaram, independentemente, dispositivos tetraeletródicos de prospecção, os quais, posteriormente, receberam as respectivas denominações de “arranjo ou dispositivo de Schlumberger” e “arranjo ou dispositivo de Wenner”.

No presente trabalho é empregue o método geoeletrico conhecido por método da resistividade elétrica, o qual se baseia no fato de que as rochas, em função da sua composição mineralógica, porosidade e permeabilidade, tipo de fluido que preenche os poros e temperatura, apresentarem resistividades elétricas diferentes. A resistividade elétrica é a resistência que o material oferece à passagem da corrente elétrica quando esta tem que atravessar uma secção de  $1 \text{ m}^2$  e um comprimento de 1 m. Em meios porosos, como no caso geral das rochas, o fluxo de corrente elétrica faz-se essencialmente através do fluido intersticial e na camada limite entre a matriz sólida e o meio líquido; em rochas não porosas, a corrente elétrica é obrigada a travessar o material constituinte da rocha antes de atingir possíveis fraturas, sendo, portanto, sujeita a maior resistência elétrica (Sacasa, 2004).

De acordo com o Braga (2001), os minerais de argila, conduzem a corrente elétrica tanto eletronicamente (no fluido), como através da camada na interface mineral/eletrólito. Assim, a presença de minerais de argila altera significativamente o valor da resistividade elétrica causando, normalmente, uma diminuição do seu valor.

No caso do presente trabalho, o método da resistividade elétrica é utilizado para caracterizar os principais horizontes geoeletricos e suas respectivas espessuras e

profundidades na região da Península de Setúbal. Inicialmente, as sondagens elétricas verticais (SEV) que são utilizadas nesta dissertação e que se encontram no Anexo I foram realizadas no âmbito de prospeção hidrogeológica nas décadas de 70 e 80 do século passado. Não é do conhecimento do autor da dissertação que essas sondagens elétricas verticais tenham sido alvo de qualquer publicação sistemática; por outro lado, o *software* de interpretação que foi utilizado para interpretar as referidas sondagens elétricas verticais é mais recente do que os métodos gráficos que foram utilizados nas décadas de 70 e 80 do século passado para as interpretar.

De maneira geral o método da resistividade elétrica consiste na determinação da resistência elétrica que os materiais rochosos oferecem à passagem da corrente elétrica. Como veremos no Capítulo 2, essa resistência elétrica é convertida em resistividade elétrica das formações rochosas o que as caracteriza de um ponto de vista elétrico (Ward,1990).

Na verdade, quando uma corrente elétrica (medida com um amperímetro) é introduzida no solo através de dois elétrodos metálicos produz uma diferença de potencial (medida com um voltímetro) que é medida por um segundo par de elétrodos. Os valores medidos da diferença de potencial e da corrente elétrica (que são função do arranjo geométrico dos elétrodos) permitem calcular a resistência elétrica das formações atravessadas pela corrente elétrica a qual, por um processo de inversão matemática, permite, por sua vez, determinar a resistividade elétrica dessas formações (Orellana, 1972).

Das várias dezenas de sondagens elétricas verticais realizadas na Península de Setúbal nas décadas de 70 e 80 do século passado, foram escolhidas 30 (ver Figura 15 onde se pode ver a localização dos pontos de sondagens elétricas verticais ao longo de cinco perfis). A interpretação das 30 sondagens elétricas verticais foi realizada através do *software* EarthImager 1D.

**CAPÍTULO 2**  
**FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

## **2. Fundamentação teórica**

### **2.1. Introdução**

A origem da Geofísica Aplicada data de muitos anos atrás, sendo baseada em um conjunto de técnicas físicas e matemáticas, cujo início e desenvolvimento foi relacionado com a exploração do subsolo, procurando localizar e estudar estruturas favoráveis à acumulação de substâncias úteis para a sociedade humana, tais como águas subterrâneas, petróleo, minerais e outros (Braga, 2006).

De acordo com Orellana (1972) *in* Braga (2006), a geofísica pode ser definida como a ciência que se ocupa do estudo das estruturas do interior da terra e da localização nesta de corpos delimitados pelos contrastes de alguma de suas propriedades físicas com as do meio circundante, usando, para isso, medidas realizadas à superfície, no interior de furos de sondagens e em levantamentos geofísicos aéreos.

A geofísica é uma ciência que apresenta uma íntima relação com a física e a geologia, procurando resolver, a partir da física, problemas colocados em termos geológicos. Geofísicos e geólogos estudam a parte sólida da terra e, embora utilizem instrumentos de trabalho diferentes, os seus objetivos convergem em uma mesma direção.

Os principais fenômenos que ocorrem no interior da Terra (Figura 1) e que são objeto da geofísica, estão ligados ao campo magnético, ao fluxo geotérmico, à propagação de ondas sísmicas, ao campo gravítico, aos campos elétricos e eletromagnéticos terrestres, às correntes telúricas e à radioatividade. Em função do parâmetro físico estudado, a geofísica pode ser dividida em quatro grandes grupos que podem ser denominados de métodos maiores; são eles o método gravimétrico, o método magnético, os métodos geoeletricos e os métodos sísmicos (Braga, 2006).

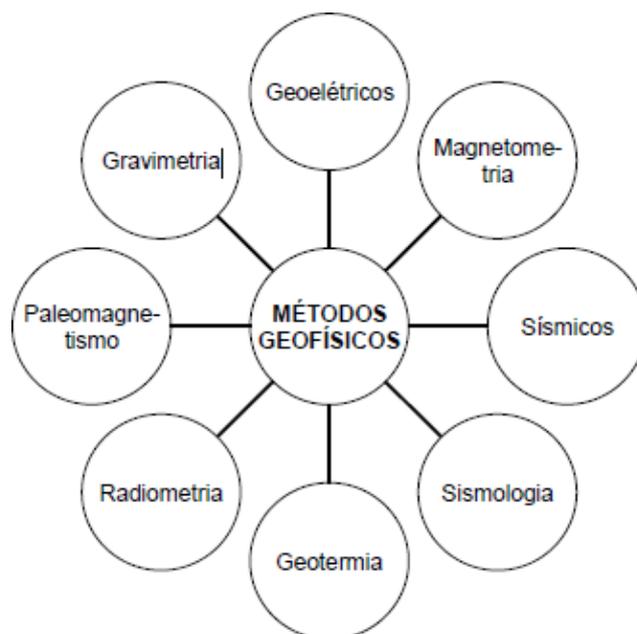


Figura 1. Principais métodos geofísicos (Fonte: Braga, 2006).

Os fundamentos teóricos destes métodos geofísicos baseiam-se na determinação de propriedades físicas que caracterizam os diferentes tipos de materiais que se encontram no ambiente geológico e nos contrastes que estas propriedades podem apresentar. Ressalta-se que o fato de que uma eventual intervenção do homem neste ambiente pode gerar mudanças nos vários campos físicos e nas suas propriedades; a Figura 2 apresenta um resumo das principais atividades da geofísica (Braga, 2006).

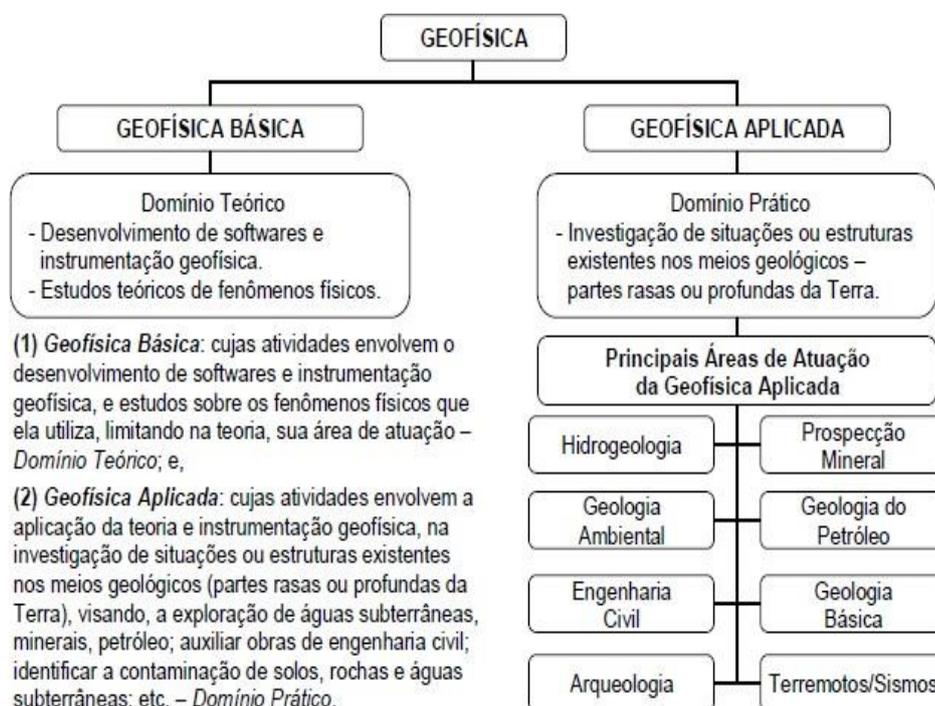


Figura 2. Principais áreas de atuação da geofísica aplicada (Fonte: Braga, 2006).

Existe uma vasta bibliografia sobre a geofísica aplicada e com trabalhos desenvolvidos para vários fins. Muitos métodos geofísicos são utilizados em estudos aplicados na prospeção mineral, na prospeção de águas subterrâneas, na geologia ambiental, na geologia de engenharia, e outros. É de realçar que a geofísica pode ser aplicada no controlo das alterações provocadas pelo homem no meio ambiente geológico, o que se baseia nos estudos das deformações dos campos físicos e propriedade da litosfera, sob o impacto das atividades do homem. Os métodos geofísicos na sua utilização não afetam o ambiente geológico e podem ser executados várias vezes em uma mesma área.

Nos levantamentos geofísicos de campo, não se deve descartar a possibilidade de utilização de métodos de sondagens mecânicas. Pois estes métodos fornecem dados seguros e exatos sobre o subsolo, os quais servem para auxiliar na interpretação geofísica, ajustando o modelo inicial.

Considerando os custos elevados na realização das sondagens mecânicas é preferível e mais adequado cobrir uma determinada área com levantamentos geofísicos e programar as sondagens mecânicas em função desses resultados. De realçar que os resultados da geofísica não devem ser encarados como definitivos, mas sim como dados complementares para o geólogo responsável decidir qual é o melhor caminho a ser seguido para solucionar os problemas expostos.

Entre os principais métodos geofísicos, os métodos elétricos e eletromagnéticos, com suas diversidades de modalidades, são muito utilizados no mundo inteiro, atuando nas mais variadas áreas de conhecimento. Esta atuação abrange desde levantamentos académicos, até levantamentos procurando atender solicitações mais práticas e de interesse imediato da população, tais como: na geologia de engenharia, na prospeção mineral, na hidrogeologia, na geologia ambiental, e outros. Neste grupo destacam-se os métodos da resistividade elétrica, da polarização induzida e do radar de penetração no solo, como sendo os mais utilizados e importantes (Braga, 2006).

## 2.2. Método da resistividade elétrica

### 2.2.1. Fundamentos teóricos

O método de eletrorresistividade ou resistividade elétrica teve a sua origem na década de 1920, com os estudos feitos pelos irmãos Schlumberger, posteriormente desenvolvidos na segunda metade do século XX. O método da resistividade elétrica faz parte do grupo dos métodos geoeletricos; é um método geofísico que tem como princípio a determinação da resistividade elétrica dos materiais que, em conjunto com a constante dielétrica e a permeabilidade magnética, expressam as propriedades eletromagnéticas das rochas e solos.

No método da resistividade elétrica, utiliza-se a corrente elétrica que é injetada no solo através de um par de elétrodos de corrente (A e B) e mede-se a diferença de potencial através de elétrodos de potencial (M e N); a resistividade elétrica do terreno é calculada a partir da distância entre os vários elétrodos, a corrente aplicada e a diferença de potencial medida; a resistividade elétrica resistividade em como unidade ohm.m ou  $\Omega.m$ .

A corrente elétrica consiste num fluxo de partículas de carga elétrica negativa; podemos definir a intensidade de corrente elétrica (I) como a quantidade de carga que flui por unidade de tempo e tem como unidade no Sistema Internacional de Unidades (SI) o ampere (A).

O potencial elétrico, que tem como unidade de medida volt (V) em homenagem ao físico italiano Alessandro Volta (1745-1827), é definido como a capacidade de um corpo realizar trabalho, neste caso, atrair ou repelir cargas elétricas.

A resistividade elétrica de um dado material é definida como a resistência que um dado material oferece à passagem da corrente elétrica quando tem que atravessar por uma área (A) e um comprimento (L). Por exemplo, num cilindro condutor (Figura 3) de resistência elétrica R, comprimento L e área A, a resistividade elétrica é dada por (Kearey e Brooks, 1984):

$$\rho = R \cdot \frac{\delta A}{\delta L} = \frac{\delta V}{I} \cdot \frac{\delta A}{\delta L}$$

onde:

$$R = \frac{\delta V}{I}$$

é a lei de Ohm.

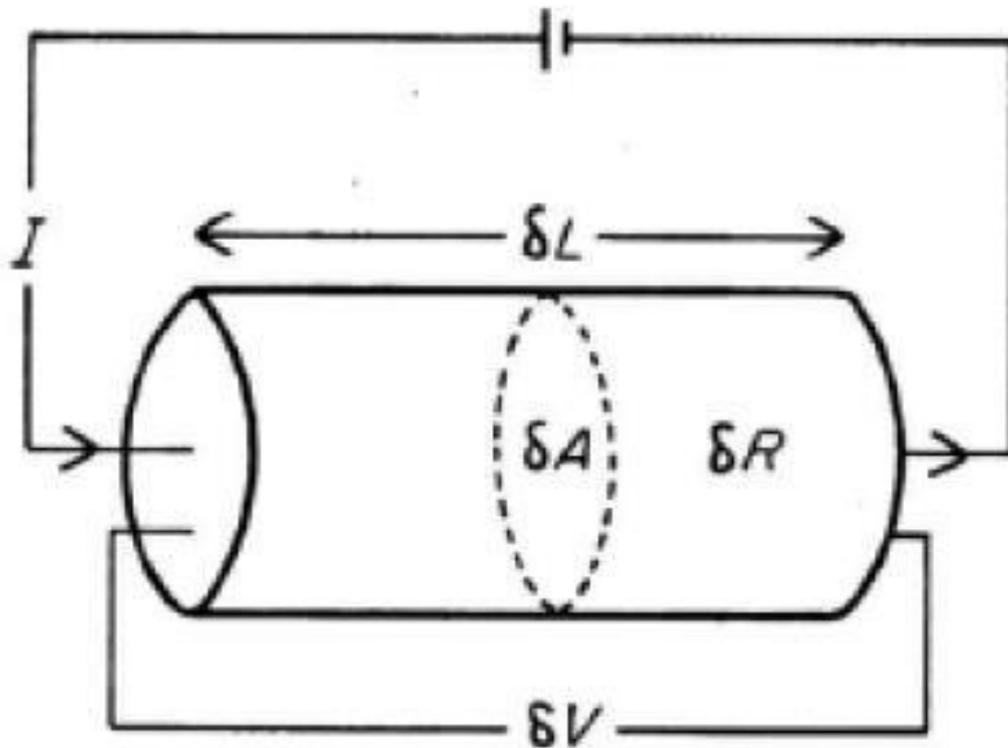


Figura 3. Parâmetros usados no cálculo da resistividade elétrica de um material (Kearey e Brooks, 1984).

### 2.2.2. Corrente elétrica no solo

Os mecanismos de propagação da corrente elétrica em materiais rochosos podem ser de dois tipos: condutividade eletrônica e condutividade iônica. A classificação destes tipos de condutividade pode ser sintetizada da seguinte maneira: a condutividade eletrônica (que ocorre em metais e semicondutores) deve-se ao transporte de elétrons na matriz da rocha, sendo a sua resistividade elétrica governada pelo modo de agregação dos minerais e pelo grau de impurezas.

A condutividade iônica (que ocorre em dielétricos e eletrólitos líquidos) deve-se ao deslocamento dos íons existentes na água contida nos poros do solo, sedimentos não consolidados ou fissuras das rochas. Este tipo de mecanismo é o que mais interessa em estudos aplicados à Hidrogeologia.

A resistividade elétrica das rochas que possuem condutividade iônica é função decrescente da quantidade de água, e depende da natureza dos sais dissolvidos e da porosidade total. Praticamente, todas as rochas possuem poros em proporção maior ou menor, os quais podem estar ocupados, total ou parcialmente, por eletrólitos, sendo que, em conjunto, elas se comportam como condutores iônicos, de resistividades elétricas muito variáveis.

Na Figura 4, a corrente elétrica flui a partir do eletrodo radialmente ao longo de linhas a que é hábito chamar de linhas de corrente (como estamos interessados no que se passa com um eletrodo apenas, o segundo eletrodo está posicionado à direita, no infinito). Um voltímetro é acoplado ao circuito, mede a diferença de potencial elétrico resultante da resistividade do meio. Várias linhas de igual potencial elétrico (equipotenciais) são mostrados na Figura 4 abaixo (linhas vermelhas); as linhas equipotenciais mais distantes do eletrodo, indicam menores potenciais elétricos entre os eletrodos considerados.

O método da resistividade elétrica (assim chamado porque o que se mede e interpreta são os valores da resistividade elétrica obtidos por diferentes metodologias de campo) consiste, de maneira muito geral, em introduzir uma corrente elétrica contínua (ou equivalente) no solo por intermédio de dois eletrodos metálicos (ditos de corrente) e medir o seu efeito através da leitura da diferença de potencial (d.d.p.) entre dois outros eletrodos metálicos (ditos de potencial). A leitura da corrente injetada no solo e da d.d.p. permitem calcular a resistividade elétrica aparente do solo, a qual pode ser convertida em resistividades elétricas reais por intermédio de um processo de inversão matemática. A resistividade elétrica para meios homogêneos e isotrópicos é relativamente fácil de calcular. Na Figura 4 pode ver-se a distribuição do potencial elétrico e das linhas de corrente num um meio homogêneo, isotrópico e semi-infinito quando, à sua superfície, se introduz uma corrente elétrica de intensidade  $I$ . A teoria geral do eletromagnetismo mostra que num um meio homogêneo, isotrópico e semi-infinito o potencial elétrico num ponto qualquer à distância  $r$  do ponto de injeção da corrente  $I$  é dada por:

$$V(r) = \frac{\rho \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

onde  $V(r)$  é o potencial elétrico à distância  $r$  do ponto de injeção de corrente,  $\rho$  é a resistividade elétrica do meio homogêneo, isotrópico e semi-infinito e  $I$  é a intensidade da corrente introduzida no referido meio (ver Figura 4). Por simetria, se o eletrodo estivesse a receber uma corrente  $-I$  do solo (formalmente  $-I$ ) o potencial elétrico seria dado por:

$$V(r) = \frac{-\rho \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

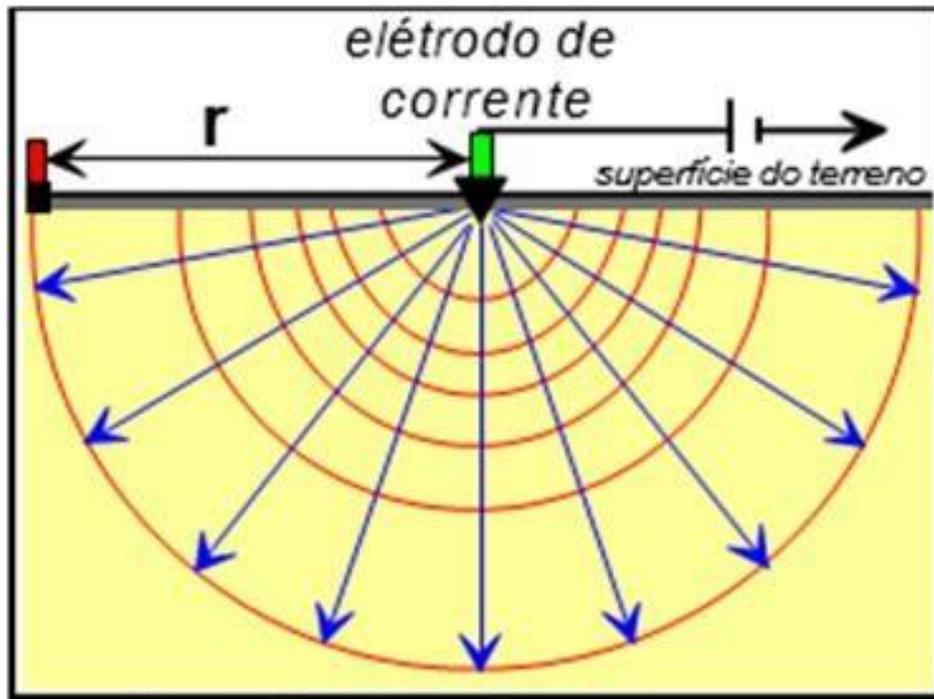


Figura 4. Linhas de corrente (a azul) e as equipotenciais (a cor vermelha). É de notar que as superfícies equipotenciais são superfícies semi-esféricas (Fonte: Braga, 2006).

É claro que um eletrodo a injetar corrente é uma abstração útil apenas para discutir e para perceber a geometria das linhas de corrente e de potencial elétrico num meio homogêneo, isotrópico e semi-infinito. Contudo, na realidade, para passar uma corrente elétrica nesse meio é necessário ter dois eletrodos: um que injete corrente e outro que a receba para assim se fechar o circuito.

Por outro lado, o potencial num ponto é também uma abstração; o que se pode medir são diferenças de potenciais e, por isso, são necessários dois eletrodos para determinar a diferença de potencial entre dois pontos numa dada região ou num dado meio; é o que se pode observar na Figura 5. Assim, medir a diferença de potencial entre os pontos P e C no solo é equivalente a ler a diferença de potencial entre os eletrodos M e N à superfície do solo o que é, mais prático.

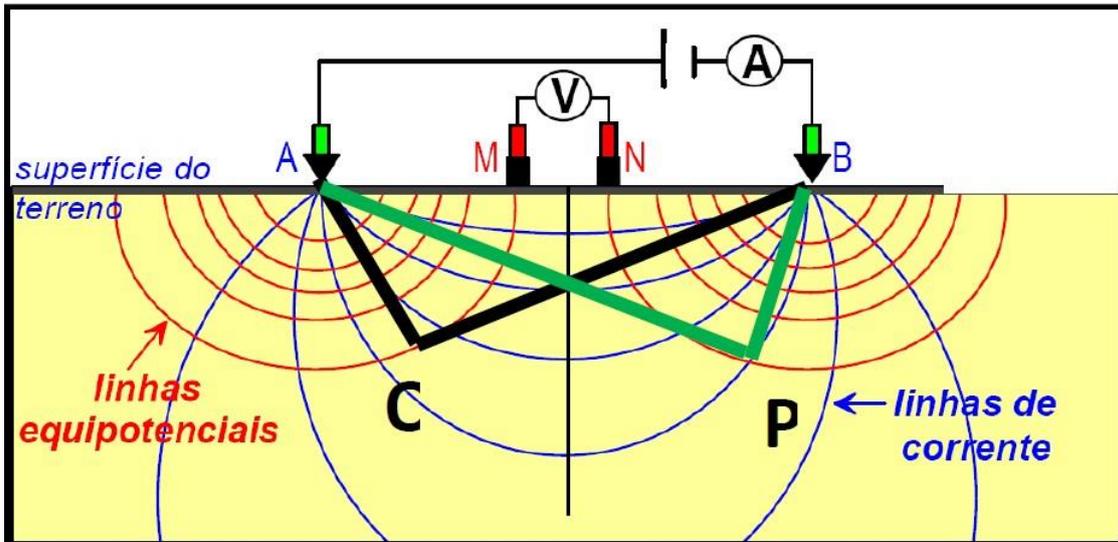


Figura 5. Distribuição do potencial elétrico (linhas a vermelho) entre os eléttodos A e B e das linhas de corrente entre esses dois eléttodos (a azul) num um meio homogéneo, isotrópico e semi-infinito. Determinar a diferença de potencial entre os pontos P e C é equivalente a determinar a diferença de potencial entre os eléttodos M e N à superfície.

É de notar que as superfícies equipotenciais já não são superfícies semi-esféricas.

A partir da equação anterior é possível mostrar que a resistividade elétrica ( $\rho$ ) de um meio pode ser determinada a partir da seguinte equação

$$\rho = 2\pi \cdot \frac{\Delta V}{i} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)}$$

Fazendo

$$K = 2\pi \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)}$$

Vem finalmente,

$$\rho = K \frac{\Delta V}{i}$$

onde  $K$  é o chamado fator geométrico e  $\Delta V/i$  é a resistência elétrica. O fator geométrico vai depender apenas da distribuição dos quatro eléttodos considerados na Figura 5 (A, B, M e N).

### 2.2.3. Resistividade elétrica real e resistividade elétrica aparente

A resistividade elétrica de uma rocha pode ser calculada em laboratório ou no campo; no caso desta dissertação estamos interessados em determinar a resistividade elétrica das rochas no campo. De maneira geral é hábito considerar que os materiais são bons condutores quando apresentam resistividades elétricas entre  $10^{-8}$  e  $1 \Omega.m$ , condutores intermédios quando apresentam resistividades elétricas entre  $1$  e  $10^7 \Omega.m$  e maus condutores quando apresentam resistividades elétricas superiores a  $10^7 \Omega.m$ .

De acordo com o eletromagnetismo, para fins de cálculo, num meio geológico homogéneo e isotrópico e semi-infinito a resistividade elétrica não sofre variação conforme a localização do ponto considerado. Porém, na prática, essa situação dificilmente se verifica.

Em um caso real a resistividade real ( $\rho$ ) variará se a disposição geométrica dos quatro elétrodos (Figura 6) for alterada ou se todo o conjunto for mudado de local sem alterar a geometria. Isso acontece porque um meio geológico real é constituído por uma sucessão de camadas com diferentes valores de resistividade elétrica. A heterogeneidade e anisotropia dos materiais geológicos das camadas estão distribuídas tanto lateralmente como em profundidade, causando distorções no campo elétrico que podem ser interpretadas como anomalias de resistividade elétrica.

Segundo Orellana (1972), a resistividade elétrica que se obtém aplicando os dados obtidos sobre um meio heterogéneo e/ou anisotrópico é chamada de resistividade elétrica aparente. Na verdade, qualquer que seja a constituição do solo (camadas horizontais ou verticais, heterogéneas ou homogéneas, isotrópicas ou anisotrópicas), é sempre possível espetar 4 elétrodos no solo, medir as distâncias entre eles, injetar uma corrente elétrica entre dois deles e medir a diferença de potencial entre os outros dois e calcular, assim, uma resistividade elétrica. A questão é a de saber qual o significado dessa resistividade elétrica calculada. É, com certeza, uma resistividade elétrica de um meio desconhecido (mas que se quer conhecer); só por um grande acaso essa resistividade elétrica corresponderá a um meio homogéneo, isotrópico e semi-infinito. Assim, à resistividade elétrica obtida (calculada) num solo cuja constituição e geometria das camadas é desconhecida dá-se o nome de resistividade elétrica aparente e, normalmente, representa-se por ( $\rho_a$ ).

A resistividade elétrica aparente é um conceito formal e artificial e não deve ser interpretada como a resistividade elétrica média do meio (Parasnis, 1962).

Robinson e Çoruh (1988), sugerem que a resistividade elétrica aparente pode ser entendida como uma média ponderada (com fatores de ponderação desconhecidos) das resistividades elétricas reais dos diferentes materiais atravessados pela corrente elétrica injetada no solo.

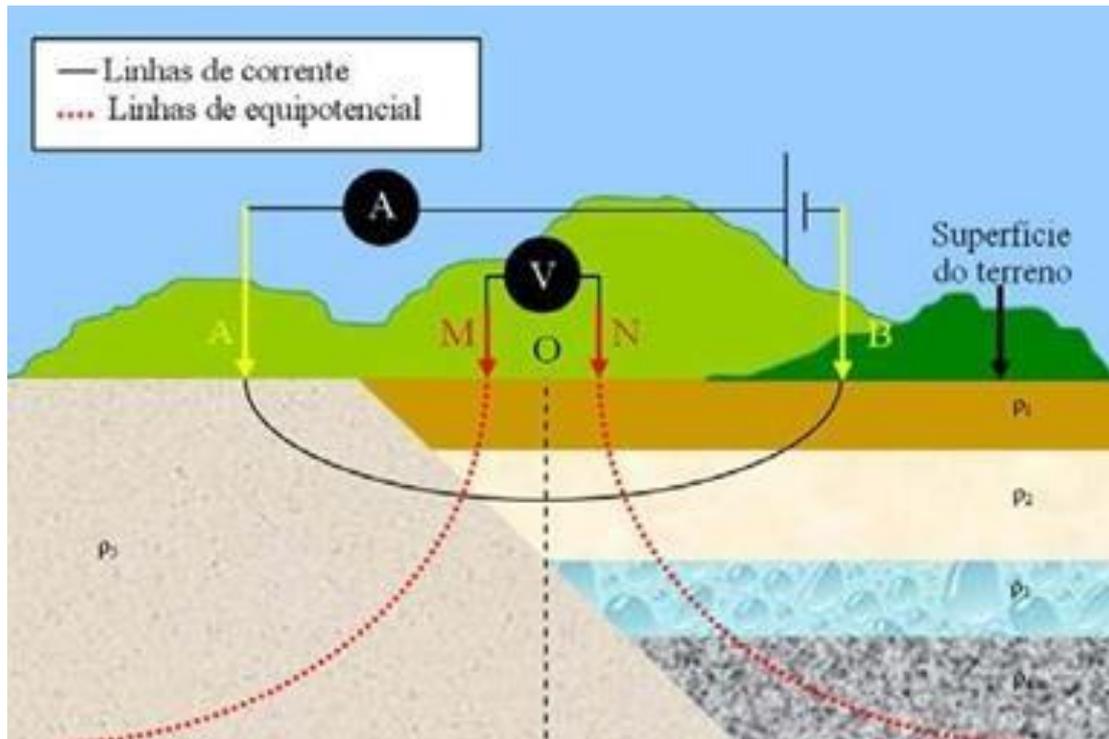
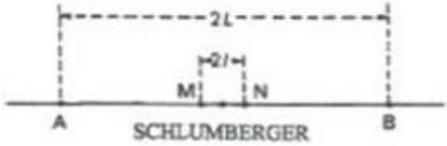
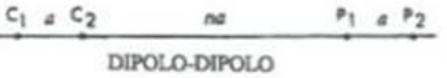


Figura 6. Exemplo hipotético de sucessão de formações geológicas com heterogeneidade e anisotropia distribuídas lateralmente e em profundidade (Fonte: Bortolin, 2014).

#### 2.2.4. Dispositivos geoeletricos

O valor da resistividade elétrica aparente depende da geometria dos eletrodos; na Tabela 1 apresentam-se as geometrias das configurações mais comuns dos eletrodos de corrente e potencial, bem assim como as equações que permitem calcular a resistividade elétrica aparente para cada uma dessas configurações. Contudo, neste trabalho, todos os dados geoeletricos (resistividades elétricas aparentes) para cada uma das sondagens elétricas verticais foram obtidos através de uma configuração de Schlumberger.

Tabela 1. Dispositivos geoeletricos mais comuns e respectivas expressões para cálculo da resistividade elétrica aparente (Fonte: Sharma, 1997).

 <p>(a) WENNER</p>	$\rho_a = 2\pi a \left( \frac{\Delta V}{I} \right)$
 <p>GRADIENTE</p>	$\rho_a = \frac{\pi (L^2 - x^2)^2 \Delta V}{I (L^2 + x^2) 2l}$
 <p>SCHLUMBERGER</p>	$\rho_a = \frac{\pi L^2 \Delta V}{I 2l}$
 <p>POLO-DIPOLO</p>	$\rho_a = 2\pi a n(n+1) \frac{\Delta V}{I}$
 <p>DIPOLO-DIPOLO</p>	$\rho_a = \pi a n(n+1)(n+2) \frac{\Delta V}{I}$

### 2.2.5. Configuração de Schlumberger

Este dispositivo (Figura 7) caracteriza-se por a distância **a**, que separa os elétrodos de potencial M e N, se mantenha fixa durante o desenvolvimento do ensaio e tende para zero em relação à distância crescente L (AO e OB). E o modelo geoeletrico obtido no final, através da interpretação dos dados, é atribuído ao ponto central do dispositivo, i.e., ao ponto O da Figura 7.

