



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

GILVANA BEZERRA DE SOUSA

**PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA
NO MUNICÍPIO DE PIÇARRA-PA USANDO VLF E
RESISTIVIDADE**

BELÉM

2011

GILVANA BEZERRA DE SOUSA

**PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA
NO MUNICÍPIO DE PIÇARRA-PA USANDO VLF E
RESISTIVIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Geofísica.

Área de Concentração: Métodos Elétricos e Eletromagnéticos.

Orientador: Prof. Dr. José Gouvêa Luiz

BELÉM

2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

S725p

Sousa, Gilvana Bezerra de

Prospecção de água subterrânea no município de Piçarra-PA usando VLF e resistividade / Gilvana Bezerra de Sousa; Orientador: José Gouvêa Luiz - 2011.

71 fl.: il.

Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

1. Geofísica. 2. Prospecção de água. 3. VLF. 4. Eletroresistividade. I. Luiz, José Gouvêa, *orient.* II. Universidade Federal do Pará III. Título.

CDD 22º ed.: 551

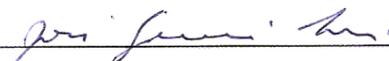
GILVANA BEZERRA DE SOUSA

**PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA
NO MUNICÍPIO DE PIÇARRA-PA USANDO VLF E
RESISTIVIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Geofísica.
Área de Concentração: Métodos Elétricos e Eletromagnéticos.

Data de aprovação: ___/___/___

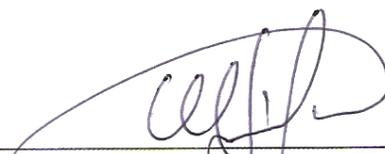
Banca Examinadora:



Prof. Dr. José Gouvêa Luiz - Orientador
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Welitom Rodrigues Borges -
Membro
Universidade de Brasília



Prof. Dr. Marcos Welby Correa Silva -
Membro
Universidade Federal do Pará

Dedico, em primeiro lugar, à minha força de vontade durante o desenvolvimento deste trabalho.

E aos meus pais, Manoel Sousa (em memória) e Armênia Sousa, pela educação que me deram.

Aos meus irmãos, Gisele, Marco, Maurício e em especial Gisele, e Mauricio, pela presença nos momentos que mais precisei na elaboração desse trabalho.

Ao meu sobrinho Marco Vinicius pela alegria proporcionada nos meus momentos livres.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Dr. José Gouvêa Luiz pelas orientações, simplicidade, paciência, ajuda e por ser um excelente professor ao ministrar os primeiros ensinamentos da geofísica para mim de forma clara e organizada.

Aos professores doutores: Marcos Welby Correa Silva, Lúcia Maria da Costa e Silva, Cícero Roberto Teixeira Régis, Ellen de Nazaré Souza Gomes, pelas informações que passaram da geofísica.

Aos membros da banca examinadora, pelas valorosas sugestões que contribuíram para este trabalho.

Aos funcionários da Geofísica, em especial a Benildes Souza que me passou muita coragem no início e fim do curso.

A UFPA pela oportunidade de realizar a minha pesquisa.

Ao amigo Alex Raiol na ajuda da construção dos perfis e mapas.

Aos técnicos, Afonso Quaresma de Lima e Álvaro Silva Prestes pela ajuda na coleta dos dados de campo.

A minha diretora Edna Moraes pela compreensão durante a minha ausência no trabalho e por passar energia positiva em momentos que mais precisei ouvir.

A minha colega Ivone Mendes, pela amizade.

Ao meu colega Ramiro Rodrigues pelo carinho.

Ao meu estagiário Robson Monteiro pela ajuda quando precisei me ausentar do trabalho.

Aos meus colegas do magistério em especial a Carlos Souza, Ieda Rodrigues, Mara Oliveira e Vicente Baia por muitas vezes me incentivarem em palavras.

Aos colegas da Geofísica, Alberto, Arthur Bastos, Clístenes Catete, Danilo Ferreira, Diógenes Brasil, Fabrício Pinheiro, Frank Souza, Marcelo Mesquita, Patrícia Queiroz, Gildenilson Duarte, Gustavo Dias e Rodrigo pela amizade e ajuda que tivemos durante o curso.

Ao missionário Padre Fábio de Melo pelas lindas músicas e palestras que precisei escutar para não desistir nunca dos sonhos da vida e a Deus pela vida.

Com saúde, força de vontade, paz, amor,
justiça, religião e família unida se consegue
caminhar feliz na vida.

Gilvana

RESUMO

Esta pesquisa foi realizada no município de Piçarra, localizado no sudeste do estado do Pará. O estudo teve como foco o mapeamento de lineamentos associados a fraturas do embasamento e da natureza do subsolo através de geofísica, usando o método eletromagnético Very Low Frequency (VLF) em caminhamentos e eletrorresistividade em sondagens elétrica vertical (SEV). A análise integrada dos dados geofísicos permitiu reconhecer na área dois domínios hidrogeológicos: Zonas fraturadas e espessura de sedimentos sobre rochas do embasamento, visando orientar a locação de poços de captação de água subterrânea. O estudo forneceu indicações das áreas mais promissoras à captação de água subterrânea e os melhores locais para a construção de poços para abastecimento da cidade.

Palavras chave: Geofísica. Prospecção de água. VLF. Eletrorresistividade.

ABSTRACT

This research was carried through in Piçarra city, located in the southeast of Pará state. The study had as main focus the mapping of lineaments associated with the basement fractures and the subsoil nature through geophysics, using the Very Low Frequency (VLF) electromagnetic and resistivity methods. The integrated analysis of geophysical data allowed the recognition of two hydrogeological domains in the area: Fractured zones and sediment thickness above the basement rocks, aiming to guide the location of groundwater captation wells. The study provided indications of the most promising locations for groundwater captation and the best sites to build water wells for the city supply.

Keywords: Geophysics, Water Prospecting, VLF, Resistivity

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1	Mapa de localização com a indicação das investigações das geofísicas.....	14
Figura 2.2	Mapa topográfico com a indicação das investigações geofísicas.....	15
Figura 3.1	Disposição dos eletrodos na superfície do terreno e fluxo de corrente.....	17
Figura 3.2	Configuração de eletrodos comumente utilizados em investigações de eletrorresistividade. (a)Arranjo Wenner, (b) Arranjos Schlumberger, (c) Arranjo Dipolo-Dipolo.....	20
Figura 3.3	Esquema de funcionamento do método VLF.....	22
Figura 3.4	Perfil de medidas com VLF sobre um corpo condutivo.....	23
Figura 4.1	Mapa de localização das investigações geofísicas executadas na região urbana do município de Piçarra, PA.....	24
Figura 4.2	Foto do equipamento eletromagnético VLF SCINTREX modelo SE-81...	25
Figura 4.3	Foto do equipamento Resistímetro Geotest.....	26
Figura 5.1	Localização dos segmentos AB e CD usados na correlação dos modelos de resistividade.....	28
Figura 5.2	Seção geométrica ao longo do segmento AB da Figura 5.1, elaborada a partir da correlação lateral dos modelos geométrica das SEVs 1,2,3,4,5,7,8,16,17.....	29
Figura 5.3	Seção geológica elaborada a partir da interpretação da seção geométrica AB.....	29
Figura 5.4	Seção geométrica ao longo do segmento CD da Figura 5.1, construída a partir da correlação lateral dos modelos geométrico das SEVs 15,6,4,3,10.....	30
Figura 5.5	Seção geológica elaborada a partir da interpretação da seção geométrica CD.....	30
Figura 5.6	Valores medidos (linha vermelha) e filtrados com os Filtros Fraser (linha azul) e Karous & Hjelt (linha marrom) para a rua Minas Gerais.....	34
Figura 5.7	Perfis VLF de valores do ângulo de inclinação do campo magnético resultante (linha vermelha) e valores filtrados com o filtro Fraser (linha azul), para as ruas Minas Gerais, Paulo Fonteles, Tancredo Neves, Raimundo Gringo, Carajás.....	36
Figura 5.8	Perfis VLF de valores do ângulo de inclinação do campo magnético resultante (linha vermelha) e valores filtrados com o filtro Fraser (linha azul), para as ruas Dois Irmãos, Raimunda Mota, Maria José de Jesus e Cândido Alves.....	37
Figura 5.9	Contornos dos valores filtrados com o filtro Fraser.....	38
Figura 5.10	Representação da projeção dos eixos dos condutores na superfície (linhas vermelhas), sobre o mapa de contornos dos valores positivos dos dados VLF filtrados com o filtro Fraser. Os eixos dos condutores foram interpretados como fraturas no embasamento cristalino.....	39
Figura 5.11	Mapa de localização dos locais recomendados para a perfuração de poços de captação de água subterrânea. As regiões em azul são indicações do VLF. Os números em vermelho indicam a posição das SEVs que produziram as melhores indicações.....	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO.....	14
2.1	LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	14
2.2	GEOLOGIA LOCAL E HIDROGEOLOGIA.....	16
3	CONCEITOS BÁSICOS DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS USADOS...	17
3.1	MÉTODO DA ELETRORRESISTIVIDADE.....	17
3.2	CONCEITOS BÁSICOS E APLICAÇÃO DO VLF.....	21
4	LEVANTAMENTO GEOFÍSICO.....	23
4.1	LEVANTAMENTO COM VLF.....	24
4.2	LEVANTAMENTO DE ELETRORRESISTIVIDADE.....	25
5	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	26
5.1	INTERPRETAÇÃO DAS SEVS.....	26
5.2	INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DE VLF.....	33
5.4	CORRELAÇÃO ENTRE SEV E VLF.....	40
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	42
	REFERÊNCIAS.....	43
	APÊNDICES.....	45
	APENDICE A - SEVS E RESPECTIVOS MODELOS GEOELÉTRICOS	46

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, nestas últimas décadas, tem-se observado um grande aumento no consumo da água subterrânea, tanto para abastecimento público como para abastecimento industrial e irrigação (PONTE, 1995).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia (IBGE), em 2008, 33 municípios brasileiros em nove Unidades da Federação ainda permaneciam sem o atendimento da rede geral de distribuição da água. A situação é pior nos estados da Paraíba, Piauí e Rondônia, que adotaram poços particulares como principal fonte alternativa para solução do problema.

A utilização de métodos geofísicos no estudo de casos envolvendo questões hidrogeológicas, já é bastante utilizada no Brasil. Trabalhos como o da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme, 2011), que aplicou uma metodologia de prospecção de água subterrânea em ambientes geológicos da região cristalina do semi-árido do Brasil, utilizando métodos geofísicos integrados e geoprocessamento. Foram empregados os métodos geofísicos VLF (sem o transmissor de sinal portátil) e o eletrorresistímetro (usando a técnica de caminhamento), o que seria adequado para se reduzir problemas de ambiguidade.

Outro exemplo é apresentado por Souza (2007), que caracterizou o problema ambiental gerado na região do Lixão de Serrana, em Ribeirão Preto, no estado de São Paulo. O trabalho teve como foco desenvolver a aplicação dos métodos geofísicos eletrorresistividade, polarização induzida no domínio do tempo e eletromagnético indutivo. Dessa forma, com a integração de informações, procurou-se estudar parâmetros para a avaliação dos problemas associados à contaminação de solos tropicais e águas subterrâneas por depósito de resíduos urbanos.

Viégas Campos (1996) avaliou a qualidade e potencialidade dos aquíferos sedimentares da bacia do Rio Cabuçu, Zona oeste do Município do Rio de Janeiro, para definição dos corpos aquíferos, sendo utilizada a geofísica com o método de eletrorresistividade através de sondagens elétricas verticais com arranjo Schlumberger.

No município de Novo Repartimento, estado do Pará, Freitas filho (2006) realizou uma pesquisa usando metodologia geofísica com o objetivo de contribuir com a população na solução do problema de água no município. A geologia desta área é constituída por rochas metamórficas e ígneas. O levantamento geofísico através da aplicação de métodos elétricos e eletromagnéticos em várias localidades do Pará, segundo Freitas filho (op.cit.), vem proporcionando importantes

informações sobre o potencial hídrico existente no subsolo do estado, contribuindo na busca de soluções para os problemas referentes ao abastecimento de várias localidades do Pará. Bahia, (2003) realizou um estudo que teve como objetivo principal a caracterização hidrogeológica da área localizada entre o Depósito de Lixo Metropolitano de Belém (Aurá) e o Lago Água Preta, correlacionando dados de estudos geofísicos, no sentido de determinar a influência dos contaminantes oriundos do referido depósito de resíduos sobre os recursos hídricos subterrâneos da área de estudo e avaliando a possibilidade de os mesmos virem a influenciar no manancial de abastecimento de Belém. As medidas geofísicas eletromagnéticas realizadas refletiram a presença de camadas argilosas e do lençol freático relativamente próximo à superfície do terreno. Os resultados levantados com esse método permitiram identificar valores anômalos (alta condutividade) em alguns locais, que foram posteriormente verificados mediante a instalação de poços de monitoramento e análise geoquímica de amostras de água.

Monteiro (1998) aplicou métodos geofísicos na porção sudeste do estado do Pará, mais precisamente na cidade de Palestina, à margem esquerda do rio Araguaia. Foi usado no levantamento geofísico método da eletrorresistividade para investigar os possíveis locais de ocorrência de água subterrânea. Foram realizadas, na área, 21 Sondagens Elétricas Verticais (SEVs), utilizando o arranjo Schlumberger. Bezerra (1979) desenvolveu um estudo para água subterrânea na Ilha do Marajó, que visava definir e delinear aquíferos em algumas áreas piloto da ilha. Este trabalho, realizado em uma dessas áreas piloto, no município de Salvaterra, na ilha de Marajó, buscou determinar áreas favoráveis para exploração de água subterrânea, através do uso do método geofísico da eletrorresistividade.

De acordo com as informações de Corrêa (1998), na comunidade urbana de Piçarra, a água usada no abastecimento doméstico provém de poços Amazonas. Com o crescimento dessa comunidade e o aumento de sua população, a atual disponibilidade de água não tem condições de suprir a demanda, principalmente nos períodos críticos de baixa pluviosidade, necessitando, portanto, de fontes complementares de abastecimento de água, o que poderá ser feito através do aproveitamento dos aquíferos subterrâneos profundos.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

2.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área do estudo está localizada no município de Piçarra, que foi estabelecido em 1995 e encontra-se situado no sudeste do estado do Pará (06° 26' 17" sul e 48° 52' 18" oeste), à altitude de 215 metros. A área do município compreende 3326,769 km². Ele dista cerca de 980 km da cidade de Belém e seu acesso se dá através da rodovia PA-150. A Figura 2.1 mostra a localização da área do estudo e a Figura 2.2 o mapa topográfico da área.

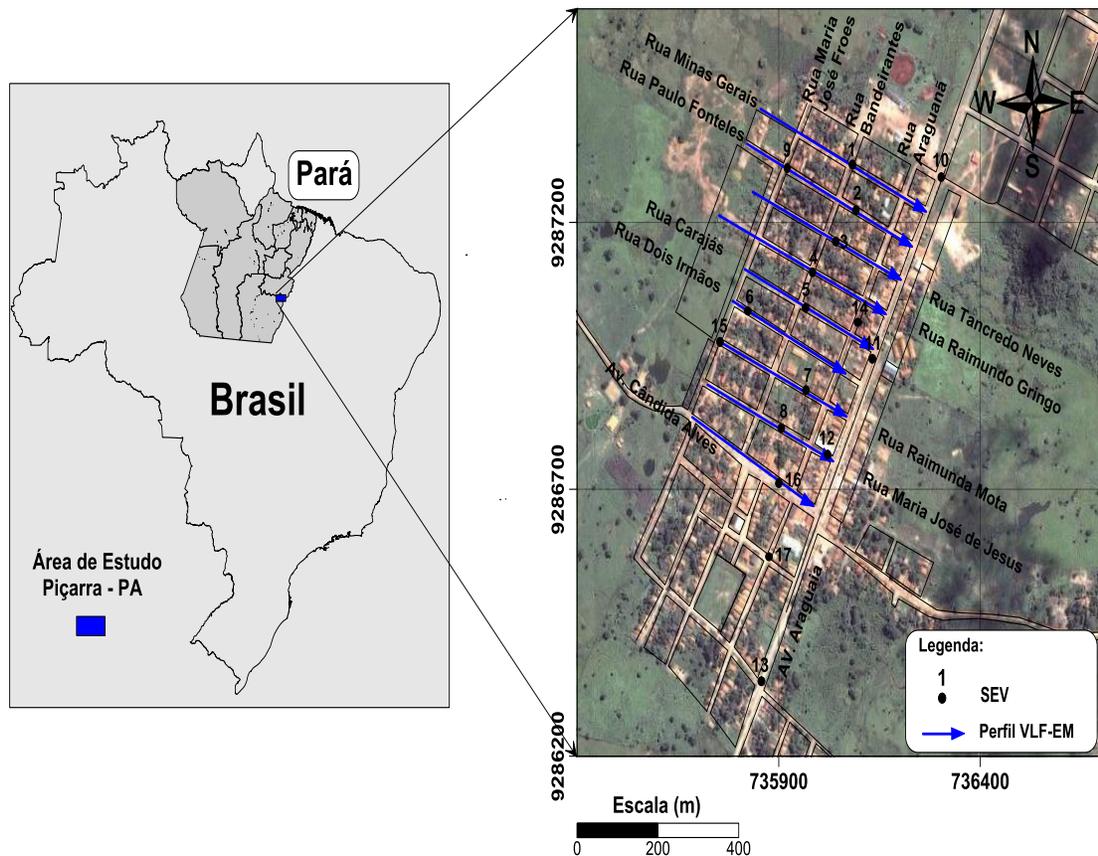


Figura 2.1 Mapa de localização com a indicação das investigações geofísicas.

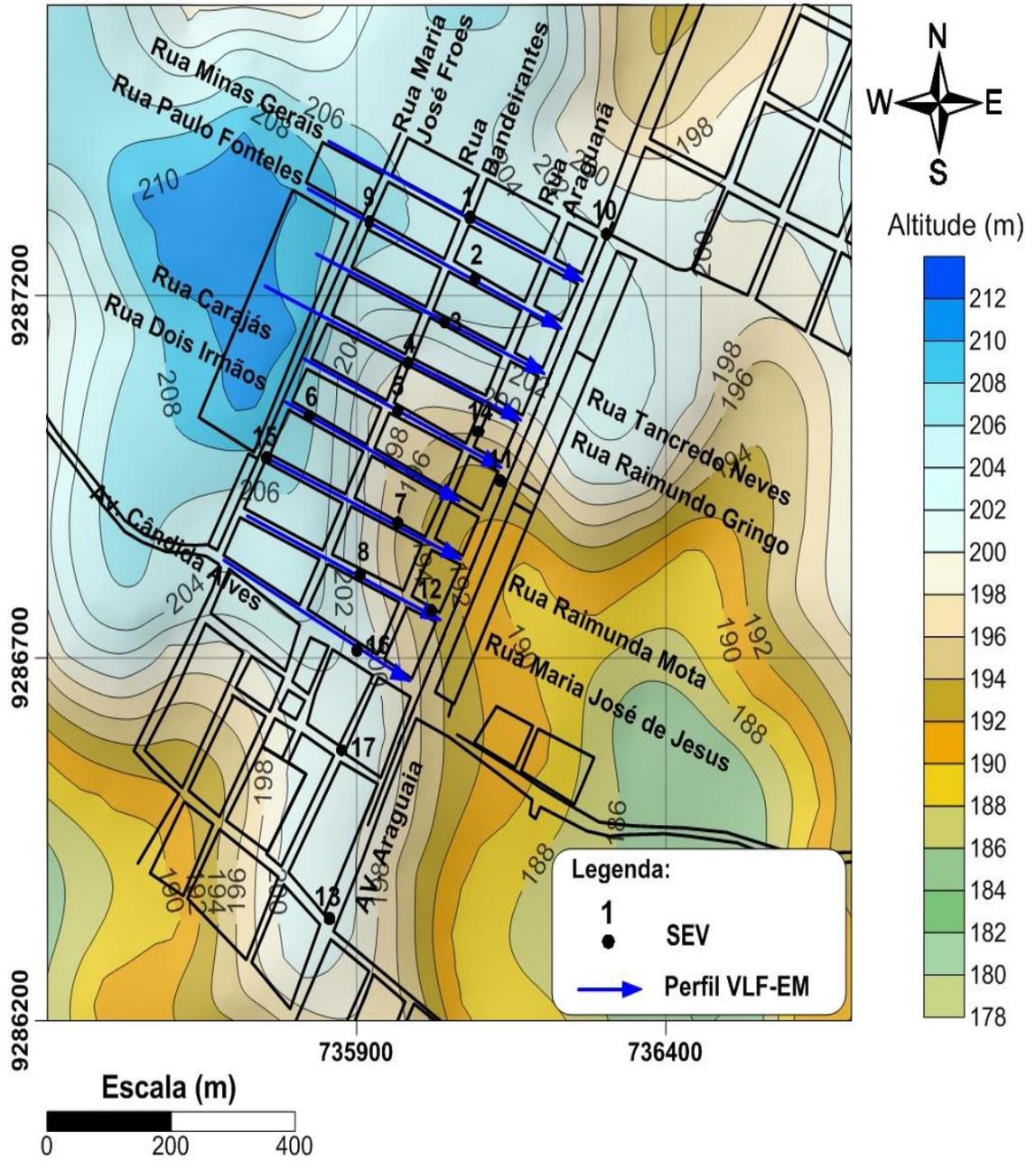


Figura 2.2 Mapa topográfico com a indicação das investigações geofísicas.

2.2 GEOLOGIA LOCAL E HIDROGEOLOGIA

De acordo com Corrêa (1998), predominam na cidade de Piçarra rochas metamórficas classificadas como micaxistos pertencentes à Formação Pequiseiro, que apresentam uma foliação com azimute de 350° e mergulhos entre 15° e 25°. Essas rochas apresentam um manto de alteração com espessura variando de 1,5 a 12 m, constituído por uma fina capa laterítica com cerca de 15 cm, seguida de horizonte argiloso com 10 a 20 cm de espessura nas partes centrais da cidade, podendo chegar a 50 cm de espessura nos altos topográficos. Após o horizonte argiloso, ocorre um saprólito constituído, principalmente, por fragmentos de rochas parcialmente alterados envolvidos em matriz argilosa. As rochas menos alteradas apresentam um micro-fraturamento com densidade tal que, a cada 2 cm, há cerca de 5 fraturas espaçadas de 0,5 cm.

A água usada no abastecimento doméstico da cidade provém de poços Amazonas, cavados até profundidades que variam de 6 a 14 m pelos próprios moradores nos seus quintais. É comum esses poços estarem localizados às proximidades de latrinas (buracos com cerca de 2 m de profundidade). Durante o levantamento geofísico foi possível observar nos quintais das casas amostras de micaxisto e de veios de quartzo retirados dos poços Amazonas.

Informações verbais de moradores indicam que muitos dos poços Amazonas têm seu fundo em material argiloso, de baixa permeabilidade, enquanto outros terminam em material arenoso com boa permeabilidade. Um poço tubular (não concluído e abandonado) perfurado na Lavanderia Pública, localizada na Rua Raimunda Mota, ao lado da Escola Tiradentes, atingiu material essencialmente arenoso.

O ambiente geológico na área da cidade de Piçarra sugere duas possibilidades para obtenção de água: a primeira consiste na retirada da água do material arenoso identificado nos poços Amazonas e no poço tubular da Lavanderia Pública; a segunda possibilidade é a retirada da água contida nas fraturas dos micaxistos. No caso da primeira possibilidade, é necessário que se tenha uma grande espessura de material arenoso para que se obtenha uma grande quantidade de água; ainda nesse caso, é recomendado que o material arenoso de onde será retirada a água esteja isolado da superfície do terreno por uma camada impermeável de argila, a fim de que não haja contaminação da água por materiais e agentes nocivos à saúde.

3 CONCEITOS BÁSICOS DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS USADOS

3.1 MÉTODO DA ELETORRESISTIVIDADE

O método mede a dificuldade à passagem de corrente elétrica no meio através da injeção de corrente contínua (ou de baixa frequência) em dois pontos do terreno (denominados de pontos A e B) e medir a diferença de potencial entre outros dois pontos (denominados de M e N), como resultado da passagem da corrente injetada. A Figura 3.1 ilustra a disposição dos eletrodos na aplicação do método na superfície do terreno.

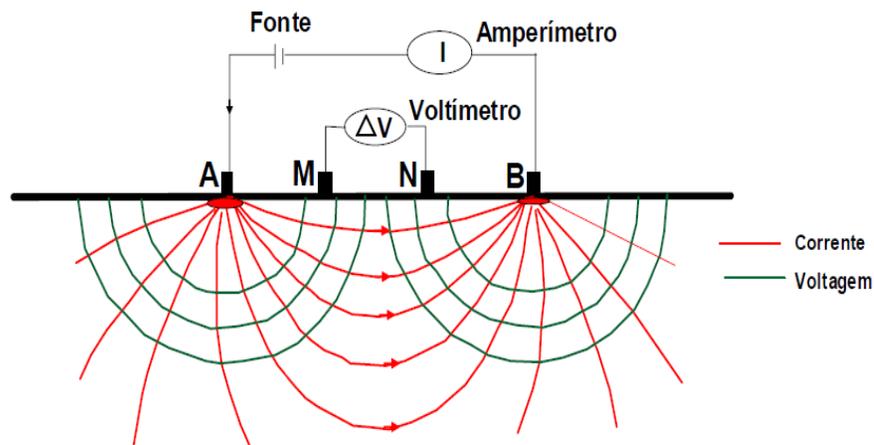


Figura 3.1 Disposição dos eletrodos na superfície do terreno. Fonte: (Modificado de FREITAS FILHO, 2006).

Em razão do subsolo apresentar uma distribuição de resistividade que pode variar vertical e lateralmente devido a heterogeneidade do meio geológico, os valores de resistividade obtidos não representam os valores das resistividades verdadeiras das camadas, embora estejam relacionados a eles. O que se obtém são valores denominados de resistividade aparente (LUIZ; SILVA, 1983).

Considerando-se o conhecimento da corrente injetada (I), da diferença de potencial (ΔV) e das posições relativas dos pontos A, B, M e N, é possível calcular o valor da resistividade

aparente (ρ_a) relacionada aos materiais que se encontram abaixo da superfície dos terrenos. Esse valor é dado por

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} K, \quad (4.1)$$

$$\text{sendo } K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} \frac{1}{BM} \frac{1}{AN} \frac{1}{BN}}, \text{ denominado fator geométrico.} \quad (4.2)$$

Durante a operação de medida com o método da eletrorresistividade, se os pontos A e B de injeção de corrente estão muito próximos, correntes fluirá em subsuperfície a uma profundidade muito pequena e produzirá uma resposta, em termos de ΔV que será influenciada quase que exclusivamente pelo material superficial. Se o objetivo é obter a resposta de materiais mais profundos, deve-se aumentar a distância AB. Comumente se usa a regra prática de que a profundidade de investigação encontra-se entre 10 % e 30 % da separação AB entre os eletrodos de corrente. Segundo Roy & Apparao (1971), a profundidade de investigação depende não só da distância entre os eletrodos de corrente, mas também da distância entre os eletrodos de potencial. A resposta obtida nas medidas também depende da interação entre a separação dos eletrodos e das dimensões das heterogeneidades da subsuperfície. Por outro lado, Barker (1989) demonstrou que o conceito de profundidade de investigação efetiva apresentada por Edwards (1977) é mais razoável na prática do que a definição de Roy & Apparao (1971). Para Edwards (op.cit) a profundidade de investigação é aquela que divide as contribuições da subsuperfície para os valores de resistividade medidos na superfície de modo que metade da contribuição provém dos materiais acima dessa profundidade e a outra metade dos materiais abaixo dela.

Nos trabalhos de prospecção elétrica, vários tipos de arranjos de eletrodos (envolvendo a posição relativa dos pontos A, B, M e N) podem ser usados. Os arranjos mais empregados em eletrorresistividade são Wenner, Schlumberger e Dipolo-Dipolo (Figura 3.2). Os fatores geométricos para os três referidos arranjos são dados respectivamente por:

$$K_W = 2\pi a, \text{ para o arranjo Wenner;} \quad (4.3)$$

$$K_S = \pi \left(\frac{a^2}{b} - \frac{b}{4} \right), \text{ para o arranjo Schlumberger;} \quad (4.4)$$

$$K_d = \pi \left(\frac{a^3}{b^2} - a \right), \text{ com } b=c, \text{ para o arranjo Dipolo-Dipolo,} \quad (4.5)$$

em que a , b , c são distâncias, cujos valores estão representados na Figura 3.2.

Com o arranjo Wenner (Figura 3.2), os eletrodos de corrente e os de potencial são dispostos em linha de forma equidistante e os eletrodos de potencial se localizam entre os eletrodos de corrente. No Schlumberger (Figura 3.2), os quatro eletrodos são dispostos em linha, com a distância entre os eletrodos de corrente bem maior (distância MN < 0,2 distância AB) do que a distância entre os eletrodos de potencial. Também nesse arranjo os eletrodos de potencial são colocados entre os eletrodos de corrente. No arranjo Dipolo-Dipolo (Figura 3.2), os eletrodos de potencial não ficam entre os eletrodos de corrente, como ocorre nos arranjos Wenner e Schlumberger (SILVA, 2002).

Dois procedimentos são comumente empregados nas medidas de resistividade aparente: 1) os eletrodos de corrente são deslocados simetricamente em relação a um ponto central; 2) todos os eletrodos são deslocados lateralmente, mantendo-se constante a distância entre eles.

O primeiro procedimento, que envolve o deslocamento dos eletrodos de corrente em relação a um ponto central, é chamado de técnica da Sondagem Elétrica Vertical (SEV) (Orellana, 1982). Esse procedimento permite que se conheça a distribuição da resistividade com a profundidade. À medida que os eletrodos de corrente tornam-se mais separados, obtém-se a resposta elétrica, em termos de resistividade, dos materiais mais profundamente enterrados (LUIZ; SILVA, 1983).

O segundo procedimento, em que os quatro eletrodos são deslocados lateralmente, toma a denominação de caminhamento ou perfilagem (Orellana, 1982). Esse procedimento mostra a

variação lateral da resistividade a uma determinada profundidade, que depende, em parte, do valor da distância AB, que separa os eletrodos de corrente (LUIZ; SILVA, 1983).

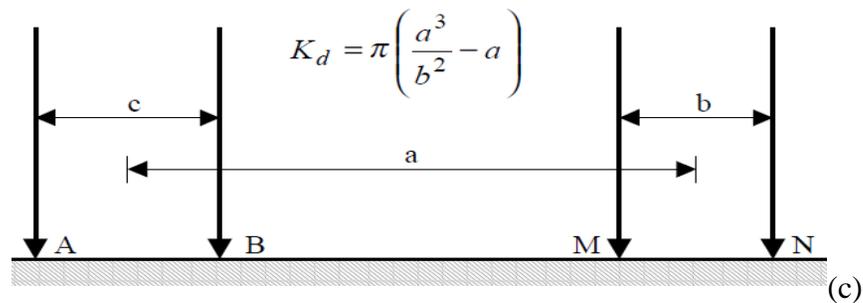
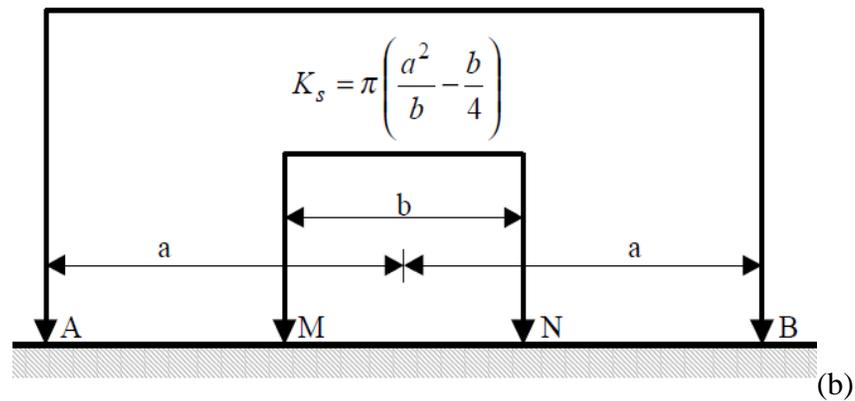
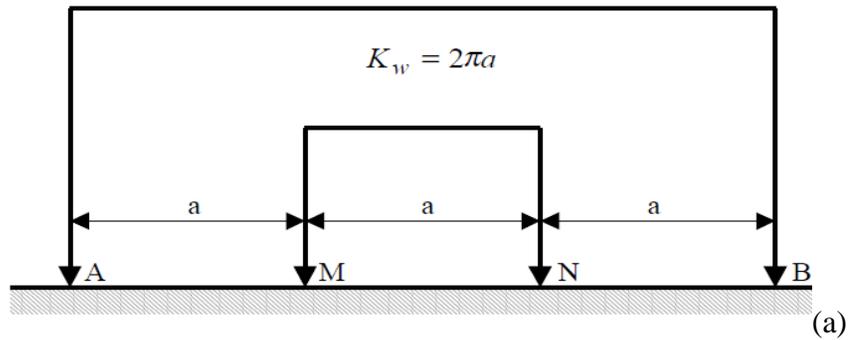


Figura 3.2 Configuração de eletrodos comumente utilizados em investigações de eletrorresistividade (a) Arranjo Wenner, (b) Arranjo Schlumberger; (c) Arranjo Dipolo-Dipolo. Fonte: (Modificado de SILVA, 2002).

3.2 CONCEITOS BÁSICOS E APLICAÇÃO DO VLF

O método Very Low Frequency (VLF) é um método eletromagnético do tipo passivo, utiliza sinais normalmente originados por transmissores de rádio fixos usados em comunicações militares, distribuídos no globo terrestre. O VLF opera na faixa de frequências de 15 a 25 kHz ou os sinais também podem ser transmitidos a partir de um gerador portátil (para ser usado em áreas onde o sinal primário gerado pela estação é muito fraco ou imprópriamente orientado para uso eficiente no levantamento).

O transmissor consiste de uma antena vertical por onde passa corrente alternada (dipolo elétrico), e, conseqüentemente, as linhas de campo magnético se distribuem concentricamente, no plano horizontal em torno da antena (Figura 3.3). O campo primário assim originado pode ser considerado uniforme (ondas planas) para grandes distâncias do transmissor permanecendo assim caso se mantenham estáveis as condições geológicas do meio onde se propaga, conforme ilustra a Figura 3.3.

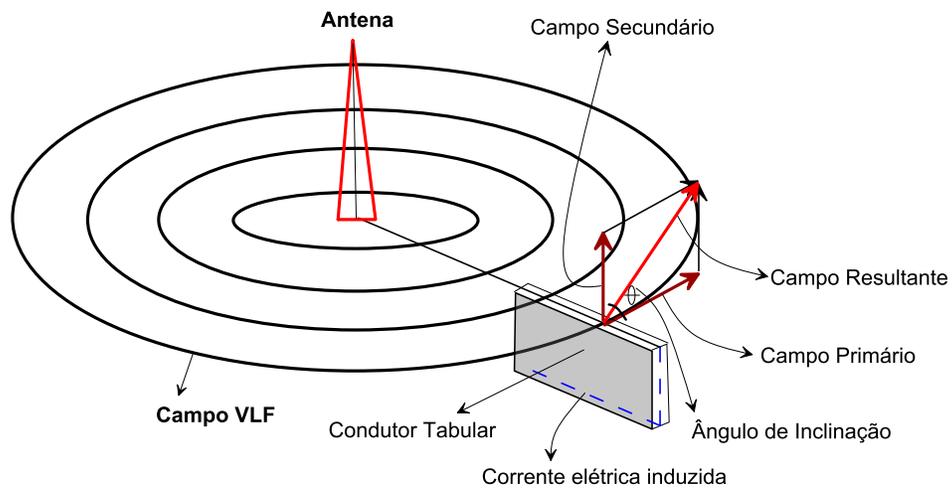


Figura 3.3 Esquema de funcionamento do método VLF. Fonte: (adaptado de Philips & Richards, 1975).

A corrente emitida pela antena gera um campo magnético horizontal primário que, ao penetrar em corpos condutores no terreno, gera campos magnéticos secundários. O aparelho receptor pode medir a inclinação resultante da interação entre os campos primário e secundário em relação ao primário (*tilt angle*), sendo comum registrarem-se dois parâmetros: a inclinação do campo resultante e o seu azimute. Este último parâmetro apresenta valores que são aproximadamente perpendiculares à zona condutora.

Em um perfil de medidas obtidas sobre um corpo condutor (Figura 3.4), observa-se que a projeção do condutor na superfície do terreno é representada pela passagem dos valores positivos para os valores negativos. Esse ponto é denominado de cruzamento ou *crossover*.

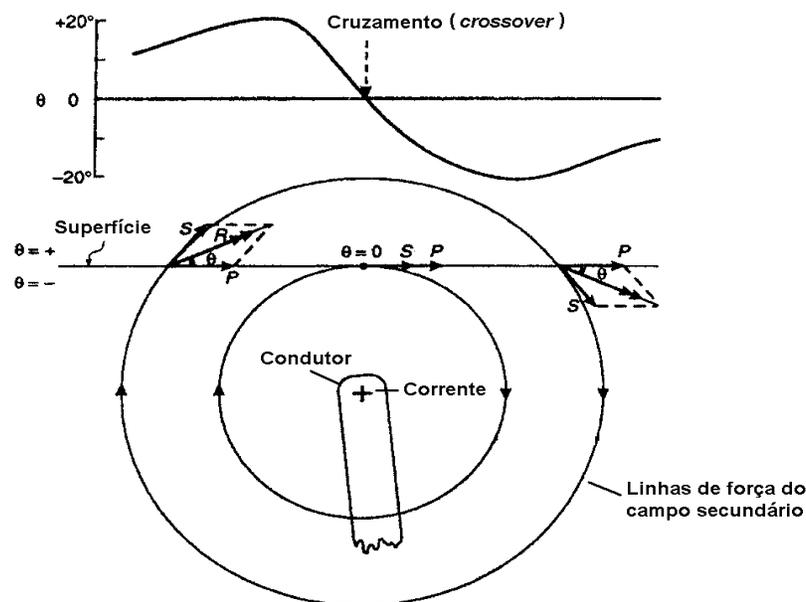


Figura 3.4 Perfil de medidas com VLF sobre um corpo condutivo. Fonte: (adaptado de Reynolds, J.M.1997).

A característica dos pontos de *crossover* nem sempre é muito clara. Nesses casos, os valores devem ser filtrados de acordo com os processos definidos por Fraser (1983) e por Karous & Hjelt (1983), que desenvolveram filtros numéricos simples, que transformam o *crossover* da anomalia VLF (que indica a posição do condutor), em um pico positivo. Esse processo de filtragem permite melhorar a visualização das estruturas geológicas que produzem os sinais anômalos.

4 LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

O levantamento dos dados de campo foi realizado no período de estiagem na região. Os perfis eletromagnéticos com VLF foram executados em nove ruas da sede do município de Piçarra, sendo que, para evitar interferência, as medidas foram realizadas durante o período em que a rede elétrica encontrava-se desligada, fato comum na cidade, que não contava com um bom sistema elétrico. As medidas de resistividade foram tomadas com a técnica da SEV. Foram executadas 17 SEV distribuídas pelas ruas da sede do município (Figura 4.1).

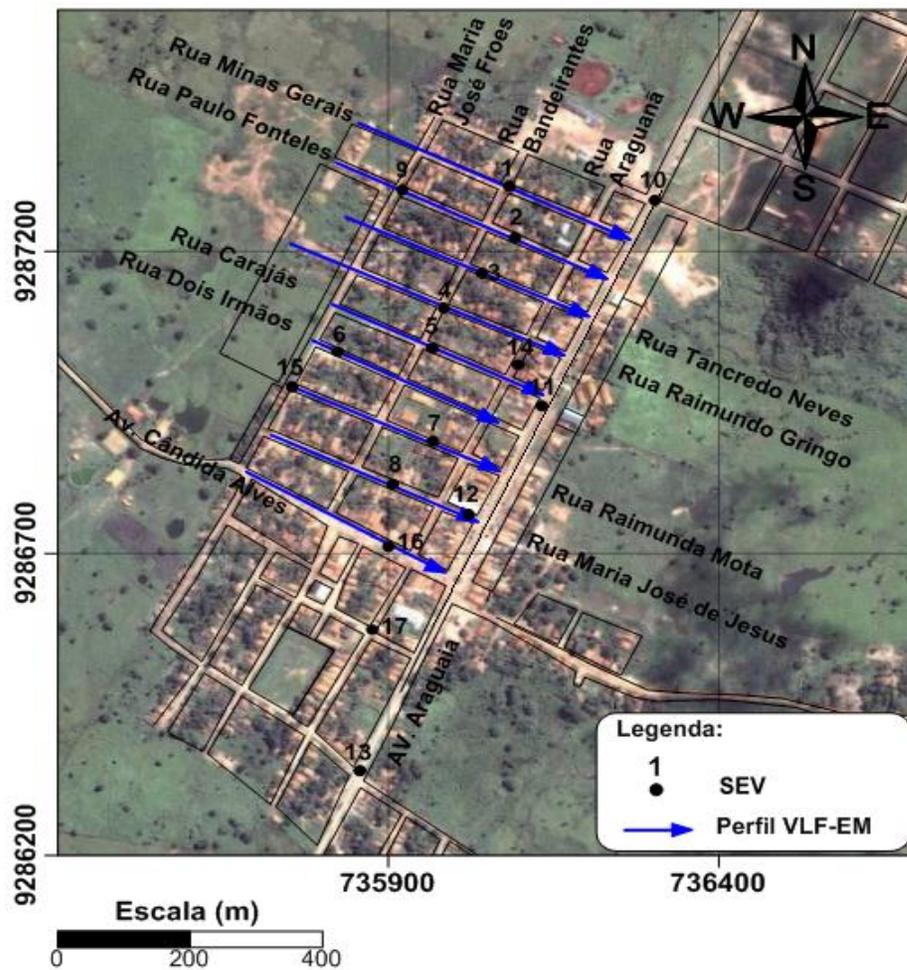


Figura 4.1 Mapa de localização das investigações geofísicas executadas na região urbana do município de Piçarra, PA.