Em comparação com os dispositivos Wenner e Dipolo-Dipolo a configuração Schlumberger apresenta boa sensibilidade para variações horizontais como verticais da resistividade elétrica. Para o mesmo espaçamento entre os elétrodos de corrente A e B a profundidade de investigação do dispositivo Schlumberger é superior em cerca de 10% quando comparado com o dispositivo Wenner (Loke, 1999).

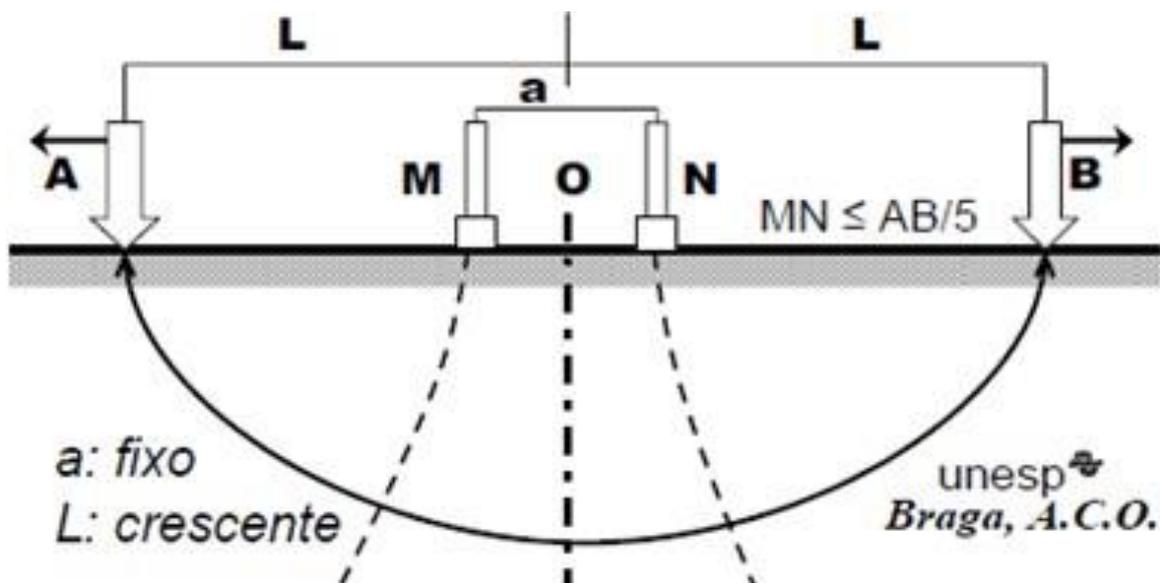


Figura 7. Configuração de campo Schlumberger (Fonte: Braga, 2006).

A título informativo, e porque são as configurações mais utilizadas em sondagens elétricas verticais, na Tabela 2 apresentam-se as diferenças entre as configurações Wenner e Schlumberger.

Tabela 2. Diferenças práticas entre as configurações Schlumberger e Wenner.

<b>Schlumberger</b>	<b>Wenner</b>
Mais prático no campo; é necessário apenas o deslocamento dos eletrodos de corrente (A, B); os eletrodos M e N são deslocados apenas quando a d.d.p. atinge valores próximos do limite de sensibilidade do equipamento;	Menos prático no campo; é necessário o deslocamento dos quatro eletrodos (A, M, N, B) para cada nova leitura;
As leituras são menos sujeitas as interferências produzidas por ruídos elétricos indesejáveis;	As leituras estão mais sujeitas as interferências produzidas pelos ruídos indesejáveis;
Menos suscetíveis a erros interpretativos em terrenos não homogêneos.	Mais suscetíveis a erros interpretativos devido a heterogeneidades laterais;

### 2.3. Profundidade de investigação

Para se ter uma investigação mais profunda num solo homogéneo, a separação dos elétrodos de corrente é fundamental, pois, quanto mais separados maior é a profundidade de investigação. A Figura 8 mostra um gráfico da percentagem de corrente ( $I_z/I$ ) que atravessa um plano vertical, colocado à mesma distância dos elétrodos de corrente A e B e perpendicular à direção AB (ver Figura 7) em função da separação relativa entre os elétrodos de corrente A e B e profundidade  $z$ . A conclusão imediata do gráfico da Figura 8 é que quanto maior for a distância entre os elétrodos de corrente maior é a profundidade de investigação; esta conclusão é válida para qualquer das configurações representadas na Tabela 1.

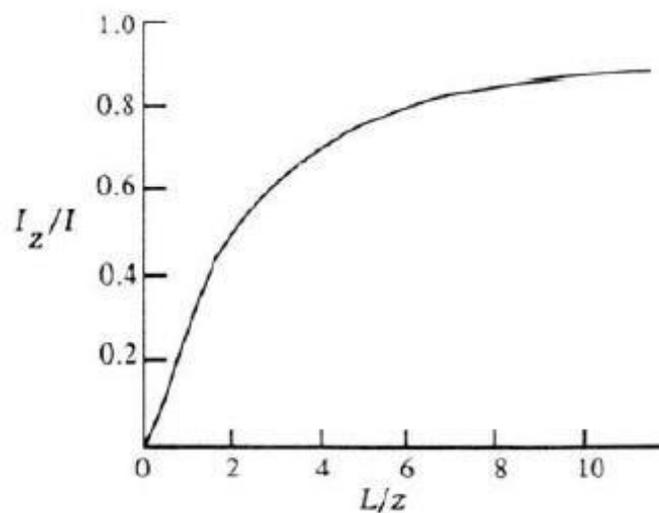


Figura 8. Fração da corrente que passa abaixo da profundidade  $z$  para uma dada separação entre os elétrodos corrente A e B (Fonte: Kearey e Brooks, 1984).

De acordo com Reynolds (1997), a escolha da distância de separação entre os elétrodos de corrente depende da profundidade de investigação desejada; de maneira geral esta separação entre os elétrodos de corrente deve ser o dobro ou, preferencialmente, mais do que três vezes a profundidade de investigação pretendida.

Além do afastamento entre os elétrodos, existem outros fatores que influenciam a qualidade das medições em profundidade, tais como: a própria configuração escolhida, as características do terreno e a sensibilidade e potência do resistivímetro. Para fazer prospeção geoeletrica a grandes profundidades é necessário possuir um equipamento com uma potência elétrica que permita injetar intensidades de corrente elevadas (da ordem de vários amperes) Bernard, (2003).

## **2.4. Procedimento de aquisição de dados**

Os estudos de resistividade elétrica em formações geológicas têm como finalidade determinar a distribuição espacial (e, por vezes, temporal) de resistividade elétrica dessas mesmas formações, que pode variar quer na horizontal quer na vertical, quer mesmo no tempo.

As sondagens elétricas verticais permitem determinar as variações da resistividade elétrica na vertical de uma dada seção geológica. Os dados das sondagens elétricas são obtidos com espaçamentos dos elétrodos de injeção de corrente, normalmente, segundo uma progressão geométrica. No entanto, esta técnica tem algumas limitações já que na Natureza é frequente encontrar variações laterais da litologia e, portanto, da resistividade elétrica (Loke, 1999). Na verdade, quando se utilizam sondagens elétricas verticais para determinar a variação da resistividade elétrica em profundidade está-se implicitamente a admitir que a resistividade elétrica real das formações varia apenas na vertical, o que é equivalente a admitir que as camadas geológicas são horizontais ou quase horizontais. Este é o caso da Península de Setúbal onde é de esperar que as várias camadas de sedimentos sejam aproximadamente horizontais.

## **2.5. Sondagem elétrica vertical (SEV)**

A técnica de sondagem elétrica vertical consiste na investigação das variações da resistividade elétrica aparente, obtidas a partir de medidas efetuadas à superfície do terreno a profundidades cada vez maiores, através da separação crescente entre os elétrodos de corrente A e B, como se vê na Figura 9.

Os quatro elétrodos de metal (representado por A, B, M e N) são cravados no solo em linha reta, simétricos em relação ao centro da configuração. A corrente  $I$  é injetada no solo utilizando os elétrodos de corrente A e B, e mede-se a diferença de potencial  $\Delta V$  estabelecida entre os elétrodos de potencial M e N. Os elétrodos A e B são afastados em sentidos contrários mantendo a mesma distância em relação ao centro da configuração.

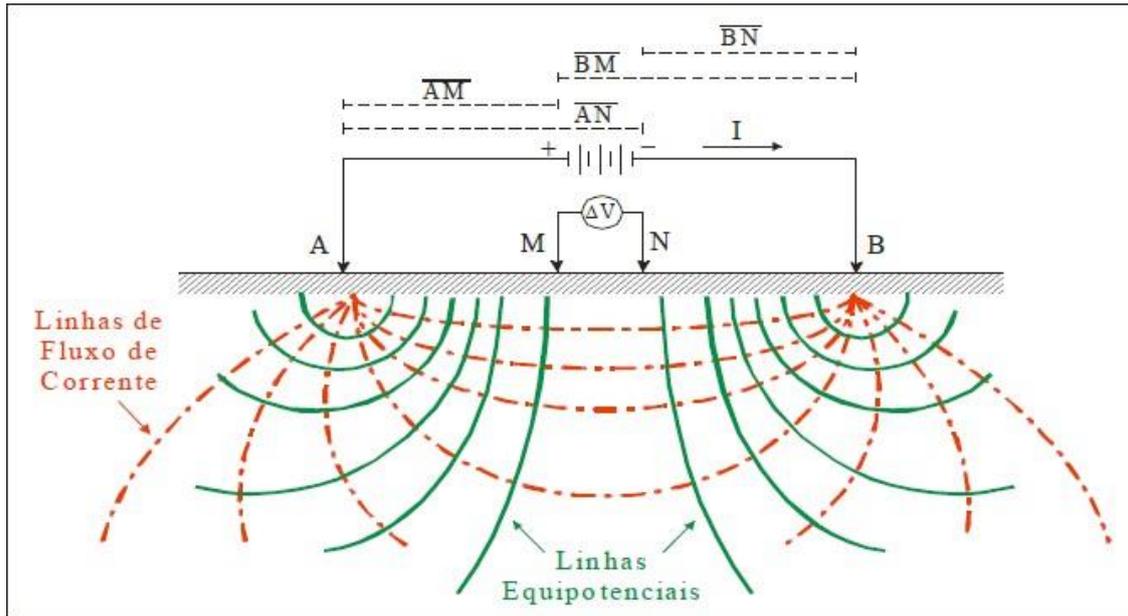


Figura 9. Esquema de campo de uma sondagem elétrica vertical com arranjo Schlumberger, com a distribuição das linhas de corrente (a cor de laranja) e das linhas de igual potencial elétrico (a verde) Borges, (2002).

No caso da configuração de Schlumberger (que é a configuração que foi utilizada para obter os dados de resistividade elétrica aparente utilizados neste trabalho e apresentada em anexo), os dados de uma sondagem elétrica vertical são representados por meio de uma curva que representa a resistividade elétrica aparente em função de metade da distância entre os eletrodos de injeção de corrente A e B. Ambos os eixos do gráfico são logarítmicos. A curva assim obtida é denominada sondagem elétrica vertical (SEV). A Figura 10 mostra uma curva SEV; os pontos repetidos para mesmos valores de  $AB/2$  correspondem ao que é hábito chamar de embraiagem (“clutch” na figura 10) e resultam da necessidade de aumentar a distância entre M e N (para um mesmo valor da distância entre A e B) com o objetivo de medir valores da diferença de potencial mais estáveis (Ward, 1990).

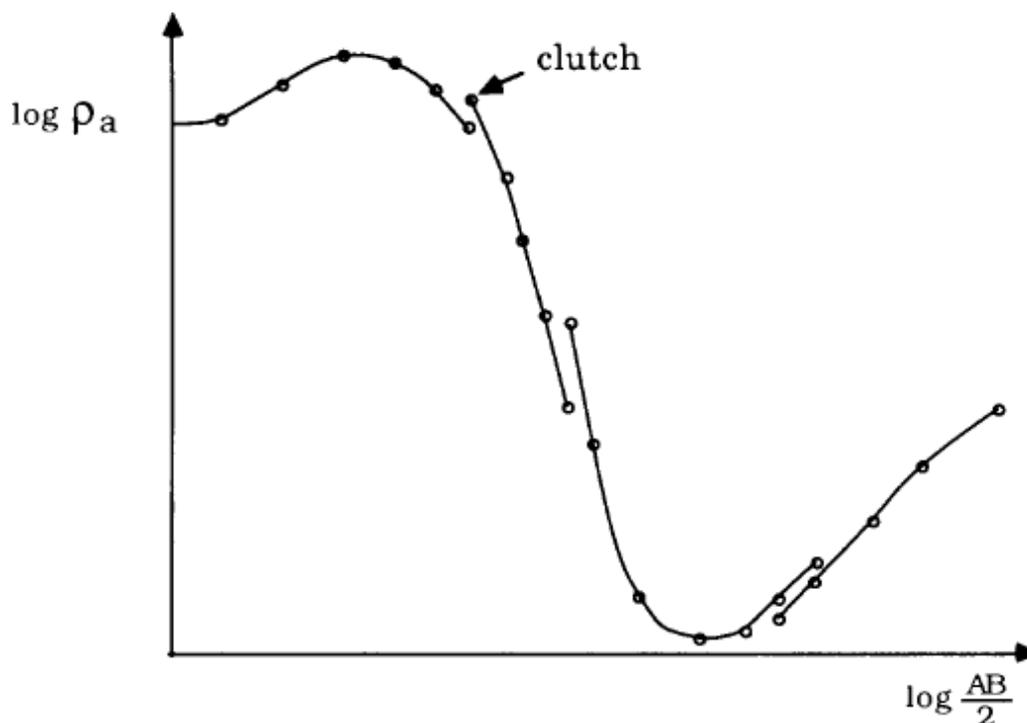


Figura 10. Curva típica para um modelo de 4 camadas de SEV com arranjo Schlumberger. Fonte: Ward (1990).

A utilização de sondagens elétricas verticais auxilia na delimitação de zonas saturadas, no estudo da geologia do terreno e na determinação da espessura e da geometria das diferentes camadas geológicas.

## 2.6. Vantagens e limitações do método da resistividade elétrica

Martinho (2002) in Oliveira (2009), apresenta como principais vantagens e limitações do método da resistividade elétrica, as seguintes:

### 2.6.1. Vantagens

- As sondagens elétricas verticais permitem estimar a profundidade, a espessura e a resistividade elétrica real das diferentes camadas geológicas de uma dada zona;
- Os dados das sondagens elétricas verticais e dos perfis de resistividade elétrica podem ser avaliados no campo quanto à sua qualidade e valor informativo;
- Os valores de resistividade elétrica podem ser usados para identificar a provável composição geológica de uma camada;
- Os perfis de resistividade elétrica podem ser usados para detetar e delimitar plumas de contaminação em associação com as características hidrogeológicas, bem assim como profundidade de lixeiras e locais de depósitos de resíduos enterrados.
-

### **2.6.2. Limitações**

- O método da resistividade elétrica é suscetível ao ruído provocado por cercas metálicas, tubos e heterogeneidades geológicas;
- A interpretação quantitativa exige o uso de curvas padrão ou programas de computador (programas de inversão numérica) e experiência na sua utilização;
- O método é relativamente lento e exige dois ou mais operadores no campo.

### **2.7. Geologia e a resistividade elétrica**

Uma rocha é um material heterogéneo constituído, geralmente, por uma fase sólida (matriz) e uma fase líquida ou gasosa que preenche os poros. O comportamento elétrico das rochas depende de fatores como a mineralogia, a porosidade, a textura e distribuição dos poros, a resistividade elétrica do líquido intersticial, a temperatura; depende ainda dos processos químicos e físicos que ocorrem nas superfícies de contato entre a matriz e as fases fluidas.

Como já se disse anteriormente (secção 2.2.2), os processos físicos que permitem a condução elétrica numa rocha são: a condução eletrónica (que corresponde ao mecanismo dos condutores metálicos que tem eletrões livres), a condução eletrolítica (que corresponde ao movimento de iões em meio líquido) e a condução dielétrica (que se verifica nos maus condutores ou isolantes com poucos eletrões disponíveis) (Telford et al. 1990). De acordo com Reynolds (1997), a resistividade elétrica dos minerais e das rochas é muito variável; contudo, de maneira geral pode dizer-se que as rochas ígneas e metamórficas apresentam uma resistividade elétrica mais elevada do que as rochas sedimentares.

### **2.8. Resistividade elétrica de alguns minerais e rochas**

A utilização do método da resistividade elétrica na prospeção geofísica fornece-nos informação sobre a distribuição da resistividade elétrica no solo. Portanto, para converter esta informação num modelo geológico é fundamental ter conhecimento dos valores aproximados ou médios da resistividade elétrica dos diferentes materiais no subsolo; como esses valores dependem de muitos fatores (como se referiu na secção anterior) não é possível atribuir um único valor da resistividade elétrica para cada tipo de rocha. De uma forma geral existe uma gama de valores da resistividade elétrica para cada tipo de rocha ou material terrestre.

A seguir são apresentadas a resistividade elétrica e a condutividade elétrica (inverso da resistividade elétrica) de algumas rochas e água em diferentes condições químicas.

Tabela 3. Resistividade elétrica e condutividade elétrica de alguns minerais e rochas (Telford et al. (1990) e Aktarakçi (2008)).

<b>Rocha</b>	<b>Resistividade elétrica (ohm.m)</b>	<b>Condutividade elétrica (mS/m)</b>
Granito (húmido e seco)	$4,5 \times 10^3 - 1,3 \times 10^6$	0,0008 – 0.22
Gabro	$10^3 - 10^6$	0,001 - 1
Xisto	$20 - 10^4$	0,1 - 50
Mármore	$100 - 2,5 \times 10^8$	0,000004 - 10
Quartzito	$10 - 2 \times 10^8$	0,000005 - 100
Argilito	10 - 800	1,25 - 100
Calcário	$50 - 10^7$	0,0000001 - 20
Argila (húmida e seca)	1 - 100	10 - 1000
Areia (húmida e seca)	1 - 104	0,1 - 1000
Água doce (20° C)	80	12,5
Água subterrânea	0,5 - 300	3,3 - 2000
Água salgada	0,1 - 1	1000 - 10000
Água do mar	0,2	5000
Ferro	$9 \times 10^{-8}$	$1.1 \times 10^4$
Cobre	$2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^4$
Solo	01-10	100 - 1000

Comparadas com outros tipos de rochas, as rochas sedimentares caracterizam-se por baixas resistividades elétricas. Contudo, algumas rochas apresentam resistividades elétricas elevadas; entre elas temos o gesso, que possui baixa porosidade, e as areias de duna quando secas. As argilas desempenham um papel muito particular quanto ao comportamento elétrico das rochas sedimentares; na presença de água as argilas apresentam baixos valores de resistividade elétrica, o que se deve ao efeito de combinação da molécula polar da água e da polarização superficial das partículas de argila.

Devido à sua porosidade muito baixa, as rochas ígneas apresentam valores elevados de resistividades elétrica.

As rochas metamórficas apresentam valores de resistividade elétrica que se situa entre os valores apresentados pelas rochas sedimentares e as ígneas. Como a porosidade e o conteúdo em água depende do grau de metamorfismo, a resistividade elétrica efetiva aumenta com aquele. Existem exceções associadas, por exemplo, a presença de grafite,

que conduz ao aumento da condução elétrica e, como tal, diminuição da resistividade elétrica efetiva. As rochas metamórficas apresentam, frequentemente, valores elevados de anisotropia da resistividade elétrica (Reynolds, 1997).

### **2.9. Efeitos dos minerais argilosos**

Em relação ao percurso eletrolítico, as partículas de argila apresentam baixa resistência à condução de eletricidade. A origem da relativamente baixa resistividade elétrica dos minerais de argila resulta da distribuição de catiões à volta desses minerais; na verdade, a dimensão dos catiões impede a formação de uma única camada em torno do mineral. Assim, forma-se uma camada dupla de iões que, por sua vez, é constituída por uma camada fixa à volta do mineral e uma camada difusa, cuja densidade diminui com a distância à camada fixa. Quando sujeita à ação de um campo elétrico a camada difusa tem maior liberdade para se movimentar e o efeito resultante é o da diminuição da resistividade elétrica nas argilas (Luís, 2005) in Oliveira (2009).

**CAPÍTULO 3**  
**GEOLOGIA DA REGIÃO DE SETÚBAL**

### 3. Geologia da região da Península de Setúbal

A presente zona de estudo é abrangida por duas diferentes folhas, 34-D e 38-B, Lisboa e Setúbal da carta geológica de Portugal, respetivamente. Os pontos marcados na Figura 11, encontram-se numa zona formada por terrenos da era Cenozoica, Cretácico e Jurássico.

E em termos das abundâncias das formações sedimentares patentes na Figura 11, seguem a seguinte sequência, areia feldspáticas de fonte da telha e de coina do pliocénico, seguida de areia de dunas e dunas, conglomerados de marco furado e belverde e aluviões do quaternário (Manuppella et al 1999). A litologia das formações sedimentares nesta zona interferiu no desenvolvimento das profundidades de investigação, onde a profundidade máxima de investigação alcançada para a maioria das sondagens geofísicas foi de 1100 m, exceto o perfil A-A' cuja uma das sondagens alcançou 550 m de profundidade, devido as características geomecánicas e químicas das formações sedimentares que constituem a zona de estudo.

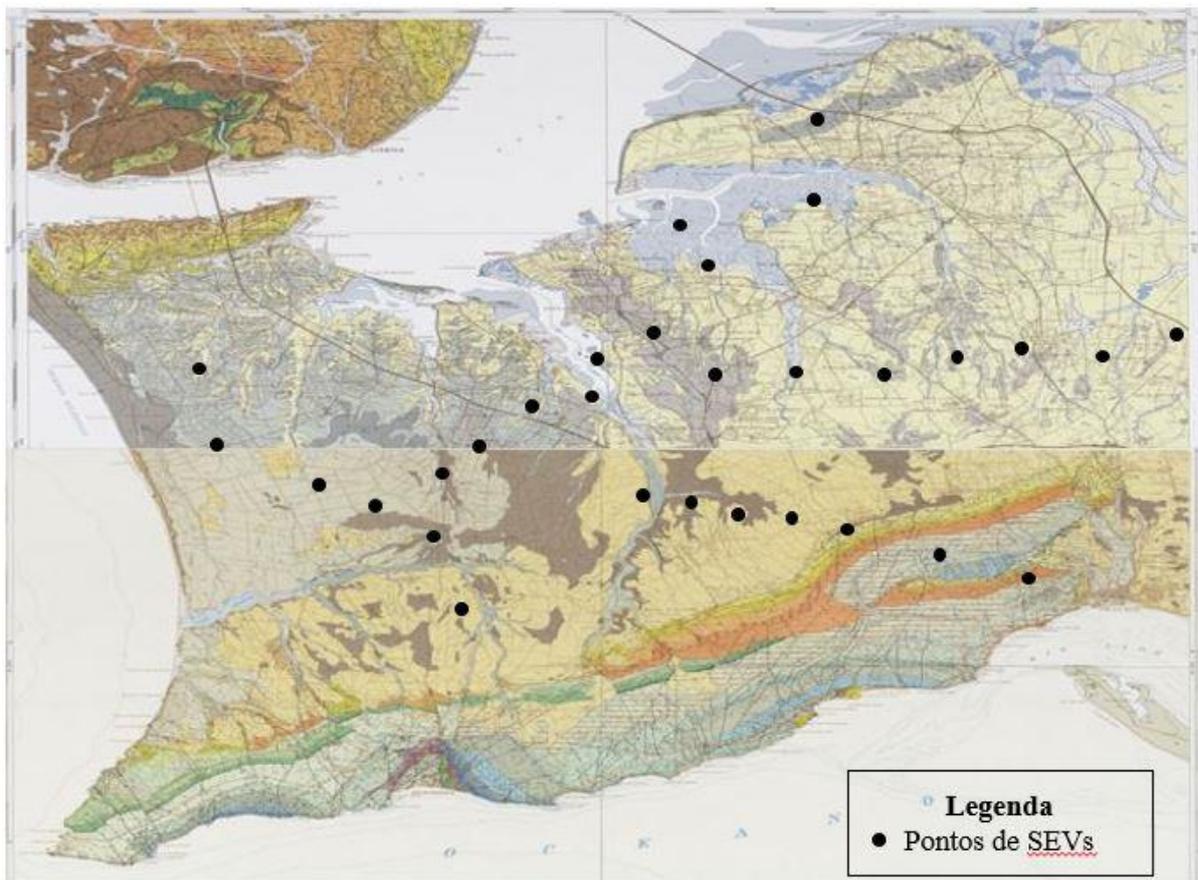


Figura 11. Extrato das cartas geológicas das folhas 34-D e 38-B (Manuppella et al, 1999).  
Legenda na Figura 12.

**LEGENDA**

Quaternário	Holocénico	Aluviões	$Q_0$		
		Dunas	$Q_1$		
		Areias de duna	$Q_{1a}$		
		Terraços ( $Q_2$ ) e depósitos de vertente ( $Q_{2a}$ )	$Q_2$		
Plistocénico	Conglomerado de Marco Furado ( $P_{mf}$ ) Conglomerado de Rohverde ( $P_{rh}$ )		$P_{mf}$		
	Areias feldspáticas de Fonte da Telha e de Coia		$P_{fc}$		
Miocénico	Tortoniano	Depósitos de Ribeira da Lage ( $M_1$ ) Areias e margas de Ota do Anjo ( $M_{1a}$ ) Conglomerados de Guarda-Mor ( $M_{1c}$ )	$M_1$		
		Depósitos glauconíticos de Penedo ( $M_{1p}$ ) Arenitos e calcarenitos de Pinhal e Castelo de Palmela ( $M_{1s}$ )	$M_{1p}$		
	Serravalliano-Langhiano	Areias de Ota da Torre		$M_2$	
		Calcarenitos e margas de Faz da Fonte e de Penedo Sul ( $M_3$ ) Argilitos e margas de Azeitão ( $M_4$ )		$M_3$	
	Burdigalano	Calcários margosos de Palhavã		$M_{3p}$	
	Aquitaniano			$M_{3a}$	
Paleogénico	Calcários de Sra. das Necessidades		$C_{sn}$		
	Conglomerados, arenitos e margas de Picheleiros		$C_p$		
Cretácico	Albiano	Calcários e margas de Gale		$C_{ga}$	
	Aptiano a Barremiano superior	Grés e argilas de Rodisio ( $C_{rj}$ ) Calcários e margas de Cresmina ( $C_{cj}$ ) Argilas, grés e dolomitos de Regatão ( $C_{rj}$ ) Grés e argilas de Almarginem ( $C_{aj}$ )		$C_{rj}$	
		Barremiano inferior a Hauteriviano inferior	Calcários argilosos e grés de Boca do Chapim Grés e argilas de Papo Seco Calcários e calcários argilosos de Areia do Mastro Dolomitos e grés calcários de Rochadouro Calcários argilo-gressosos e dolomitos de Ladeiras Grés e argilas de Fonte Grade ( $C_{fg}$ )		$C_{aj}$
	Hauteriviano		Margas e calcários recifais de Maceira		$C_{ma}$
	Valanginiano e Berrisiano médio e superior	Grés, argilas e calcários gressosos de Gale e Vale de Lobos		$C_{ga}$	
		Berrisiano inferior	Argilas, grés e grés calcários de Porto da Calada ( $C_{pc}$ ) Grés e argilas de Serreira ( $C_s$ )		$C_{pc}$
	Jurássico	Turoniano e Kimeriódiano	Calcários, grés e margas de Espichel ( $J_{ep}$ ) Conglomerados de Comenda ( $J_{co}$ ) Argilas, grés, conglomerados e calcários de Vale de Rasca ( $J_{vr}$ )		$J_{ep}$
			Calcários de Azóia ( $J_{az}$ ), Calcários e grés intercalado de Rasco ( $J_{ra}$ ), Dolomitos de Forte da Baralha ( $J_{fb}$ )		$J_{ra}$
		Oxfordiano médio e superior	Margas, argilas, calhaus negros e conglomerados de Arrabida		$J_{an}$
		Caloviano p.p. a Batoniano superior	Calcários de Pedreiras		$J_{pe}$
Batoniano médio e inferior a Toarciano inferior			Dolomitos de Cebo de Ares ( $J_{ca}$ ) Margas, calcários oolíticos e dolomitos com Gervilla ( $J_{g}$ ) Dolomitos do Convento e S. Luís ( $J_{sl}$ ) Dolomitos de Califórnia		$J_{ca}$
		Toarciano inferior a Sinemuriano	Margas dolomíticas e calcários dolomíticos com Braquiópodes de Meia Velha Dolomitos de Sesimbra		$J_{mv}$
Sinemuriano inferior a Hetangiano	Complexo Vulcano-Sedimentar Dolomitos em plaquetas ( $J_{pl}$ ) Complexo pelítico carbonatado evaporítico (Margas de Dagorda) ( $J_{da}$ )		$J_{pl}$		
			$J_{da}$		
<b>FILÕES E MASSAS</b>					
		Doleritos (D), teschenitos (E), Lamprófitas (I)	$D, E, I$		
		Basaltos	$B$		

Figura 12. Legenda das Folhas 38-B e 34-D, respetivamente. Aplicável na Figura 11.

A maior parte dos pontos das sondagens elétricas verticais foi desenvolvida na zona de Setúbal abrangida pela folha 38-B, e outros poucos pontos de sondagens, na zona de Lisboa abrangida pela folha 34-D. O que permitiu trazer mais descrição geológica da zona de Setúbal. Porém as formações geológicas dos dois locais (Setúbal e Lisboa) são praticamente iguais, com algumas ligeiras diferenças, onde as formações geológicas de Setúbal estão inteiramente ligadas a génese da Bacia Lusitaniana, o que depois foi complementada com o processo de formação do Atlântico Norte, em um contexto tectono-sedimentar. Dando origem a primeira fase do pré-rifting que ocorreu no Triásico e o

resultado disto foi o surgimento dos depósitos fluviais como conglomerados, arenitos e pelitos vermelhos com espessuras alternadas.

De acordo com os Manuppella et al. (1999), a zona de Setúbal que foi abrangida neste extrato da carta geológica da folha 38-B, apresenta uma forte componente estratigráfica, o que acaba sendo uma vantagem para o presente trabalho, uma vez que a base dos estudos geofísicos está no aprofundamento dos estudos verticais dos maciços rochosos atravessados (resistividade dos maciços), o que permite de alguma forma compreender melhor a litologia que compõem cada perfil litológico estudado, em termos geofísicos. Destacando-se fundamentalmente as formações estratigráficas mais dominantes na região de Setúbal:

- Jurássico Inferior (Hetangiano-Sinemuriano inferior);
- Jurássico Inferior a Médio;
- Jurássico Superior (Oxfordiano medio-superior);
- Cretácico (Barriasiano inferior, Hauteriviano).

Martins L. T. (1991) in Manuppella et al. (1999) destaca a existência de um outro tipo de formação geológica e diferente na zona de Setúbal, que é menos abundante ainda assim, são encontradas em forma de filões e intrusões diversas. Refere-se as rochas ígneas que abrangem a folha 38-B de Setúbal. Sendo os dois principais grupos:

- Associado ao diapiro de Sesimbra, representado por vários afloramentos de orientação paralela aos flancos do diapiro;
- Intersectando a costa, entre Seixalinho e o Cabo Espichel e entre este e Fonte da Baralha, com orientação NW-SE, paralela as falhas que nesta zona afetam as formações sedimentares até ao Cenomaniano.