4.1 LEVANTAMENTO COM VLF

O levantamento de campo com o método VLF foi realizado em nove perfis (Figura 4.1), totalizando 3470 metros lineares. As medidas foram tomadas a cada 10 m ao longo das ruas Minas Gerais, Paulo Fonteles, Tancredo Neves, Raimundo Gringo, Carajás, Dois Irmãos, Raimunda Mota, Maria José de Jesus e Cândida Alves. O equipamento utilizado foi o receptor VLF SCOPAS, modelo SE-81, fabricado pela companhia Scintrex mostrado na (Figura 4.2). Sendo o parâmetro de medida o ângulo de inclinação (*tilt angle*) do campo resultante dos campos primário e secundário. Para as medidas foi sintonizada a estação Jim Creek Naval Radio Station, localizada nos Estados Unidos, que transmite na frequência de 18,6 kHz.

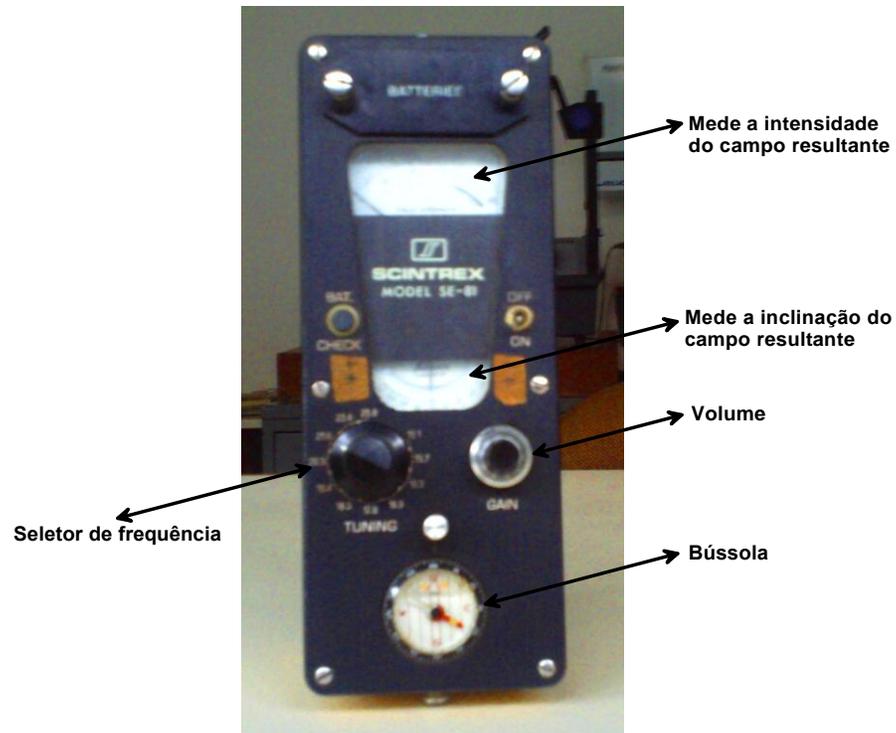


Figura 4.2 Foto do equipamento eletromagnético VLF SCINTREX modelo SE-81.

4.2 LEVANTAMENTO DE ELETORRESISTIVIDADE

O levantamento com o método da eletrorresistividade consistiu de medidas de resistividade aparente tomadas através da aplicação de SEVs. Foram realizadas 17 SEVs distribuídas na sede do município de Piçarra. O equipamento utilizado nas medidas foi o Resistivímetro GEOTEST (Figura 4.3).

Os eletrodos foram dispostos de acordo com o arranjo Schlumberger, com a distância mínima entre os eletrodos de corrente igual a 2m ($AB=2m$) e a distância máxima de 600 m ($AB=600$). A distância máxima entre os eletrodos foi imposta pelo equipamento usado nas medidas, que produz leituras pouco confiáveis para valores de AB superiores a 600m. Com essa abertura de AB acredita-se, no entanto, poder obter resposta de profundidades de no mínimo 60 m (10 % da separação máxima entre os eletrodos AB), profundidade que parece suficiente para investigar a subsuperfície em Piçarra.

As posições das SEVs foram estabelecidas nos locais em que o terreno apresentava-se com os menores desníveis topográficos e boas condições de acesso, procurando-se ainda uma distribuição que permitisse um bom conhecimento da subsuperfície.



Figura 4.3 Foto do equipamento Resistivímetro Geotest.

5 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

5.1 INTERPRETAÇÃO DAS SEVS

Os valores de resistividade aparente medidos nas SEVs foram representados em papel bi-logarítmico e depois suavizados para a eliminação do ruído geológico introduzido nas medidas, normalmente devido a variações laterais nas camadas geológicas. Em alguns casos, os valores não confiáveis (valores muito diferentes dos valores adjacentes) foram substituídos por outros obtidos a partir da interpolação ou da extrapolação de valores confiáveis.

A seguir, os dados das SEVs foram interpretados através do método do ponto auxiliar, que permite estabelecer modelos geoeletricos aproximados para a subsuperfície na posição das SEVs. Os modelos assim obtidos foram processados em computador pelo método de inversão usando programa Interpex 1-D sounding inversion, a fim de obterem-se modelos mais adequados para a subsuperfície.

No apêndice A estão representados: a resposta teórica dos modelos (linha contínua) e os dados medidos no campo (pequenos quadrados) após serem suavizados. Ainda no apêndice A, estão listados os valores da resistividade elétrica e espessura de cada uma das camadas geoeletricas, representativos dos modelos interpretados.

Foram construídas duas seções geoeletricas a partir da correlação dos modelos geoeletricos das SEVs alinhadas com os segmentos AB e CD (Figura 5.1).

Os modelos geoeletricos das SEVs 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 16 e 17 foram correlacionados lateralmente para a construção da seção geoeletrica ao longo do segmento AB (Figura 5.2), bem como a sua possível associação com a geologia local (Figura 5.3). A escala de profundidade foi estabelecida a partir dos modelos geoeletricos, sendo introduzida correção topográfica com auxílio de imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), que permite obter dados da superfície da Terra através da tecnologia de sensoriamento remoto utilizando um radar de abertura sintética. E, por fim, extrair a altitude, em metros, de cada SEV.

Também os modelos geoeletricos das SEVs 15, 6, 4, 3 e 10 foram correlacionados lateralmente para a produção da outra seção geoeletrica ao longo do segmento CD (Figura 5.4) e a sua possível associação com a geologia local (Figura 5.5).

As informações geológicas de Côrrea (1998) junto com as informações obtidas durante o levantamento geofísico na região de Piçarra sugerem que os valores abaixo de 100 Ohm.m estão relacionados com material argiloso, enquanto os valores entre 100 Ohm.m e 450 Ohm.m, estão relacionados a rochas do embasamento fraturadas contendo água (Figuras 5.2 e 5.4). Os valores acima de 450 Ohm.m devem ser devidos às rochas metamórficas do embasamento com ausências de fraturas (Figuras 5.2 e 5.4).

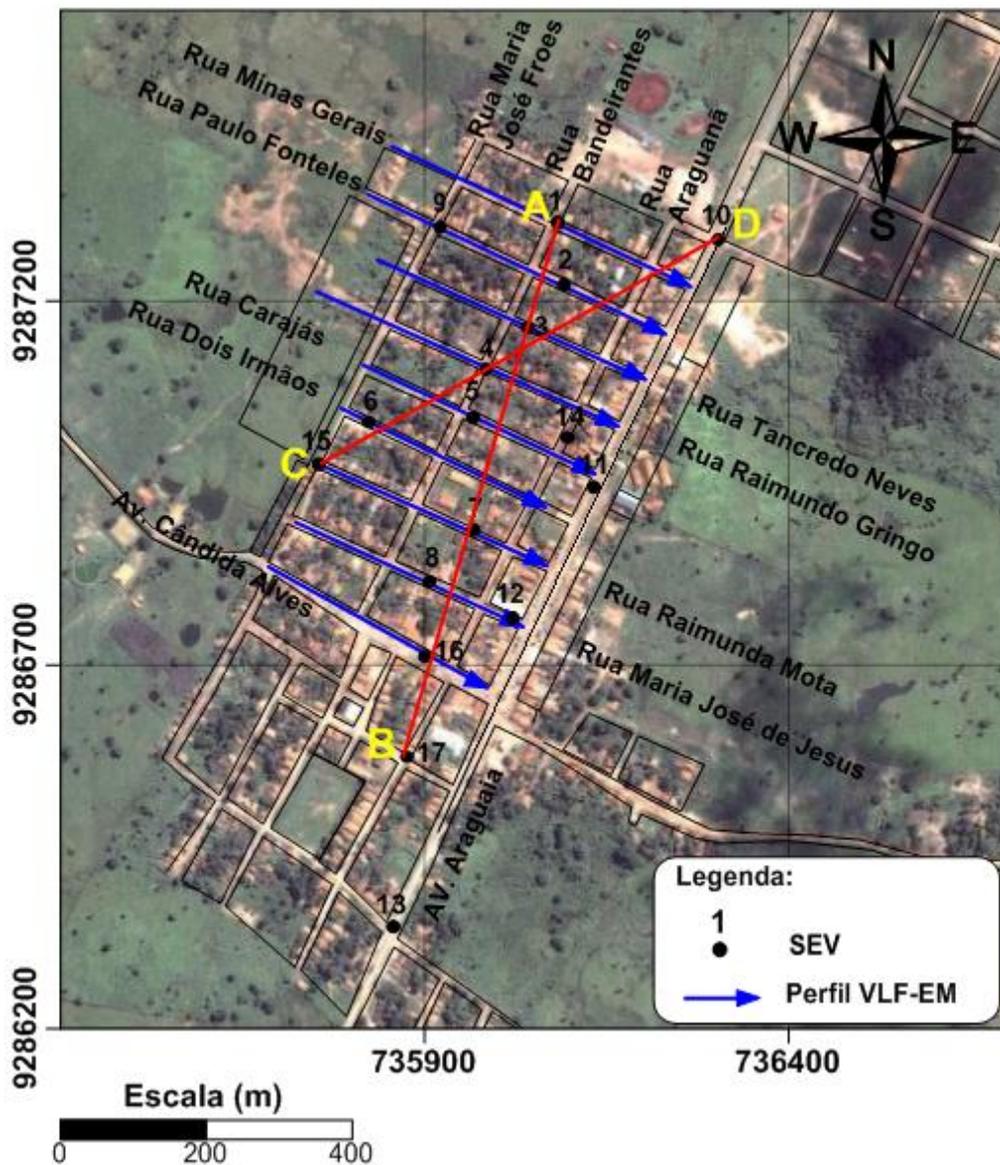


Figura 5.1 Localização dos segmentos AB e CD usados na correlação dos modelos de resistividade.

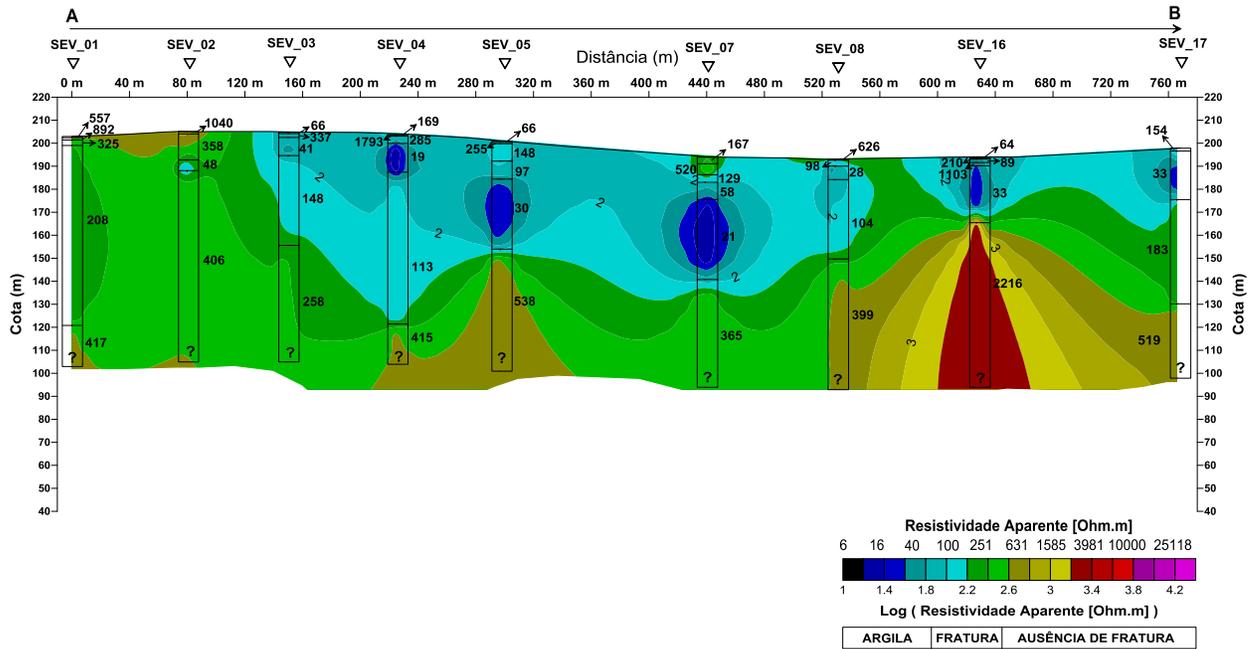


Figura 5.2 Seção geolétrica ao longo do segmento AB da Figura 5.1, elaborada a partir da correlação lateral dos modelos geolétricos das SEVs 1,2,3,4,5,7,8, 16 e 17.

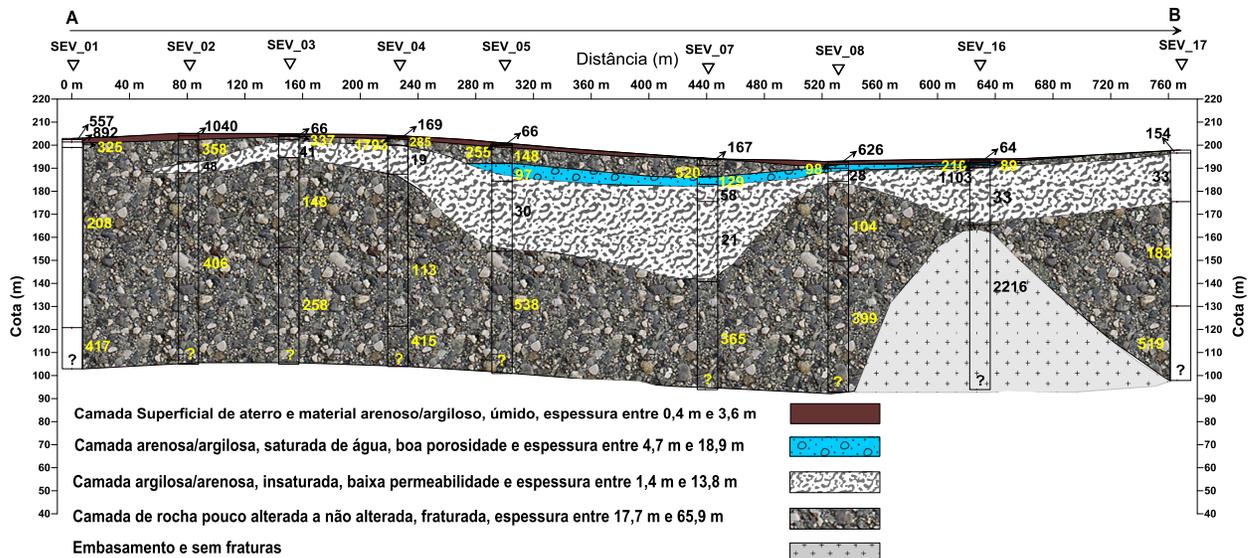


Figura 5.3 Seção geológica elaborada a partir da interpretação da seção geolétrica AB.

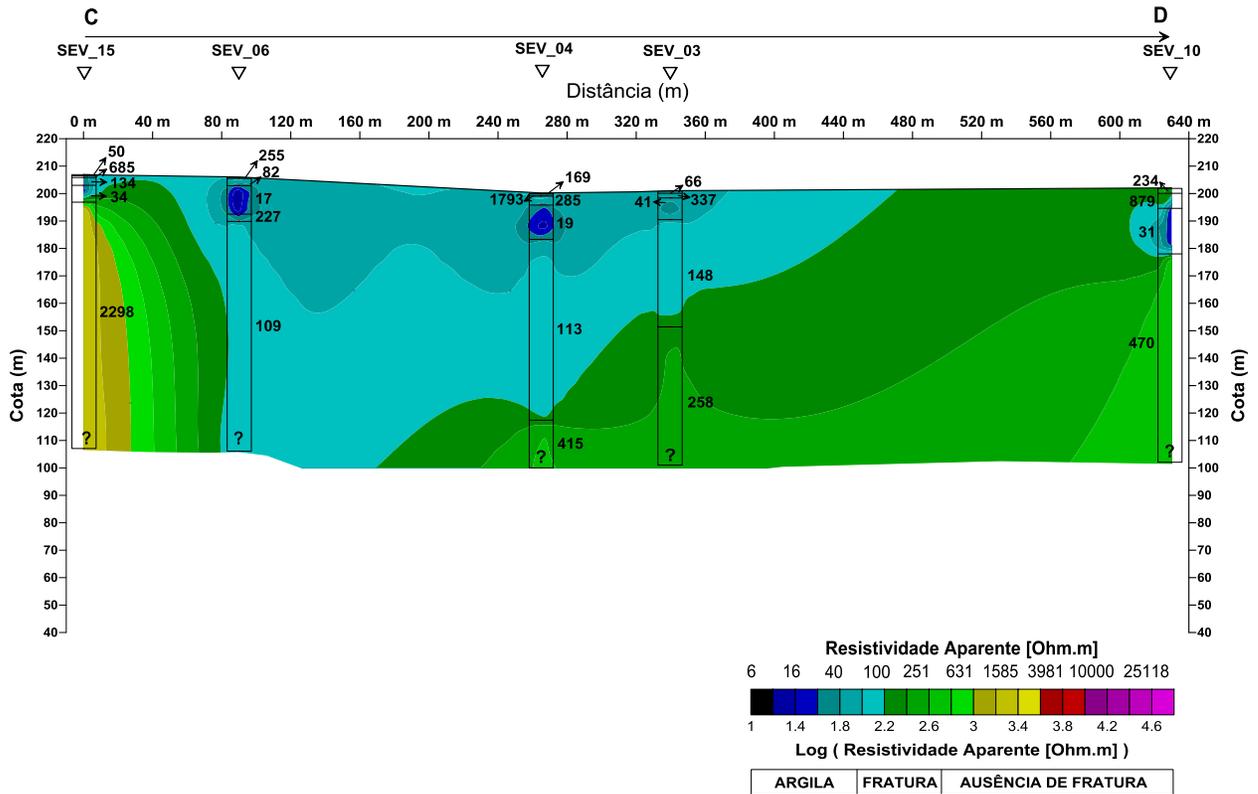


Figura 5.4 Seção geolétrica ao longo do segmento CD da Figura 5.1, construída a partir da correlação lateral dos modelos geolétricos das SEVs 15,6,4,3 e 10.

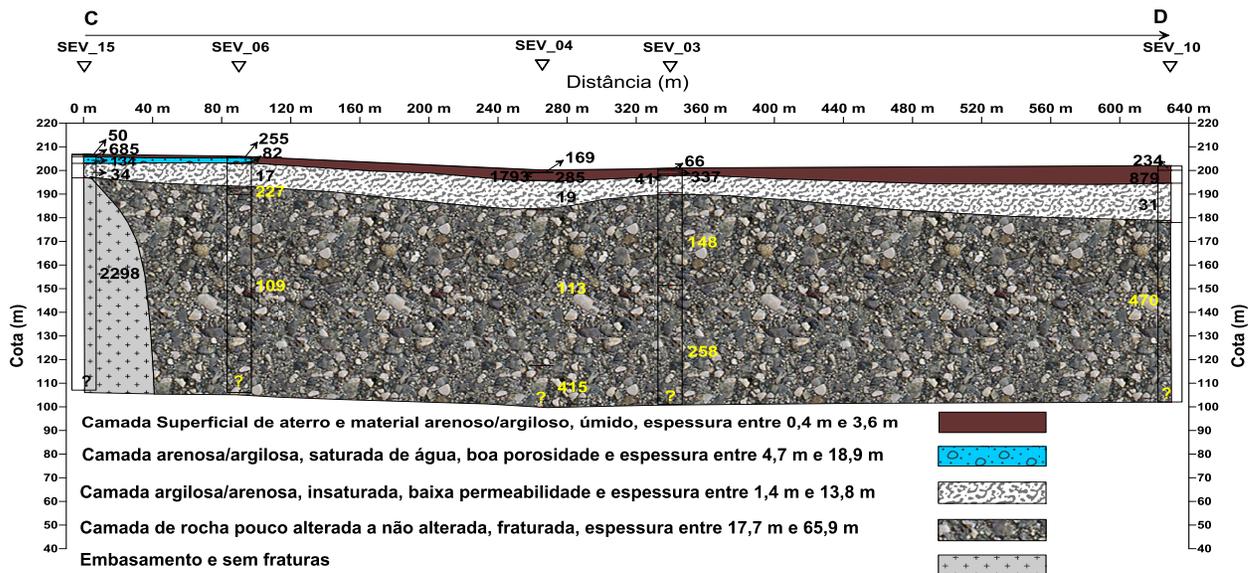


Figura 5.5 Seção geológica elaborada a partir da interpretação da seção geolétrica CD.

A partir dos modelos geoeletricos fornecidos pelas SEVs e da sua correlaçaõ com a geologia e, ainda, da possibilidade da existẽncia de fraturas indicada pelo m3todo VLF estabeleceu-se o seguinte modelo para a subsuperf3cie da cidade de Piçarra (a descriçaõ obdece uma sequencia que se inicia pr3ximo à superf3cie do terreno e vai até o topo do embasamento).

- 1) Camada superficial constituída de aterro e material arenoso e argiloso, algumas vezes bastante úmido, com resistividade abaixo de 100 Ohm.m e espessura variando entre 0,4 m e 3,6 m.
- 2) Camada argilosa e arenosa saturada de água com resistividade variando entre 10 Ohm.m e 100 Ohm.m e espessura entre 4,7 m e 18,9 m. Essa camada é bem caracterizada nas SEVs 2,3,6,8,10,13,14 e 16.
- 3) Camada argilosa e arenosa insaturada com espessura variando de 1,4 m a 13,8 m.
- 4) Zona de rochas pouco alteradas a não alteradas, contendo fraturas, com resistividade variando entre 100 Ohm.m e 450 Ohm.m. Essas zonas apresentam espessuras variando entre (17,7 m e 65,9 m). As zonas aparecem nas SEVs 1, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 15 e 17.
- 5) Zonas de rochas sem fraturas apresentando resistividades superiores a 450 Ohm.m.

Nas SEVs 10,15 e 16 não ocorreram valores de resistividades específicos da zona fraturada com água, ou seja, com resistividades entre 100 Ohm. m e 450 Ohm.m.

Na SEV 7 foi encontrada camada arenosa saturada com 34,7 m de espessura e resistividade de 210hm.m, enquanto que na SEV 4 foi encontrada espessura para a zona fraturada de 65,9 m e resistividade de 113 Ohm.m. As duas SEVs encontram-se na seçaõ geoeletrica AB.

O modelo geoeletrico da SEV6 sugere a espessura de 10,4 m e a resistividade de 17 Ohm.m para a camada arenosa saturada e a possibilidade da existẽncia da zona de rocha fraturada, embora não tenha sido possível estimar a sua espessura total.

É necessário que se tenha uma grande espessura de material arenoso para se obter um bom fluxo de água.É recomendado, ainda, que o material arenoso de onde será retirada a água esteja isolado da superf3cie do terreno por uma camada impermeável de argila, a fim de que não comprometa a água por materiais e agentes nocivos à saúde. Boas espessuras da camada arenosa saturada, com boas espessuras de rocha fraturada foram encontradas nas SEVs 3 e 8. Na SEV 3 foi encontrada espessura de 7,9 m e resistividade de 410hm.m para a camada arenosa saturada e o mínimo de 39 m de espessura e resistividade de 148 Ohm.m para zona de rocha fraturada.A SEV 8 mostrou uma espessura de 5,8 m e resistividade de 28 Ohm.m para a camada arenosa saturada e

uma espessura mínima de 34,5 m e resistividade de 104 Ohm.m para a zona de rocha fraturada. Tanto a SEV 3, como a SEV 8 está na seção geolétrica AB. Na SEV 9 o modelo estabeleceu 12,9 m de espessura para a camada arenosa e resistividade de 79 Ohm.m.

5.2 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DE VLF

Antes de serem analisados, os ângulos de inclinação do campo resultante medidos na aplicação do método VLF foram tratados utilizando filtros que transformam o *crossover* (indicativo dos condutores) em “picos” positivos.

Segundo Feitosa & Manoel Filho (1997) existem duas maneiras de analisar um perfil VLF, utilizando os dados obtidos diretamente do equipamento sem tratamento ou após uma filtragem. A vantagem de filtrar os dados é que o perfil fica mais fácil de ser interpretado, por isso, praticamente só se trabalha com os dados filtrados, dois filtros são bastante utilizados, o filtro Fraser (1969) e o Karous & Hjelt (1983). Fraser (1969) elaborou o filtro, para satisfazer os seguintes critérios:

- 1- Deslocar de 90 graus os dados de inclinação, para converter o *crossover* em pico positivo;
- 2- Atenuar o grande comprimento de onda, para aumentar a resolução da anomalia local;
- 3- Não aumentar os ruídos randômicos nos dados; e
- 4- Ser de fácil aplicação.

A expressão do filtro Fraser, que envolve uma média ponderada dos valores adjacentes do ângulo de inclinação medidos, é dada por:

$$F_0 = 0,5A + 0,5B - 0,5C - 0,5D \quad (4.6)$$

Sendo F_0 o valor filtrado e A, B, C e D os dados brutos coletados através do equipamento VLF.

O filtro Karous/Hjelt é também uma média ponderada dos valores adjacentes medidos. Sua expressão é, no entanto, um pouco mais complexa que a do filtro Fraser, sendo dada por

$$F_0 = -0,102H_{-3} + 0,059 H_{-2} - 0,561H_{-1} + 0,561H_1 - 0,059H_2 + 0,102H_3 \quad (4.7)$$

Sendo F_0 o valor filtrado e H_{-3} a H_3 os dados brutos coletados através do equipamento VLF.

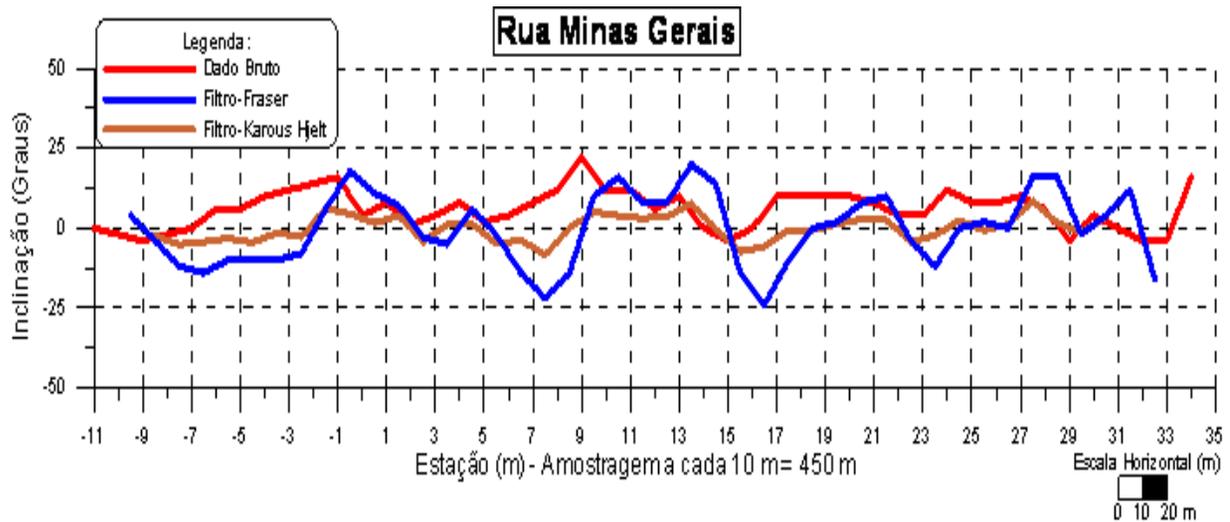


Figura 5.6 Valores medidos (linha vermelha) e filtrados com os Filtros Fraser (linha azul) e Karous & Hjelt (linha marrom) para a Rua Minas Gerais.

Na Figura 5.6 é apresentada a comparação entre os dados brutos e filtrados com os filtros Fraser e Karous & Hjelt para a Rua Minas Gerais da área de estudo. Observa-se que entre as estações 13 e 15 há uma possível anomalia representada por um cruzamento nos dados brutos. Essa anomalia aparece transformada em pico positivo tanto nos dados filtrados com filtro Fraser (linha azul), como naqueles filtrados com o filtro Karous/Hjelt (linha marrom). É possível observar, ainda, que a amplitude do pico resultante do filtro Fraser é bem mais proeminente do que o resultante do filtro Karous/Hjelt, tornando a anomalia mais facilmente reconhecível.

Na Figura 5.6 é possível observar que o filtro Fraser produz uma maior amplitude, tornando mais fácil o reconhecimento dos “picos” positivos. Por esse motivo, optou-se por analisar os dados com a aplicação do filtro Fraser.

Os valores dos ângulos de inclinação do campo magnético resultante estão representados graficamente na forma de perfis nas Figuras 5.7 e 5.8, juntamente com os valores filtrados com filtro Fraser (linha azul) e dados brutos (linha vermelha). Observa-se nessas figuras que os *crossovers* dos valores de ângulos de inclinação (indicativos da projeção do eixo dos condutores na superfície) correlacionam com picos positivos dos valores filtrados, como recomenda Fraser (1969). Isso demonstra que o filtro foi aplicado corretamente e que a análise dos dados pode ser feita a partir dos filtrados.

Na Figura 5.9 estão representados os valores filtrados com o filtro Fraser na forma de contornos de isovalores. Aparecem na Figura 5.9 apenas contornos dos valores positivos a fim de torná-la mais simples de visualizar, permitindo que se identifiquem os eixos dos condutores mais facilmente. As projeções dos eixos dos condutores na superfície, conforme sugestões dos contornos dos valores filtrados são mostradas na Figura 5.10. Observa-se nessa figura que os eixos de condutores apresentam direção preferencial NS. Esses condutores estão provavelmente associados a fraturas do embasamento preenchidas com água.

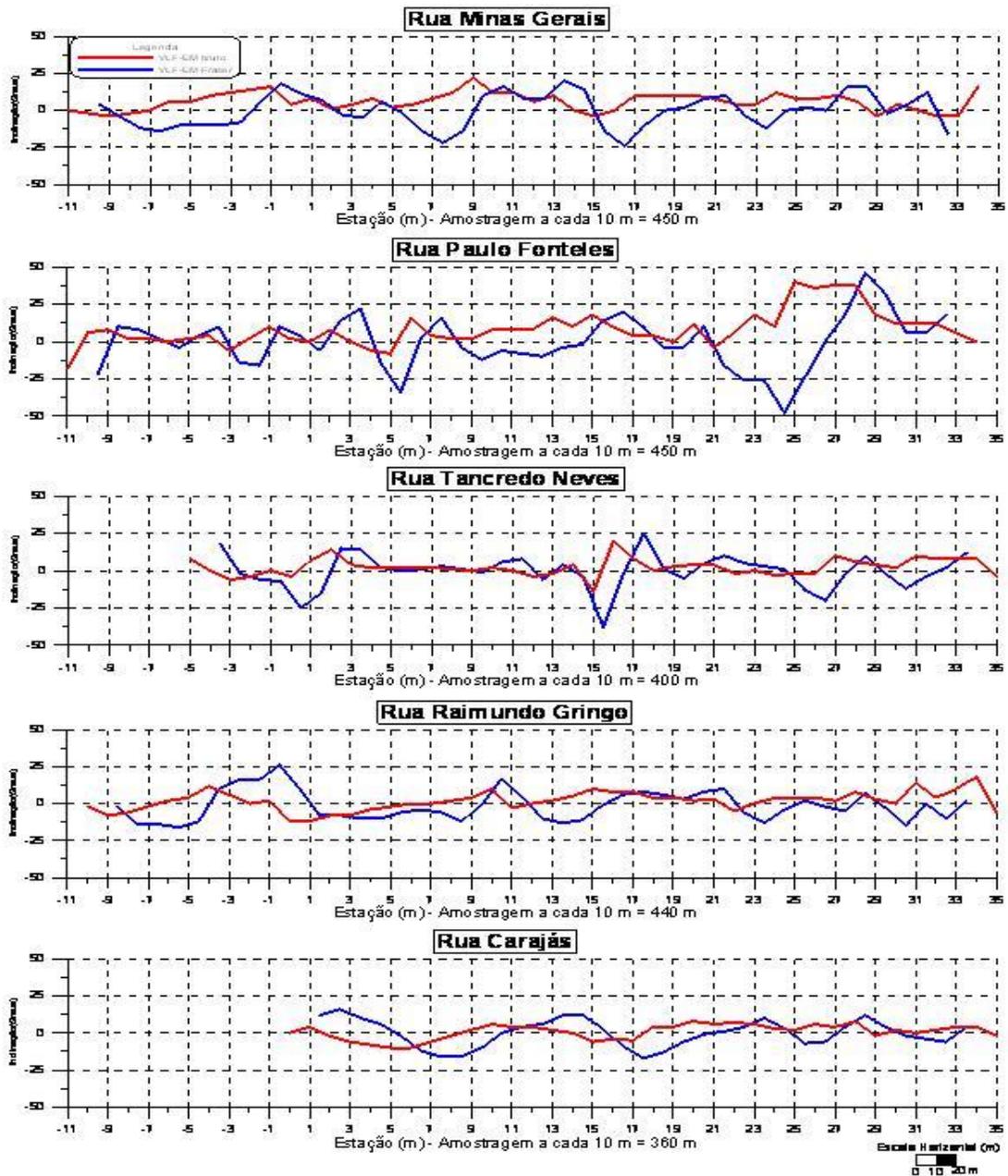


Figura 5.7 Perfis VLF de valores do ângulo de inclinação do campo magnético resultante (linha vermelha) e valores filtrados com o filtro Fraser (linha azul), para as ruas Minas Gerais, Paulo Fonteles, Tancredo Neve, Raimundo Gringo, Carajás.

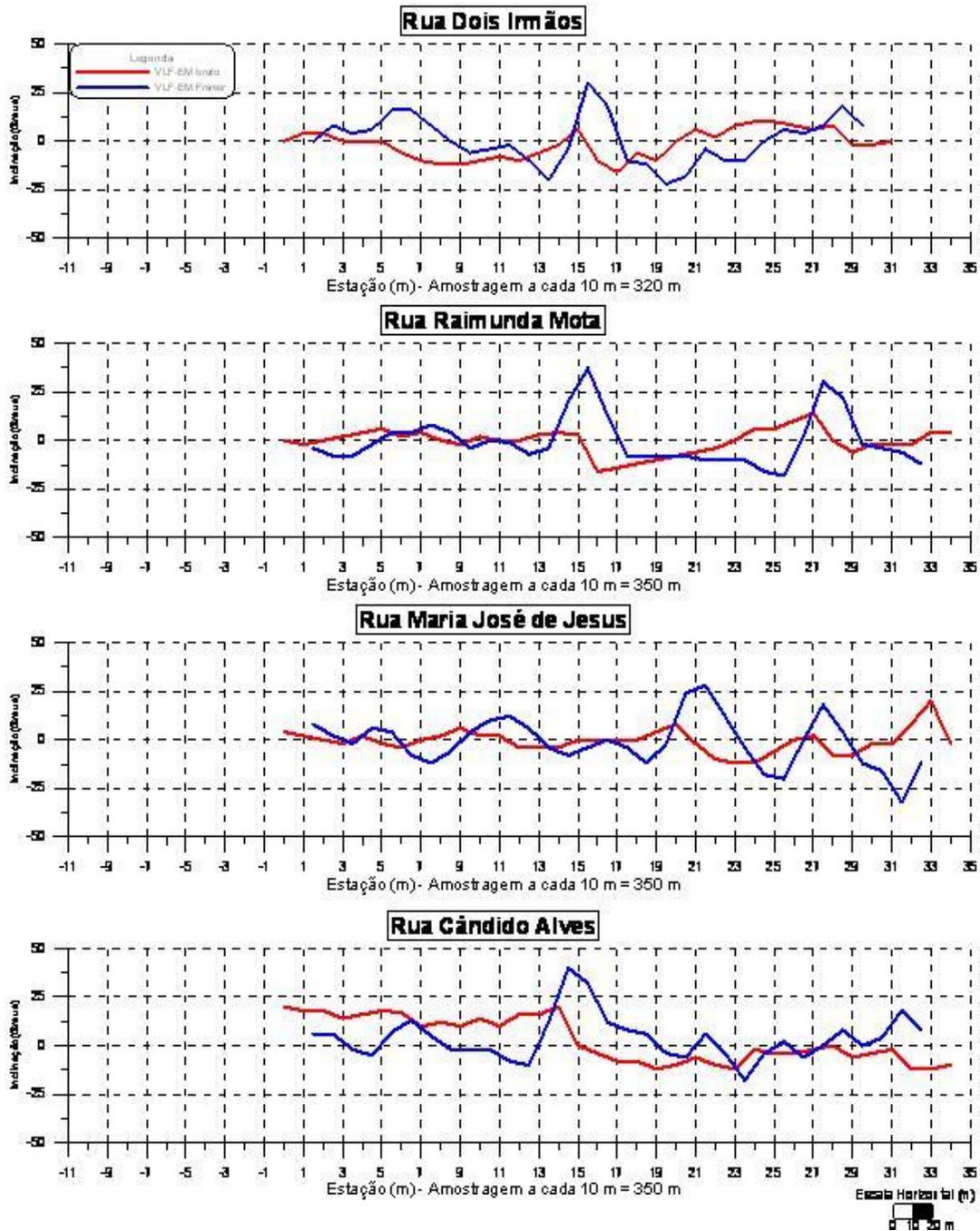


Figura 5.8 Perfis VLF de valores do ângulo de inclinação do campo magnético resultante (linha vermelha) e valores filtrados com o filtro Fraser (linha azul), para as ruas Dois Irmãos, Raimunda Mota, Maria José de Jesus e Cândido Alves.

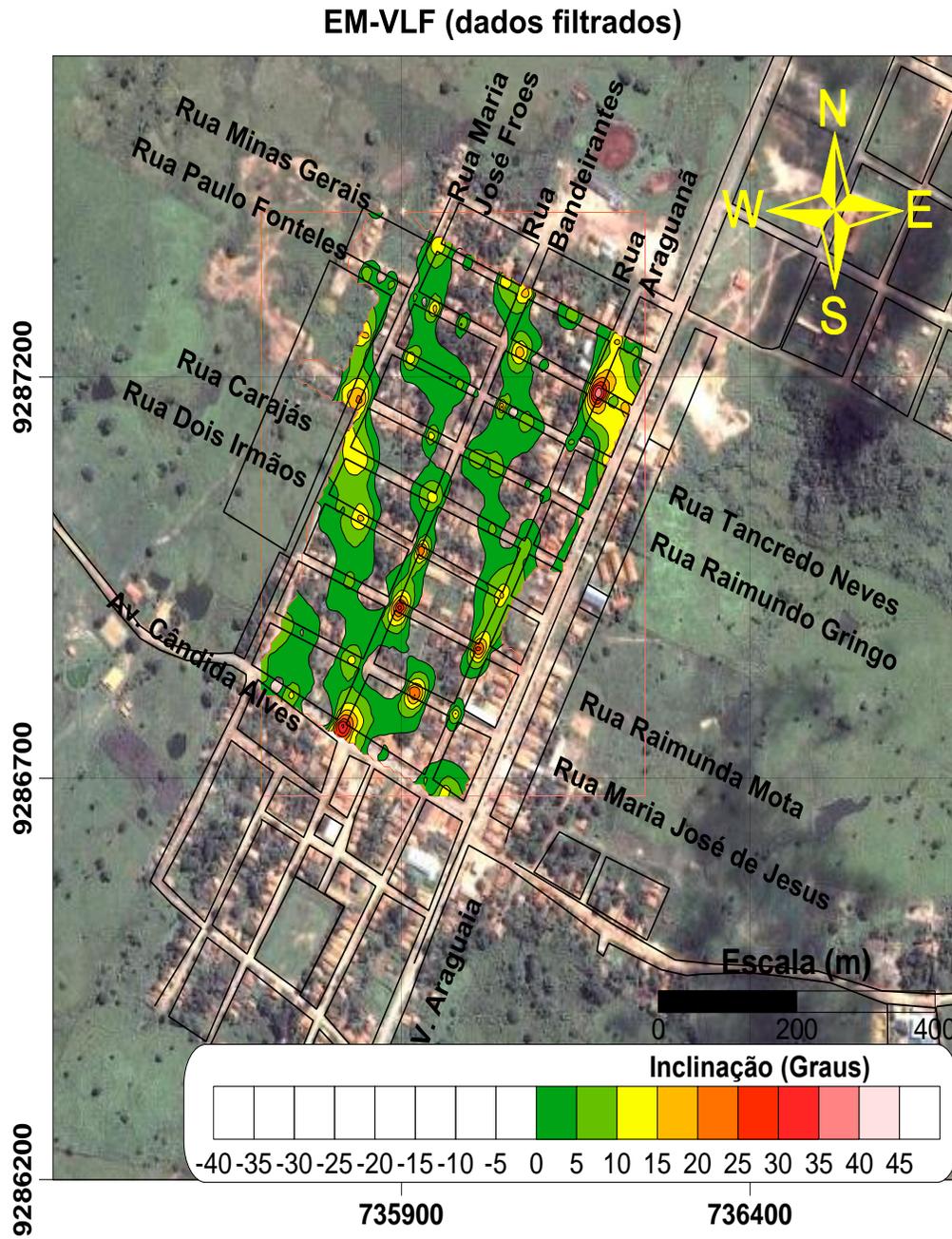


Figura 5.9 Contornos dos valores filtrados com o filtro Fraser.