A presença de maciços ígneos nesta zona, apesar de estarem em forma de filões, podem ter contribuído significativamente para o alcance de profundidades extremas (acima dos 1000 m de profundidade). Trata-se de maciços consolidados e muito consolidados, pelas propriedades geomecânicas dos maciços ígneos permitem que as ondas possam viajar nestes maciços numa velocidade mais rápida e alcançar profundidades extremas. Dado a este fato, ao longo dos estudos realizados pelos Manuppella et al. (1999), sobre os perfis verticais litológicos desta zona de Setúbal, ocorrem algumas das vezes amostras de

rochas ígneas dentro de um universo de amostras das rochas sedimentares. A título do que foi mencionado ao longo deste capítulo, sobre a forte componente estratigráfica da zona de Setúbal, também de acordo com Pais et al, (2006) a zona abrangida de Lisboa abrangida pela folha 34-D é caracterizada por formações geológicas do cenozoico cretácico.

Sendo estas características muito abundantes nesta zona, também há uma presença incontornável dos maciços ígneos (magmático). Tal como é possível verificar nas zonas abrangidas pela folha 38-B da zona de Setúbal.

### 3.1. Geomorfologia

A zona de Setúbal é destacada através de planaltos e colinas que em geral, sucedem-se sobre de 35 km oeste para leste, numa largura média de 6 km. Então, a cadeia da Arrábida é também um afloramento de calcário localizada na parte meridional da Península de Setúbal, que se prolonga para oeste por baixo das águas do Atlântico.

Setúbal destaca-se através das curvas de níveis mais estreitas situadas nas serras de Formosinho e S. Luís com 501 e 392 m de altitude na Figura 13, respetivamente.

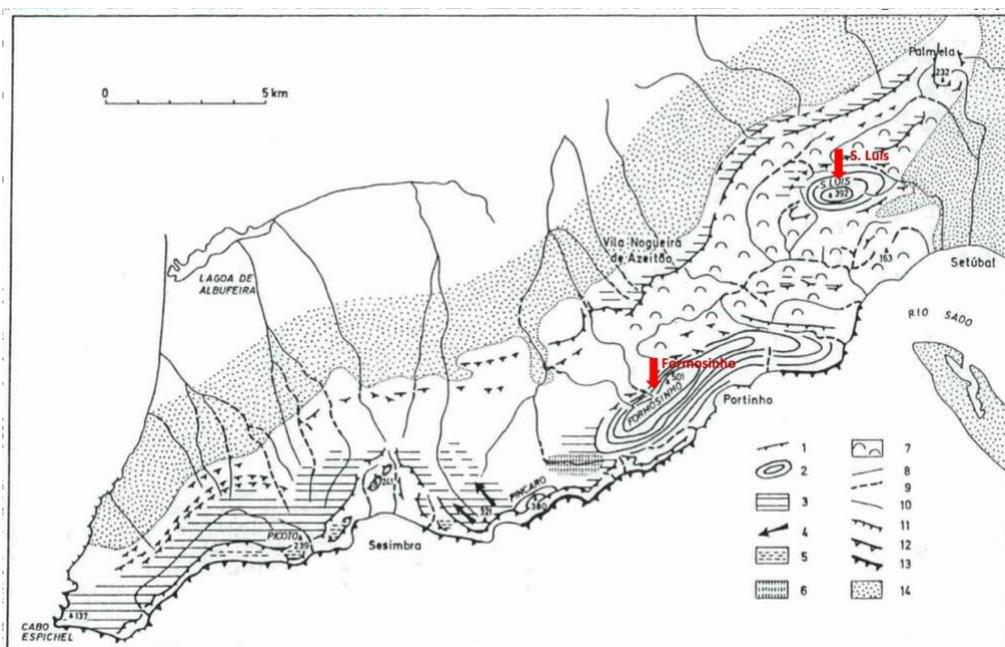


Figura 13. Morfologia de Setúbal (Vanney e Mougnot, 1986 in Manuppella, 1999). 1: Rebordo monoclinial em rocha dura; 2: monte anticlinal; 3: aplanção principal a cerca de 200 m; 4: arrebite na aplanção; 5: rechãs litorais embutidas; 6: depressão cársticas; 7: colinas arredondadas; 8: vale de forma larga; 9: vale encaixado; 10-13: litoral (10: costa arenosa, 11: arriba com menos de 100 m, 12: com 100-200 m, 13: com mais de 200 m); 14: área baixa periférica.

Para além dos pontos altos supramencionados, Cadeia de Arrábida detém também outros pontos altos correspondentes a afloramentos de calcários do jurássico com cotas iguais ou superiores a 250 m como por exemplo, de oeste para leste são Píncaro, Serra da Arrábida.

### 3.2. Enquadramento hidrogeológico

A área coberta pela folha de Setúbal situa-se no limite ocidental da Bacia do Rio Tejo que, pela sua dimensão, situação geográfica, produtividade aquífera e qualidade das águas, constitui a província hidrogeológica mais importante do País.

Os pontos das sondagens elétricas verticais (SEVs) do presente estudo ficam localizadas hidrogeologicamente na bacia do Tejo-Sado. Entretanto, trata-se de uma das unidades hidrogeológicas de Portugal, das quatro existentes (Figura 14).

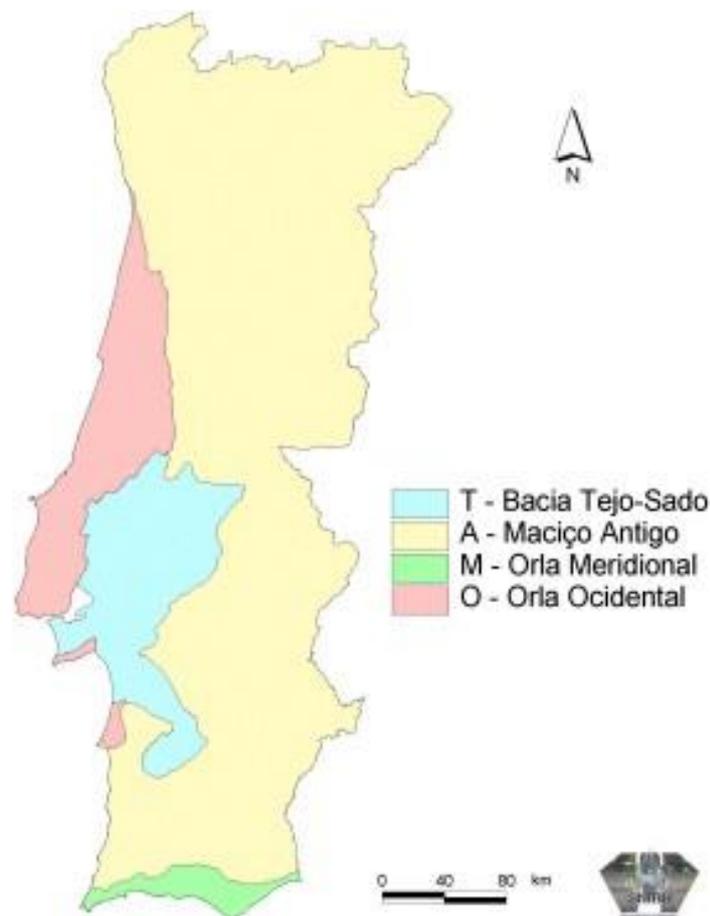


Figura 14. Unidades hidrogeológicas portuguesas. (Fonte: SNIRH.apambiente.pt).

### **3.2.1. Bacia do Tejo-Sado**

Segundo Almeida et al. (2000), a unidade hidrogeológica Bacia do Tejo-Sado corresponde a uma grande bacia sedimentar, preenchida por sedimentos terciários e quaternários. Constitui uma depressão alongada na direção NE-SW, que é marginada a W e N pelas formações mesozóicas da orla ocidental, a NE-E e SE pelo substrato hercínico, comunicando a sul com o Atlântico, na península de Setúbal.

O enchimento é constituído por depósitos paleogénicos, miocénicos e pliocénicos, recobertos em grande parte por depósitos quaternários, a espessura total dos depósitos cenozoicos da bacia pode atingir os 1400 m entre Benavente e Coruche. A bacia do Tejo-Sado divide-se em duas principais subunidades, Bacia Terciária do baixo Tejo que integra o maior sistema português, com recursos hídricos subterrâneos de larga extensão e expansão de abastecimento urbano e rural. E a Bacia de Alvalade. Para além desta classificação, esta unidade contempla também quatro sistemas aquíferos, nomeadamente, sistema aluvionar do Tejo, Margem Direita, Margem Esquerda e Bacia de Alvalade.

As produtividades dos sistemas aquíferos integrados nesta unidade hidrogeológica são, em geral, muito elevadas, havendo captações que ultrapassam os 100 l/s. As séries gresocalcárias são as mais produtivas, situando-se os valores mais frequentes de caudais entre 20 e 50 l/s e transmissividades variam entre 8 e 4760 m<sup>2</sup>/dia (Almeida et al, 2000).

**CAPÍTULO 4**  
**MATERIAIS E METODOLOGIA PARA**  
**AQUISIÇÃO DE DADOS**

## **4. Materiais e metodologia para aquisição de dados**

### **4.1. Metodologia utilizada**

Uma vez que é definido o problema e compilados os dados geológicos e demais informações acerca da área em estudo ou onde foram executados os trabalhos de campo, é escolhido o método bem como a sua modalidade de emprego como função dos objetivos e circunstâncias. O problema deve ser claramente conhecido, como é o caso do presente trabalho que é de determinar as estruturas geoeletricas da Península de Setúbal.

Entretanto, na realização de trabalhos com o método de resistividade elétrica, com finalidade de obter dados da distribuição da resistividade elétrica ao longo de uma linha, o equipamento mais utilizado é o resistivímetro, que normalmente é ligado a um grande número de elétrodos (24, 48). Em que as medições são efetuadas de uma forma automática, isto é, depois de definir a sequência de medições pelo técnico (a separação dos elétrodos, o dispositivo, o azimute e entre outros).

Depois de inserir a sequência de medições num resistivímetro, deve se colocar os elétrodos ao longo da linha escolhida respeitando o espaçamento previamente definida. De seguida são efetuadas as leituras e guardadas temporariamente, os dados serão transferidos para um computador e inicia-se o processamento e inversão que transformará os dados de resistividade aparente para resistividades elétricas reais.

### **4.2. Equipamentos**

O principal equipamento para a realização de um estudo de resistividade elétrica no subsolo é o resistivímetro. O aparelho que é responsável pela injeção da corrente elétrica no subsolo, através de elétrodos de corrente (A e B) e pela medição de diferença de potencial entre os elétrodos (M e N). Normalmente são utilizados resistivímetros multi-elétrodos que fazem a troca automática entre os elétrodos responsáveis pelas medições. Epermitem o armazenamento temporário das leituras para posteriormente serem transferidos para o software de processamento. Em síntese, os materiais necessários e responsáveis para um bom trabalho de campo são os apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Materiais e equipamentos utilizados no campo.

Resistivímetro	Marreta
Bateria externa	Fita métrica
Eléctrodos (estacas de aço)	Garrafão com água e sal
Caderno de campo	Computador portátil para transferência e interpretação de dados
Cabos eléctricos para ligação entre estacas e cabo principal	

### 4.3. Aquisição de dados

Como já foi referido no subcapítulo sobre os equipamentos, a aquisição de dados das sondagens eléctricas verticais (SEV) para a realização de um estudo com o método de resistividade eléctrica, obedece vários critérios que possibilitam na aquisição de dados de qualidade, que começam desde a definição do problema, a compilação dos dados geológicos até a escolha de equipamentos.

Para o presente trabalho, as aquisições de dados das sondagens eléctricas verticais foram feitas na região da Península de Setúbal (Figura 15), num período compreendido entre fevereiro de 1979 a julho do mesmo ano. Portanto, estes dados recolhidos durante este período muitos deles ainda não foram interpretados, a finalidade do presente trabalho é de fazer a interpretação dos dados destas sondagens eléctricas verticais com um software moderno denominado *EarthImager*.

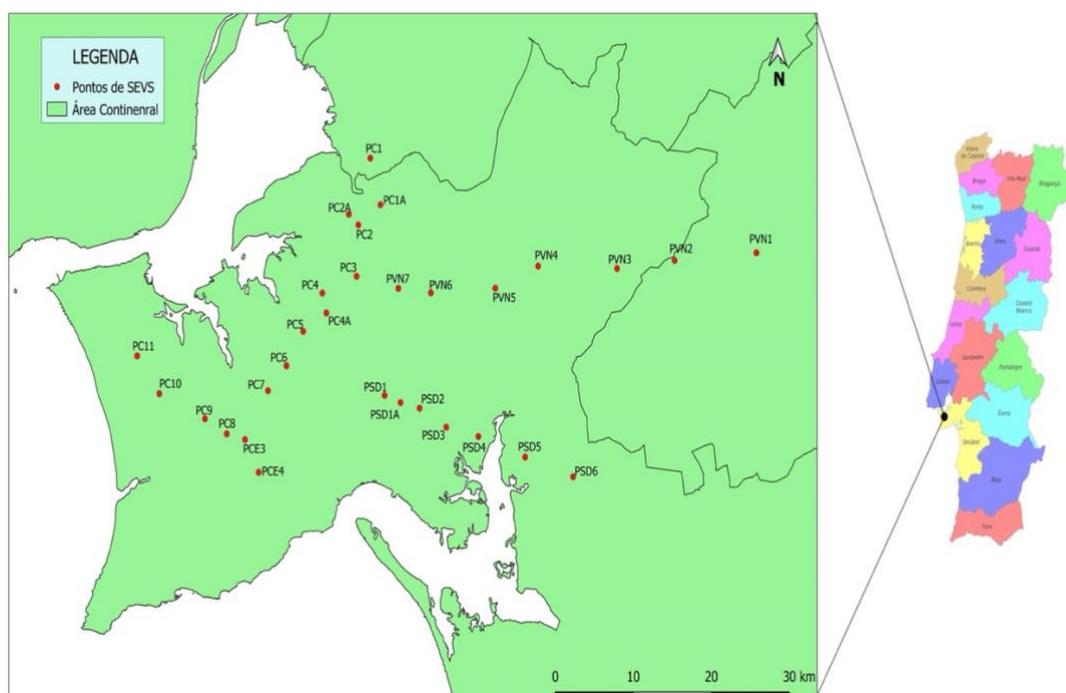


Figura 15. Localização dos pontos de sondagens eléctricas verticais.

#### 4.4. Interpretação dos dados das sondagens elétricas verticais

Atualmente os dados das sondagens elétricas verticais tanto quanto de perfis de resistividade elétrica aparente podem ser interpretados recorrendo a software de processamento e interpretação.

Como já foi citado no capítulo anterior, para a interpretação dos dados das 30 sondagens elétricas verticais selecionadas para o presente trabalho, os valores de resistividade elétrica aparente foram matematicamente convertidos em valores de resistividade elétrica real (Figura 16) utilizando o software *EarthImager 1D*. No Anexo I são apresentadas as 30 sondagens elétricas verticais utilizadas neste trabalho (valores da resistividade elétrica aparente medidas, representação gráfica da resistividade elétrica aparente em função da distância  $AB/2$  e o modelo geológico associado a cada sondagem).

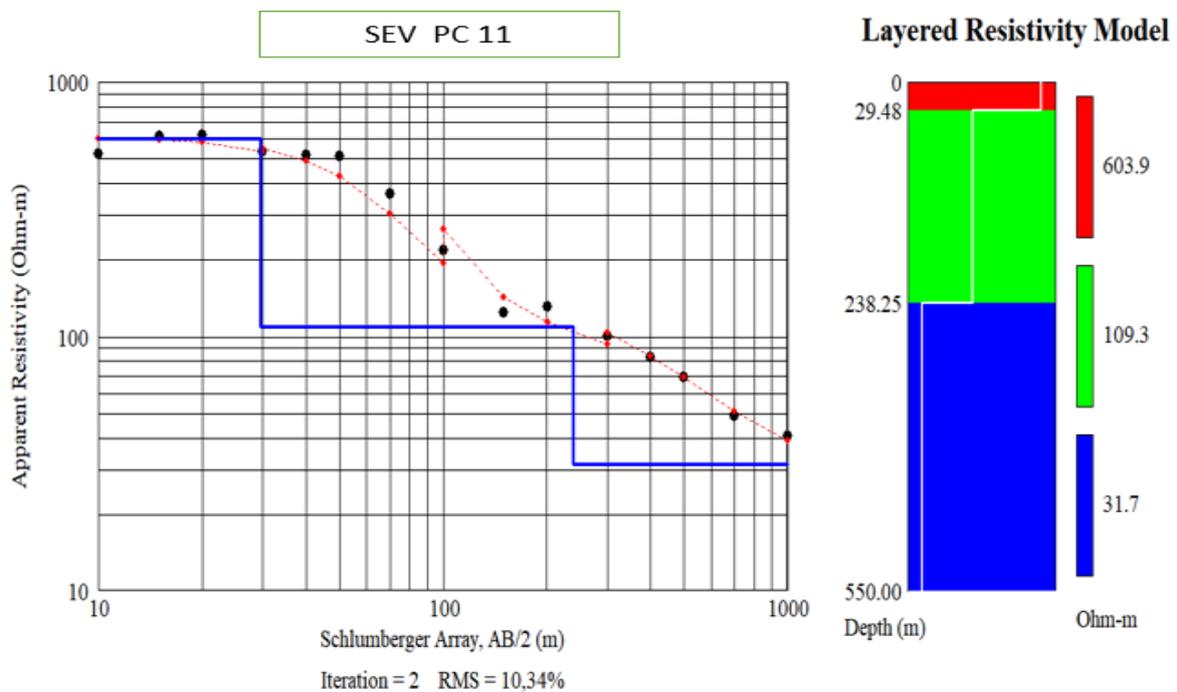


Figura 16. Conversão dos dados da resistividade elétrica aparente em resistividade elétrica real a partir do software *EarthImager 1D*. Lado esquerdo da figura: pontos a preto - leituras de campo; pontos a vermelho - curva gerado pelo software; linha azul - modelo geológico com a representação de camadas. Lado direito da figura: modelo geológico a uma dimensão gerado pelo software *EarthImager* (com as resistividades elétricas reais e profundidade de cada uma das camadas do modelo).

A partir das 30 sondagens elétricas verticais realizadas na Península de Setúbal foram construídas 5 perfis como se vê na Figura 17.

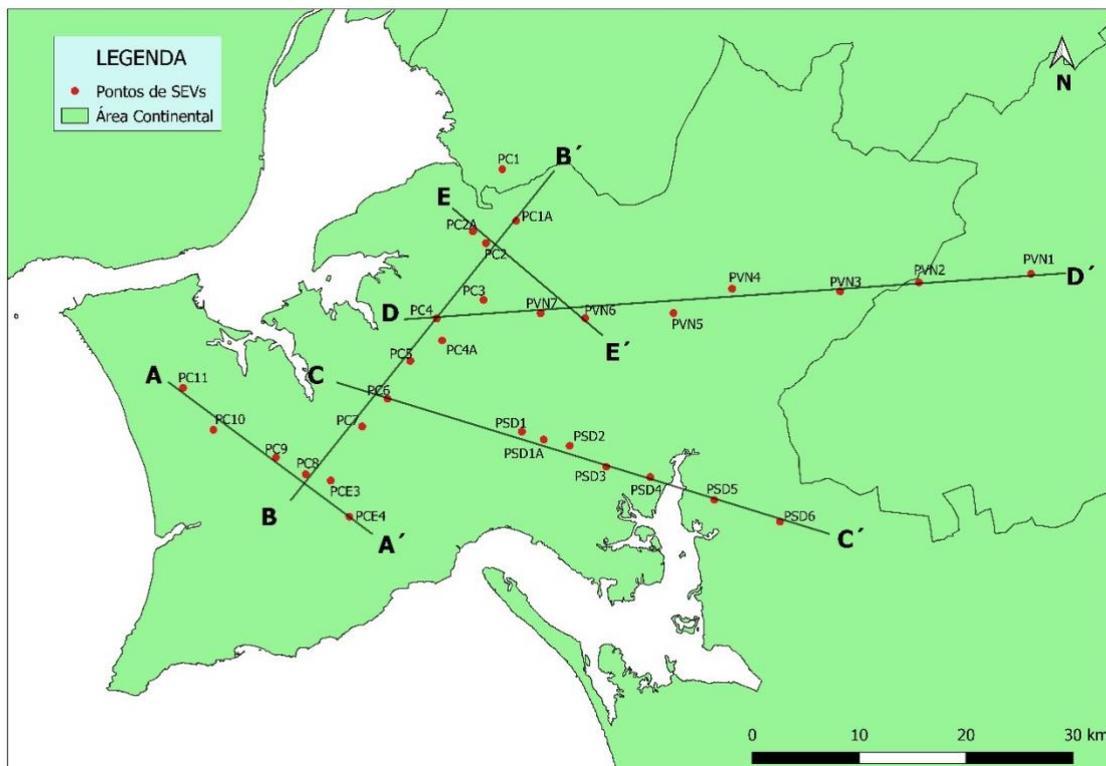


Figura 17. Representação dos 5 perfis construídos ao longo das sondagens elétricas verticais (SEVs).

**CAPÍTULO 5**  
**RESULTADOS**

## 5. Resultados

No anexo II são apresentados os cinco perfis de resistividade elétrica real completos, i.e., com as secções de resistividade elétrica aparente (dados de campo), os modelos geoeletricos gerados a partir dos dados de campo, e as pseudo secções de resistividade elétrica aparente geradas pelo modelo geoeletrico obtido por inversão matemática dos dados de campo. Consideremos então cada um dos cinco perfis.

### 5.1. Perfil de resistividade elétrica A – A´

O perfil de resistividade elétrica A – A´, como se pode observar na Figura 18, foi construído com a orientação NW – SE; ao longo deste perfil o valor da resistividade elétrica varia de 4 ohm-m a 1000 ohm-m; tem um comprimento de 19 km, com uma profundidade de investigação de cerca 630 m.

Neste perfil pode-se observar que a cor verde corresponde a uma resistividade elétrica que varia de 30 a 100 ohm-m, o que pode ser interpretado como formações aquíferas, argilas ou ainda grés preenchidos com água de boa qualidade. Entretanto, as regiões com a coloração amarela ou alaranjada, com os valores de resistividade entre 200 ohm-m a 500 ohm-m poderão corresponder a margas ou formações calcárias com alguma argila.

As regiões que apresentam uma coloração vermelha, com uma resistividade elétrica que varia de 500 ohm-m a 1000 ohm-m, poderão corresponder a conglomerados ou calcários.

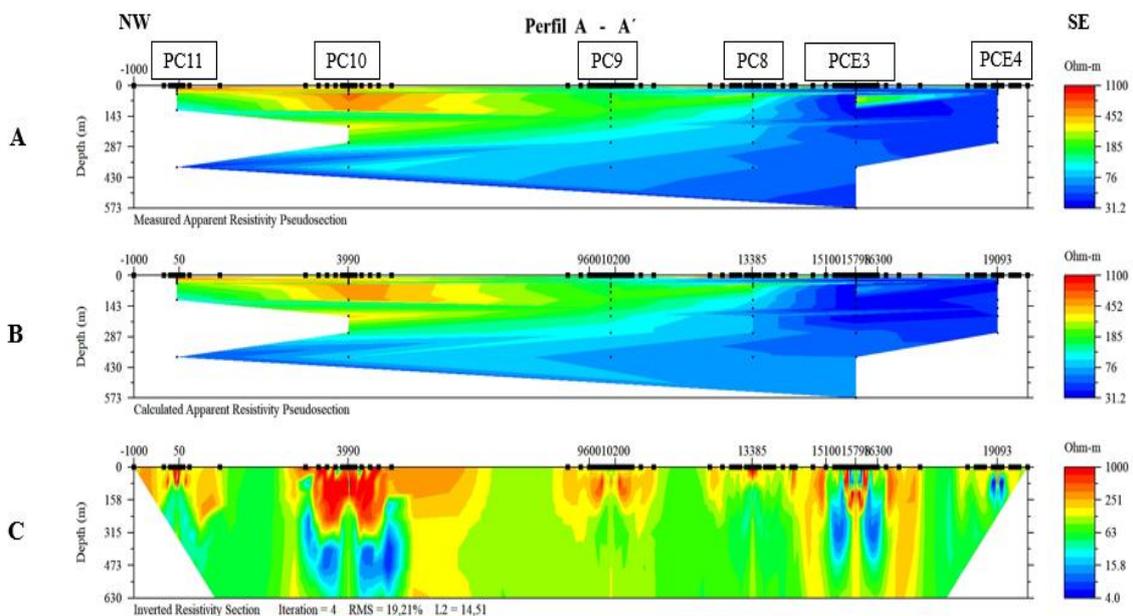


Figura 18. Perfil de resistividade elétrica A – A´. **A** - dados de campo (pseudo secção de resistividade elétrica aparente); **B** – Pseudo secção de resistividade elétrica aparente que se obtém fazendo correr o modelo geoeletrico representado em **C**; **C** – Modelo obtido por inversão matemática dos dados de campo representados em **A**. Nas Figuras 19 a 22 apenas serão apresentadas as secções **C**, i.e., os modelos geoeletricos.

### 5.2. Perfil de resistividade elétrica B – B´

O perfil de resistividade B – B´ (Figura 19) foi constituído com a orientação SW – NE; tem um comprimento de 30 km e apresenta uma profundidade de investigação de cerca de 840 m; o valor de resistividade elétrica neste perfil varia de 4 ohm-m a 1000 ohm-m. Como podemos verificar na Figura 19, o perfil é predominantemente preenchido por formações com resistividades elétricas de cerca de 30 ohm-m a 100 ohm-m. Estes valores podem indicar a existência de uma formação aquífera na região.

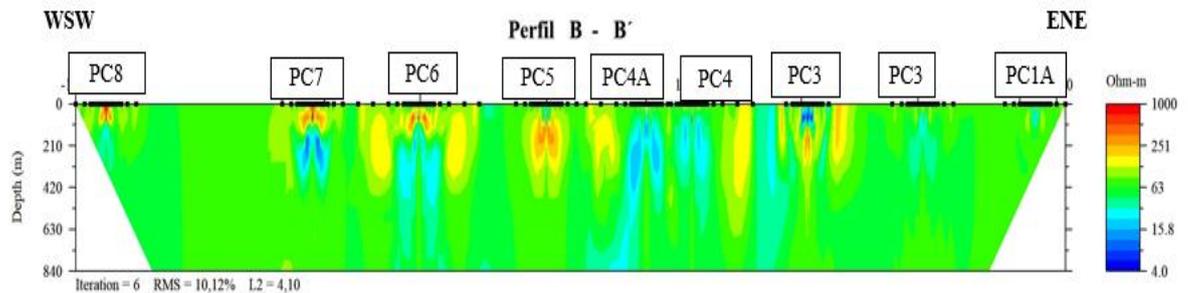


Figura 19. Perfil de resistividade B – B´.

### 5.3. Perfil de resistividade elétrica C – C´

O perfil C – C´ pode observar-se na Figura 20; foi constituído com a orientação NW – SE e tem um comprimento de 37 km. Ao longo deste perfil a resistividade elétrica varia de 4 ohm-m a 1000 ohm-m e a profundidade de investigação é de cerca 840 m.

Neste perfil, como se pode verificar na Figura 20, predominam formações com um valor de resistividade elétrica que varia de 30 ohm-m a 100 ohm-m o que pode ser uma indicação de existência de água subterrânea (aquíferos).

Entretanto, as regiões com resistividades elétricas mais baixas (de 4 ohm-m a 15 ohm-m) poderão corresponder aluviões ou areias/grés húmidas. A região com resistividades elétricas que variam entre 100 ohm-m e 300 ohm-m poderão corresponder a formações calcárias ou margosas.

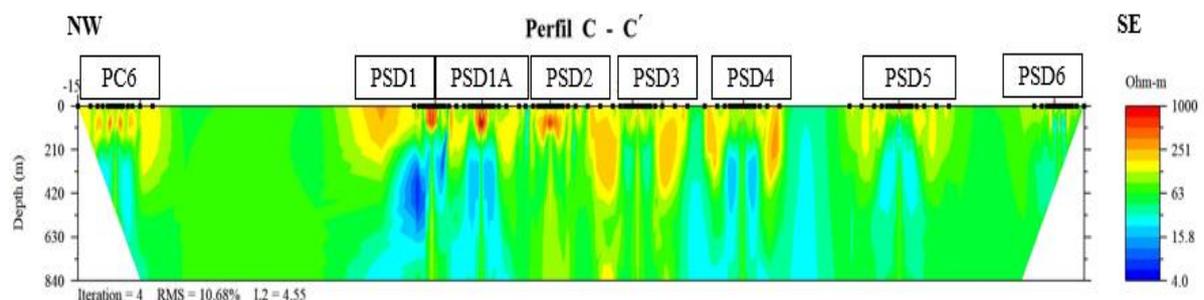


Figura 20. Perfil de resistividade elétrica C – C´.

#### 5.4. Perfil de resistividade elétrica D – D´

O perfil D – D´ foi construído com uma orientação W –E; é o perfil mais longo de todos os 5 perfis cronstruídos: tem um comprimento de 56 km como podemos observar na figura 21, este perfil apresenta uma profundidade de investigação de cerca 840 m e apresenta valores de resistividade elétrica que variam entre 4 ohm-m e 1000 ohm-m. Entretanto, como nos perfis anteriores, os valores da resistividade elétrica predominantes variam de 30 ohm-m a 100 ohm-m, o que pode indicar a existência de uma formação aquífera.

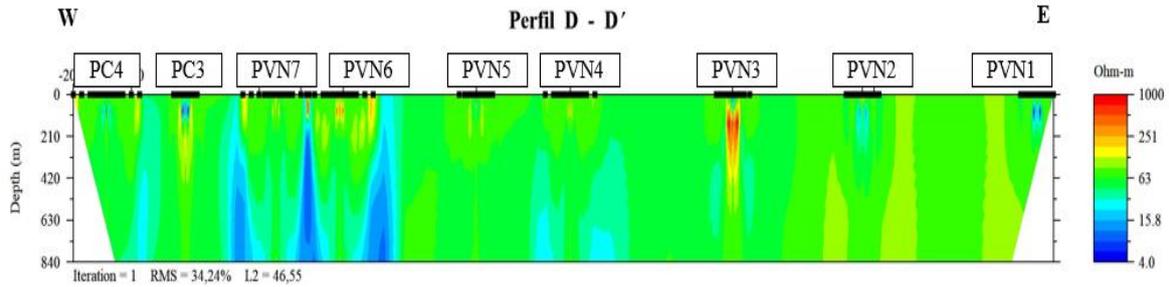


Figura 21. Perfil de resistividade elétrica D – D´.

#### 5.5. Perfil de resistividade elétrica E – E´

O perfil E – E´ tem uma orientação NW – SE e tem um comprimento de 13 km; a profundidade de investigação é de cerca de 840 m e os valores de resistividade elétrica variam entre 4 ohm-m a 1000 ohm-m. Este perfil apresenta valores de resistividade elétrica relativamente baixos (da ordem de 60 ohm-m) ao longo de todo o perfil (Figura 22). A região onde está localizado o perfil E – E´ poderá, assim, corresponder a uma zona aquífera de formações gresosas com elevada porosidade.

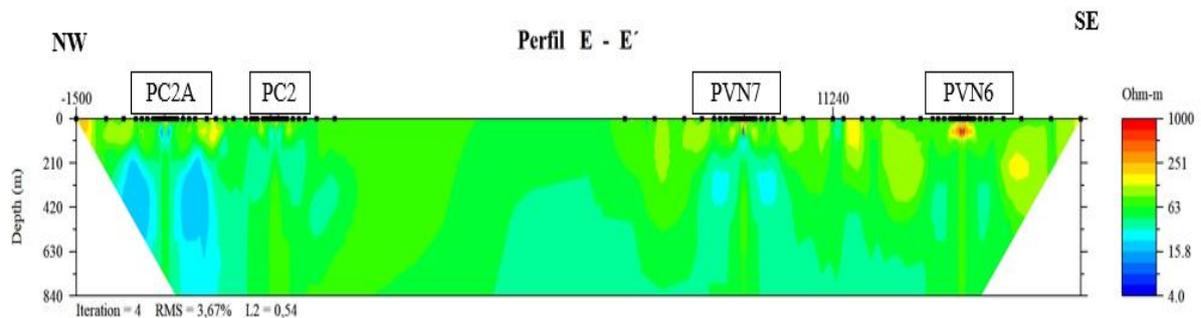


Figura 22. Perfil de resistividade elétrica E – E´.