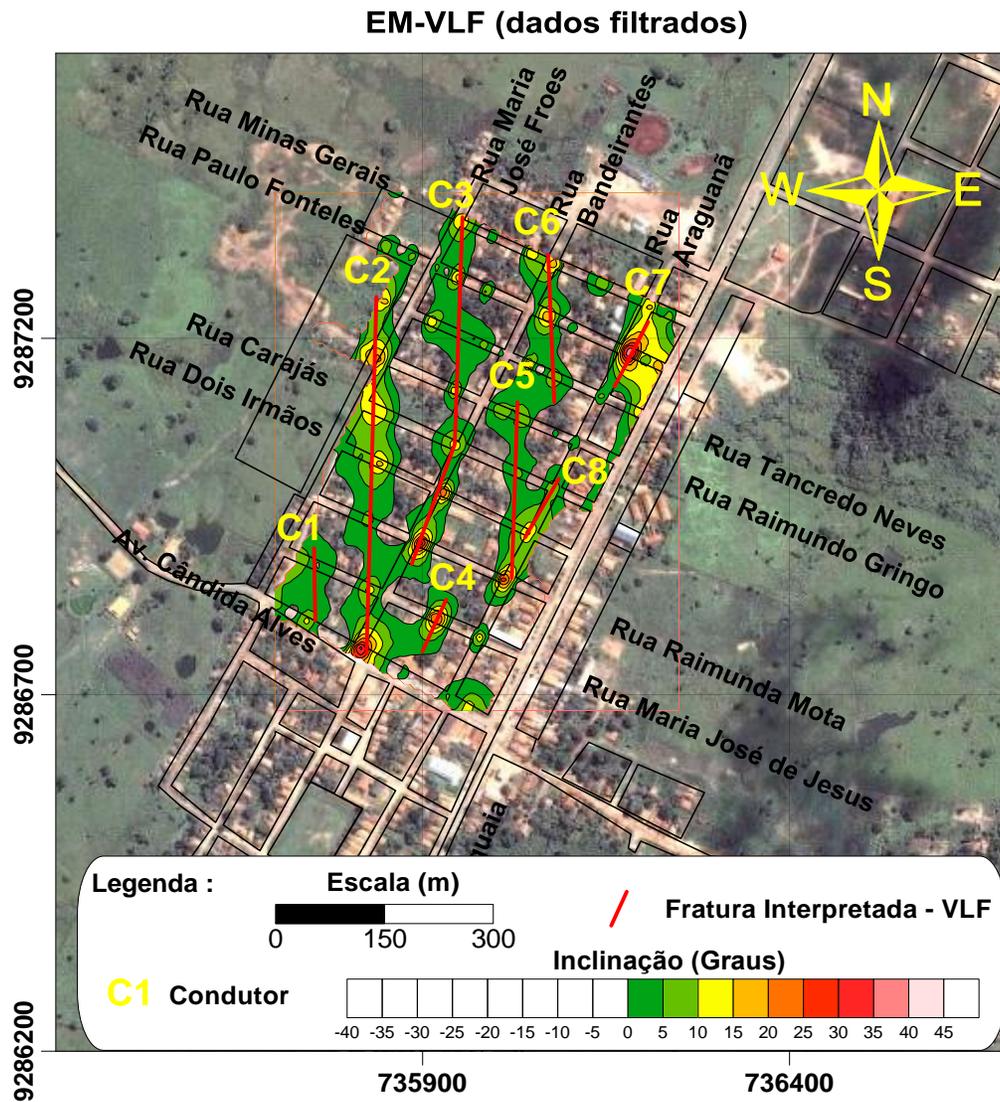


Figura 5.10 Representação da projeção dos eixos dos condutores na superfície (linhas vermelhas), sobre o mapa de contornos dos valores positivos dos dados VLF filtrados com o filtro Fraser. Os eixos dos condutores foram interpretados como fraturas no embasamento.

5.4 CORRELAÇÃO ENTRE SEV E VLF

O método VLF evidenciou anomalias condutivas possivelmente relacionadas a zonas de faturamento preenchido por água.

O levantamento com o método da eletrorresistividade permitiu que se estabelecesse um modelo para a subsuperfície, em que são identificadas duas zonas promissoras para serem usadas como fonte de abastecimento de água para a cidade de Piçarra. Essas zonas são a camada arenoso-argilosa saturada e a zona de rochas metamórficas fraturadas. As maiores espessuras dessas zonas foram estimadas respectivamente nas posições das SEV 7 e SEV 4.

A correlação dos resultados de VLF e eletrorresistividade indica como a região mais promissora para realização de poços de captação de água aquela delimitada onde ocorrem os condutores VLF que contém a posição das SEV 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 e 9. Essa região é identificada pela área azul na Figura 5.13. Em particular, a SEV 3 apresentou um modelo geoelétrico que indica a espessura de 7,9 m para a camada arenosa saturada e o mínimo de 39 m para a zona de rocha fraturada. A região estende-se desde às proximidades da Rua Maria José de Jesus entre a Rua Bandeirantes e Av. Araguaianã até a Rua Minas Gerais entre as Ruas Bandeirantes e Maria José Frois.

A segunda opção em importância para a locação de poços de captação de água é aquela em que ocorre a anomalia de condutor VLF mais extensa, identificada também pela área azul, dando ênfase para a posição da SEV8, que mostrou uma espessura de 5,8 m e resistividade de 28 Ohm. m para a camada arenosa saturada e uma espessura mínima de 34,5 m e resistividade de 104 Ohm. m para a zona de rocha fraturada. Nessa região também foi realizada a SEV 9, cujo modelo indicou espessura para a camada arenosa de 12,9 m e resistividade de 79 Ohm.m, mas não permitiu estimar a espessura da zona fraturada. A região se estende desde Av. Cândido Alves até a Rua Minas Gerais.

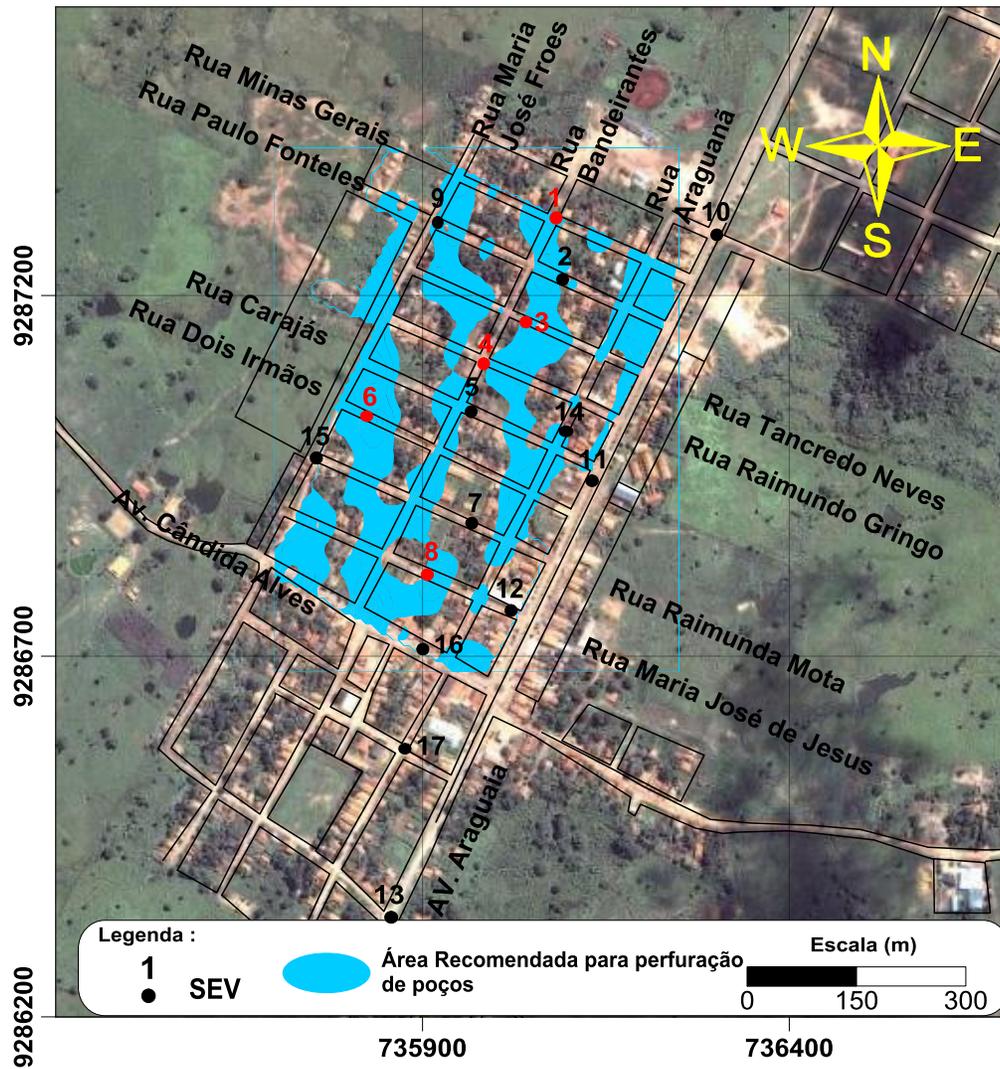


Figura 5.11 Mapa de localização dos locais recomendados para a perfuração de poços de captação de água subterrânea. As regiões em azul são indicações do VLF. Os números em vermelho indicam a posição das SEVs que produziram as melhores indicações.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa mostra que parte da área investigada é composta por rochas metamórficas com potencialidade para exportação de água.

A partir da correlação entre os modelos das SEVs, os dados do método VLF e informações geológicas foram possíveis identificar a posição de condutores associados a fraturas com água (VLF) e estimar a espessura da rocha fraturada (SEV).

A maior espessura de rochas fraturadas, segundo análise dos modelos geoeletricos, ficou em torno de 65,9 m, encontrada na SEV 4 localizada na Rua Raimundo Gringo, próximo do condutor C5 indicado pelo VLF (Figura 5.9).

A direção preferencial das fraturas com água identificadas pelo VLF é NS, que está de acordo com a informação geológica de Côrrea (1998).

As informações fornecidas pelas SEVs e pelo VLF sugerem como o melhor local para perfuração de poços a área em azul (Figura 5.11), que se estende desde as proximidades da Rua Maria José de Jesus entre as Ruas Bandeirantes e Av. Araguaã até a Rua Minas Gerais entre as Ruas Bandeirantes e Maria José Frois. Nessas localidades foram feitas as SEVs 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 14, dando destaque para SEV 4 com espessura de 65,9 m e resistividade de 113 Ohm.m para rochas fraturadas e para a SEV7 com espessura de 34,7 m e resistividade de 21 Ohm.m para zonas argilosas.

A segunda opção para perfuração está representada pela área, destacada em azul na Figura 5.11, que se estende desde a Av. Cândido Alves até a Rua Minas Gerais. Nessas localidades foram realizadas as SEVs 9, 8 e 16, com destaque para a SEV8 que mostrou uma espessura de 34,5 m e resistividade de 104 Ohm. m para rochas fraturadas.

Os melhores locais da área recomendados para perfuração, indicados pelo VLF e SEV, ficam nas proximidades das SEVs 1, 3, 4, 6 e 8, pois nesses locais há provavelmente rochas metamórficas fraturadas contendo água e uma grande espessura de material arenoso isolado da superfície do terreno por camada impermeável de argila, contribuindo para que não haja contaminação da água subterrânea por materiais e agentes nocivos à saúde. Os locais estão na região que se estende desde as proximidades da Rua Minas Gerais, próximo da Rua Bandeirantes, até à Rua Dois Irmãos e aparecem destacados pelos números em vermelho (Figura 5.11).

REFERÊNCIAS

- BAHIA, V. E. **Estudo Hidrogeológico da área localizada entre o depósito de lixo metropolitano de Belém (Aurá) e o lago da água preta.** 2003. 101f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Pará, 2003.
- BARKER, R.D. **Depth of Investigation of Collinear Symmetrical Four-Electrode Arrays.** *Geophysics*, v.54, n.8, p. 1031-1037,1989.
- BEZERRA, Cesar Augusto Campos de Alencar; Universidade Federal do Pará. **Eletrorresistividade aplicada ao estudo de água subterrânea no município de Salva terra - Marajó - Pará.** 1979. 56 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará. Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas, 1979.
- CORRÊA, J.A.M. **Projeto de avaliação da qualidade de águas em aquíferos Livres na cidade de Piçarra no município homônimo.** Relatório Preliminar. Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará, 7 p. 1998.
- EDWARDS, L.S. A Modified Pseudosection for Resistivity and Induced-Polarization. *Geophysics*, v.42, n.5, p.1020-1036.1977.
- FEITOSA, E.C; OLIVEIRA, R.G. de; DEMÉTRIO, J.G.A. Métodos geofísicos, In: FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.(Coord.) **Hidrogeologia: conceitos e aplicações:** Fortaleza: CPRM, UFPE,1997.p209 – 252.
- FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). **Levantamento geofísico integrado para exploração de água subterrânea no Cristalino.** Disponível em: <http://msg.funceme.br:8082/funceme/projetos-1/projetos-concluidos/projeto-cristalino.Acesso> em 16 de agosto de 2011.
- FRASER, D.C. Contouring of VLF-EM Data. *Geophysics*, v.34;p.958-967. 1969.
- FREITAS FILHO, L. S. **Prospecção de água subterrâneas no município de Novo Repartimento – PA:** aplicando métodos elétricos e eletromagnéticos. 2006. 59f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA(IBGE) em (2008 (Agência da noticia disponível em <www.faxaju.com.br/viz>. Acesso em 20 agosto 2009.
- KAROUS, M. and HJELT. Linear filtering of VLF Dip- Angle Measurements. *Geophysical Prospecting*, v.31, p. 782-794. 1983.
- LUIZ, J.G.; SILVA, L.M. da C. **Curso de geofísica de prospecção.** Belém: UFPA. Centro de Geociências, 1983. 276p. (Apostila)

MONTEIRO, EDSON CARDOSO; RIJO, LUIZ; UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ. **Estudo da hidrogeologia no município de Palestina do Pará usando o método de eletrorresistividade**. 1998. 71 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará.

ORELLANA, E. *Prospeccion geoelectrica en corriente continua*, 2 edição. Madrid: Paraninfo, 580 p., 1982.

PHILIPS, W. I.; RICHARDS, W. E. A study of the effectiveness of the VLF method for electromagnetic method. **Geoexploration**, v, 9, p. 7 – 16. 1975.

PONTE, M.X. **Pesquisa geofísica realizada em convênio – FNS/UFPa de 1988 – 1995 (jul) – e déficit da demanda de consumo de água potável no Estado do Pará**. Belém: Funasa, 1995. (Relatório Diagnóstico).

REYNOLDS, J.M. **An introduction to applied and environmental geophysics**. New York: John Wiley, 1997. 796 p.

ROY, A. & APPARAO, A. **Depth of Investigation in Direct Current Methods**. **Geophysics**, v.36, n.5, p 943-959.1971.

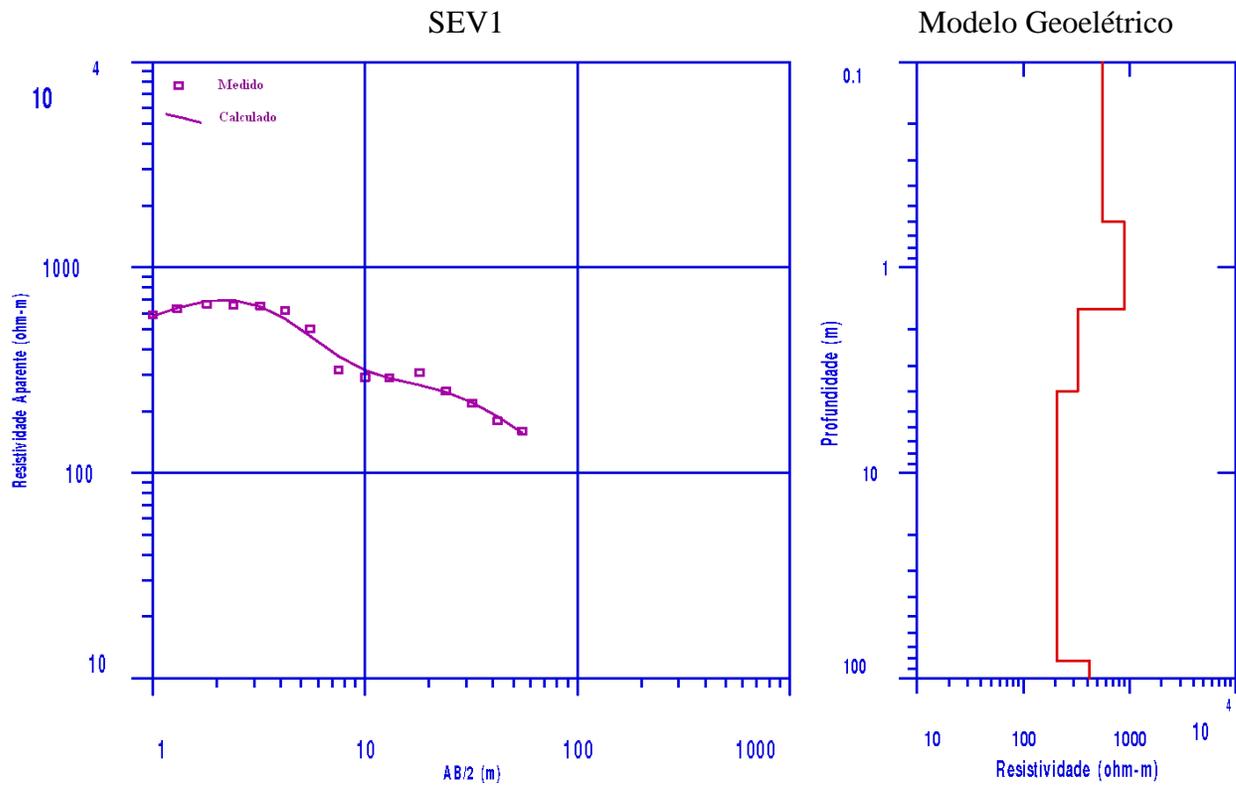
SILVA, R.S. **Aplicação dos métodos geofísicos elétrico e eletromagnético na determinação de unidades sedimentares costeiras tropicais em Bragança Nordeste do Pará**. 2002. 63f. Dissertação (Mestrado em geofísica) – Universidade Federal do Pará, 2002.

SOUSA, G.C. **Aplicação dos métodos eletromagnético indutivo, eletrorresistividade e IP domínio do tempo em caracterização Geoambiental**. 2007. 103f. Dissertação (Mestrado em geofísica) – Universidade de São Paulo, 2007.

VIÉGAS CAMPOS, J.C. **Estudo Hidrogeológico da bacia do rio Cabuçu - zona oeste do município do Rio de Janeiro**. 1996. 119f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1996.