**CAPÍTULO 6**  
**DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

## **6. Discussão dos resultados**

### **6.1. Introdução**

É sabido, através de estudos geológicos e geofísicos realizados há vários anos, que a Península de Setúbal constitui um grande reservatório de água subterrânea. Este complexo sistema aquífero está integrado num sistema aquífero, ainda mais complexo, da Bacia Hidrográfica do Tejo-Sado. Durante os anos setenta e oitenta do século passado o então Instituto Nacional da água (INAG) levou a cabo um levantamento geofísico utilizando métodos elétricos de corrente contínua (sondagens elétricas verticais) com o objetivo de estudar esse grande complexo aquífero.

Por gentileza do Sr. Eng. Sérgio de Menezes Lopes do INAG muitas das sondagens elétricas verticais foram cedidas recentemente ao orientador desta dissertação para serem reprocessados com novos softwares de processamento de dados geoeletricos. Não é do conhecimento do orientador da dissertação que esses dados alguma vez tenham sido publicados; por outro lado, tendo as sondagens elétricas verticais sido realizadas nas décadas de 70 e 80 do século passado faz com que elas constituam um documento histórico importante já que muitas das áreas onde elas foram obtidas estão agora cobertas por habitações, estradas e outras obras de engenharia civil; são por isso sondagens elétricas verticais irrepetíveis.

Neste trabalho apenas são apresentadas e processadas sondagens elétricas verticais realizadas na Península de Setúbal.

### **6.2. Discussão dos resultados obtidos**

De maneira geral pode dizer-se que os valores da resistividade elétrica obtidos para as formações da região da Península de Setúbal estão de acordo com os valores que, normalmente, estão associadas a formações de natureza sedimentar. A gama de valores da resistividade elétrica varia, em termos médios, entre alguns ohm-m até valores da ordem dos 2900 ohm-m; os valores mais elevados são mais encontrados à superfície o que é uma indicação que as camadas mais superficiais apresentam formações com menor teor em água. Em termos médios também é possível dizer que a maioria das formações atravessadas pela corrente elétrica apresentam valores de resistividade elétrica entre 40 e 300 ohm-m, valores estes perfeitamente compatíveis com formações sedimentares e com água de boa qualidade nos seus poros.

De um ponto de vista da fiabilidade das inversões dos dados obtidos através das sondagens elétricas verticais é possível verificar que a maioria das inversões apresenta um erro médio quadrático (em inglês RMS) inferior a 10 %, o que em geofísica é um bom resultado; de acordo com o Anexo I, apenas 7 das 30 inversões apresentam um erro médio quadrático superior a 10 %.

Os resultados das 30 inversões foi, em seguida utilizado para construir cinco perfis de resistividade elétrica que foram apresentados no capítulo anterior. De acordo com o Anexo II é possível verificar que o erro médio quadrático para esses perfis é relativamente elevado; apenas o perfil E-E' apresenta um erro médio quadrático inferior a 10 %; todos os outros são superiores a 10 %, ainda que dois deles (os perfis B-B' e C-C' apresentem erros médios quadráticos ligeiramente superiores a 10 % (10,12 % e 10,68 %, respetivamente). Estes valores elevados do erro médio quadrático resultam de, aquando da construção dos perfis, o software que agrupa todas as sondagens elétricas verticais assumir que o perfil tem uma orientação perpendicular às estruturas geológicas e/ou geofísicas, o que não é o caso. Por outro lado, atendendo à distância entre as várias SEVs nos vários perfis geoeletricos, é de suspeitar que há uma macro anisotropia e uma macro heterogeneidade que o software que gera os perfis a partir das SEVs não consegue incorporar.

Finalmente convém notar que à superfície junto de cada uma das SEVs dos cinco perfis geoeletricos parece haver um aumento da resistividade elétrica das formações mais superficiais em comparação com a resistividade elétrica das formações mais profundas. Este facto é um artefacto do software que foi utilizado para construir os cinco perfis (EarthImager) e resulta de os valores de ponderação para interpolação serem mais elevados próximo das SEVs do que longe delas. O facto de as várias SEVs também não serem equidistantes ao longo dos perfis origina o efeito anterior e um aspeto de estruturas verticais junto às zonas próximas de cada SEV.

**CAPÍTULO 7**  
**CONSIDERAÇÕES FINAIS E**  
**SUGESTÕES PARA O FUTURO**

## 7. Conclusões

Apesar dos erros associados à construção dos cinco perfis de resistividade elétrica, é possível extrair algumas conclusões quando as resistividades elétricas das formações atravessadas pelos perfis. De acordo com os perfis apresentados no capítulo anterior e no Anexo II, é possível concluir que:

1. No perfil A-A' as camadas sedimentares inclinam para NW sendo as camadas mais superficiais mais resistivas eletricamente do que as camadas mais profundas.
2. No perfil B-B' as camadas sedimentares aparentam ser horizontais ou sub-horizontais com os valores médios da resistividade elétrica a diminuírem com a profundidade para SW.
3. Os perfis C-C' e D-D' indicam que as camadas sedimentares inclinam ligeiramente para W sendo as formações mais superficiais mais resistivas eletricamente a oeste do que a leste.
4. O perfil E-E' apenas indica que para SE as formações superficiais são mais resisitivas eletricamente do que as formações mais profundas.

Assim, podemos concluir dos cinco perfis geoeletricos (em particular dos perfis B-B', C-C' e D-D' que na região da Península de Setúbal as formações geológicas sedimentares inclinam, ainda que de maneira ligeira, para SW. Por outro lado, e de acordo com os valores da resistividade elétrica estimados através das sondagens elétricas verticais, as formações mais resistivas eletricamente do soco não foram atingidas; na verdade, os cinco perfis geoeletricos mostram, de maneira geral, uma diminuição da resistividade elétrica em profundidade, exceto a sudeste da SEV PC10, o que, como foi explicado anteriormente poderá ser um artefacto do software utilizado para construir os perfis.

Finalmente, e de acordo com o que foi dito anteriormente, o subsolo da região da Península de Setúbal aparenta ser um grande aquífero de água com características apropriadas para consumo doméstico já que as resistividades elétricas das formações são compatíveis com formações detríticas com água doce.

### **7.1. Recomendações de trabalho para o futuro**

É sabido que na região de Setúbal há várias indústrias que têm necessidades de grandes quantidades de água para o seu processo produtivo. Assim, há muitas captações de água para alimentar essas fábricas. Por outro lado, há, também, alguns furos de prospeção de petróleo. Esses dois tipos de informação deveriam ser utilizados para tentar calibrar e/ou constranger algumas das sondagens elétricas verticais utilizadas neste trabalho e os perfis geoeletricos construídos.

Seria também interessante utilizar os dados de sísmica de reflexão obtidos em campanhas de prospeção de petróleo na zona da Península de Setúbal; esses dados poderiam ajudar a construir um modelo geoeletrico a três dimensões da bacia sedimentar da península e, portanto, ajudar ao planeamento de exploração da água subterrânea da região.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aktarakçi, H. (2008). Resistivity Imaging. Seminar on resistivity imaging. Madrid
- Almeida, C., Mendonça, J., Jesus, M., Gomes, A. (2000). Sistemas Aquíferos de Portugal continental. Instituto da água. Lisboa.
- Bernard, J. (2003). Short Note on the Depth of Investigation of Electrical Methods. IRIS Instruments. Orleans, France. (<http://www.iris-instruments.com>).
- Borges, W. R. (2002). Investigação Geofísicas na Borda da Bacia Sedimentar de São Paulo, Utilizando-se GPR e Eletroresistividade. [Dissertação de Mestrado em Geociências, IAG, Universidade de São Paulo]
- Bortolin, J. R. M. (2014). Métodos Geométricos Empregados na caracterização e monitoramento de anomalias inerentes à infiltração controlada de vinhaça. [Tese de Doutorado apresentado ao instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho] Repositório aberto da Universidade Estadual Paulista.
- Braga, A. C. O. (2001). Métodos Geométricos Aplicados no Diagnostico do lençol freático para subsídios em Estudos Ambientais. [Projeto de Pesquisa – Bolsa de Produtividade em Pesquisa. Financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico]. Coordenação de Ciências Exatas e da Terra 2 – programa Básico de Geociências: Geofísica, Metrologia e Geodesia.
- Braga, A. C. O. (2006). Métodos da eletroresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de águas subterrâneas: uma abordagem metodológica e prática. [Tese apresentado ao concurso público para obtenção do título de Livre-Docente na disciplina “Métodos Geométricos Aplicados à Hidrogeologia” do programa de Pos-Graduação em Geociências e Meio ambiente do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista].
- Kearey, P., Brooks, M. (1984). An Introduction to Geophysical Exploration.
- Loke, M. H. (1999). Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering.
- Manupella, G., Antunes, M. T., Pais, J., Ramalho, M. M., Rey, J. (1999). Notícia Explicativa da folha 38-B Setúbal. Departamento de Geologia. Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa.

Martinho, E. (2002). Estudos Integrados de Problemas Ambientais por Métodos Geofísicos. [Tese de doutoramento, Instituto superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa].

Oliveira, J. P. L. (2009). Caracterização da pluma de contaminação numa antiga lixeira com o método de resistividade elétrica. [Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa]. Repositorio da Universidade Nova de Lisboa.

Orellana, E. (1972). Prospeccion Geoeletrica en Corriente Continua. Madrid, Ed Paraninfo, Biblioteca Tecnica.

Pais, J., Moniz, C., Cabral, J., Lourenço, C., Fale, P. (2006). Notícia Explicativa da folha 34-D Lisboa. Departamento de Geologia. Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa.

Parasnis, D. D. (1962). Principles of applied Geophysics. London: Methuen e Co. Ltd. 176p.

Reynolds, J. M. (1997). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. 796p.

Robison, E. S., Coruh, C. (1988). Basic Exploration Geophysics. New York: John Wiley e Sons. 562p.

Sacasa, R. J. V. (2004). Aplicação de sondagens elétricas de resistividade no estudo dos recursos hídricos subterrâneos da localidade de Marabaixo III [Apresentação de poster]. Macapá: Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá.

Sharma, P. V. (1997). Environmental and Engineering Geophysics. Cambridge University Press, Cambridge. 475p.

Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E. (1990). Applied Geophysics. 2. Ed. Cambridge. Cambridge University Press. 744p.

Ward, S. H. (1990). Resistivity and induced Polarization. USA. Investigations in Geophysics, 5. Geotechnical and Environmental Geophysics. Society of Exploration Geophysicists.

## **7.2. Referências webgráficas**

<https://snirh.apambiente.pt> – 20 de setembro de 2021

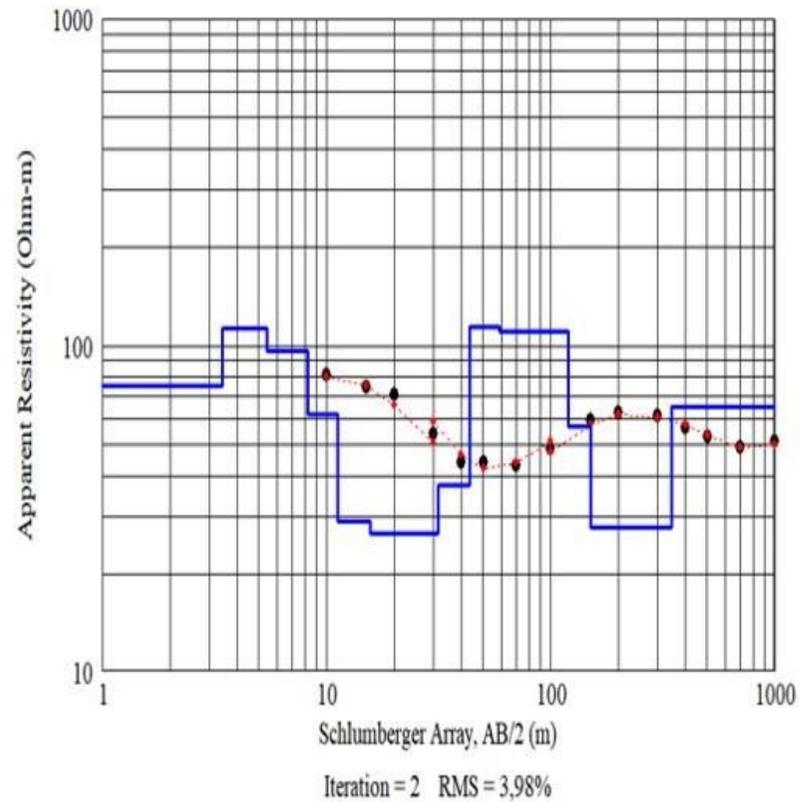
## **ANEXOS**

## **Anexo I**

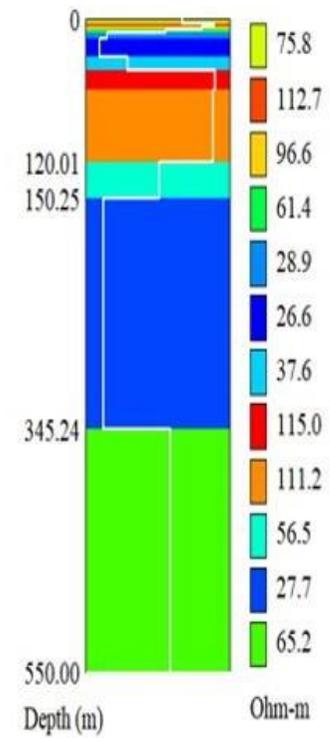
ANEXO I:

**SEV – PC 1 A**

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	3.438	81
15	5	1.194	75
20	5	0.603	71
30	5	0.196	54
30	15	0.764	54
40	15	0.306	44
50	15	0.185	44
70	15	0.088	43
100	15	0.047	48
100	50	0.208	49
150	50	0.094	59
200	50	0.053	62
300	50	0.023	63
300	150	0.083	59
400	150	0.039	56
500	150	0.022	53
700	150	0.010	50
1000	150	0.005	51

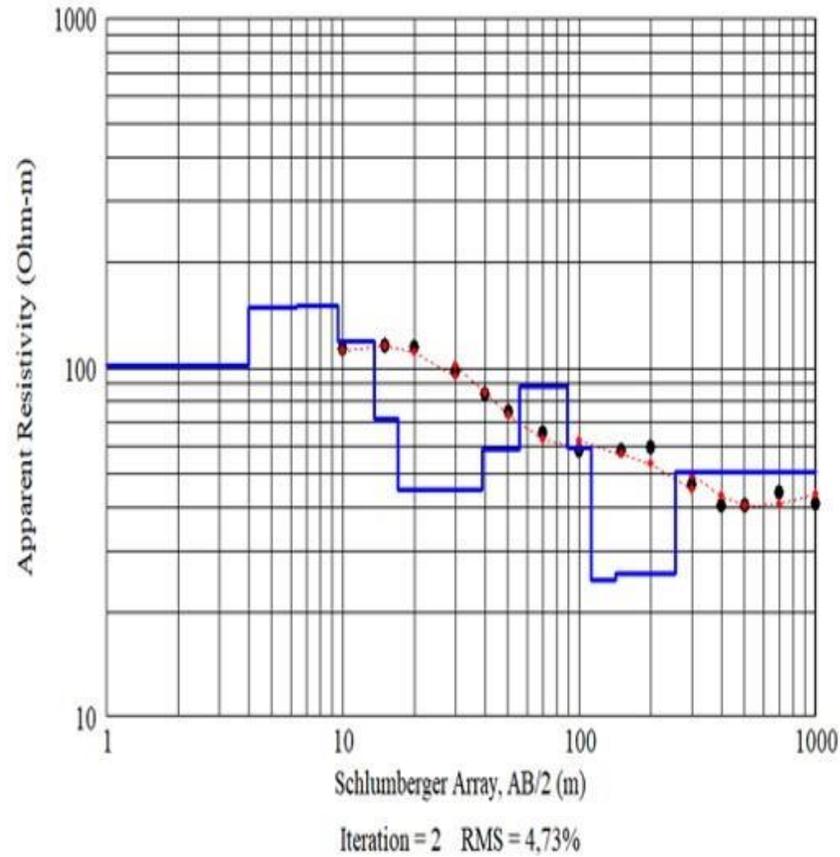


**Layered Resistivity Model**

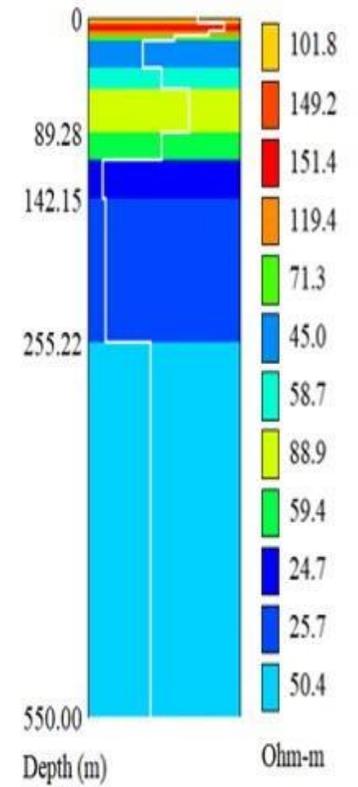


## SEV – PC 2

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	4.796	113
15	5	1.846	116
20	5	0.968	114
30	5	0.353	97
30	15	1.372	97
40	15	0.583	84
50	15	0.315	75
70	15	0.133	65
100	15	0.058	59
100	50	0.238	56
150	50	0.092	58
200	50	0.050	59
300	50	0.017	47
300	150	0.065	46
400	150	0.028	41
500	150	0.017	41
700	150	0.009	43
1000	150	0.004	40

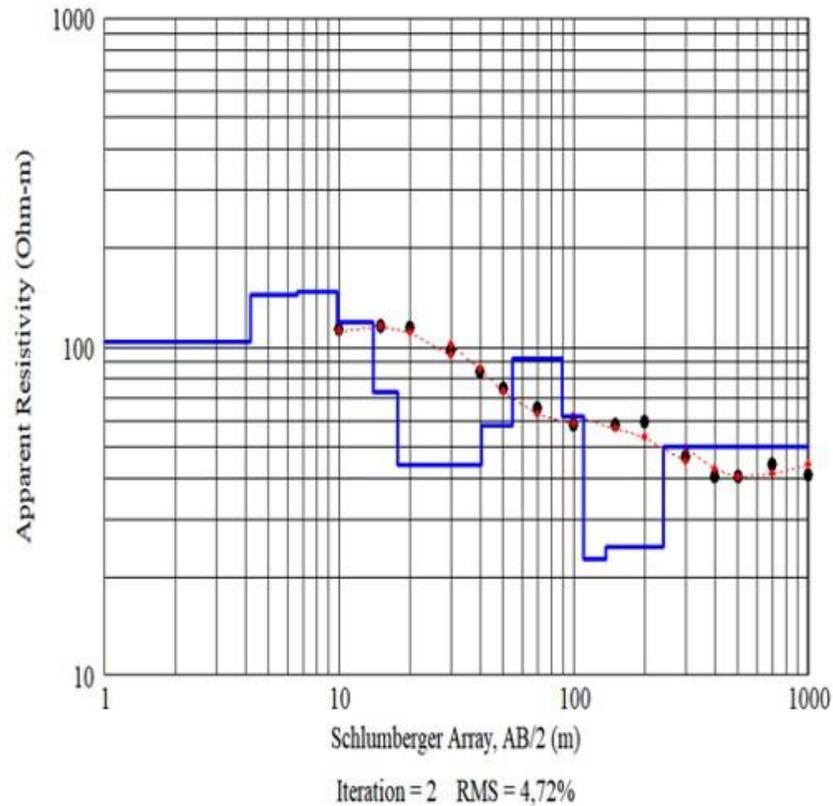


## Layered Resistivity Model

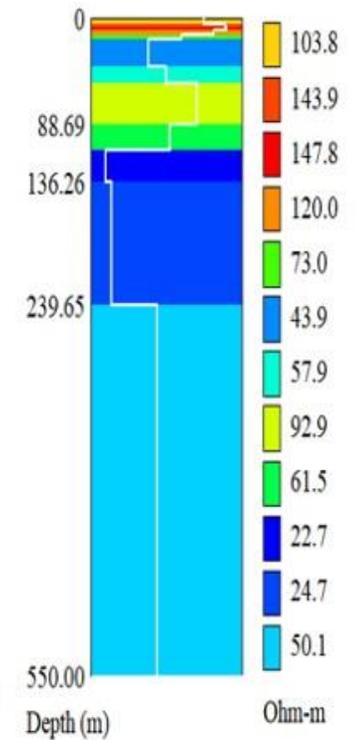


## SEV – PC 2 A

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	6.706	158
15	5	1.989	125
20	5	0.985	116
30	5	0.364	100
30	15	1.344	95
40	15	0.514	74
50	15	0.256	61
70	15	0.102	50
100	15	0.050	51
100	50	0.208	49
150	50	0.083	52
200	50	0.046	54
300	50	0.019	53
300	150	0.078	55
400	150	0.033	48
500	150	0.016	37
700	150	0.006	31.7
1000	150	0.003	27.5
1000	500	0.011	25.6
1500	500	0.004	22.9
2000	500	0.002	21.3

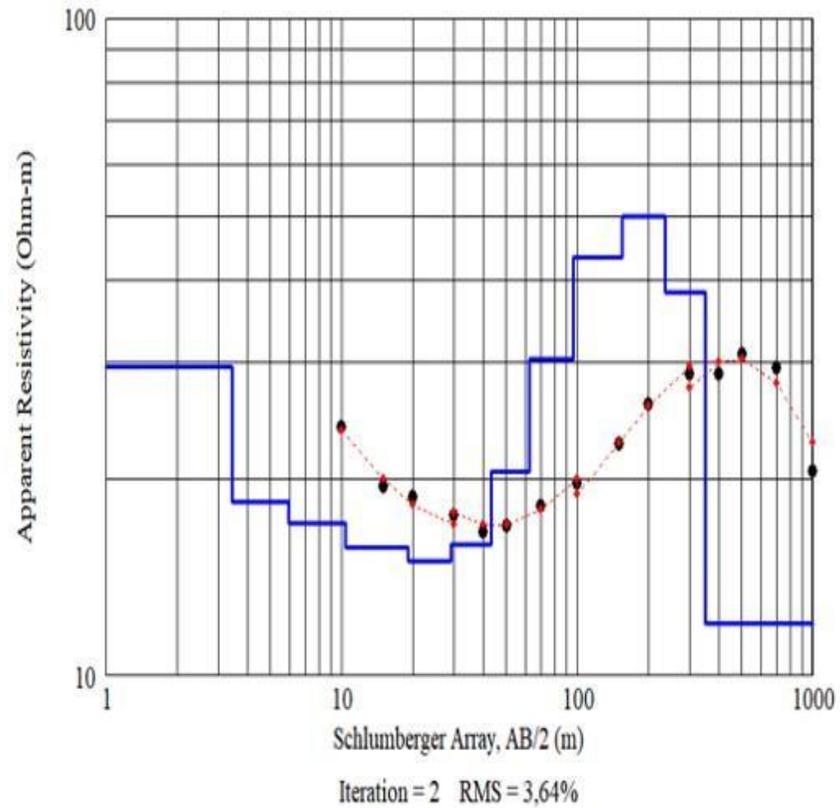


### Layered Resistivity Model

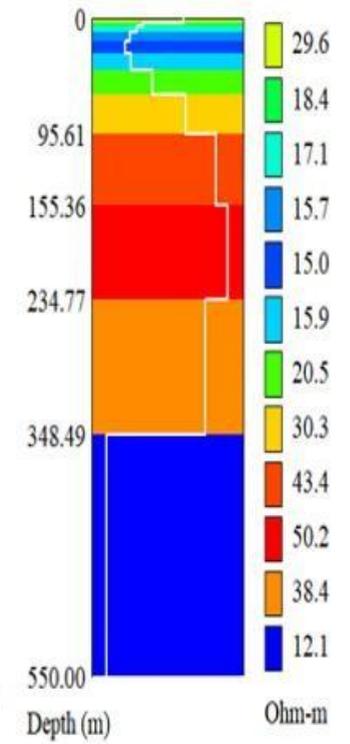


## SEV – PC 3

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	1.014	23.9
15	5	0.309	19.4
20	5	0.159	18.7
30	5	0.063	17.2
30	15	0.252	17.8
40	15	0.115	16.5
50	15	0.071	17.0
70	15	0.037	18.1
100	15	0.019	19.7
100	50	0.084	19.9
150	50	0.036	22.6
200	50	0.022	25.6
300	50	0.011	29.5
300	150	0.039	27.5
400	150	0.020	29.0
500	150	0.013	30.4
700	150	0.006	29.5
1000	150	0.002	25.0

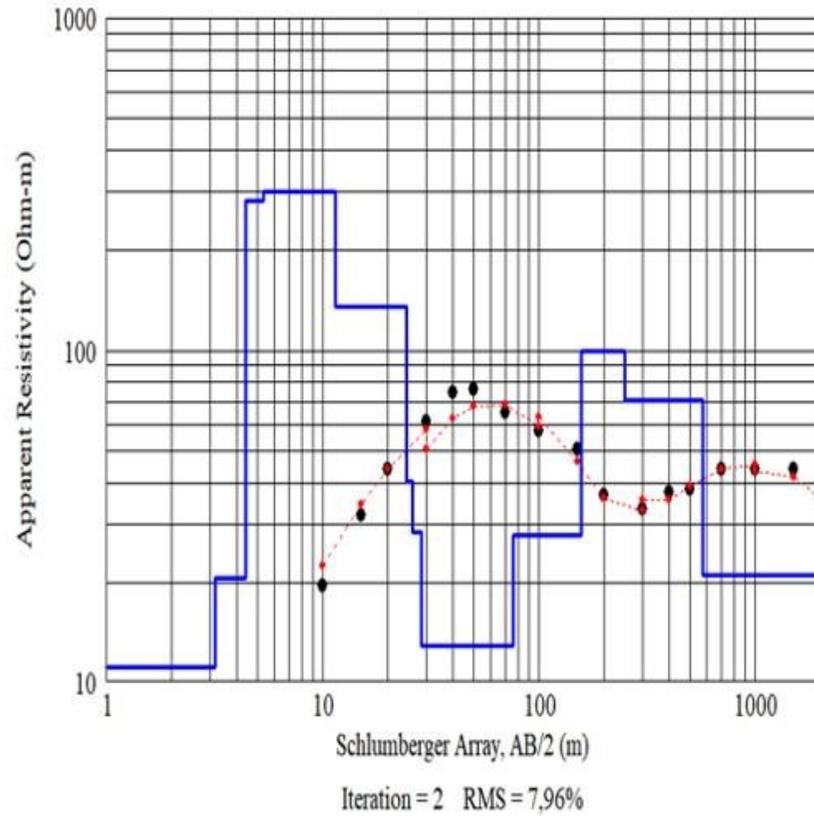


### Layered Resistivity Model

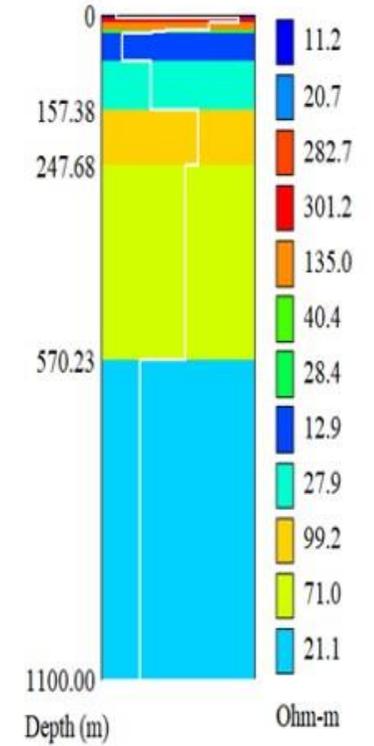


## SEV – PC 4

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	0.832	19.6
15	5	0.506	31.8
20	5	0.373	44
30	5	0.207	57
30	15	0.934	66
40	15	0.521	75
50	15	0.319	76
70	15	0.133	65
100	15	0.057	58
100	50	0.238	56
150	50	0.080	50
200	50	0.031	36
300	50	0.011	31
300	150	0.052	37
400	150	0.026	38
500	150	0.016	39
700	150	0.009	43
1000	150	0.004	46
1000	500	0.020	47
1500	500	0.007	41
2000	500	0.003	35.7

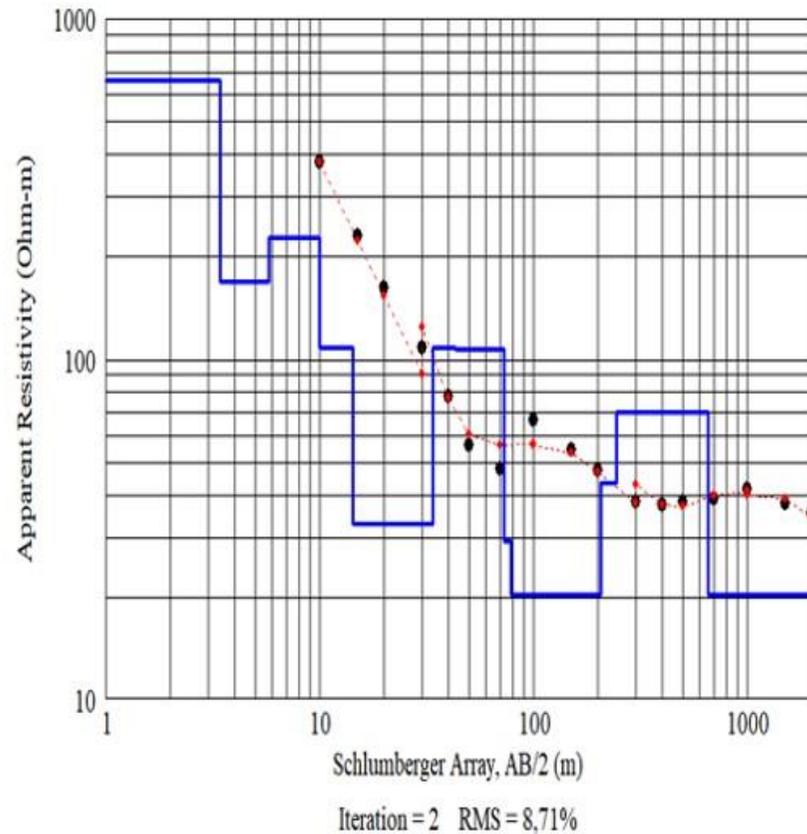


## Layered Resistivity Model

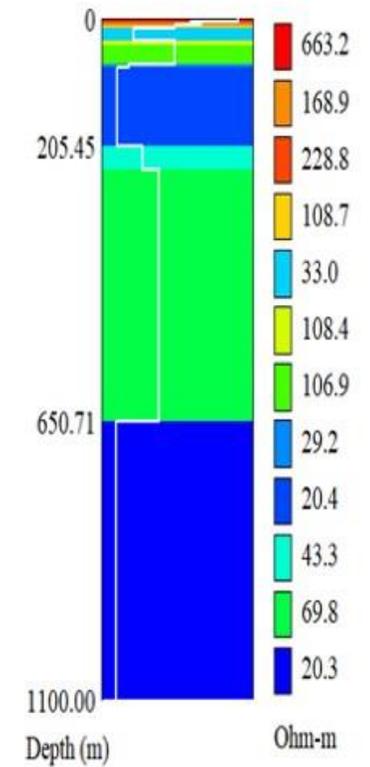


## SEV – PC 4 A

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	16.128	380
15	5	3.692	232
20	5	1.384	163
30	5	0.433	119
30	15	1.386	98
40	15	0.542	78
50	15	0.235	56
70	15	0.098	48
100	15	0.070	72
100	50	0.263	62
150	50	0.086	54
200	50	0.040	47
300	50	0.015	41
300	150	0.050	35
400	150	0.026	38
500	150	0.016	37
700	150	0.008	39
1000	150	0.004	41
1000	500	0.018	43
1500	500	0.006	39
2000	500	0.003	30

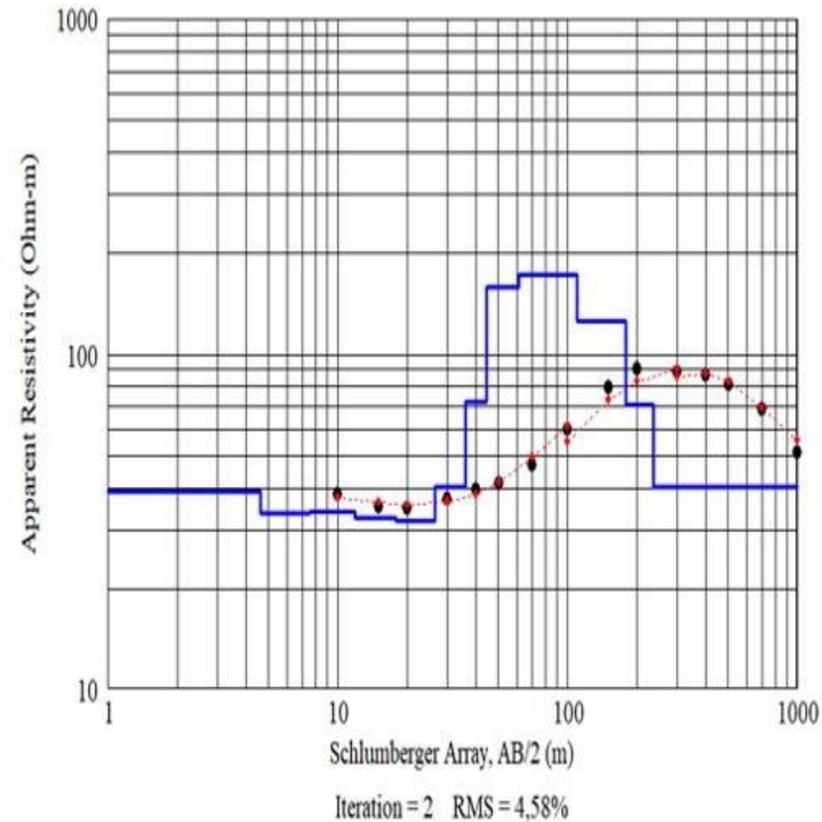


### Layered Resistivity Model

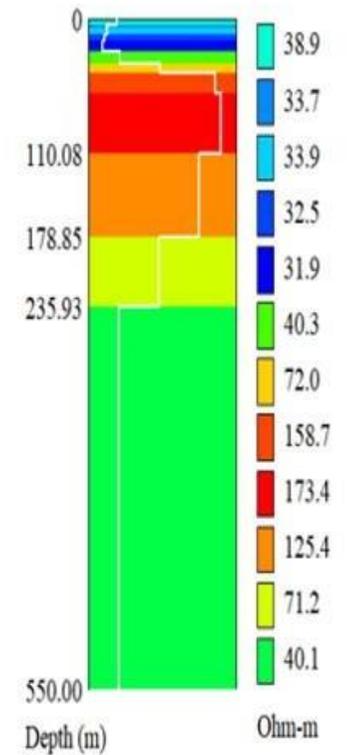


## SEV – PC 5

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	1.626	38.3
15	5	0.560	35.2
20	5	0.295	34.7
30	5	0.131	36.1
30	15	0.542	38.3
40	15	0.275	39.6
50	15	0.172	41
70	15	0.096	47
100	15	0.060	61
100	50	0.246	58
150	50	0.127	80
200	50	0.077	91
300	50	0.035	95
300	150	0.116	82
400	150	0.060	86
500	150	0.034	82
700	150	0.014	68
1000	150	0.005	55

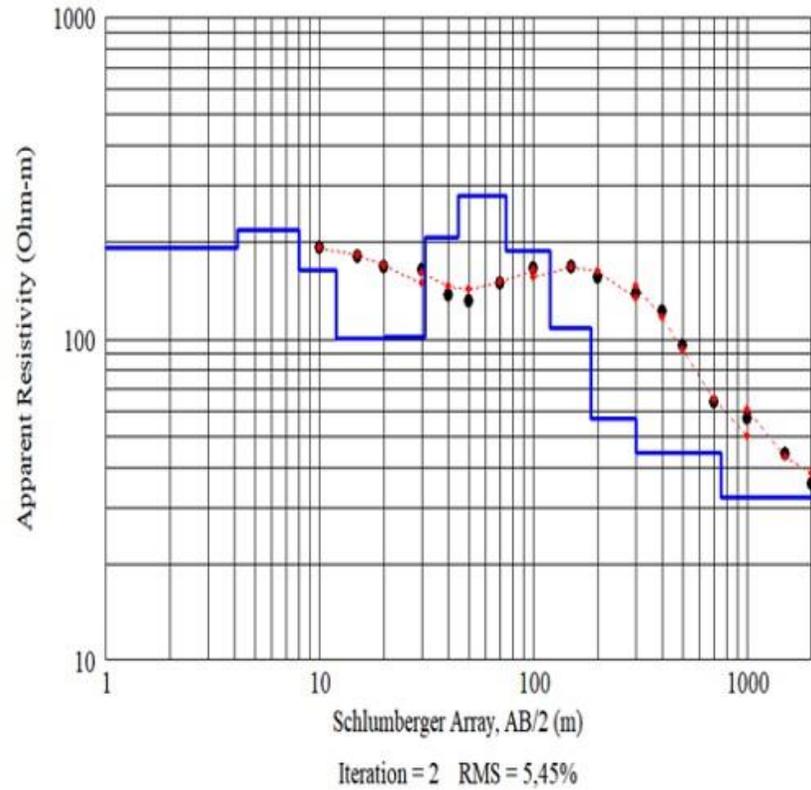


### Layered Resistivity Model

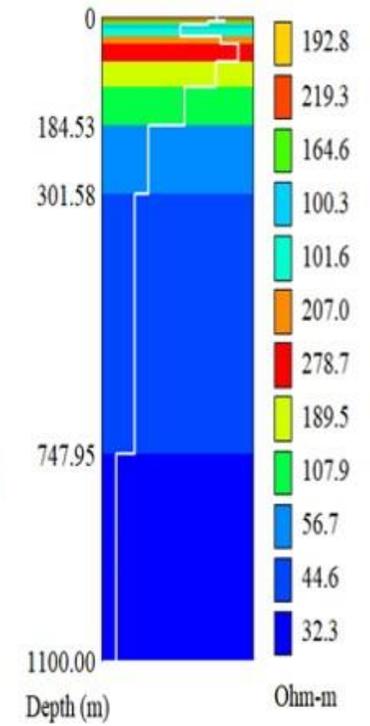


## SEV – PC 6

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	10	8.191	193
15	15	2.865	180
20	20	1.426	168
30	30	0.633	174
30	30	2.207	156
40	40	0.951	137
50	50	0.554	132
70	70	0.304	149
100	100	0.170	174
100	100	0.675	159
150	150	0.267	168
200	200	0.132	156
300	300	0.050	137
300	300	0.198	140
400	400	0.085	122
500	500	0.040	95
700	700	0.013	65
1000	1000	0.006	59
1000	1000	0.022	52
1500	1500	0.007	46
2000	2000	0.003	41

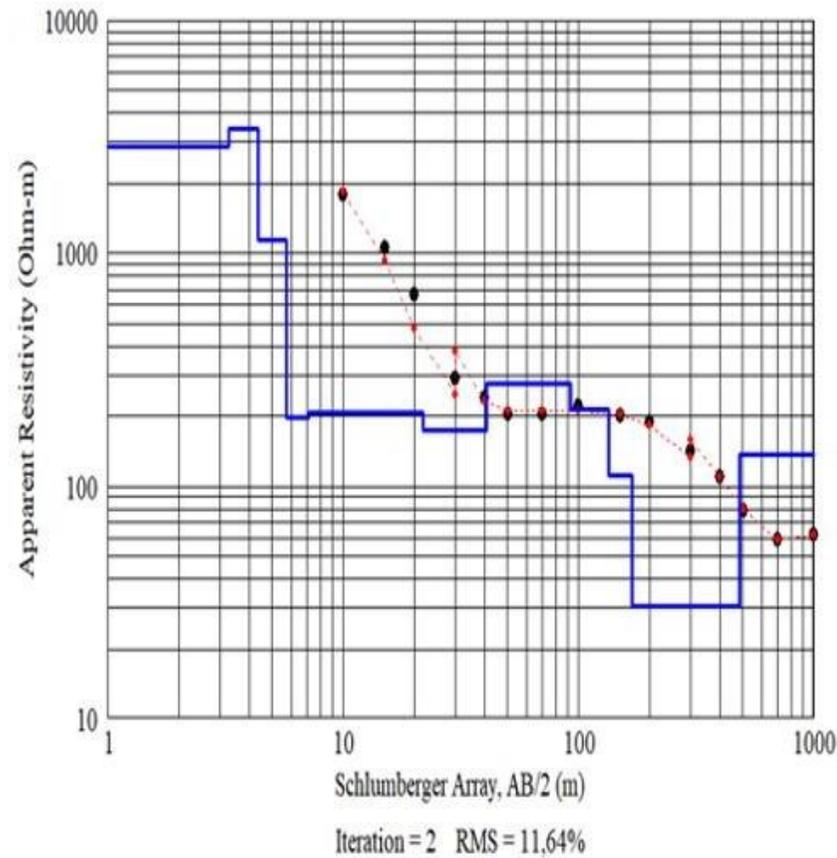


### Layered Resistivity Model

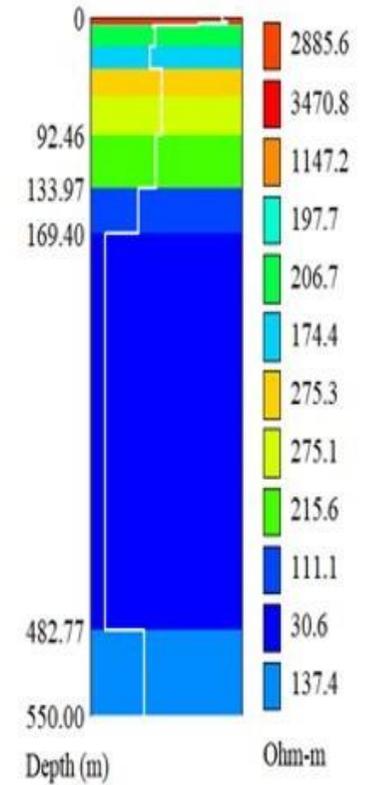


## SEV – PC 7

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	76.394	1800
15	5	16.711	1050
20	5	5.687	670
30	5	0.855	235
30	15	5.079	359
40	15	1.667	240
50	15	0.860	205
70	15	0.415	203
100	15	0.247	253
100	50	0.828	195
150	50	0.318	200
200	50	0.161	190
300	50	0.052	142
300	150	0.201	142
400	150	0.076	109
500	150	0.033	79
700	150	0.012	61
1000	150	0.006	59

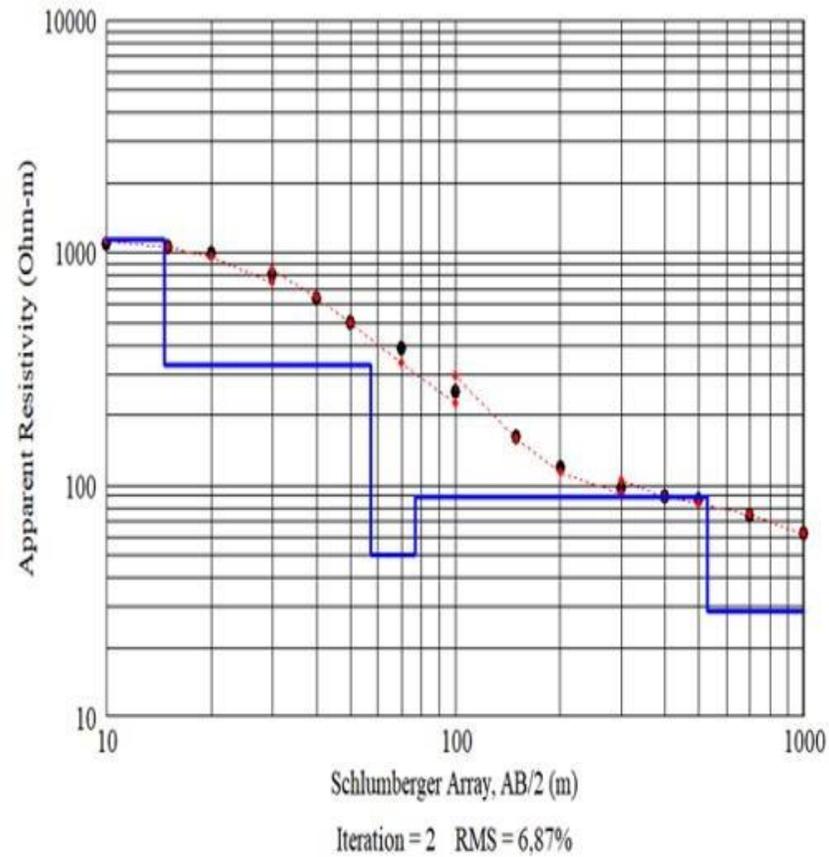


### Layered Resistivity Model

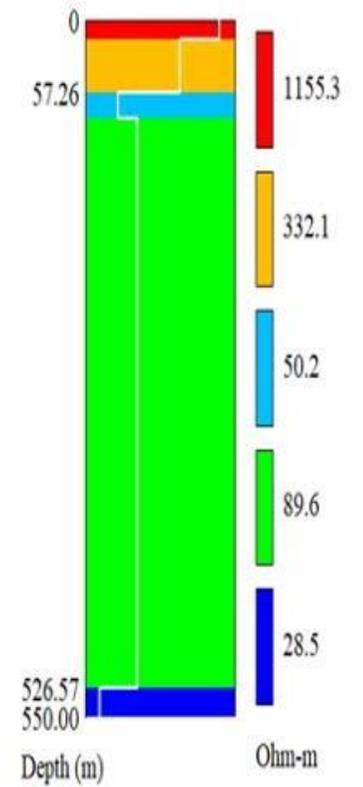


## SEV – PC 8

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	46.685	1100
15	5	16.711	1050
20	5	8.488	1000
30	5	2.728	750
30	15	12.449	880
40	15	4.375	630
50	15	2.099	500
70	15	0.786	385
100	15	0.234	240
100	50	1.103	260
150	50	0.255	160
200	50	0.100	118
300	50	0.034	94
300	150	0.140	99
400	150	0.062	89
500	150	0.036	86
700	150	0.015	75
1000	150	0.006	62

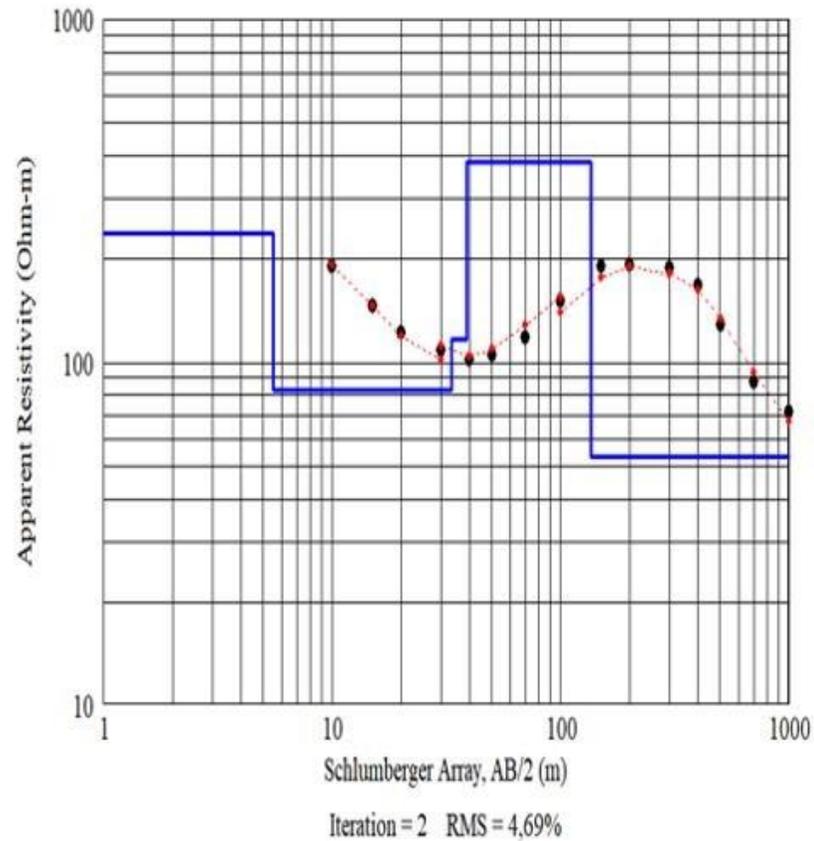


### Layered Resistivity Model

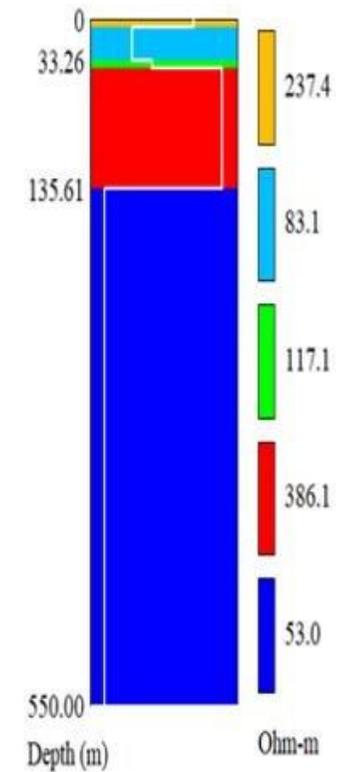


## SEV – PC 9

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	8.106	191
15	5	2.324	146
20	5	1.036	122
30	5	0.386	106
30	15	1.556	110
40	15	0.708	102
50	15	0.441	105
70	15	0.241	118
100	15	0.146	149
100	50	0.645	152
150	50	0.304	191
200	50	0.164	193
300	50	0.068	187
300	150	0.267	189
400	150	0.116	167
500	150	0.054	128
700	150	0.018	89
1000	150	0.007	69

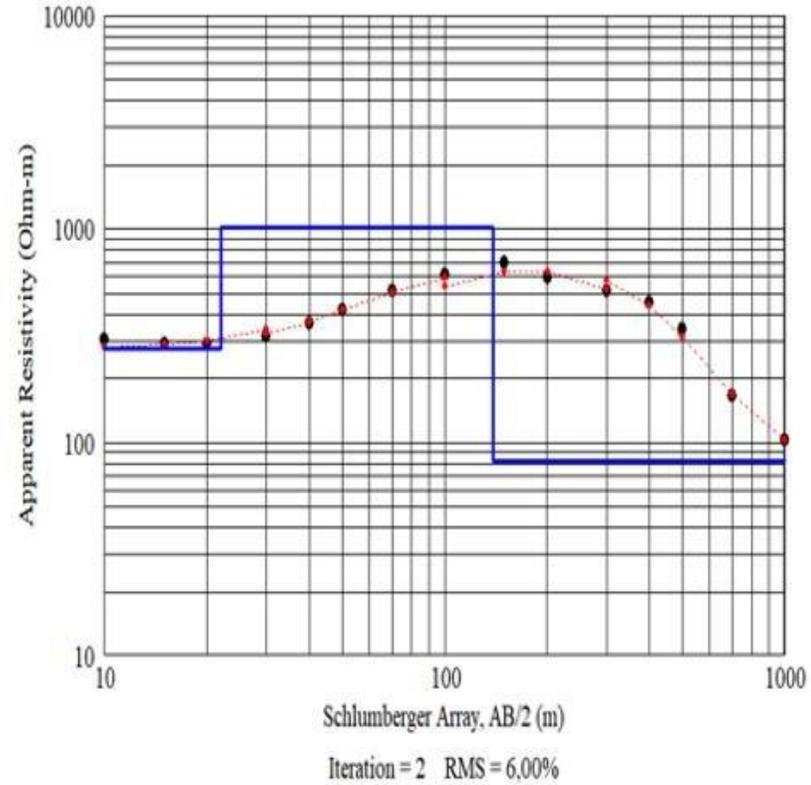


### Layered Resistivity Model

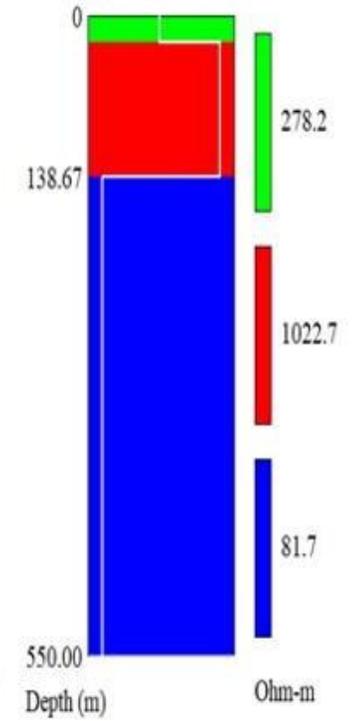


## SEV – PC10

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	(Ohm-m)
10	5	12.945	305
15	5	4.615	290
20	5	2.470	291
30	5	1.179	324
30	15	4.371	309
40	15	2.514	362
50	15	1.755	418
70	15	1.054	516
100	15	0.587	601
100	50	2.687	633
150	50	1.112	699
200	50	0.503	592
300	50	0.180	496
300	150	0.755	534
400	150	0.315	453
500	150	0.142	339
700	150	0.034	165
1000	150	0.010	101

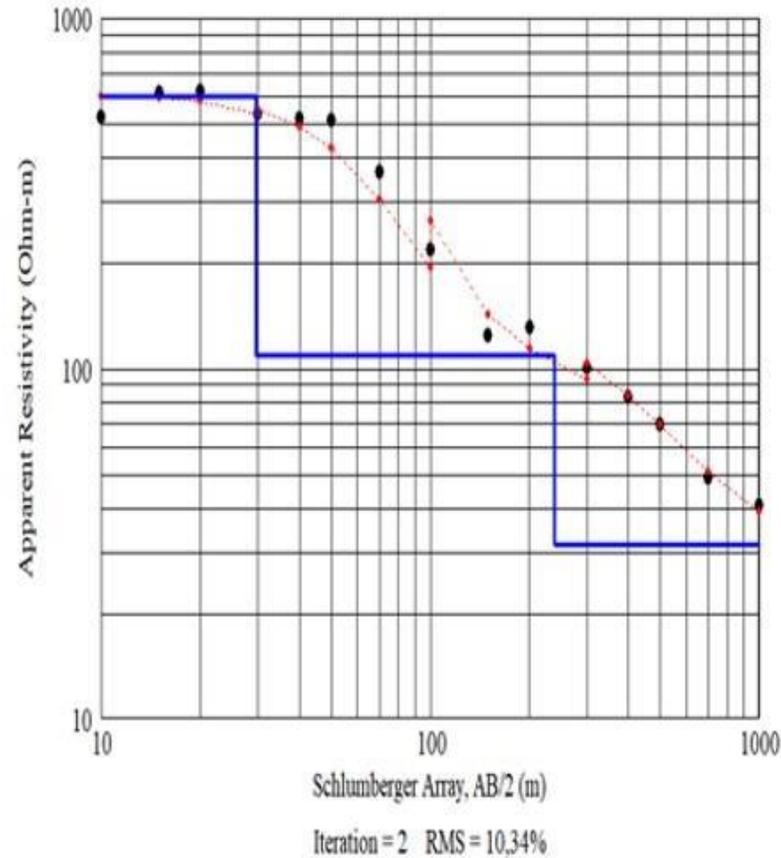


## Layered Resistivity Model

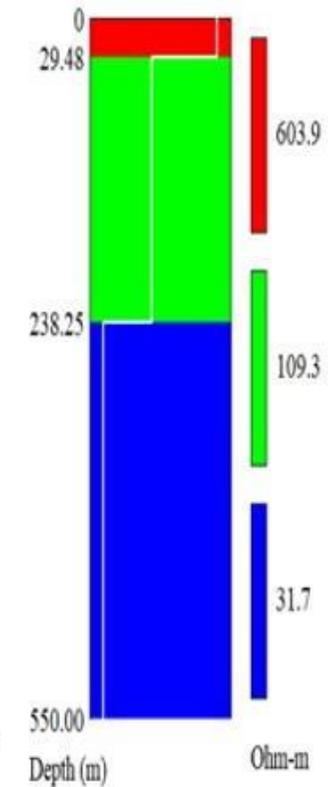


## SEV – PC 11

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	(Ohm-m)
10	5	22.367	527
15	5	9.820	617
20	5	5.254	619
30	5	1.870	514
30	15	7.908	559
40	15	3.584	516
50	15	2.149	512
70	15	0.748	366
100	15	0.200	205
100	50	0.989	233
150	50	0.199	125
200	50	0.111	131
300	50	0.034	94
300	150	0.153	108
400	150	0.058	83
500	150	0.029	68
700	150	0.010	48
1000	150	0.004	45

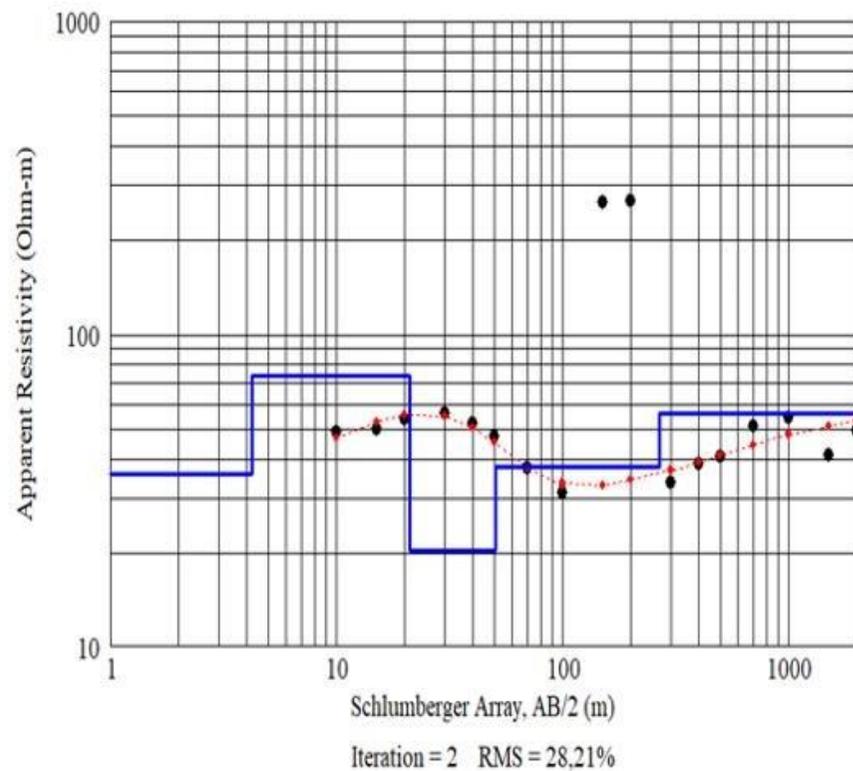


### Layered Resistivity Model

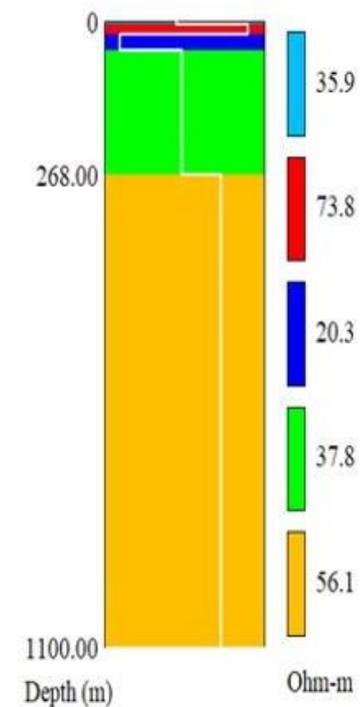


## SEV – PCE 3

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	(Ohm-m)
10	2.5	0.364	49
15	2.5	0.218	50
20	2.5	0.100	54
30	2.5	0.317	56
30	7.5	0.161	56
40	7.5	0.092	52
50	7.5	0.037	47
70	7.5	0.015	38
100	7.5	0.053	31
100	25	0.194	31
150	25	0.108	267
200	25	0.006	266
300	25	0.019	31
300	75	0.012	33
400	75	0.008	38
500	75	0.005	40
700	75	0.003	47
1000	75	0.008	54
1000	250	0.003	48
1500	250	0.002	45
2000	250	0.007	43

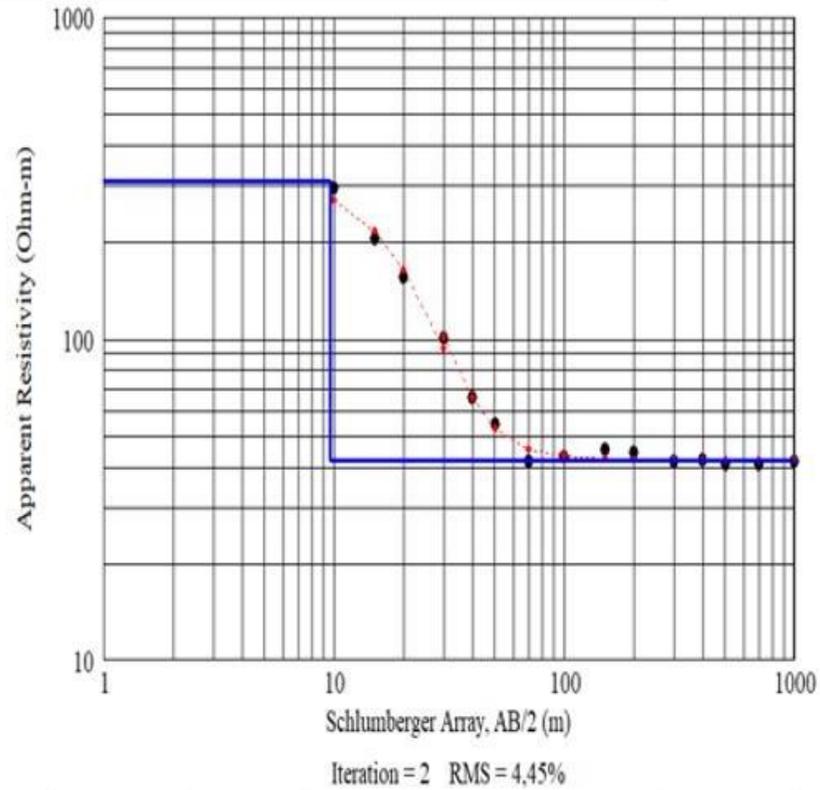


### Layered Resistivity Model

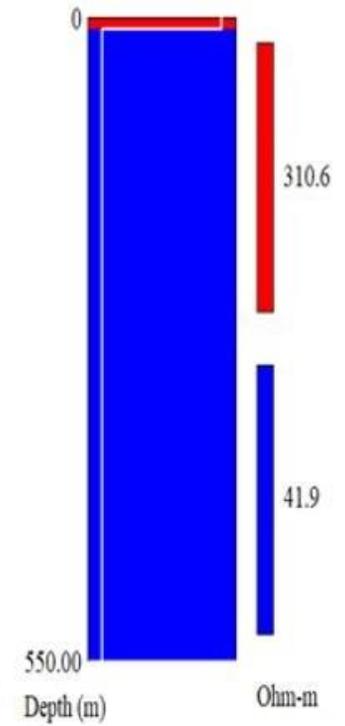


## SEV – PCE 4

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	(Ohm-m)
10	2.5	5.008	295
15	2.5	1.499	206
20	2.5	0.627	155
30	2.5	0.166	93
30	7.5	0.617	109
40	7.5	0.204	66
50	7.5	0.106	54
70	7.5	0.041	42
100	7.5	0.020	41
100	25	0.076	45
150	25	0.033	46
200	25	0.018	45
300	25	0.007	42
300	75	0.025	44
400	75	0.013	41
500	75	0.008	39
700	75	0.004	39
1000	75	0.002	44