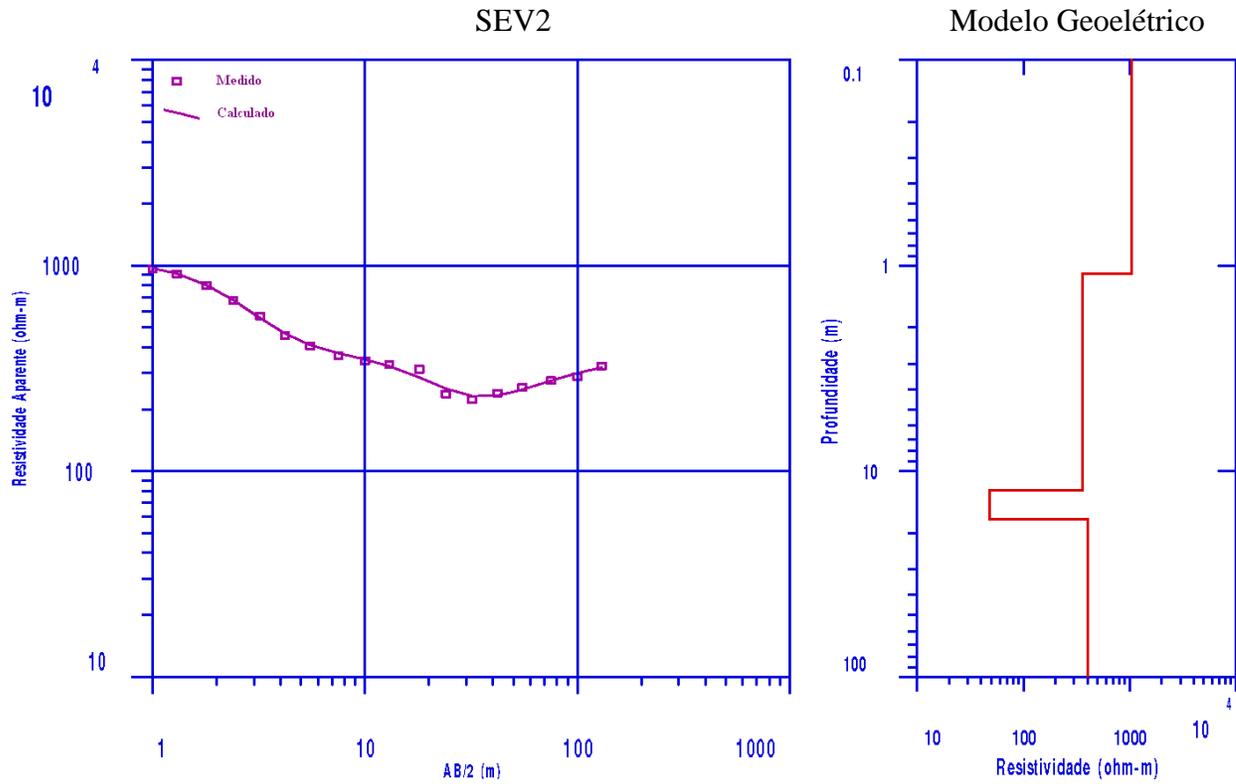
APÊNDICES

APÊNDICE A - SEVS E RESPECTIVOS MODELOS GEOELÉTRICOS



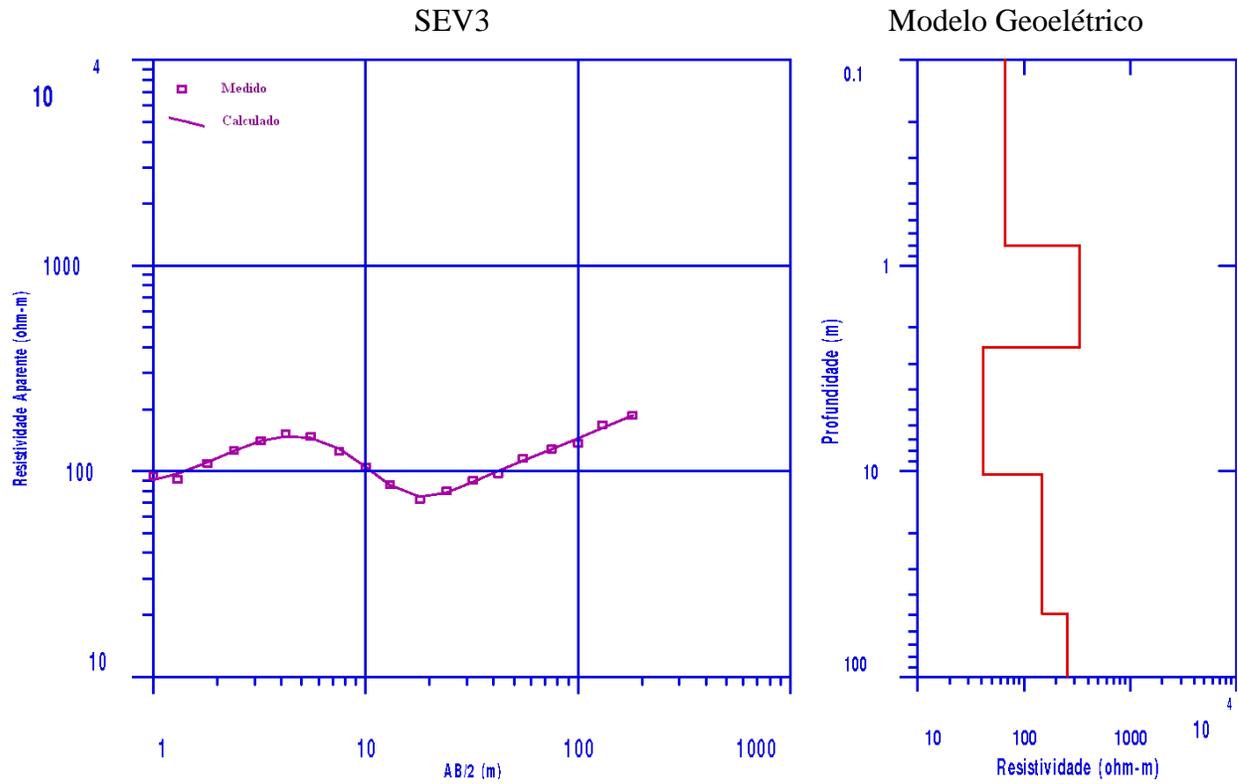
Modelo Geométrico – SEV 1

Camada	Resisi (Ohm.m)	Espes. (m)	Prof. (m)
1	557	0.6	0.6
2	892	1.0	1.6
3	325	2.4	4
4	208	78.1	82.1
5	417		



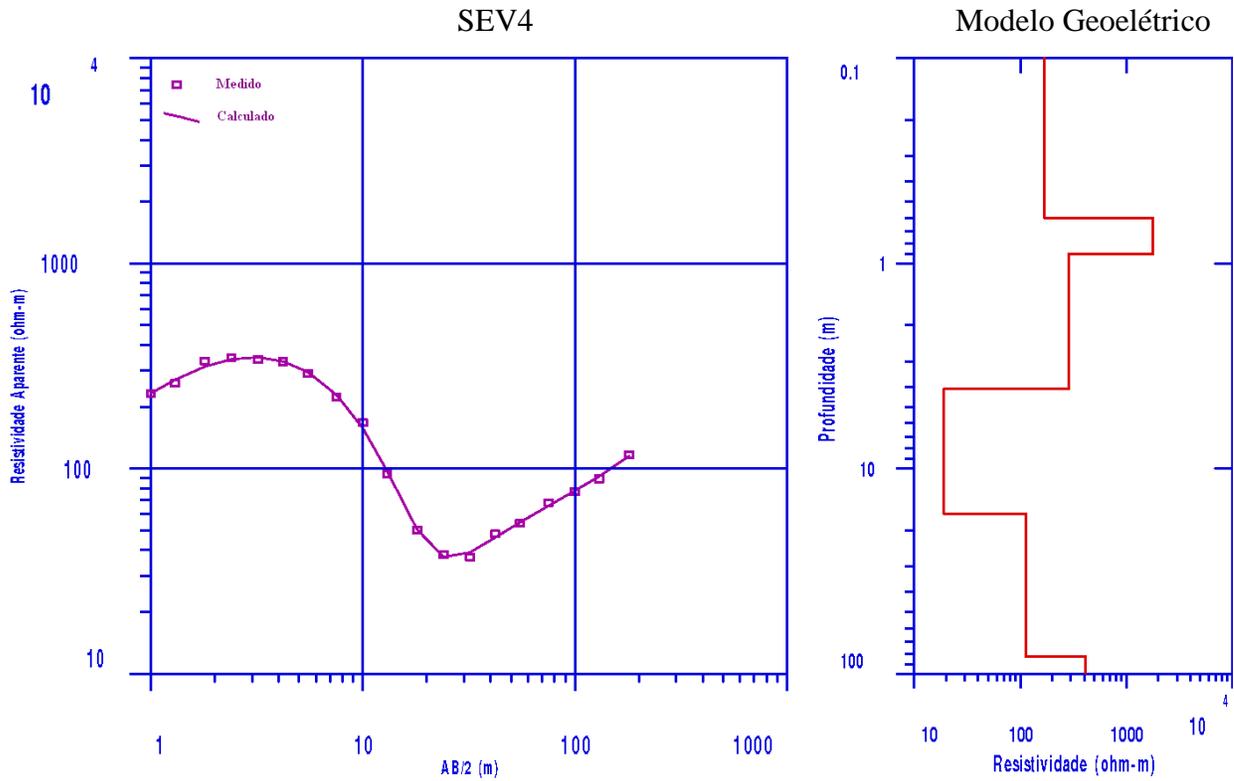
Modelo Geométrico – SEV 2

Camada	Resist (Ohm.m)	Espes. (m)	Prof. (m)
1	1040	1.1	1.1
2	358	11.3	12.40
3	48	4.7	17.1
4	406		



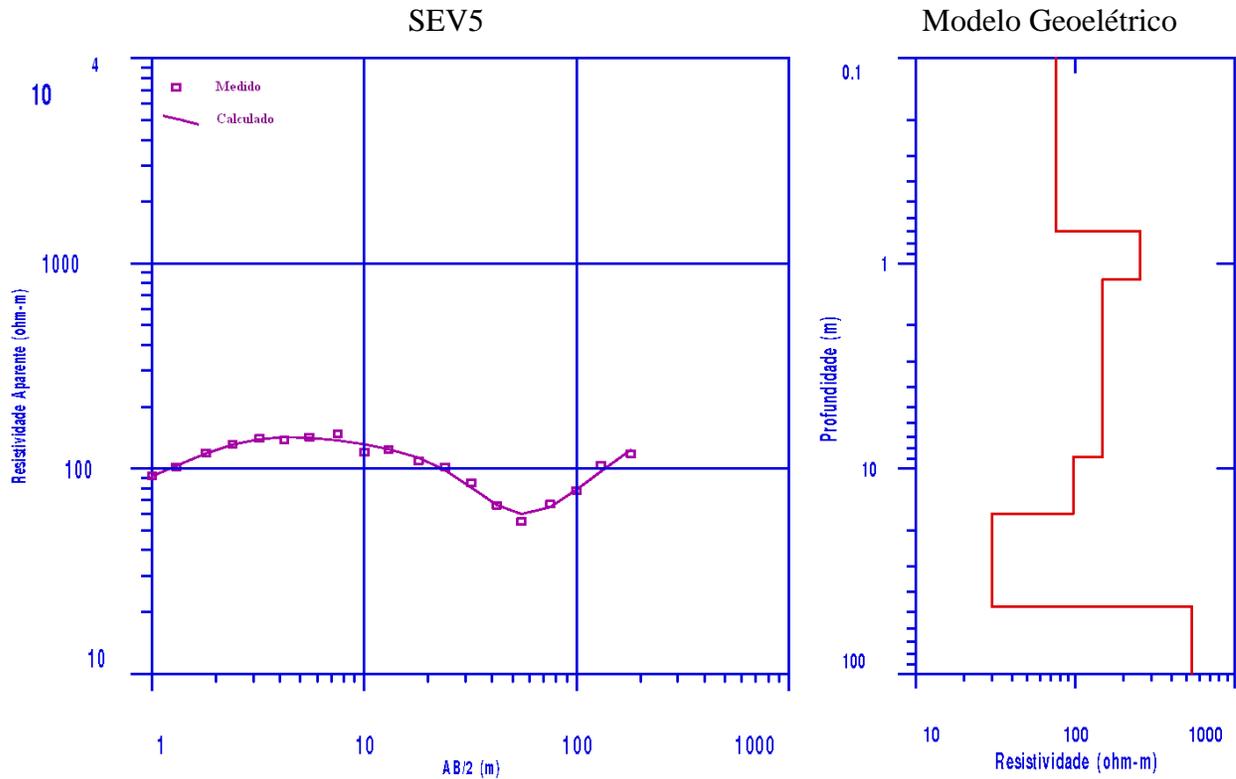
Modelo Geométrico – SEV 3

Camada	Resist (Ohm.m)	Espes. (m)	Prof. (m)
1	66	0.8	0.8
2	337	1.7	2.5
3	41	7.9	10.4
4	148	39	49.4
5	258		



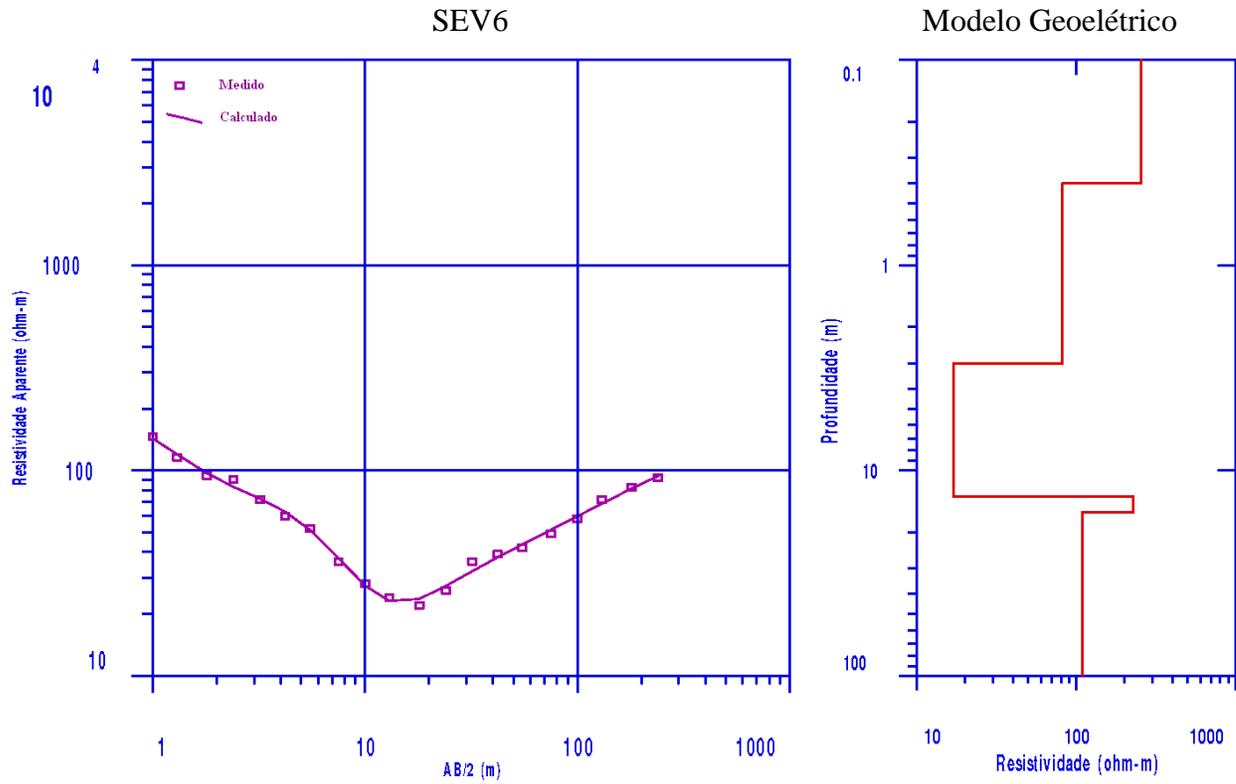
Modelo Geolétrico – SEV 4

Camada	Resist (Ohm.m)	Espes. (m)	Prof. (m)
1	169	0.6	0.6
2	1793	0.3	0.9
3	285	3.2	4.1
4	19	12.5	16.6
5	113	65.9	82.5
6	415		



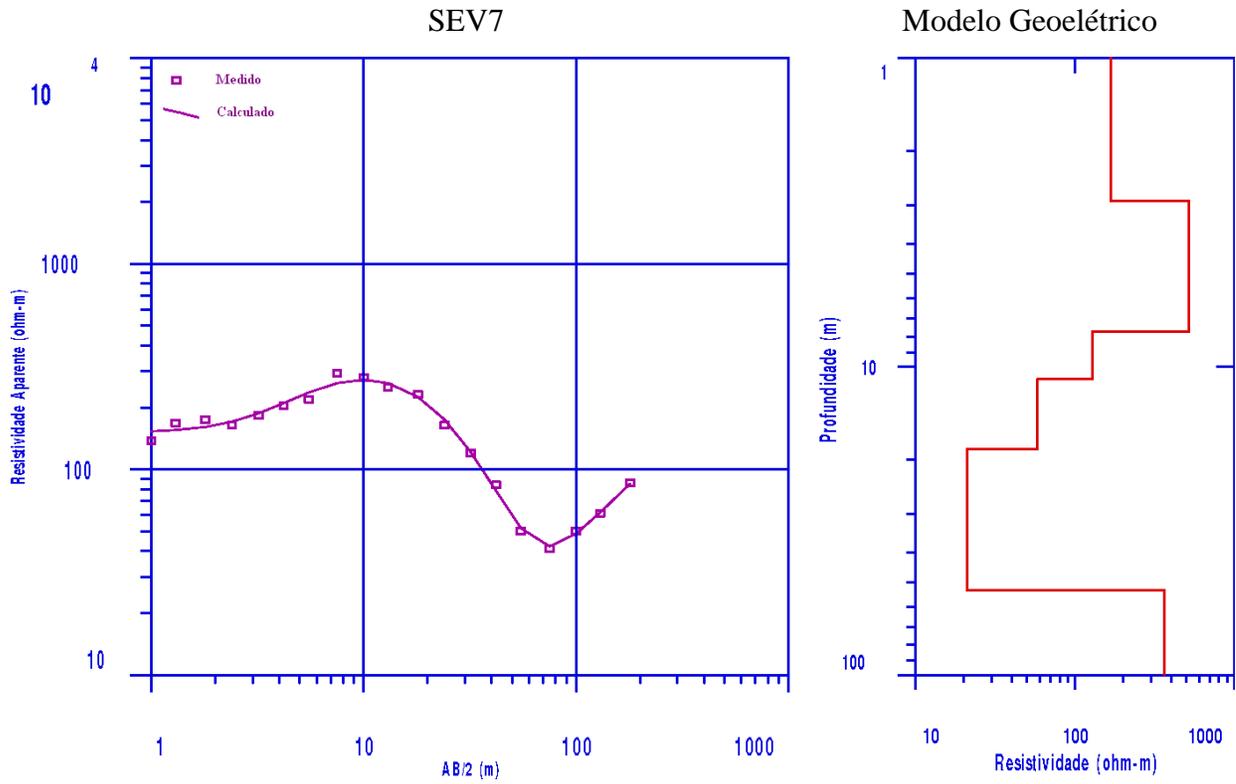
Modelo Geométrico – SEV 5

Camada	Resist (Ohm.m)	Espes. (m)	Prof. (m)
1	76	0.7	0.7
2	255	0.5	1.2
3	148	7.6	8.8
4	97	7.8	16.6
5	30	30.4	47
6	538		



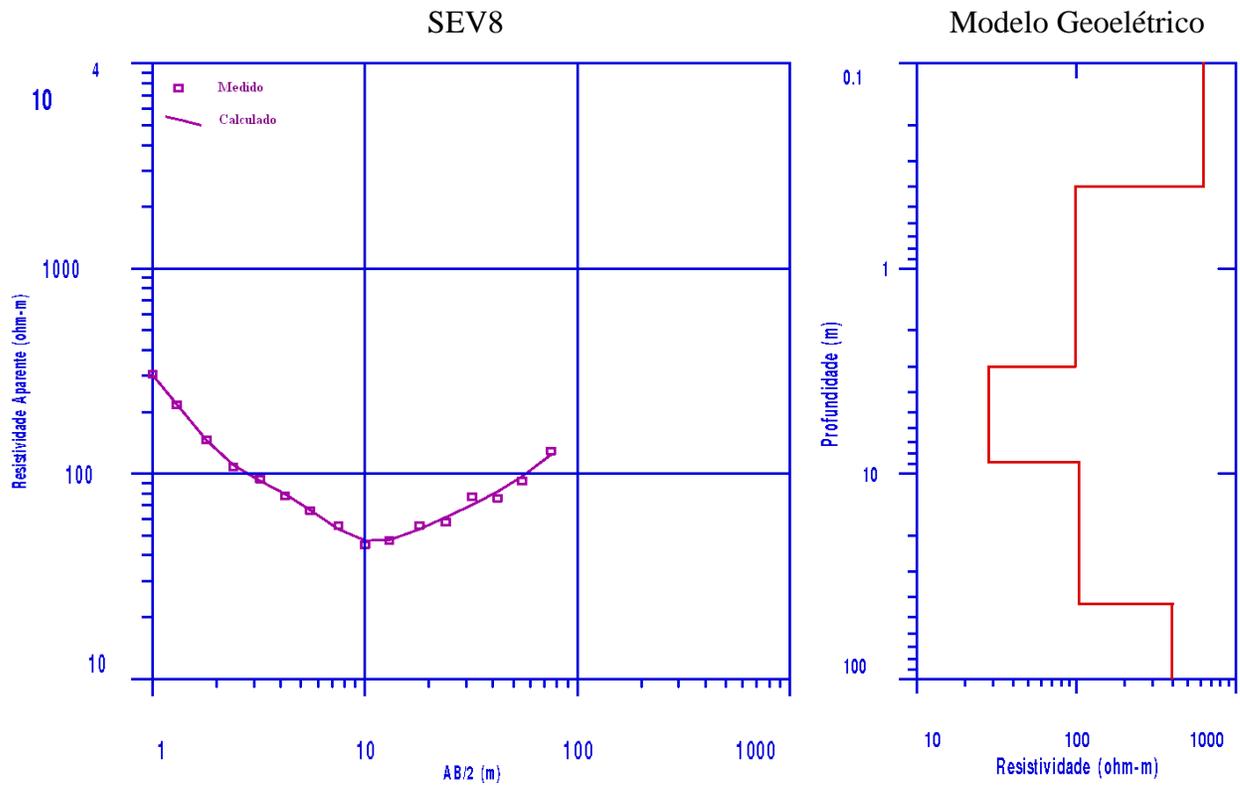
Modelo Geométrico – SEV 6

Camada	Resist (Ohm.m)	Espes. (m)	Prof. (m)
1	255	0.4	0.4
2	82	2.6	3
3	17	10.4	13.4
4	227	2.6	16
5	109		