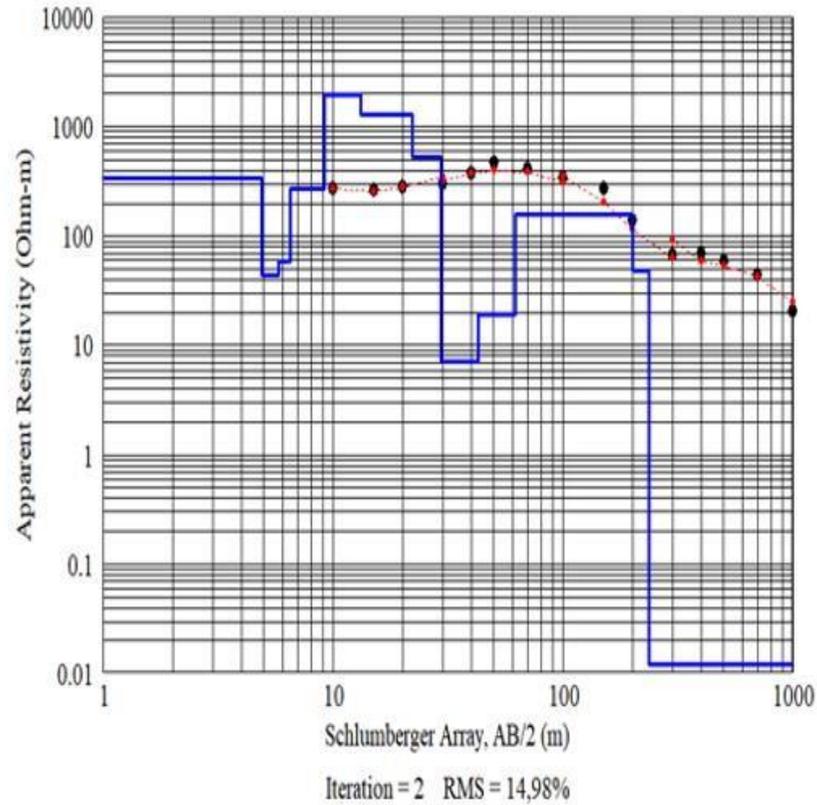


### Layered Resistivity Model

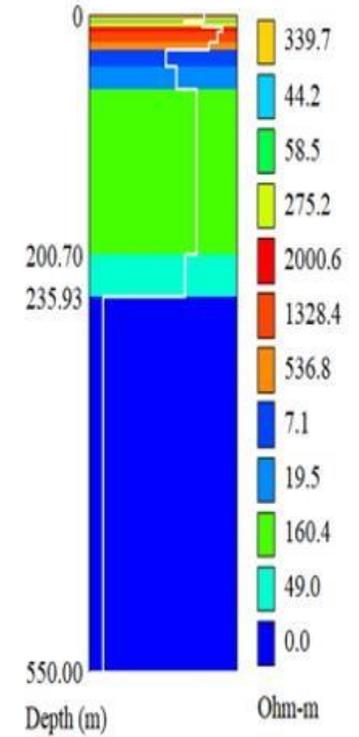


## SEV – PSD 1

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	11.714	276
15	5	4.265	268
20	5	2.368	279
30	5	1.062	292
30	15	4.371	309
40	15	2.653	382
50	15	1.985	473
70	15	0.858	420
100	15	0.335	343
100	50	1.456	343
150	50	0.430	270
200	50	0.120	141
300	50	0.021	57
300	150	0.108	76
400	150	0.048	69
500	150	0.025	60
700	150	0.009	42
1000	150	0.002	23

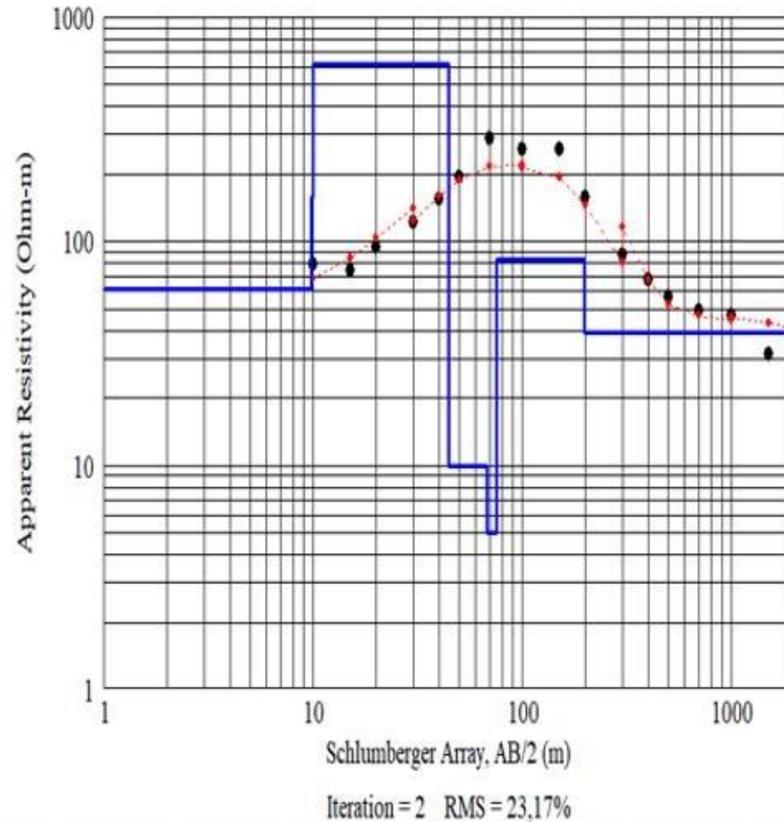


### Layered Resistivity Model

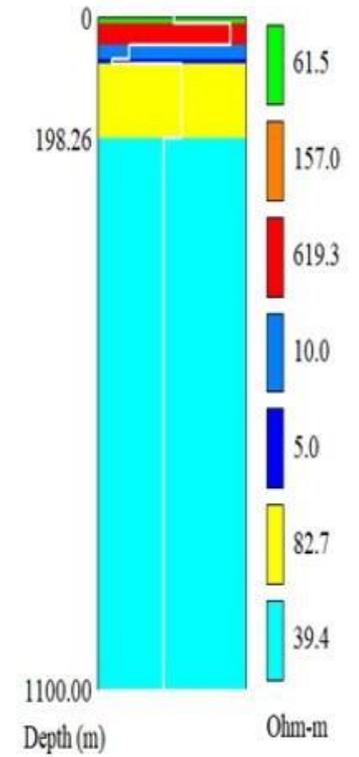


## SEV – PSD 1 A

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	3.353	79
15	5	1.194	75
20	5	0.806	95
30	5	0.451	124
30	15	1.698	120
40	15	1.076	155
50	15	0.814	194
70	15	0.594	291
100	15	0.269	275
100	50	1.019	240
150	50	0.409	257
200	50	0.133	157
300	50	0.037	103
300	150	0.105	74
400	150	0.047	68
500	150	0.024	58
700	150	0.010	50
1000	150	0.004	41
1000	500	0.023	54
1500	500	0.005	33
2000	500	0.016	191

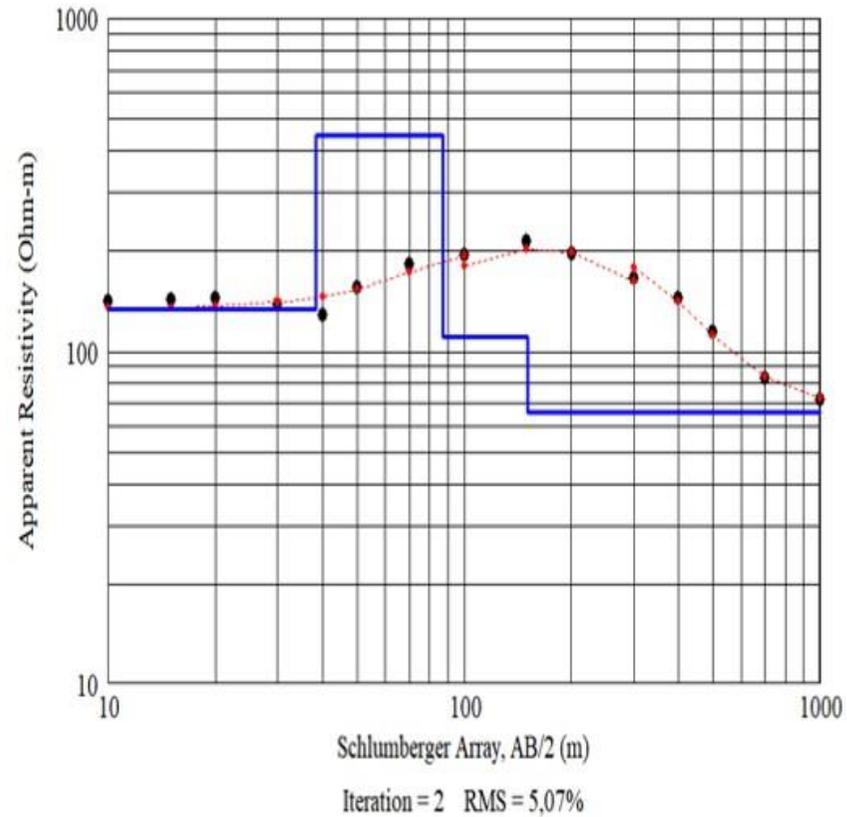


**Layered Resistivity Model**

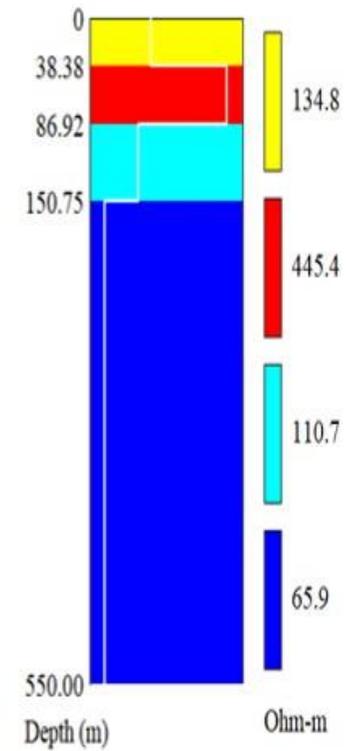


## SEV – PSD 2

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	5.984	141
15	5	2.276	143
20	5	1.222	144
30	5	0.520	143
30	15	1.882	133
40	15	0.889	128
50	15	0.655	156
70	15	0.374	183
100	15	0.197	202
100	50	0.802	189
150	50	0.342	215
200	50	0.168	198
300	50	0.066	181
300	150	0.214	151
400	150	0.100	144
500	150	0.048	115
700	150	0.017	83
1000	150	0.007	72

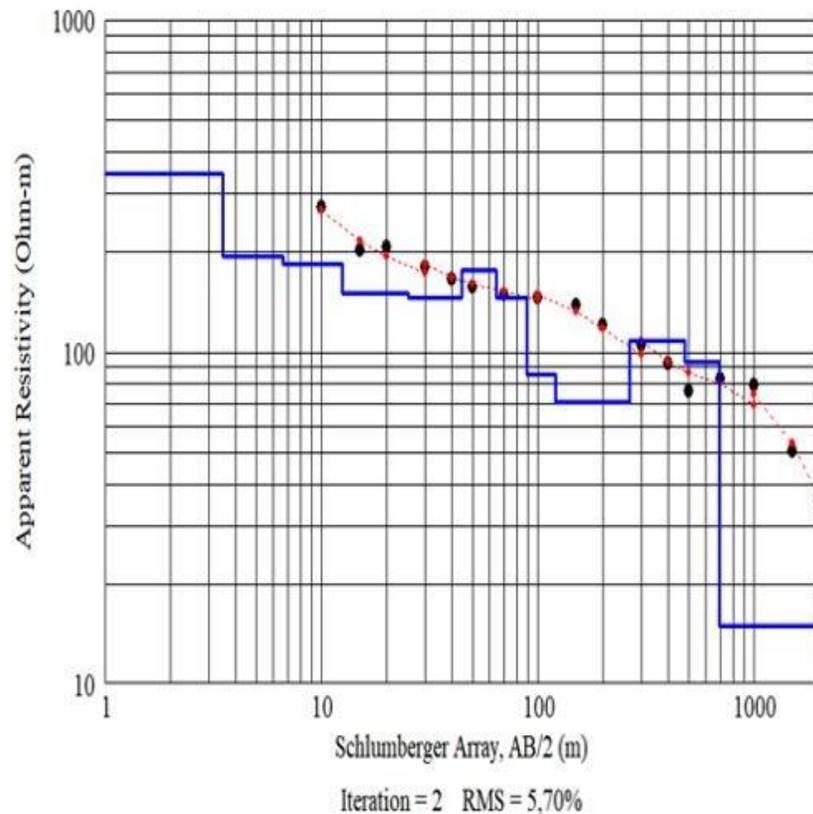


### Layered Resistivity Model

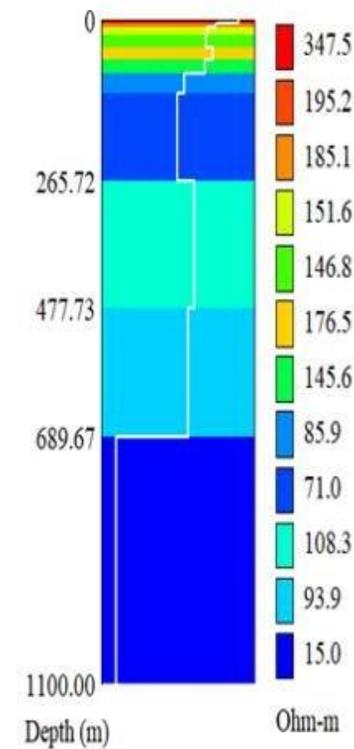


## SEV – PSD 3

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	11.629	274
15	5	3.247	204
20	5	1.766	208
30	5	0.717	197
30	15	2.348	166
40	15	1.153	166
50	15	0.659	157
70	15	0.306	150
100	15	0.146	149
100	50	0.603	142
150	50	0.221	139
200	50	0.102	120
300	50	0.037	103
300	150	0.153	108
400	150	0.064	92
500	150	0.032	76
700	150	0.017	85
1000	150	0.008	79
1000	500	0.033	78
1500	500	0.008	53
2000	500	0.003	35

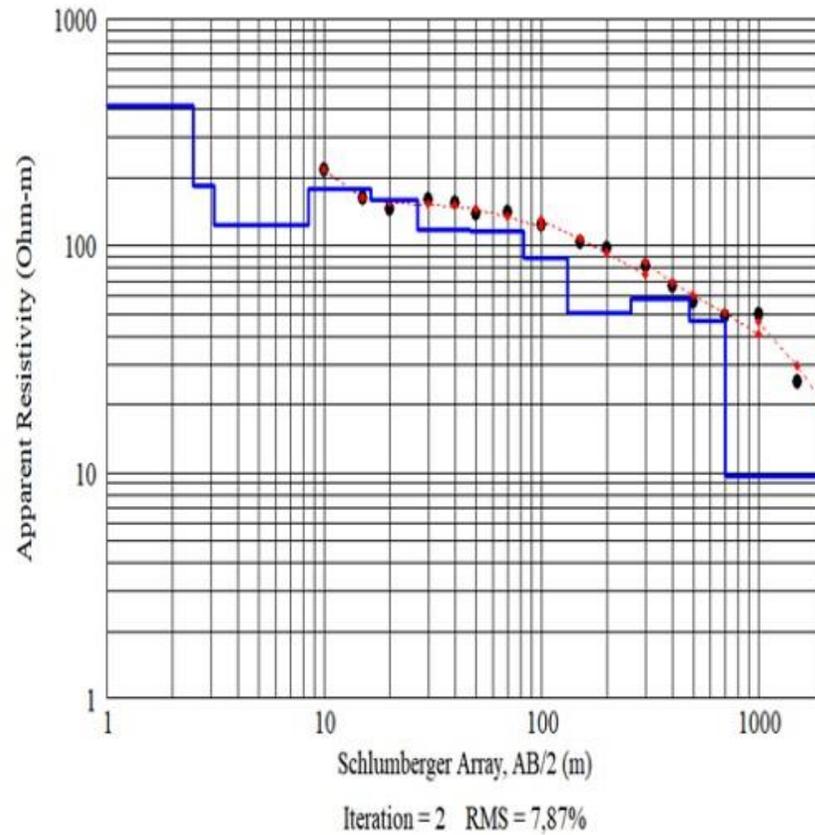


### Layered Resistivity Model

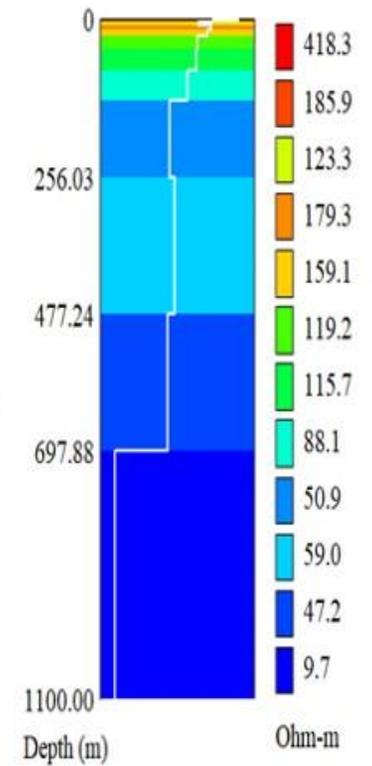


## SEV – PSD 4

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	9.210	217
15	5	2.594	163
20	5	1.239	146
30	5	0.618	170
30	15	2.108	149
40	15	1.083	156
50	15	0.579	138
70	15	0.290	142
100	15	0.116	119
100	50	0.552	130
150	50	0.167	105
200	50	0.083	98
300	50	0.031	86
300	150	0.113	80
400	150	0.046	66
500	150	0.024	58
700	150	0.010	49
1000	150	0.006	59
1000	500	0.017	41
1500	500	0.004	28
2000	500	0.002	22

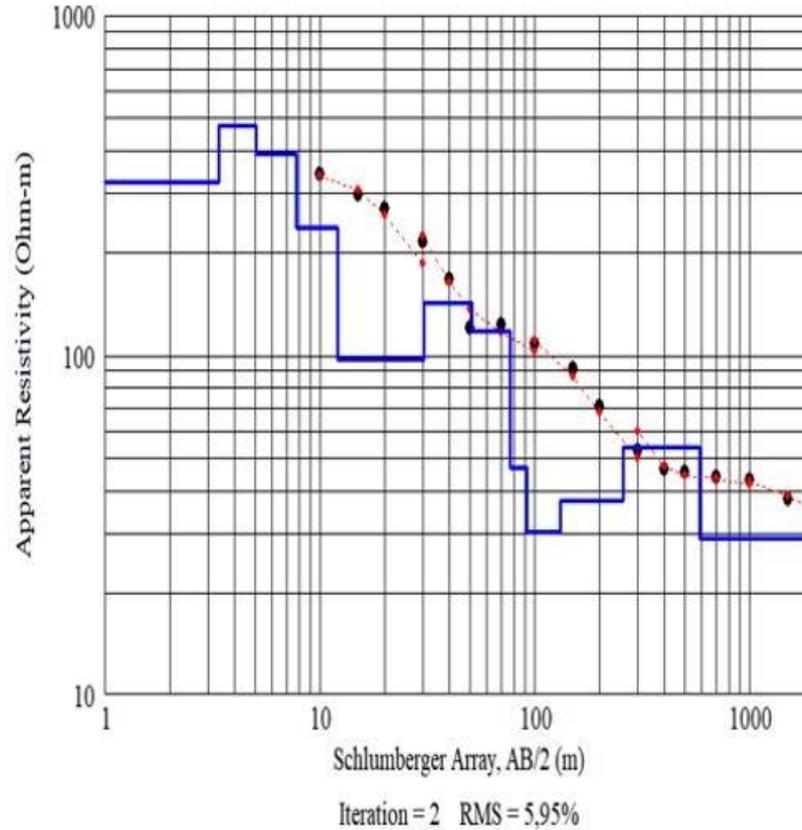


### Layered Resistivity Model

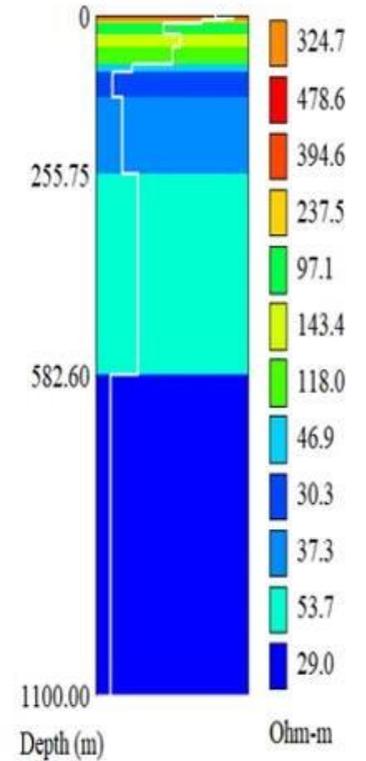


## SEV – PSD 5

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	14.557	343
15	5	4.743	298
20	5	2.309	272
30	5	0.782	215
30	15	3.070	217
40	15	1.160	167
50	15	0.508	141
70	15	0.251	123
100	15	0.101	103
100	50	0.480	113
150	50	0.145	91
200	50	0.060	71
300	50	0.019	51
300	150	0.075	53
400	150	0.032	46
500	150	0.019	46
700	150	0.009	43
1000	150	0.004	39
1000	500	0.019	45
1500	500	0.006	40
2000	500	0.003	39

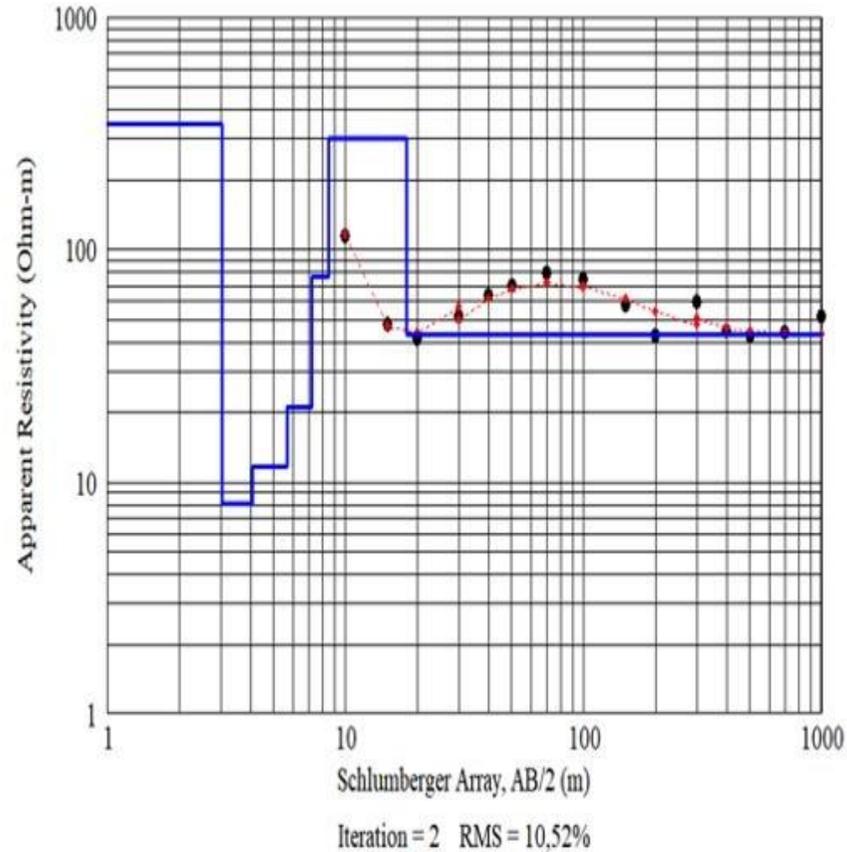


## Layered Resistivity Model

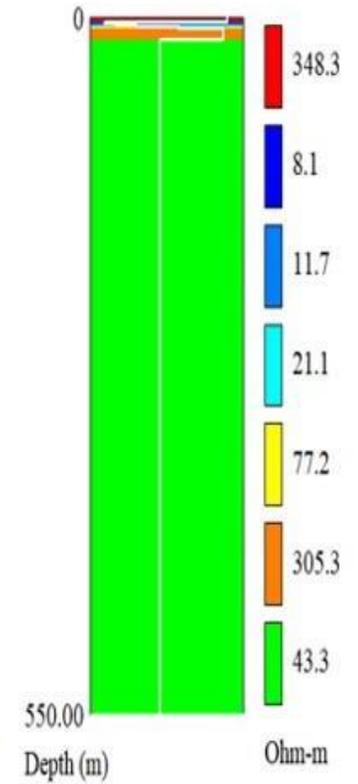


## SEV – PSD 6

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	4.881	115
15	5	0.764	48
20	5	0.348	41
30	5	0.186	51
30	15	0.736	52
40	15	0.444	64
50	15	0.294	70
70	15	0.161	79
100	15	0.074	76
100	50	0.314	74
150	50	0.092	58
200	50	0.036	42
300	50	0.024	65
300	150	0.075	53
400	150	0.031	45
500	150	0.018	42
700	150	0.009	43
1000	150	0.005	56

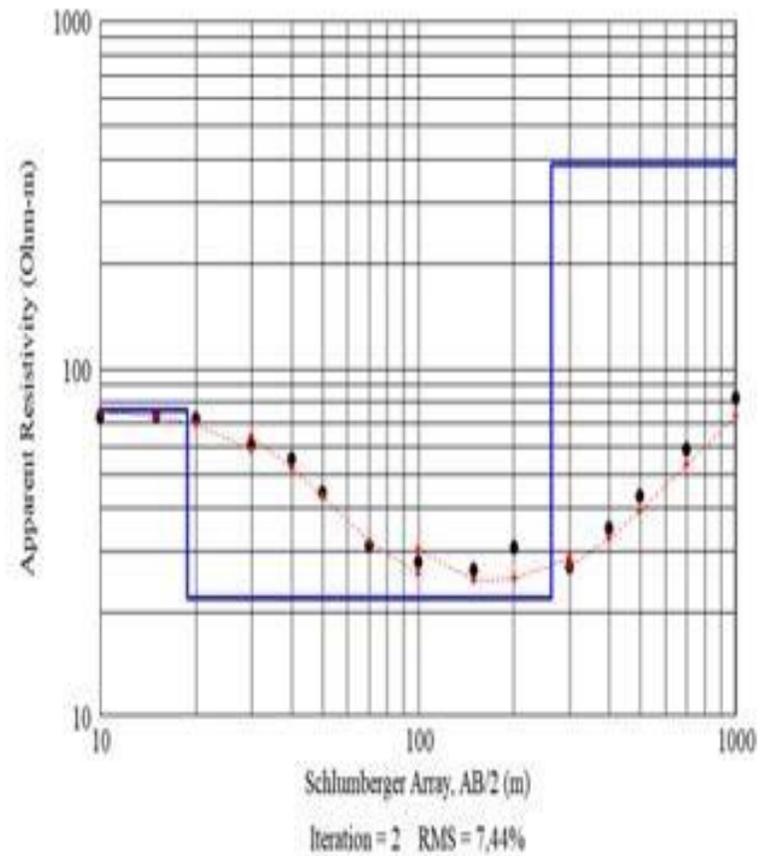


## Layered Resistivity Model

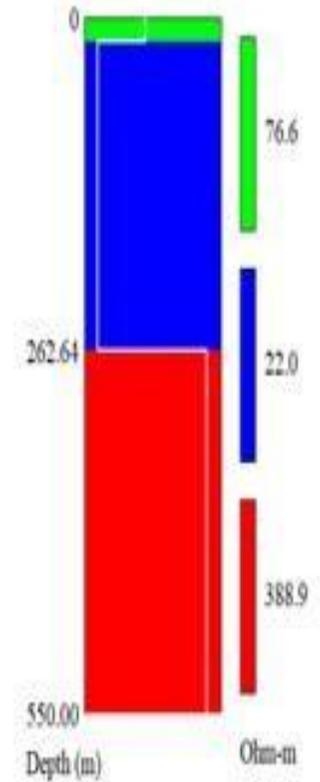


## SEV - PVN 1

	AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho(Ohm-m)
	10	5	3.056	72
	15	5	1.162	73
	20	5	0.611	72
	30	5	0.211	58
	30	15	0.891	63
	40	15	0.382	55
	50	15	0.185	44
	70	15	0.063	31
	100	15	0.026	26.4
	100	50	0.124	29.3
	150	50	0.042	26.3
	200	50	0.026	30.6
	300	50	0.010	27.6
	300	150	0.037	26.3
	400	150	0.024	34.3
	500	150	0.018	43
	700	150	0.012	61
	1000	150	0.008	85

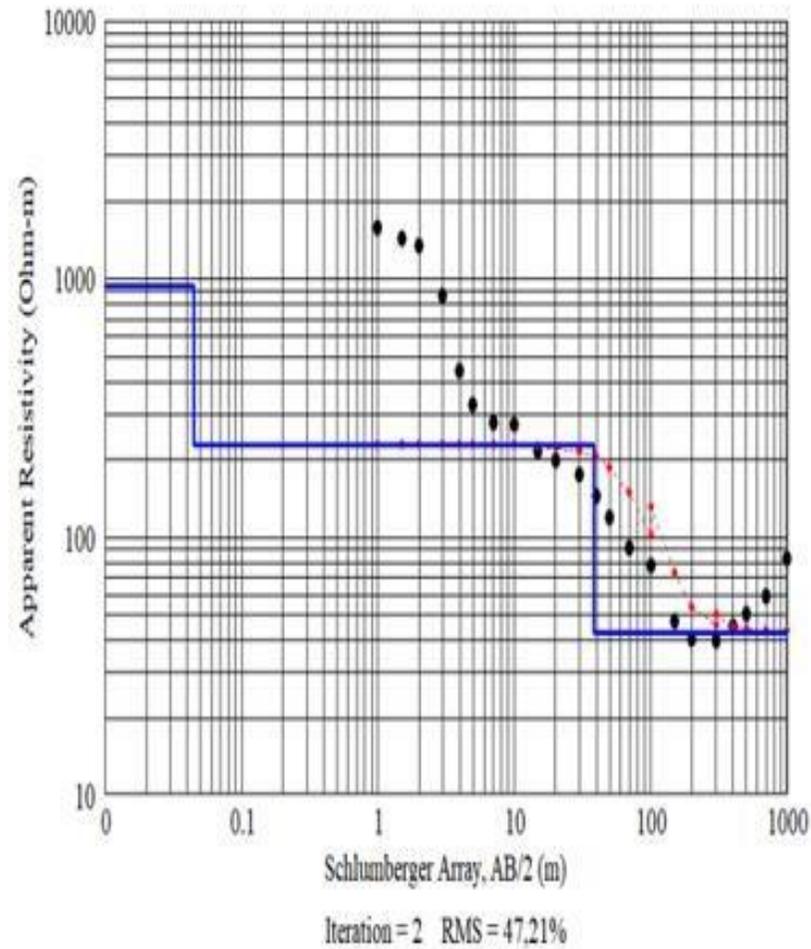


**Layered Resistivity Model**

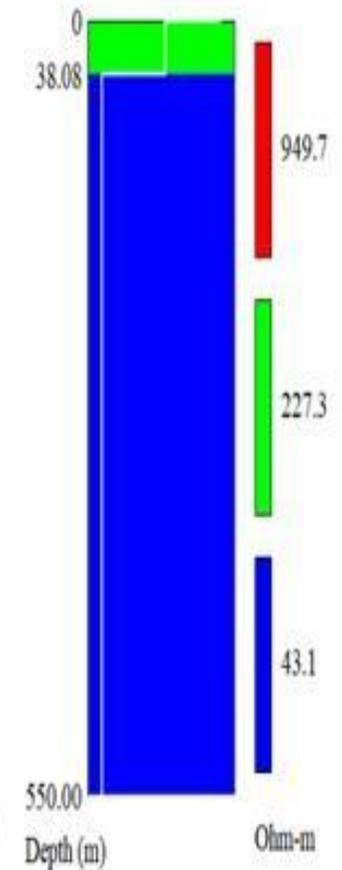


## SEV – PVN 2

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
1	0.5	668.026	1574
1.5	0.5	227.910	1432
2	0.5	113.912	1342
3	0.5	30.194	830
3	1.5	126.758	896
4	1.5	30.349	437
5	1.5	13.684	326
7	1.5	5.658	277
10	1.5	2.540	260
10	5	11.968	282
15	5	3.406	214
20	5	1.681	198
30	5	0.644	177
30	15	2.462	174
40	15	1.000	144
50	15	0.495	118
70	15	0.186	92
100	15	0.069	71
100	50	0.357	84
150	50	0.075	47
200	50	0.034	40
300	50	0.013	37
300	150	0.062	44
400	150	0.031	44
500	150	0.021	51
700	150	0.012	61
1000	150	0.008	83