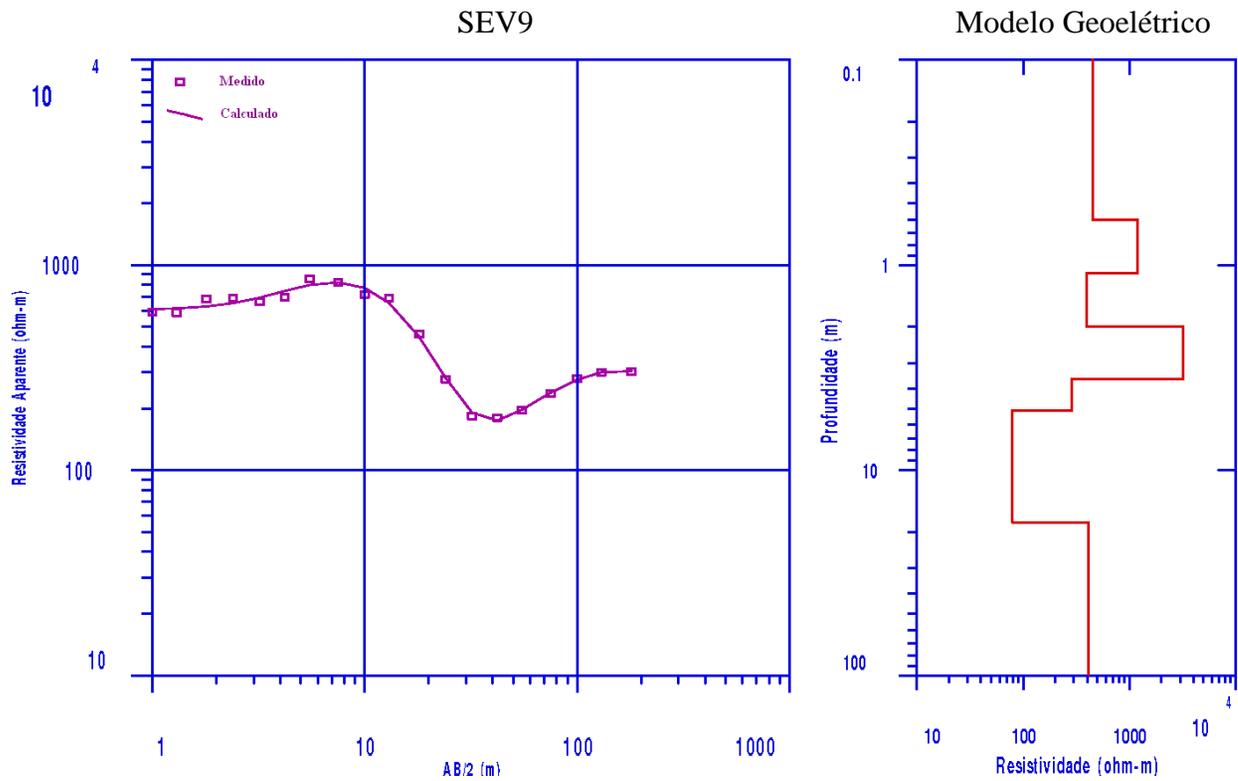
Modelo Geométrico – SEV 7

Camada	Resist (Ohm. m)	Espes. (m)	Prof. (m)
1	167	2.9	2.9
2	520	4.8	7.7
3	129	3.3	11
4	58	7.5	18.5
5	21	34.7	53.2
6	365		



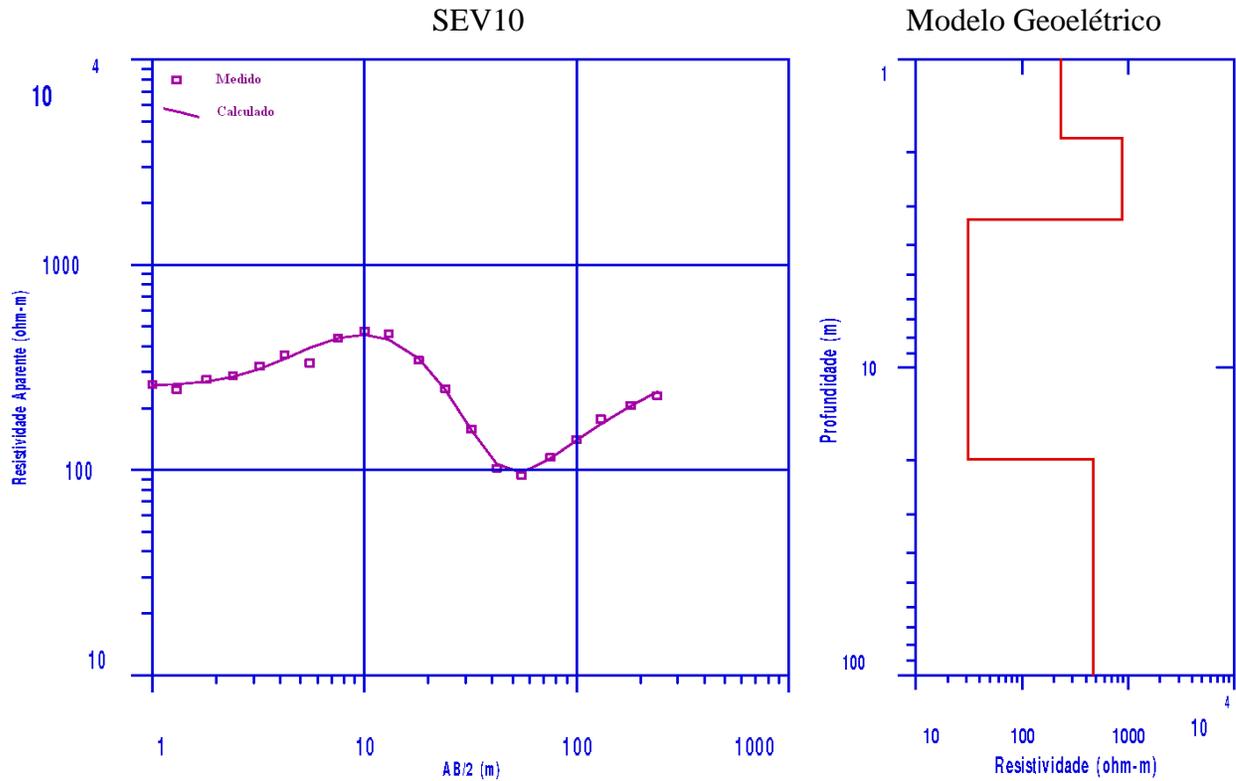
Modelo Geométrico – SEV 8

Camada	Resist (Ohm.m)	Espes. (m)	Prof. (m)
1	626	0.4	0.4
2	98	2.6	3
3	28	5.8	8.8
4	104	34.5	43.3
5	399		



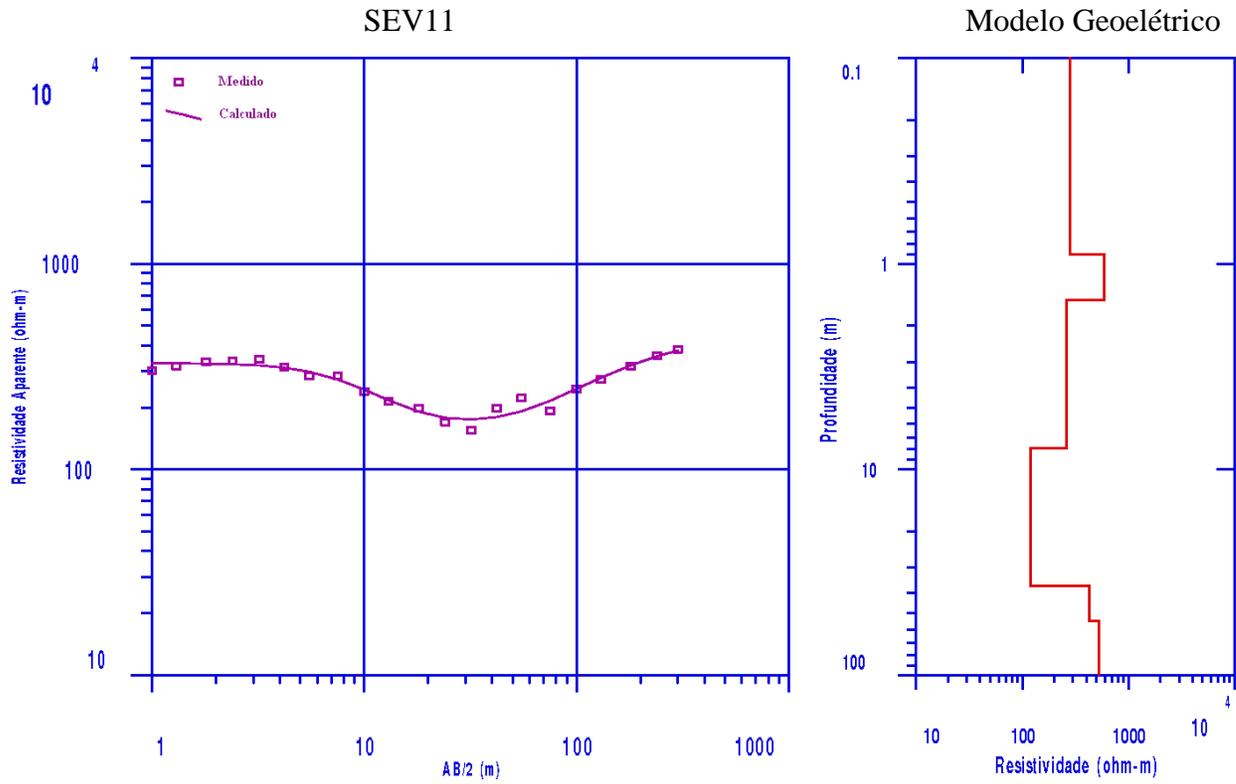
Modelo Geoelétrico – SEV 9

Camada	Resist (Ohm.m)	Espes. (m)	Prof.(m)
1	451	0.6	0.6
2	1203	0.5	1
3	396	0.9	2
4	3214	1.6	3.6
5	288	1.5	5.1
6	79	12.9	18
7	408		



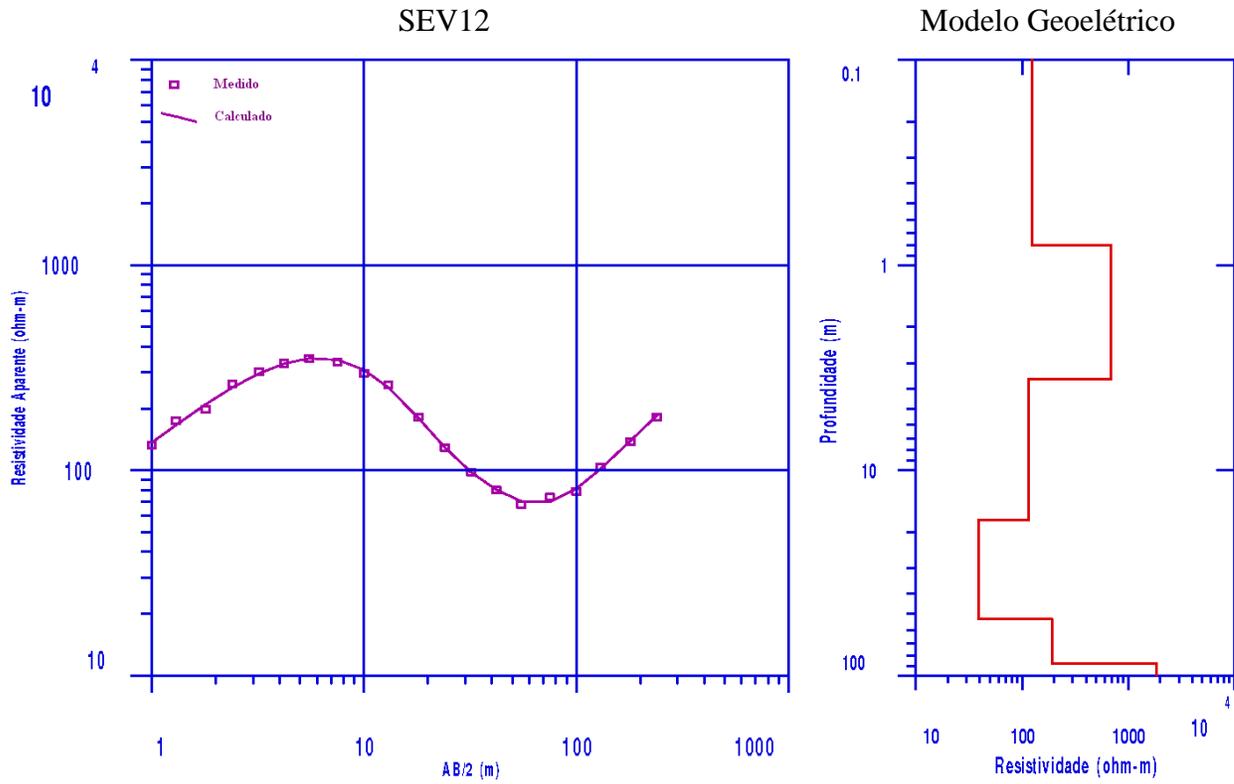
Modelo Geolétrico – SEV 10

Camada	Resist (Ohm.m)	Espes. (m)	Prof. (m)
1	234	1.8	1.8
2	879	5.5	3.3
3	31	16.6	19.9
4	470		



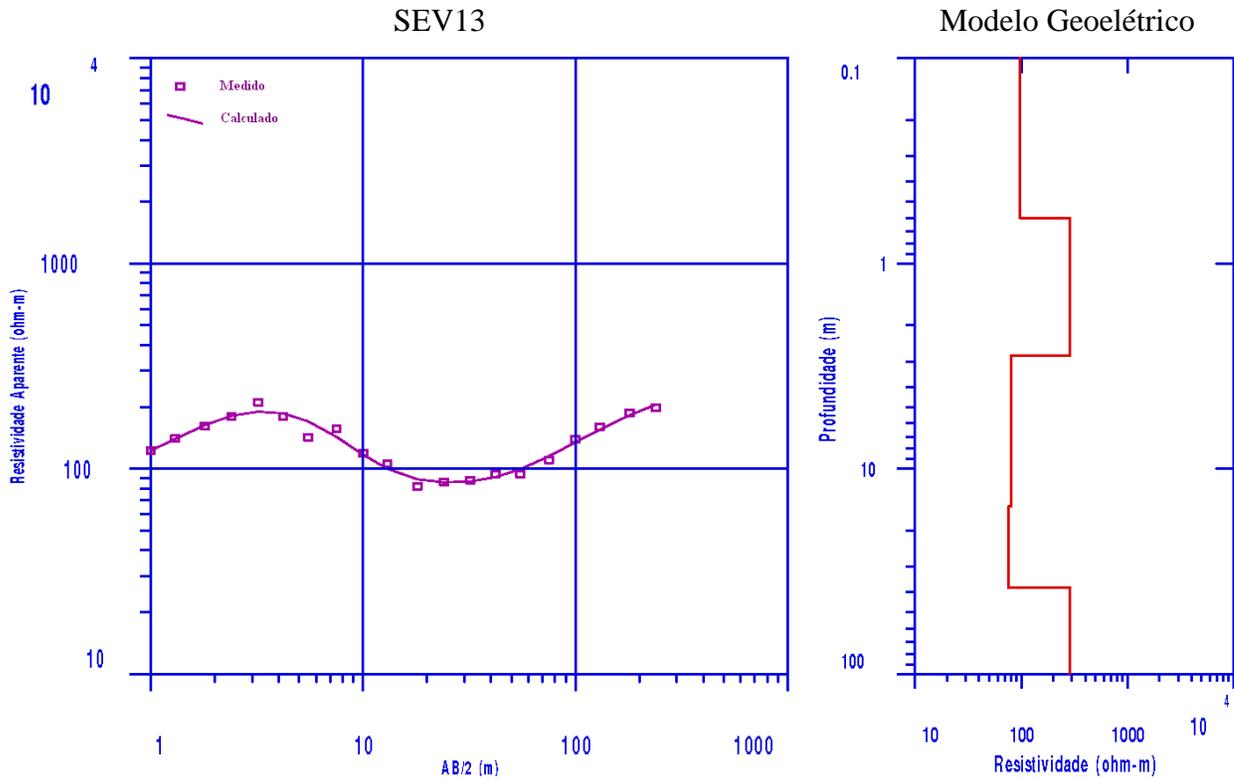
Modelo Geométrico – SEV 11

Camada	Resist. (m)	Espes. (m)	Prof. (m)
1	284	0.9	0.9
2	588	0.6	1.5
3	259	6.4	7.9
4	120	29.1	37
5	430	17.7	54.7
6	529		



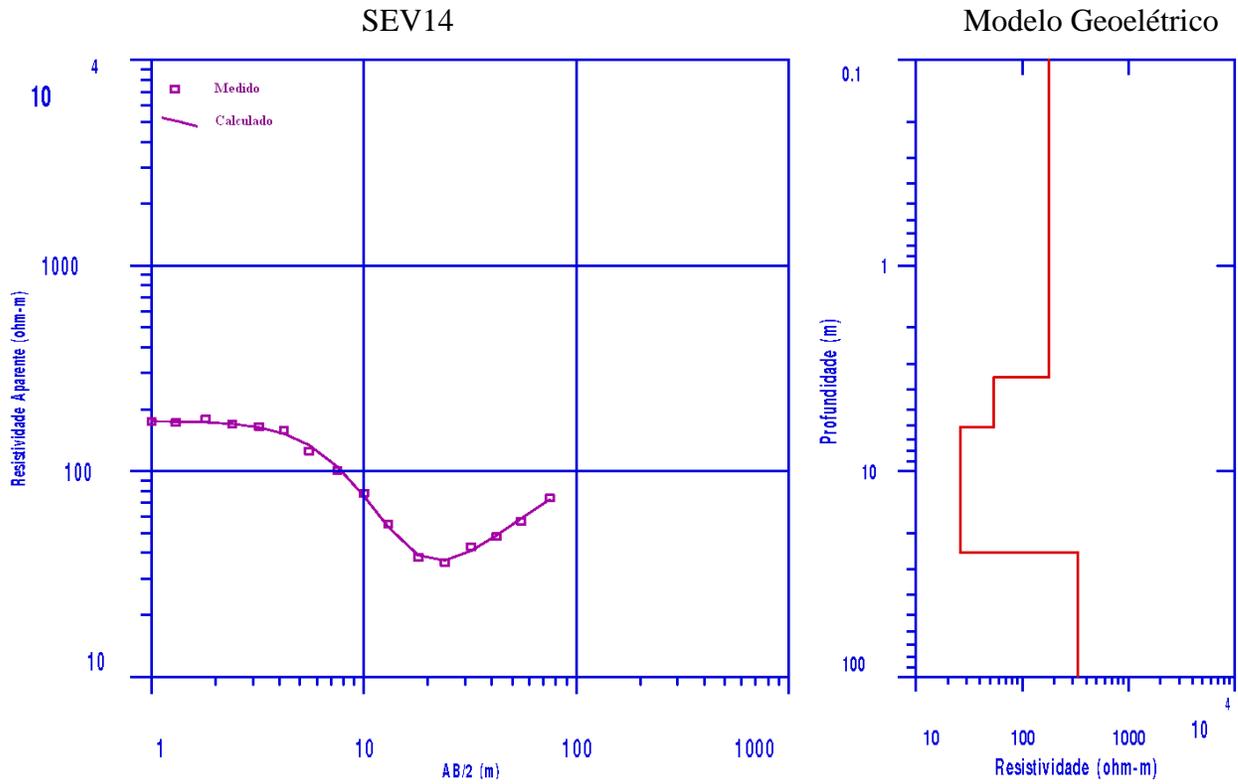
Modelo Geométrico – SEV 12

Camada	Resist. (m)	Espes. (m)	Prof. (m)
1	125	0.8	0.8
2	684	2.8	3.6
3	116	13.8	17.4
4	39	35.8	53.2
5	191	34.8	88
6	1848		