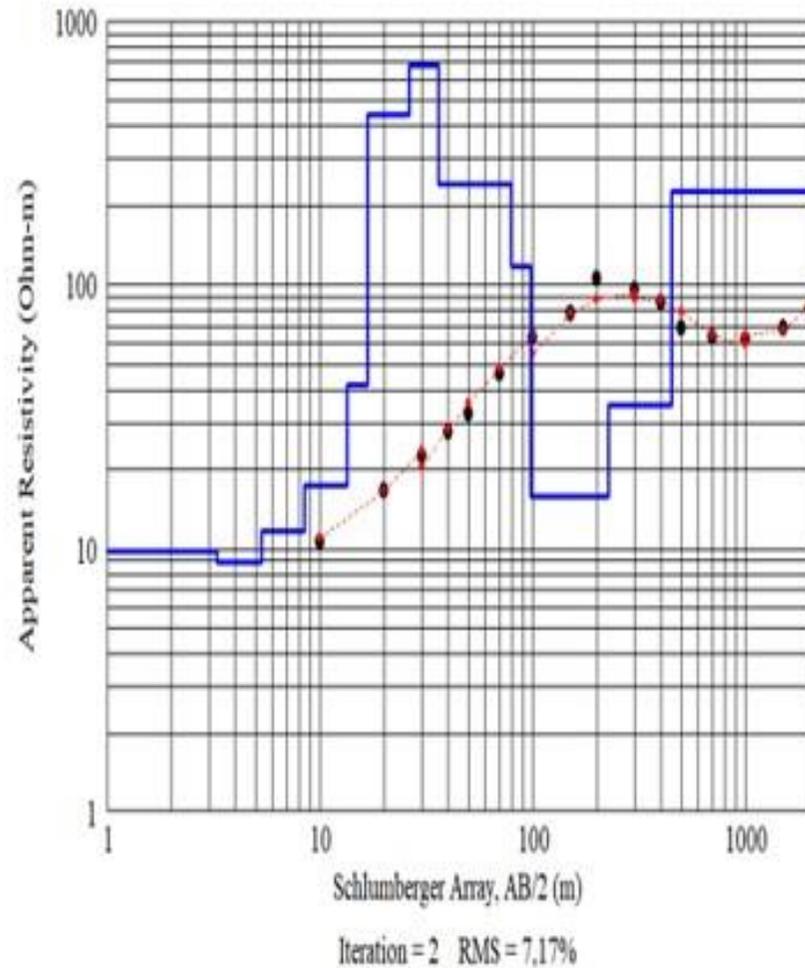


## Layered Resistivity Model

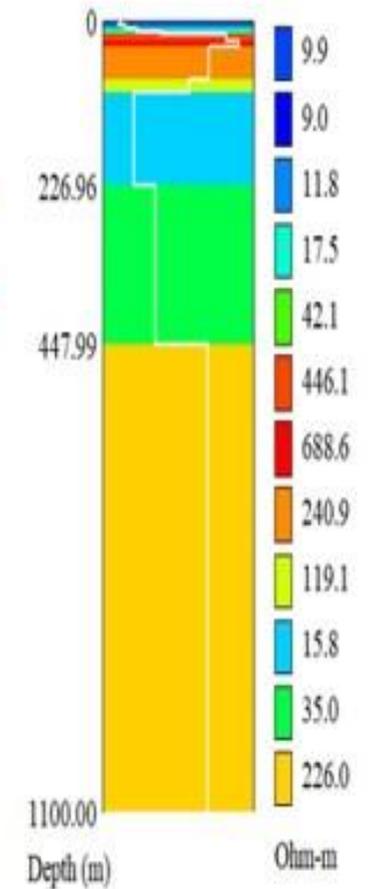


### SEV – PVN 3

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I(mV/mA)	Rho(Ohm-m)
10	5	0.454	10.7
15			13.5
5	0.215		16.6
20	5	0.141	23.5
30	5	0.085	21.7
30	15	0.307	27.6
40	15	0.192	32.5
50	15	0.136	46
70	15	0.094	65
100	15	0.063	63
100	50	0.267	78
150	50	0.124	106
200	50	0.090	103
300	50	0.037	91
300	150	0.129	86
400	150	0.060	70
500	150	0.029	66
700	150	0.013	65
1000	150	0.006	64
1000	500	0.027	66
1500	500	0.011	84
2000	500	0.007	

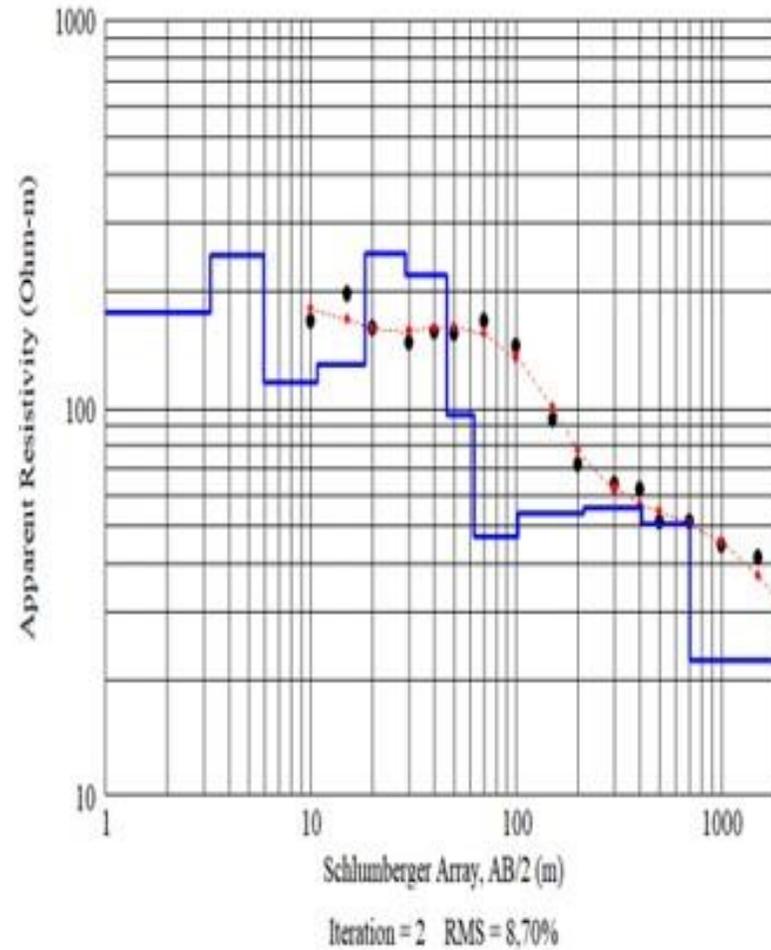


### Layered Resistivity Model

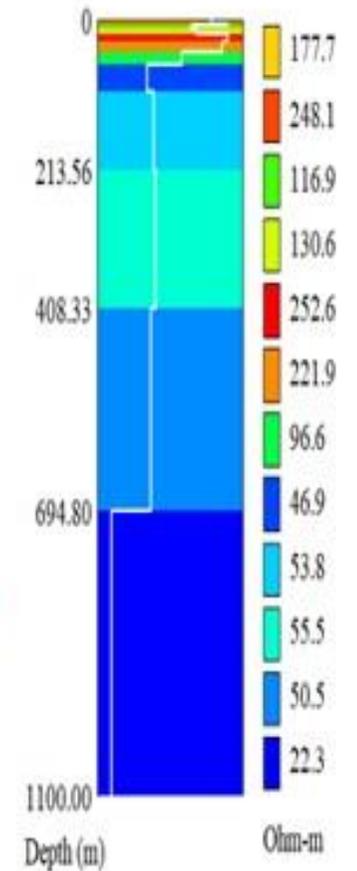


### SEV – PVN 4

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho(Ohm-m)
10	2.5	2.852	168
15	2.5	1.433	197
20	2.5	0.651	161
30	2.5	0.264	148
30	7.5	0.832	147
40	7.5	0.486	157
50	7.5	0.303	155
70	7.5	0.165	167
100	7.5	0.066	137
100	25	0.260	153
150	25	0.068	94
200	25	0.029	72
300	25	0.011	62
300	75	0.037	65
400	75	0.019	60
500	75	0.010	51
700	75	0.005	52
1000	75	0.002	42
1000	250	0.008	46
1500	250	0.003	35
2000	250	0.001	32

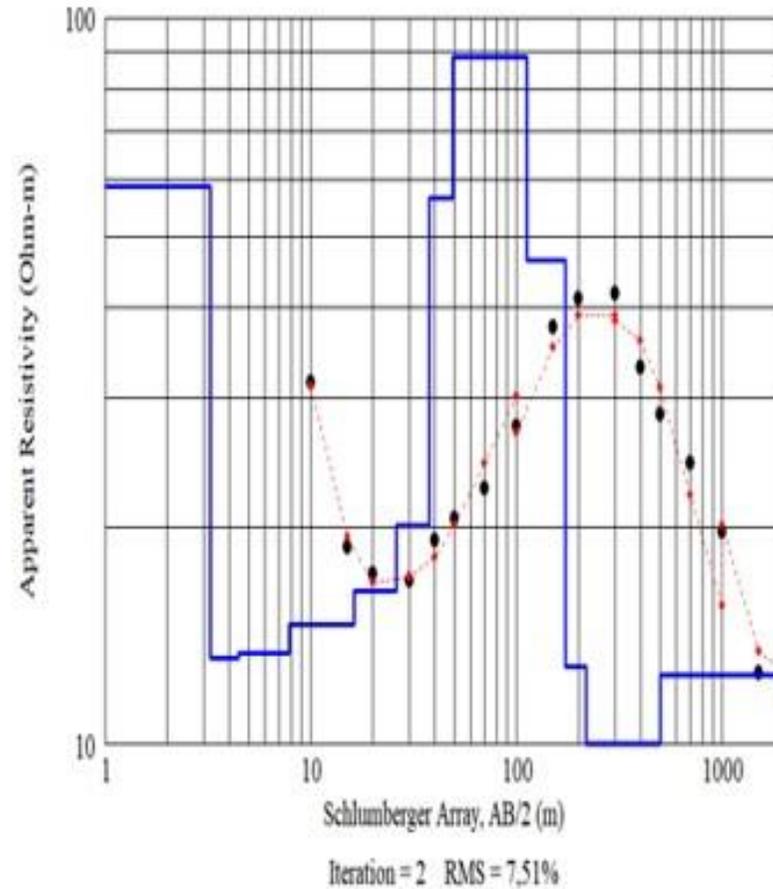


### Layered Resistivity Model

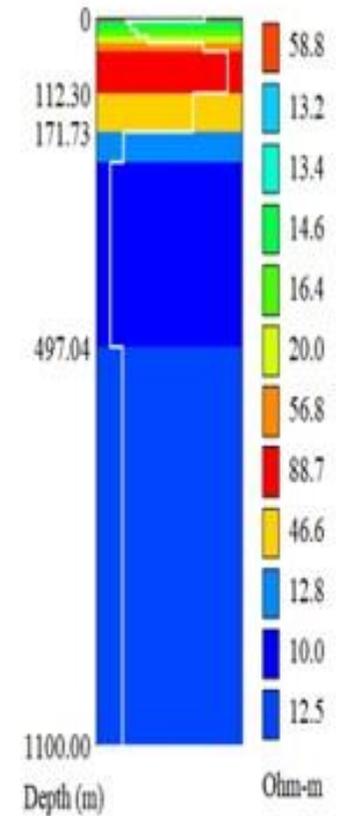


### SEV – PVN 5

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho(Ohm-m)
10	2.5	1.341	79
15	2.5	0.298	41
20	2.5	0.146	36
30	2.5	0.066	37
30	7.5	0.221	39
40	7.5	0.133	43
50	7.5	0.086	44
70	7.5	0.046	47
100	7.5	0.028	59
100	25	0.112	66
150	25	0.060	83
200	25	0.035	87
300	25	0.017	95
300	75	0.053	94
400	75	0.023	73
500	75	0.012	63
700	75	0.005	55
1000	75	0.002	42
1000	250	0.008	45
1500	250	0.002	29
2000	250	0.001	25.6

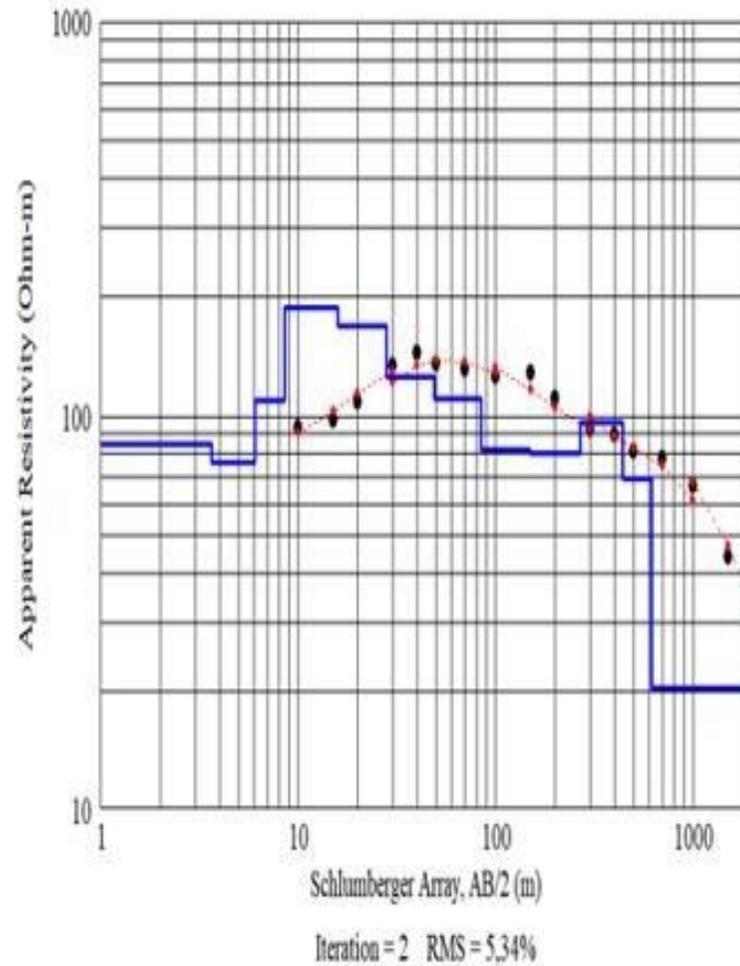


### Layered Resistivity Model

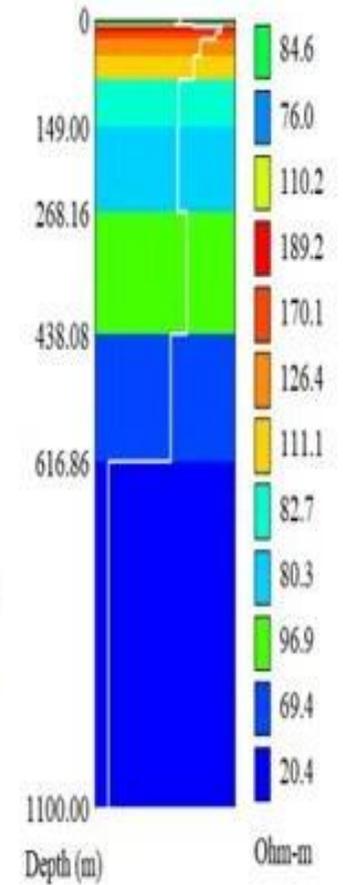


### SEV – PVN 6

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho(Ohm-m)
10	5	3.947	93
15	5	1.560	98
20	5	0.917	108
30	5	0.462	127
30	15	1.995	141
40	15	1.007	145
50	15	0.567	135
70	15	0.268	131
100	15	0.129	132
100	50	0.505	119
150	50	0.204	128
200	50	0.094	111
300	50	0.032	89
300	150	0.137	97
400	150	0.062	89
500	150	0.034	81
700	150	0.016	77
1000	150	0.007	76
1000	500	0.026	61
1500	500	0.007	44
2000	500	0.003	32

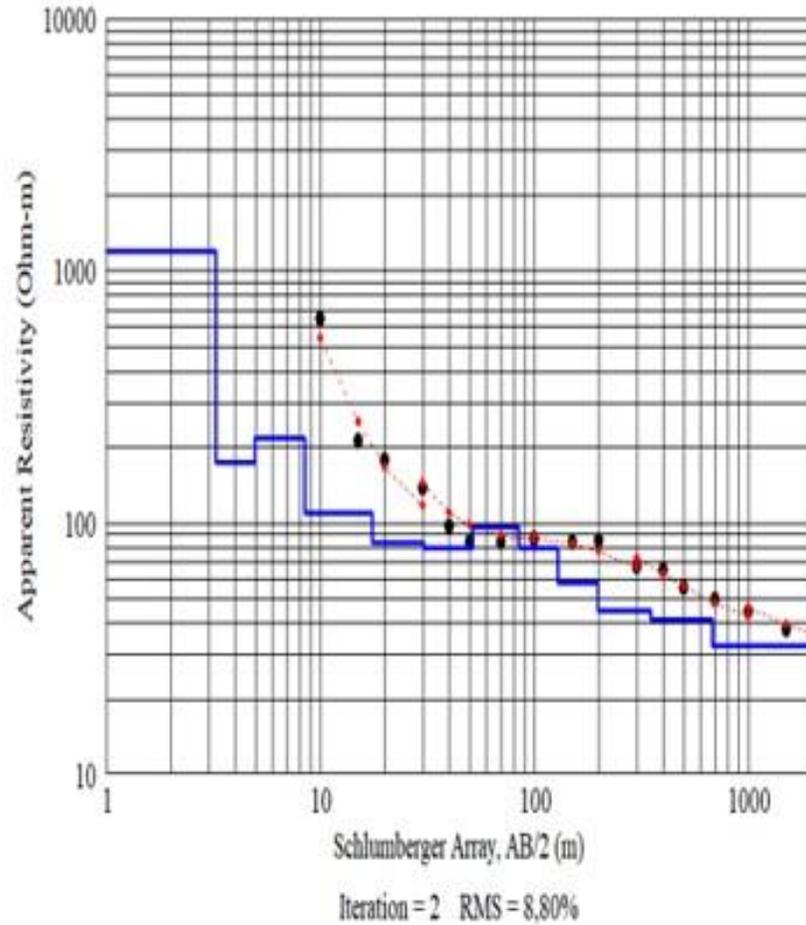


### Layered Resistivity Model

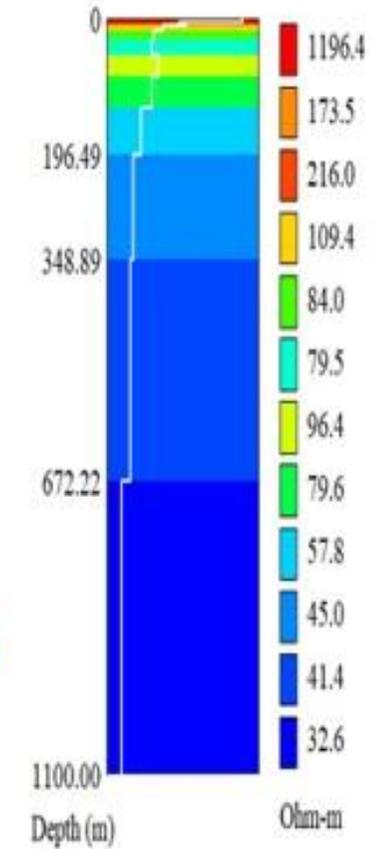


### SEV – PVN 7

AB/2 (m)	MN/2 (m)	V/I (mV/mA)	Rho (Ohm-m)
10	5	27.247	642
15	5	3.342	210
20	5	1.502	177
30	5	0.637	175
30	15	1.528	108
40	15	0.674	97
50	15	0.348	83
70	15	0.172	84
100	15	0.076	78
100	50	0.412	97
150	50	0.134	84
200	50	0.072	85
300	50	0.024	65
300	150	0.095	67
400	150	0.045	65
500	150	0.023	55
700	150	0.010	49
1000	150	0.004	46
1000	500	0.020	48
1500	500	0.006	37
2000	500	0.003	33



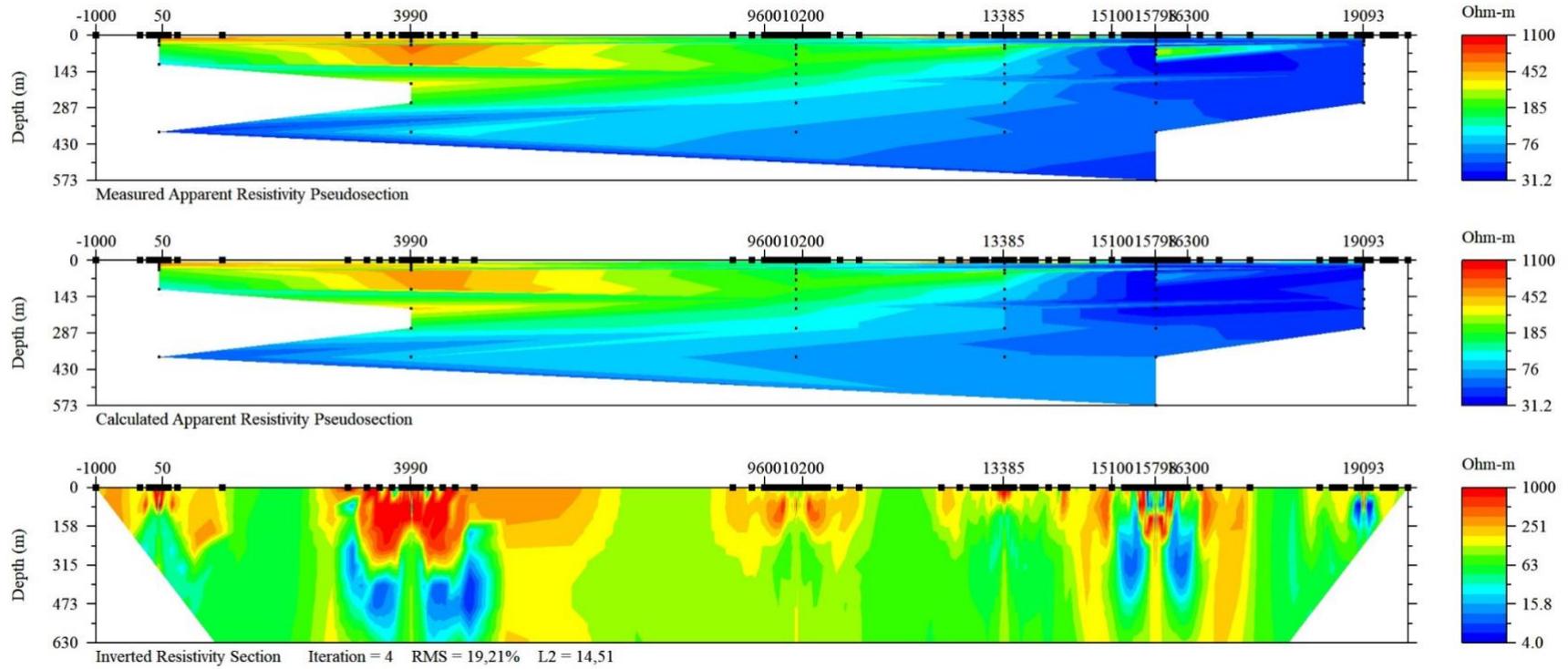
### Layered Resistivity Model



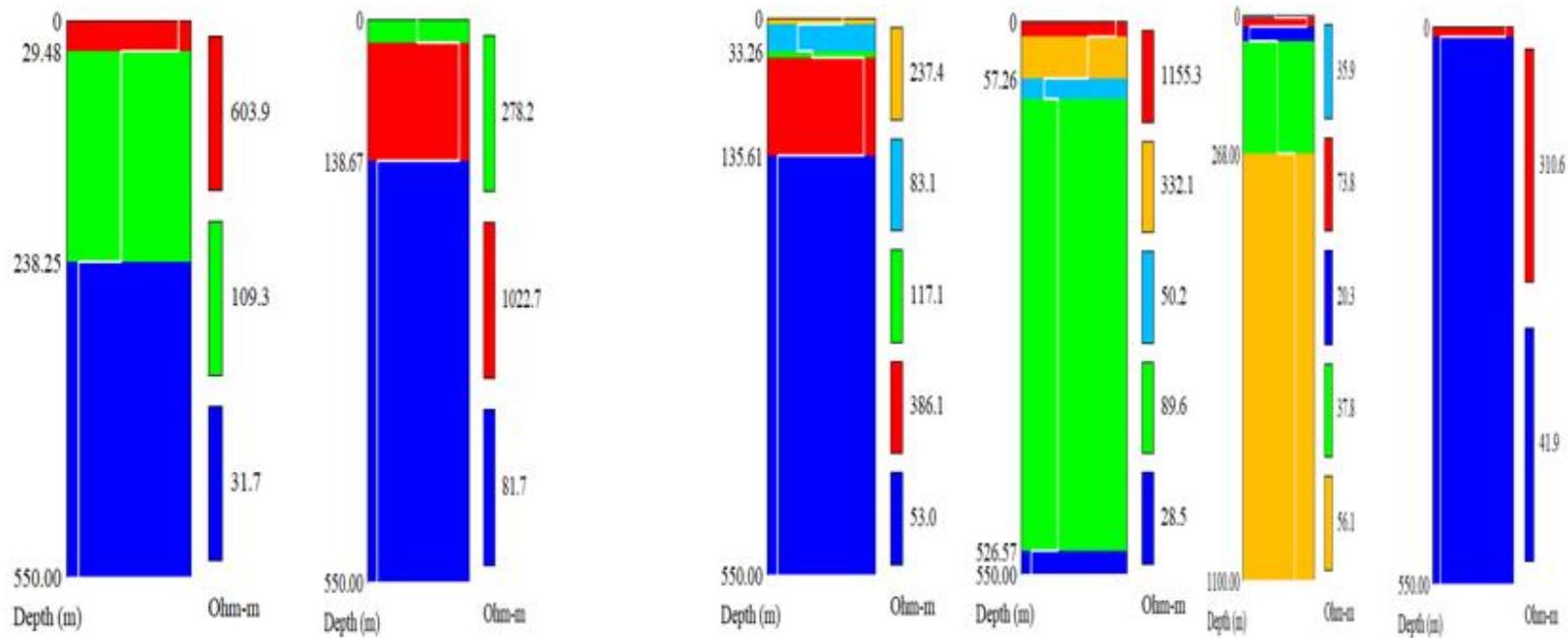
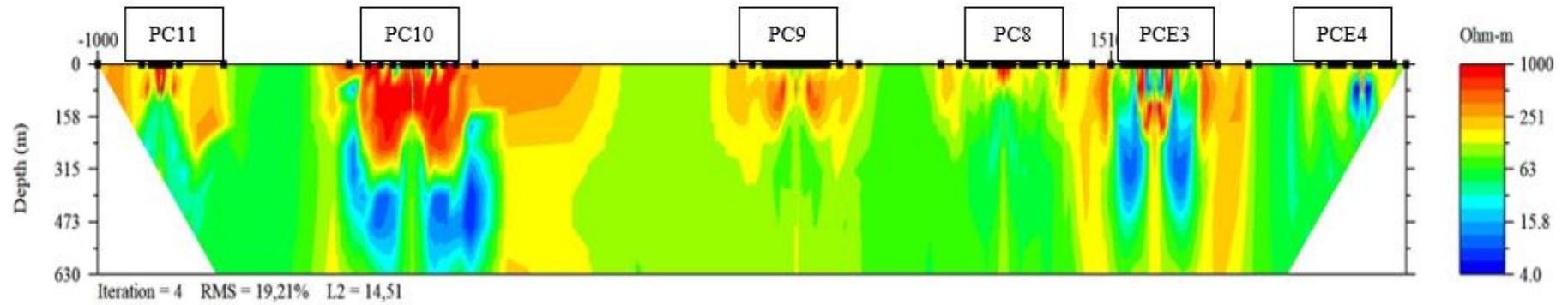
## **ANEXO II**

ANEXO II:

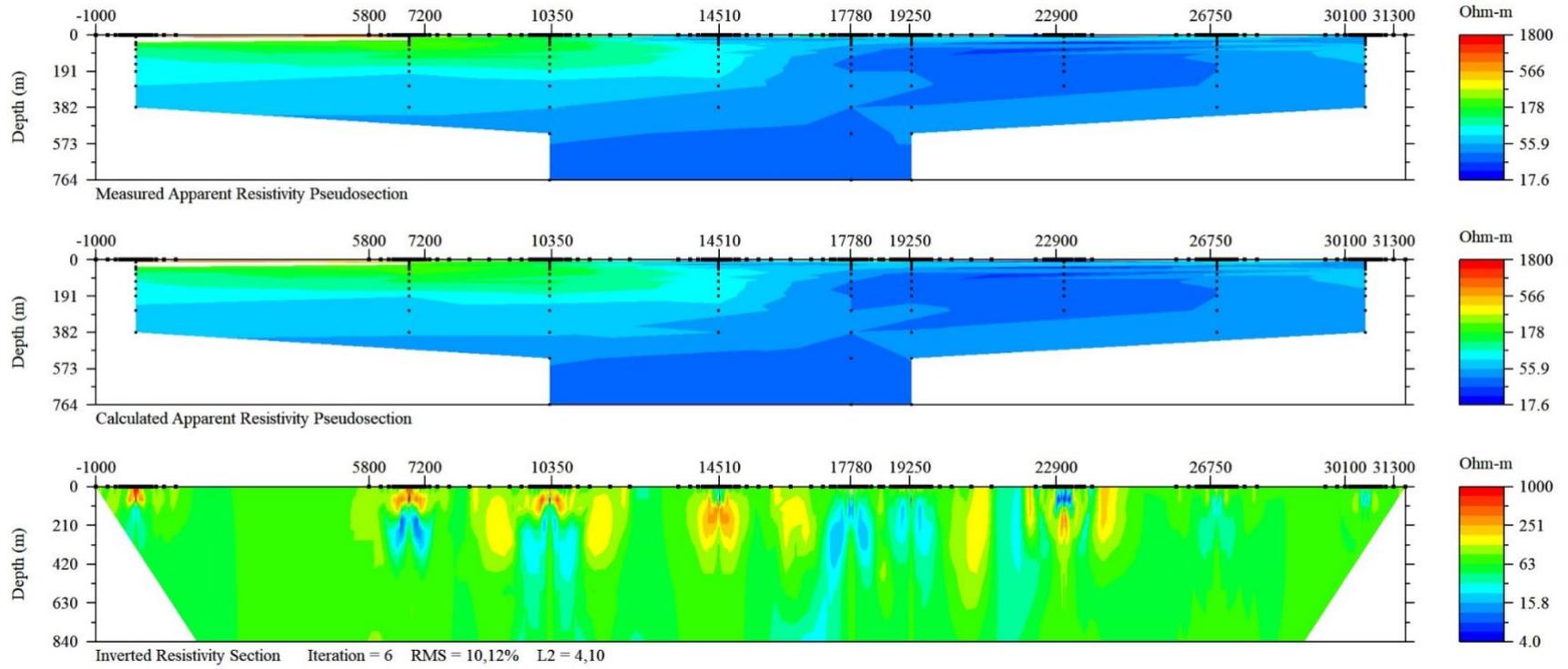
Perfil A - A'



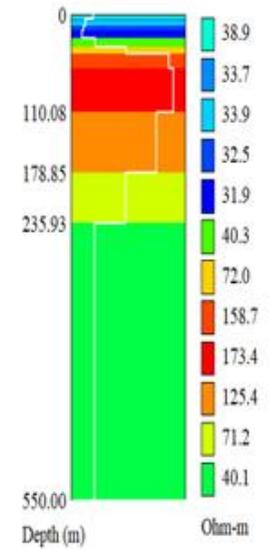
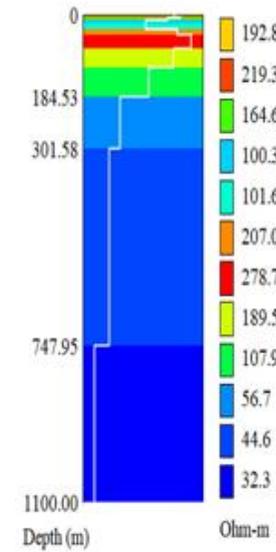
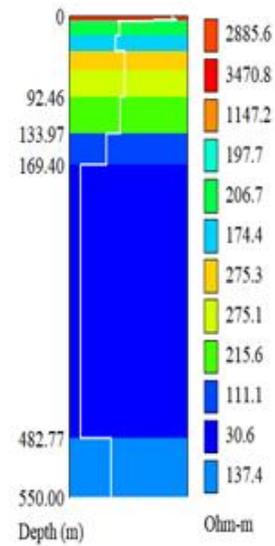
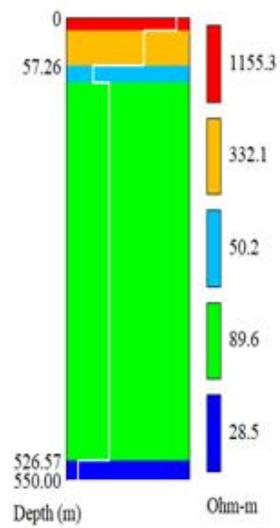
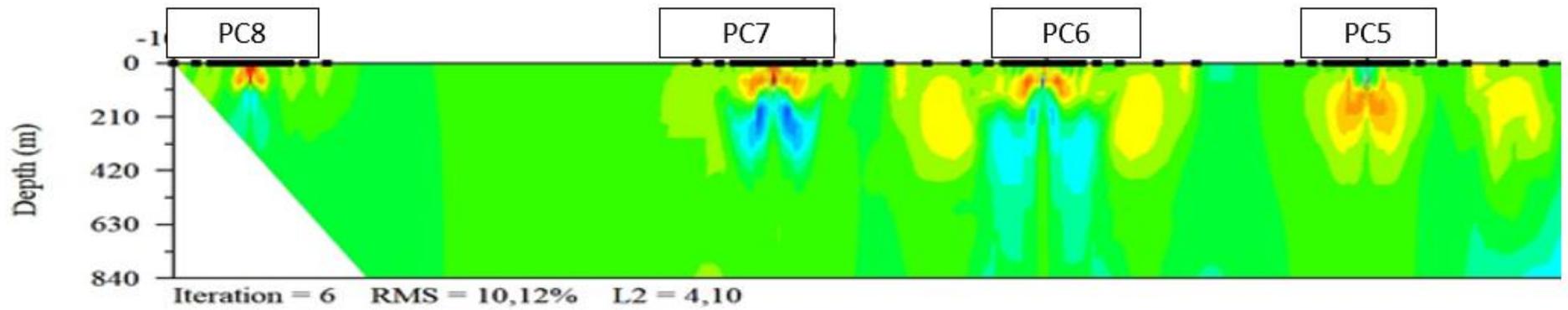
### Perfil A - A'



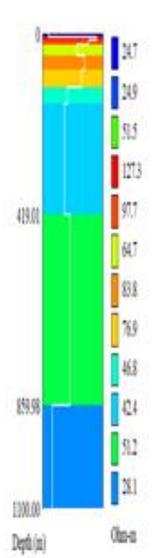
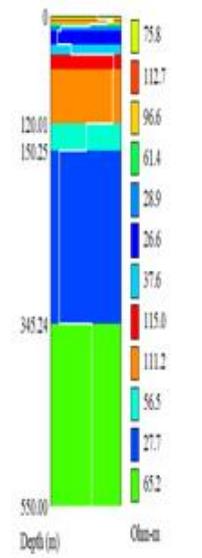
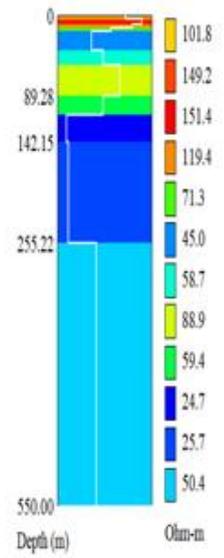
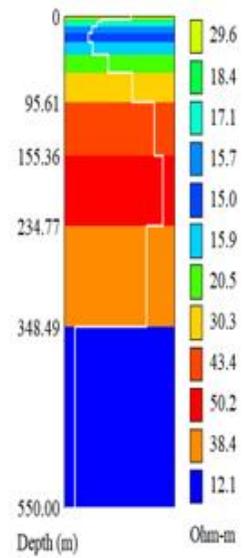
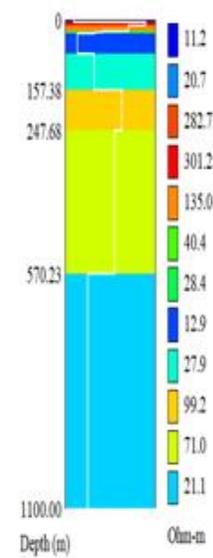
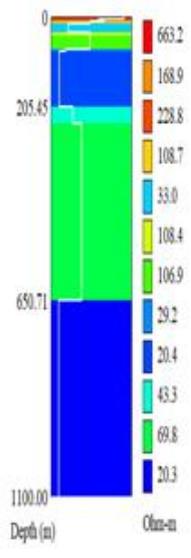
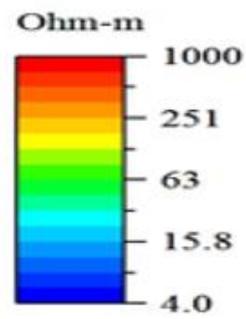
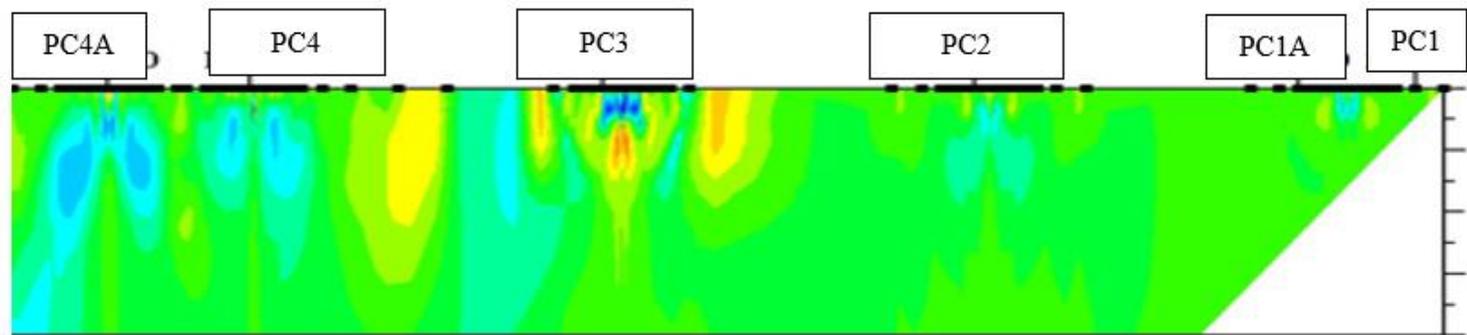
### Perfil B - B'



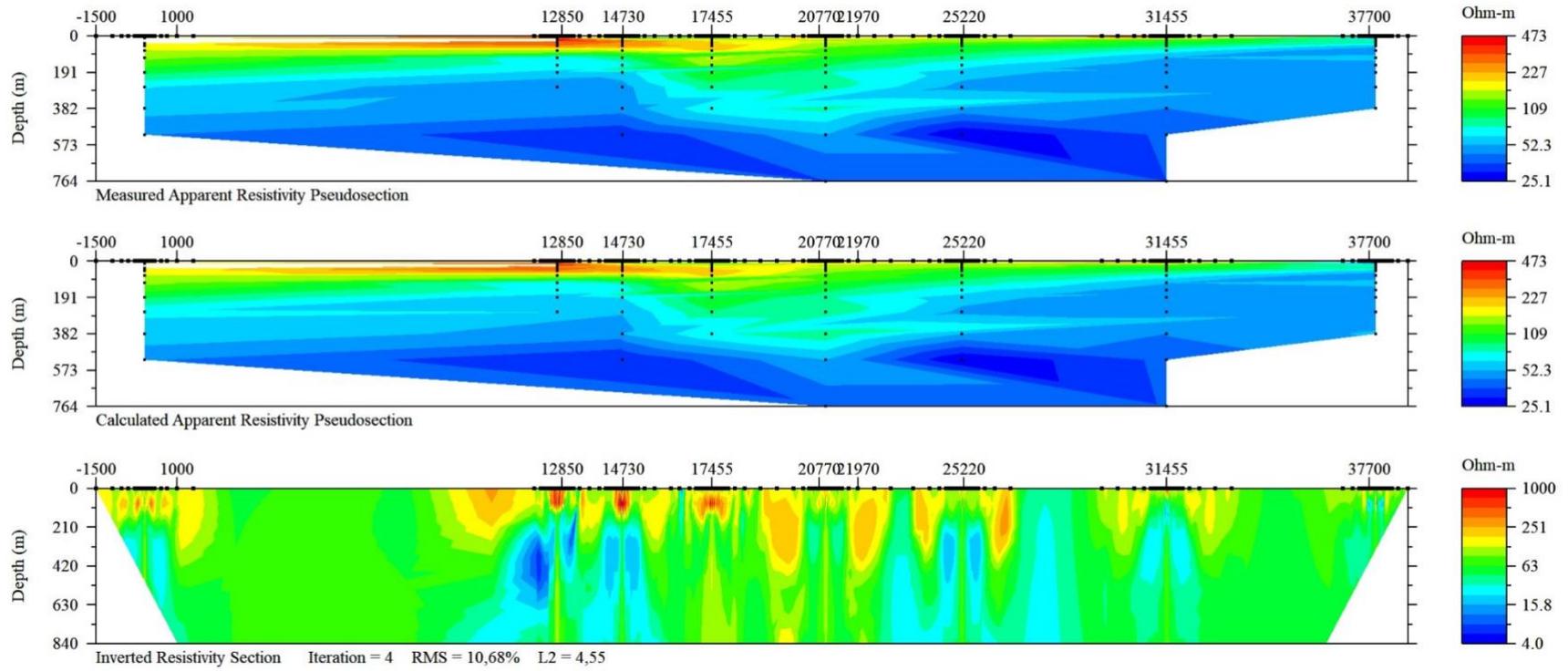
**Perfil B - B' (Lado B)**



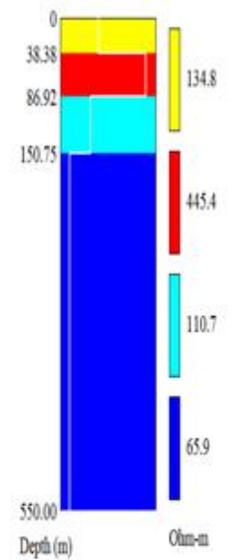
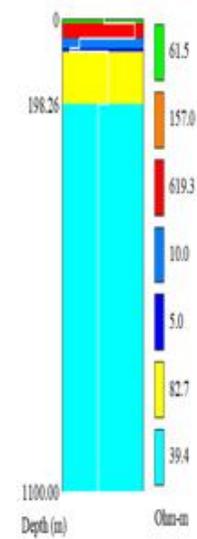
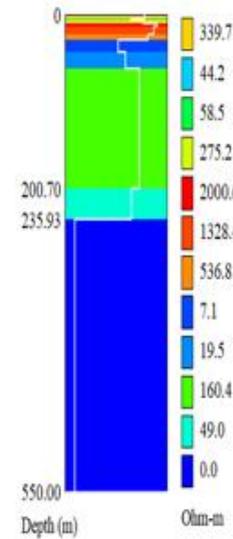
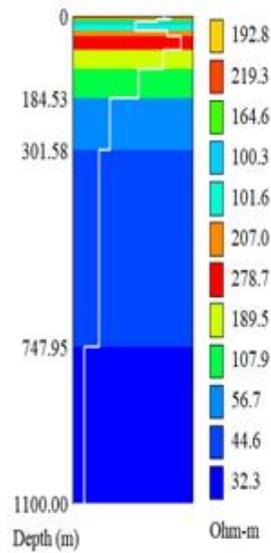
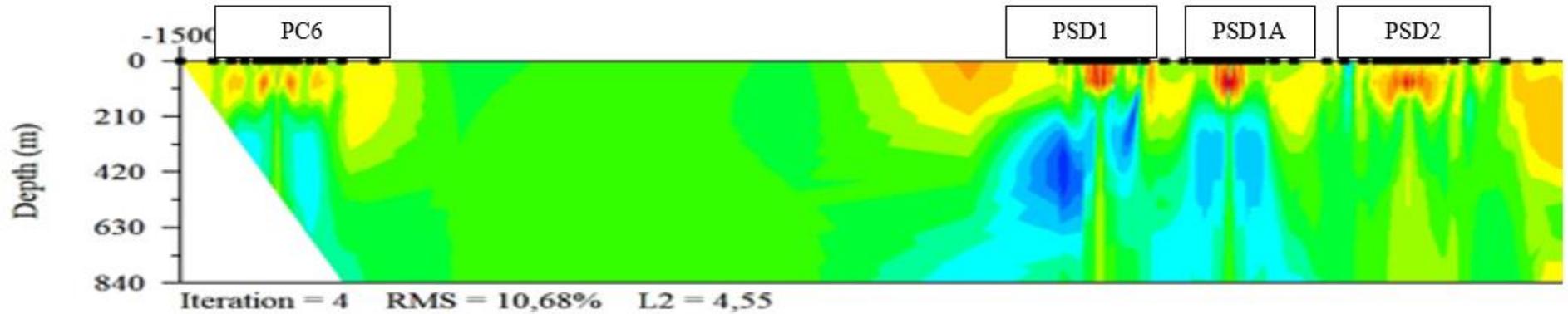
**Perfil B - B' (Lado B')**



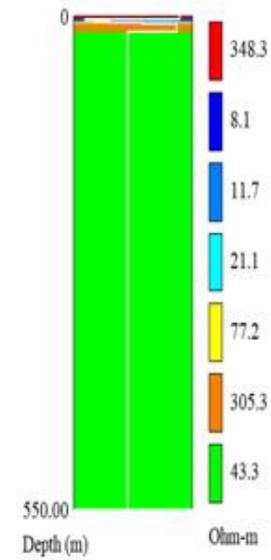
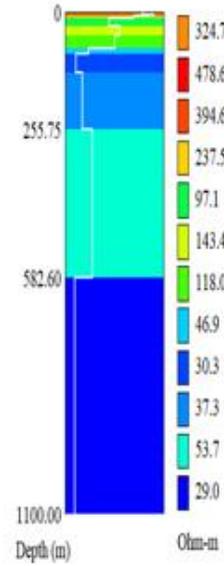
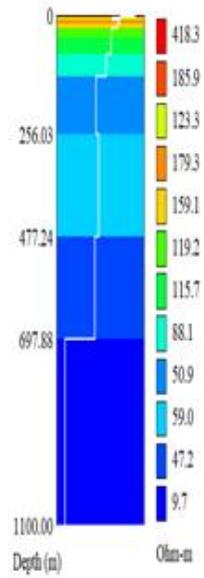
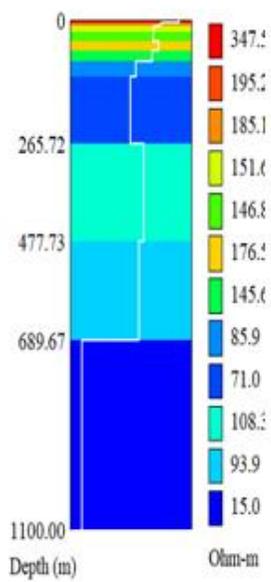
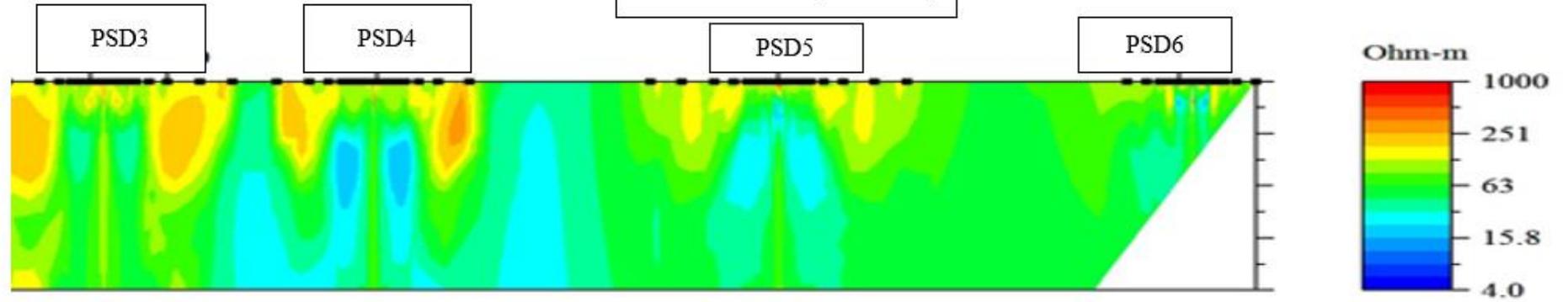
### Perfil C - C



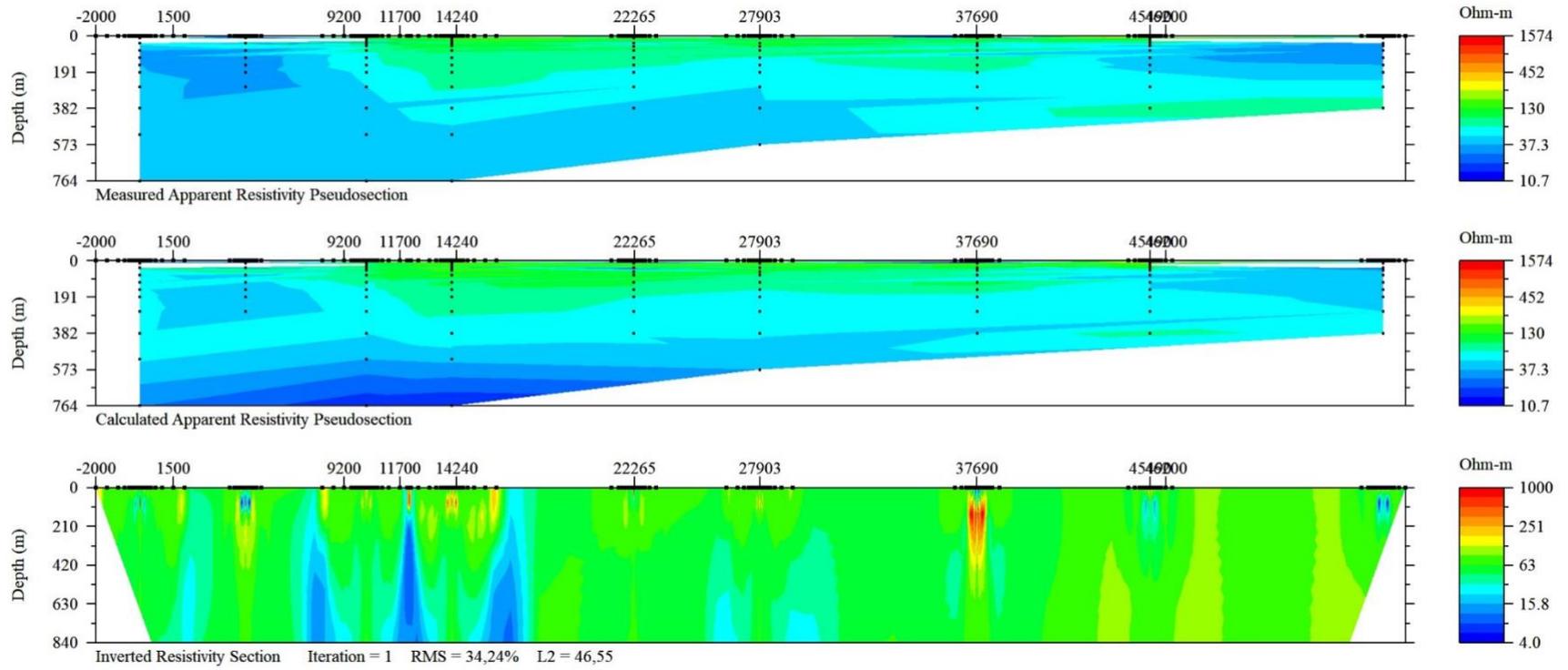
Perfil C - C' (Lado C)

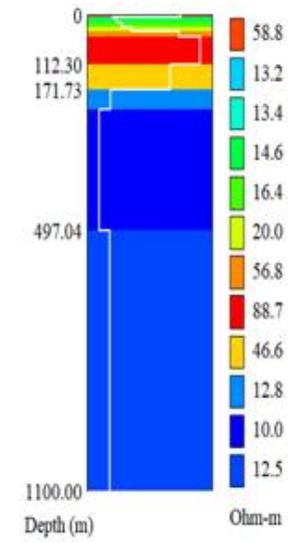
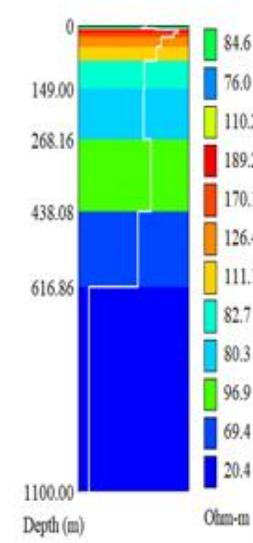
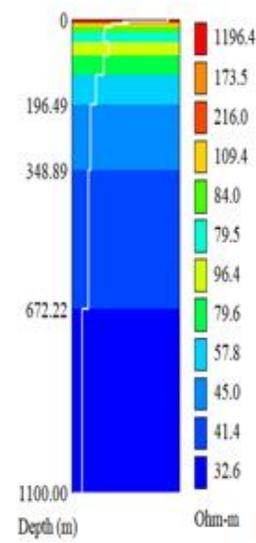
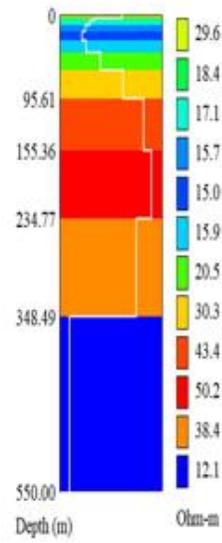
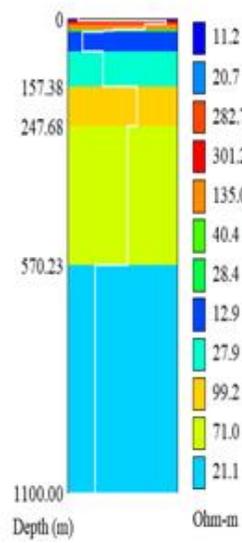
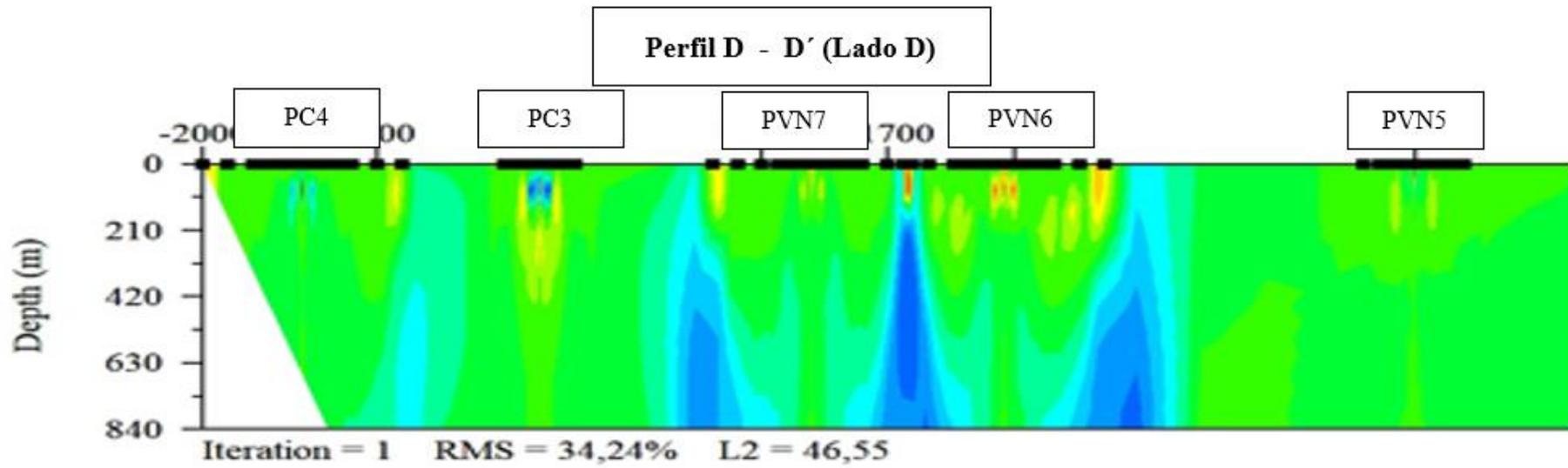


Perfil C - C' (Lado C')

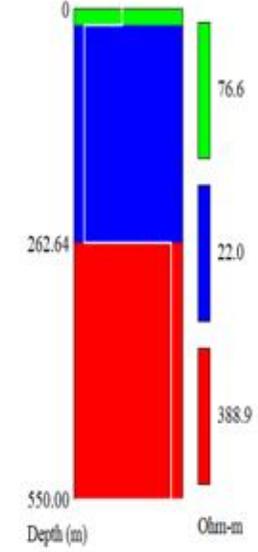
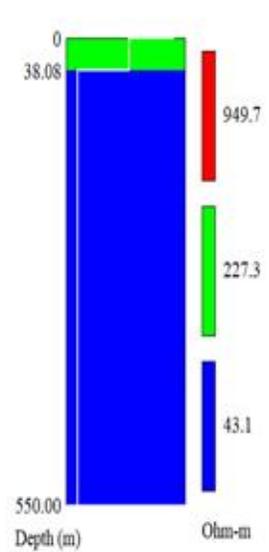
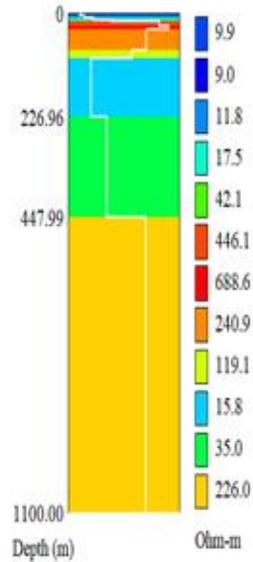
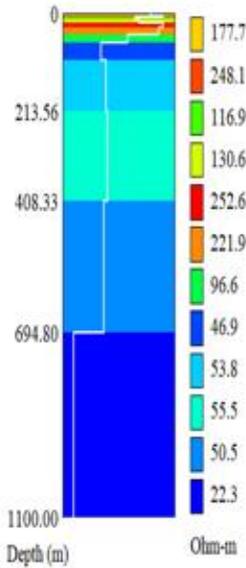
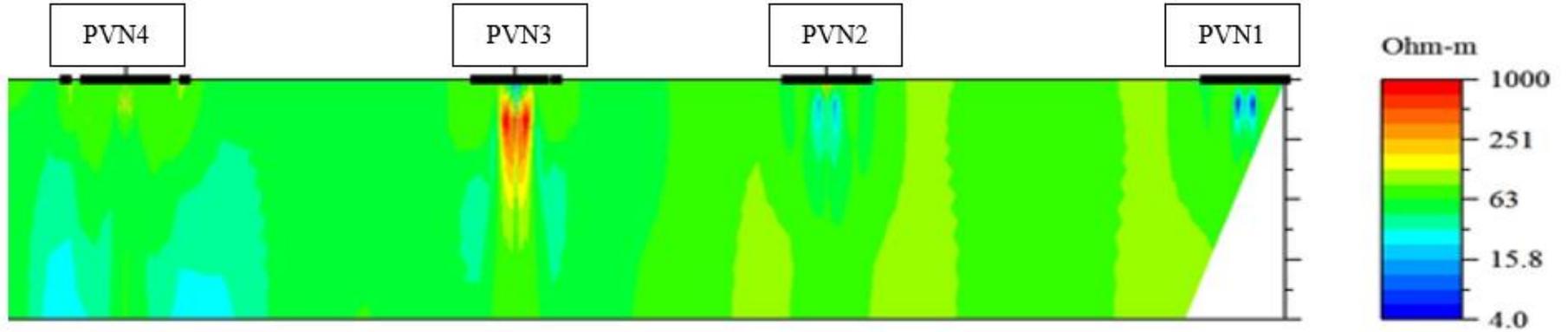


### Perfil D - D'

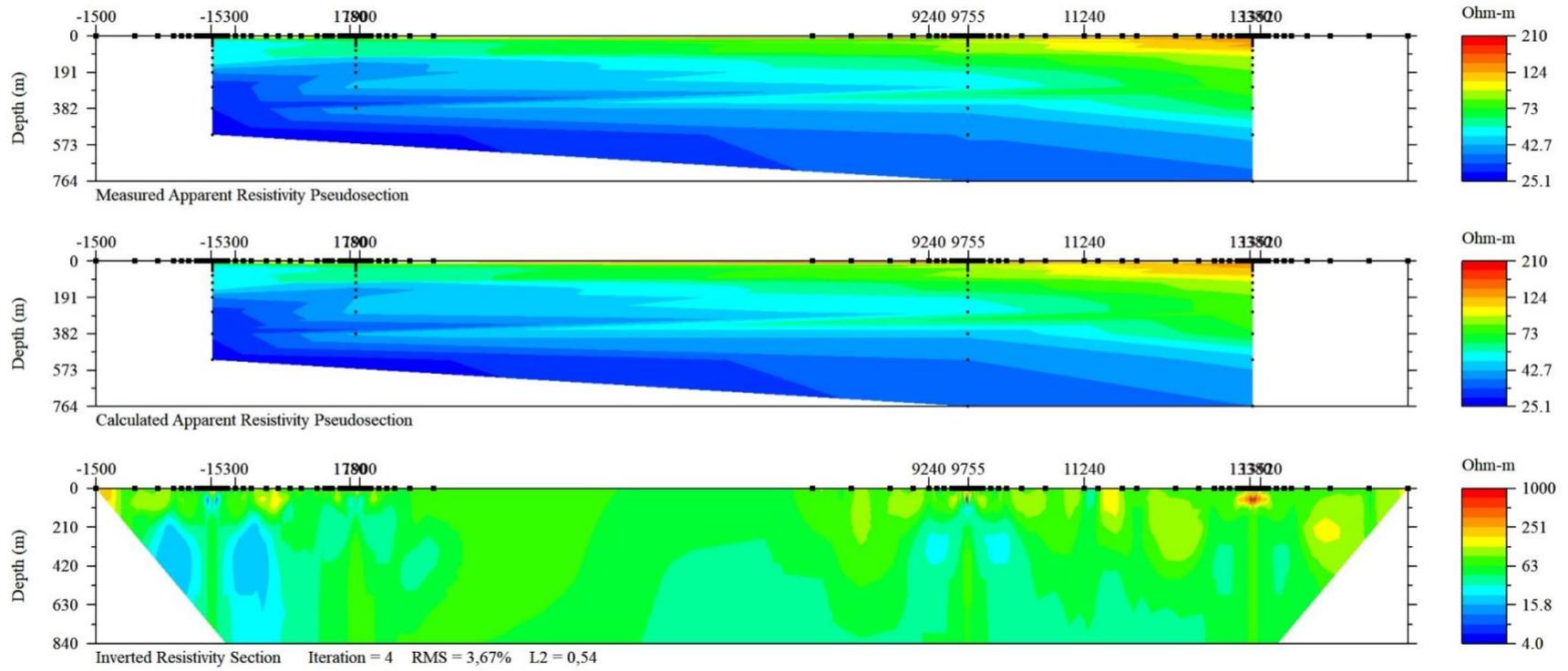




Perfil D - D' (Lado D')



### Perfil E - E'



### Perfil E - E'