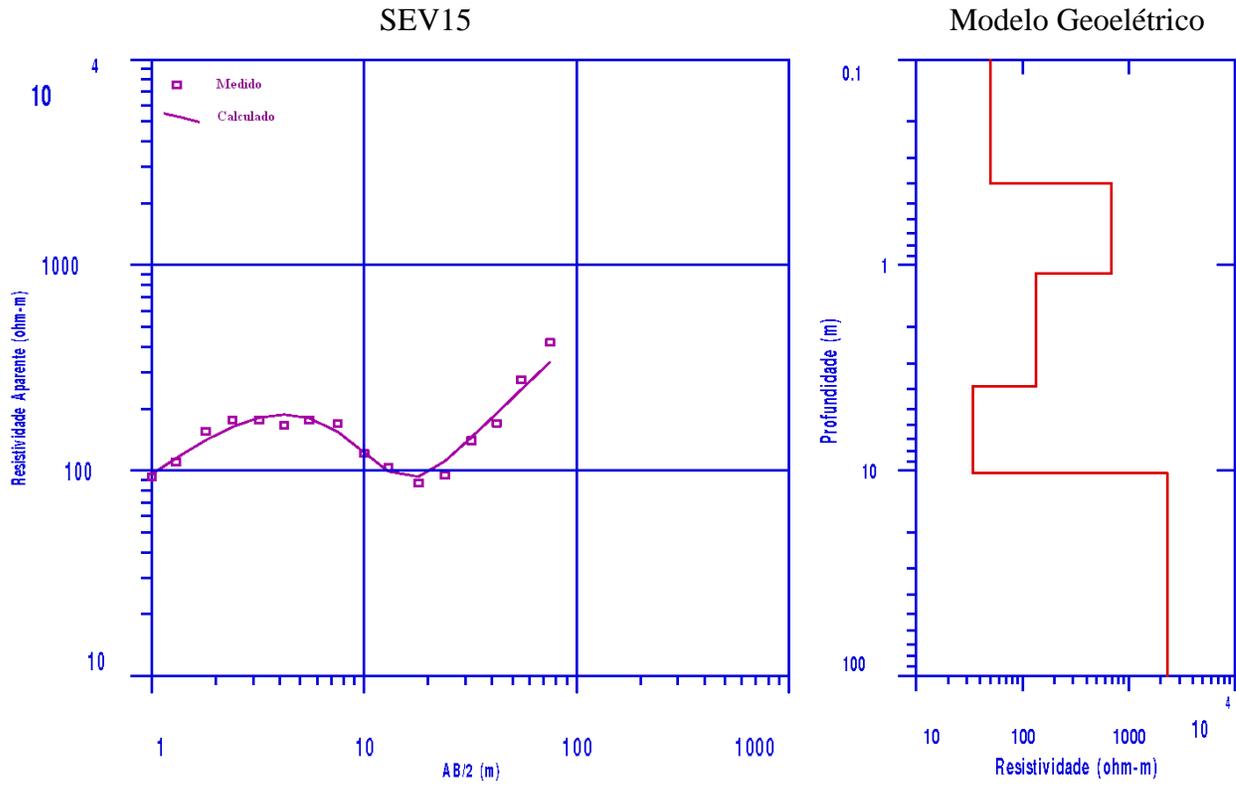
Modelo Geométrico – SEV 13

Camada	Resist. (m)	Espes. (m)	Prof. (m)
1	98	0.6	0.6
2	288	2.2	2.8
3	80	12.5	15.3
4	76	22.7	38
5	285		



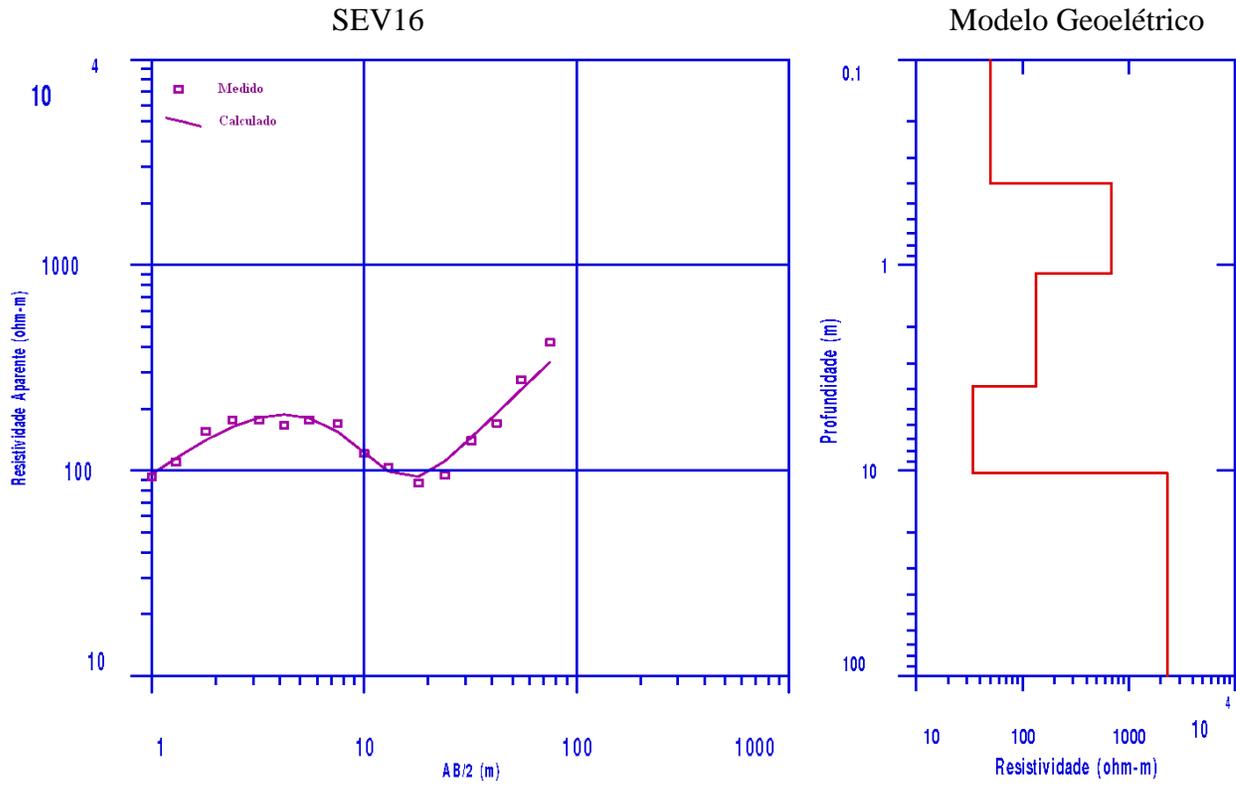
Modelo Geométrico – SEV 14

Camada	Resist. (m)	Espes. (m)	Prof. (m)
1	177	3.5	3.6
2	54	2.6	6.1
3	26	18.9	25
4	333		



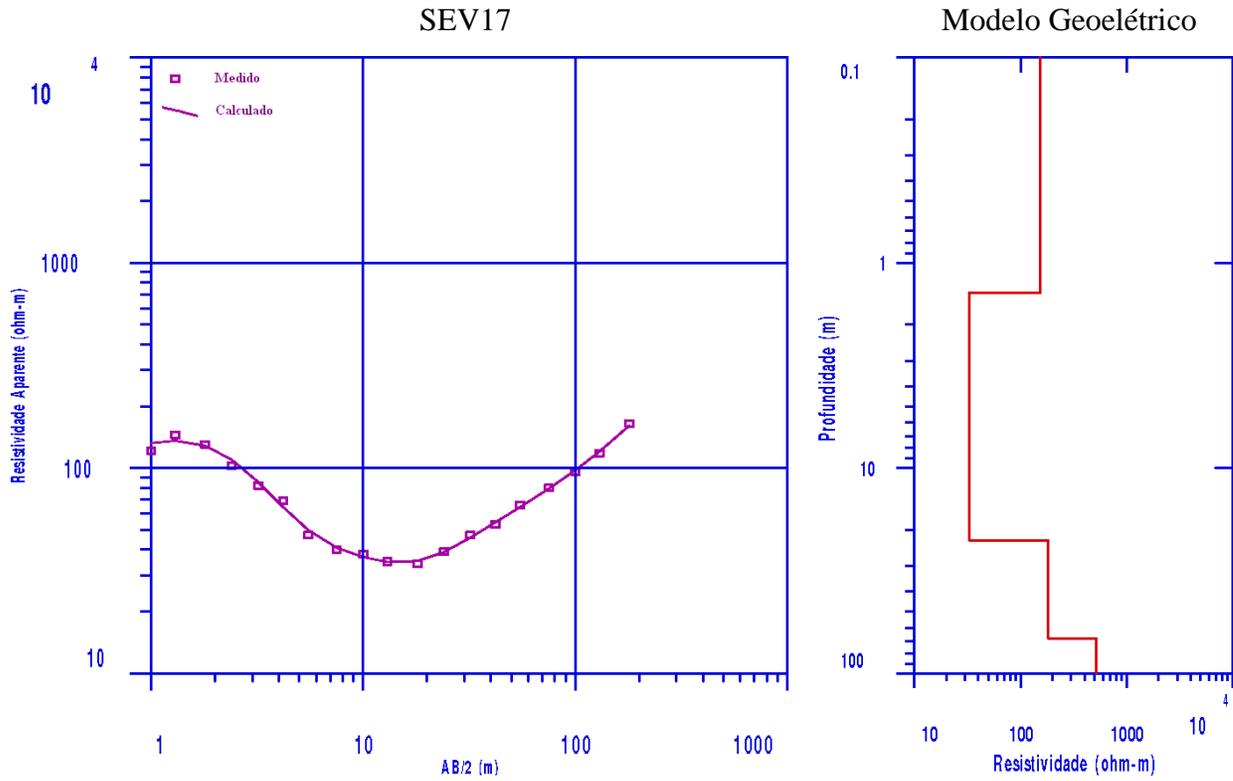
Modelo Geométrico – SEV 15

Camada	Resist (Ohm.m)	Espes. (m)	Prof. (m)
1	50	0.4	0.4
2	685	0.7	1.1
3	134	2.8	3.9
4	34	6.4	10.3
5	2298		



Modelo Geométrico – SEV 16

Camada	Resist (Ohm.m)	Espes. (m)	Prof. (m)
1	64	0.5	0.5
2	210	0.4	0.9
3	89	1.5	2.4
4	1103	1.4	3.8
5	33	24.7	28.5
6	2216		



Modelo Geométrico – SEV 17

Camada	Resist (Ohm.m)	Espes. (m)	Prof. (m)
1	154	1.4	1.4
2	33	21.1	22.5
3	183	45.3	67.8
4	519		

Resistividade Medida e Calculada – SEV 1

AB/2	MN	Resist. Medida	Resist. Calculada
1	0,5	590	588,7
1,3	0,5	633	625
1,8	0,5	663	673,3
2,4	0,5	657	691,9
3,2	0,5	650	659,3
4,2	0,5	620	575,6
5,5	0,5	503	464,4
7,5	2	316	353
10	2	292	299,8
13	2	290	286,9
18	2	308	279,6
24	2	250	257,9
32	2	218	221,7
42	2	179	184,7
55	2	160	155,6

Resistividade Medida e Calculada – SEV 2

AB/2	MN	Resist. Medida	Resist. Calculada
1	0,5	967	968,9
1,3	0,5	910	912,1
1,8	0,5	799	801,7
2,4	0,5	680	676,9
3,2	0,5	568	554,8
4,2	0,5	459	466,2
5,5	0,5	407	410,6
7,5	0,5	364	374
10	0,5	345	349
13	2	330	323,8
18	2	313	285,6
24	2	237	251,8
32	2	223	231,7
42	5	240	232,5
55	5	255	248,7
75	5	276	275,2
100	5	289	299,5
130	5	325	318,7

Resistividade Medida e Calculada – SEV 3

AB/2	MN	Resist. Medida	Resist. Calculada
1	0,5	95	90,52
1,3	0,5	91	97,11
1,8	0,5	109	110,2
2,4	0,5	126	125,5
3,2	0,5	140	139,9
4,2	0,5	152	147,5
5,5	0,5	147	144,9
7,5	0,5	125	128
10	0,5	105	104,5
13	2	86	85,39
18	2	73	74,85
24	2	80	78,37
32	2	90	88,46
42	2	97	100
55	5	115	112,2
75	5	128	127,6
100	5	137	144,1
130	5	168	161,7
180	20	186	186,2

Resistividade Medida e Calculada – SEV 4

AB/2	MN	Resist. Medida	Resist. Calculada
1	0,5	231	232,3
1,3	0,5	260	270,2
1,8	0,5	334	314,1
2,4	0,5	346	340,8
3,2	0,5	340	348,1
4,2	0,5	332	332,5
5,5	0,5	290	294,5
7,5	0,5	224	228,3
10	0,5	167	156,4
13	0,5	94	97,1
18	2	50	50,4
24	2	38	36,9
32	2	37	38,9
42	2	48	45,9
55	2	54	54,5
75	5	68	65,7
100	5	77	77,9
130	5	89	91,6
180	20	117	114,9

Resistividade Medida e Calculada – SEV 5

AB/2	MN	Resist. Medida	Resist. Calculada
1	0,5	92	91,6
1,3	0,5	102	103,0
1,8	0,5	119	118,4
2,4	0,5	131	130,5
3,2	0,5	140	138,7
4,2	0,5	138	142,0
5,5	0,5	142	141,2
7,5	0,5	148	136,8
10	0,5	120	131,0
13	2	124	124,2
18	2	109	126,6
24	2	102	98,0
32	5	85	80,6
42	5	66	66,3
55	5	55	59,8
75	5	67	64,7
100	5	78	78,8
130	20	104	96,6
180	20	118	123,3

Resistividade Medida e Calculada – SEV 6

AB/2	MN	Resist. Medida	Resist. Calculada
1	0,5	146	142,6
1,3	0,5	116	119,6
1,8	0,5	94	96,7
2,4	0,5	90	83,0
3,2	0,5	72	72,7
4,2	0,5	60	62,6
5,5	0,5	52	51,0
7,5	0,5	36	37,1
10	0,5	28	27,3
13	2	24	23,0
18	2	22	23,6
24	2	26	27,2
32	2	36	32,2
42	2	39	37,6
55	5	42	43,5
75	5	49	51,2
100	5	58	59,6
130	5	72	68,7
180	20	83	81,5
240	20	90	93,7

Resistividade Medida e Calculada – SEV 7

AB/2	MN	Resist. Medida	Resist. Calculada
1	0,5	138	152,8
1,3	0,5	168	155,2
1,8	0,5	174	160,6
2,4	0,5	165	170,2
3,2	0,5	183	186,9
4,2	0,5	205	209,7
5,5	0,5	219	236,2
7,5	0,5	295	262,5
10	0,5	280	272,4
13	0,5	252	262,8
18	2	231	224,8
24	2	164	179,4
32	2	120	120,8
42	5	84	78,3
55	5	50	51,6
75	5	41	42,0
100	5	50	48,5
130	20	61	61,8
180	20	86	85,2

Resistividade Medida e Calculada – SEV 8

AB/2	MN	Resist. Medida	Resist. Calculada
1	0,5	304	302,6
1,3	0,5	216	217,3
1,8	0,5	146	144,4
2,4	0,5	108	109,9
3,2	0,5	94	92,2
4,2	0,5	78	79,4
5,5	0,5	66	65,5
7,5	0,5	56	53,5
10	0,5	45	47,1
13	2	47	47,4
18	2	56	53,4
24	2	58	61,1
32	2	77	70,4
42	2	76	81,5
55	5	92	96,9
75	5	129	123,4

Resistividade Medida e Calculada – SEV 9

1	0,5	589	609,6
1,3	0,5	587	614,6
1,8	0,5	683	628,1
2,4	0,5	692	652,5
3,2	0,5	661	693,3
4,2	0,5	696	746,6
5,5	0,5	855	799,4
7,5	0,5	824	823,1
10	0,5	718	771,8
13	2	692	652,8
18	2	461	446,9
24	2	277	282,2
32	2	184	190,5
42	2	180	174,3
55	5	196	197,1
75	5	236	238,5
100	5	280	275,7
130	5	300	299,8
180	20	302	303,1

Resistividade Medida e Calculada – SEV 10

AB/2	MN	Resist. Medida	Resist. Calculada
1	0,5	262	258,5
1,3	0,5	247	261,4
1,8	0,5	276	269,3
2,4	0,5	289	283,9
3,2	0,5	321	310,1
4,2	0,5	364	347,5
5,5	0,5	332	392,9
7,5	0,5	441	439,2
10	0,5	476	455,7
13	0,5	461	431,6
18	2	342	348,7
24	2	249	246,6
32	2	158	155,5
42	2	102	106,8
55	5	94	96,8
75	5	115	113,3
100	5	141	139,3
130	5	177	166,9
180	5	207	204,8
240	20	230	240,2

Resistividade Medida e Calculada – SEV 11

AB/2	MN	Resist. Medida	Resist. Calculada
1	0,5	302	327,7
1,3	0,5	318	327,4
1,8	0,5	334	326,4
2,4	0,5	336	324,4
3,2	0,5	343	320,1
4,2	0,5	314	312,1
5,5	0,5	285	298,2
7,5	0,5	285	273,3
10	0,5	215	243,7
13	0,5	199	216,6
18	2	170	190,7
24	2	155	178,2
32	2	198	174,8
42	2	290	179,2
55	2	192	191,3
75	2	274	215,3
100	5	246	246,2
130	5	274	278,2
180	5	318	320,1
240	20	359	354,7
300	20	383	378,9

Resistividade Medida e Calculada – SEV 12

AB/2	MN	Resist. Medida	Resist. Calculada
1	0,5	133	136,3
1,3	0,5	174	165,9
1,8	0,5	198	209,9
2,4	0,5	263	253,2
3,2	0,5	303	296,3
4,2	0,5	332	330,8
5,5	0,5	356	350,3
7,5	0,5	336	345,1
10	0,5	297	307,9
13	0,5	261	253,3
18	2	182	179,8
24	2	129	129,1
32	2	98	97,5
42	2	80	80,1
55	2	68	70,6
75	5	74	69,8
100	5	79	81,1
130	5	104	101,4
180	20	138	139,2
240	20	182	185,2

Resistividade Medida e Calculada – SEV 13

AB/2	MN	Resist. Medida	Resist. Calculada
1	0,5	122	122,3
1,3	0,5	140	139,4
1,8	0,5	162	162,9
2,4	0,5	180	180,5
3,2	0,5	211	189,3
4,2	0,5	180	185,7
5,5	0,5	142	169,9
7,5	0,5	157	142,3
10	0,5	119	116,8
13	2	106	99,7
18	2	82	88,6
24	2	86	85,5
32	2	88	86,4
42	2	94	90,8
55	5	94	99,2
75	5	110	114,8
100	5	139	134,3
130	5	160	154,9
180	20	187	182,0
240	20	198	205,4

Resistividade Medida e Calculada – SEV 14

1	0,5	174	174,5
1,3	0,5	172	173,9
1,8	0,5	179	172,4
2,4	0,5	170	169,4
3,2	0,5	165	163,0
4,2	0,5	158	151,8
5,5	0,5	125	133,8
7,5	0,5	101	104,7
10	0,5	78	75,3
13	2	55	53,4
18	2	38	38,9
24	2	36	36,7
32	2	43	40,3
42	2	48	48,5
55	2	57	58,7
75	5	74	72,7

Resistividade Medida e Calculada – SEV 15

AB/2	MN	Resist. Medida	Resist. Calculada
1	0,5	93	95,8
1,3	0,5	110	114,8
1,8	0,5	155	140,8
2,4	0,5	176	163,3
3,2	0,5	176	180,7
4,2	0,5	166	187,3
5,5	0,5	176	180,0
7,5	0,5	169	154,1
10	2	121	122,0
13	2	104	99,0
18	2	87	93,2
24	2	95	110,9
32	5	140	144,9
42	5	170	189,6
55	5	276	248,0
75	5	420	337,4

Resistividade Medida e Calculada – SEV 16

AB/2	MN	Resist. Medida	Resist. Calculada
1	0,5	79	85
1,3	0,5	95	91,2
1,8	0,5	111	100
2,4	0,5	113	109,1
3,2	0,5	112	120,3
4,2	0,5	124	134
5,5	0,5	135	150,1
7,5	0,5	174	167,6
10	0,5	196	175,6
13	2	178	170,1
18	2	142	143,9
24	2	112	110,3
32	2	78	81,5
42	5	67	69,7
55	5	79	75,3

Resistividade Medida e Calculada – SEV 17

AB/2	MN	Resist. Medida	Resist. Calculada
1	0,5	121	131,8
1,3	0,5	145	135,7
1,8	0,5	130	128,0
2,4	0,5	103	109,5
3,2	0,5	82	85,3
4,2	0,5	69	64,2
5,5	0,5	47	49,7
7,5	0,5	40	40,8
10	0,5	38	36,6
13	2	35	34,7
18	2	34	35,0
24	2	39	38,8
32	2	47	45,6
42	2	53	54,2
55	5	66	64,4
75	5	80	79,1
100	5	96	97,3
130	20	118	120,3
180	20	165	161,0