



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

INVERSÃO 2D DE DADOS GEOELÉTRICOS REAIS NA REGIÃO DE CONCEIÇÃO DO COITÉ-BA.

HILDÉRICO LAGE SANTA LUZIA DE JESUS

SALVADOR – BAHIA

Maio – 2013

Inversão 2D de Dados Geométricos Reais na Região de Conceição do Coité-BA.

por

HILDÉRICO LAGE SANTA LUZIA DE JESUS

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA
DO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Comissão Examinadora

_____ Dr^a. Susana Silva Cavalcanti - Orientadora
_____ Geol. João Jose Santos Costa
_____ Fis. Rimary Del Valle Valera Sifontes

Data da aprovação: 27/05/2013

Dedico este trabalho aos meus pais;
Antonio de Jesus e Hildete Lage,
a minha irmã Anaira Lage
e ao meu filho Icaro Cruz pela paciência
e apoio durante esta jornada
e à todos os meus grandiosos amigos
pela motivação nesta nova empreitada.

“A única coisa que separa um homem do que ele quer da vida normalmente é simplesmente a vontade de tentar aquilo e a fé para acreditar que aquilo é possível.”

Richard M. Devos

RESUMO

A região de Conceição do Coité, no semi-árido do Estado da Bahia possui um substrato onde predominam as rochas do embasamento cristalino. As zonas de falhas ou fraturas foram os principais alvos de pesquisa hidrogeológicas realizadas por meio de sondagens elétricas verticais (SEV) entre os anos de 1998 e 1999. Este trabalho consiste no tratamento dos dados 1D coletados neste período e sua adequação ao processamento 2D utilizando o software RES2DINV da Geotomo inc. A inversão foi realizada de forma automática sem introdução de nenhum modelo inicial visando obter um modelo geoeétrico com um número de camadas bem ajustadas aos dados experimentais e efetuados com a opção mais robusta que o programa permite. Com a abordagem 2D na interpretação dos dados e com auxílio de perfis geológicos de poços próximos tornou-se possível melhorar a visualização da geometria estrutural da subsuperfície e localizar possíveis aquíferos.

ABSTRACT

The region of Conceição do Coité in semi-arid of Bahia has a substrate is dominated by basement rocks. The fault zones or fractures were the main targets of hydrogeological survey conducted by vertical electrical sounding (VES) between the years 1998 and 1999. This work consists in treating the 1D data collected during this period and its suitability for processing 2D using the software RES2DINV Geotomo inc. The inversion was performed automatically without introducing any model aiming to obtain an initial geoelectrical model with a number of layers and fitted to experimental data and made with the most robust option that allows the program. With the 2D approach in interpreting the data and with the aid of geological and geophysical profiles of nearby wells became possible to improve the visualization of structural geometry of subsurface aquifers and locate possible.

ÍNDICE

RESUMO	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABELAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 Caracterização da Região de Estudo	2
1.1 Localização	2
1.2 Geologia	2
1.3 Recursos Hídricos Subterrâneos	6
CAPÍTULO 2 Métodos Elétricos	7
2.1 Resistividade Elétrica das Rochas	7
2.2 Fundamentos dos Métodos Elétricos	8
2.3 Tipos de Arranjos de Eletrodos	14
2.4 Método da Polarização Elétrica Induzida - IP	15
CAPÍTULO 3 Inversão de Dados	19
3.1 Inversão 1D	19
3.2 Inversão 2D	20
CAPÍTULO 4 Aquisição, Processamento e Interpretação dos Dados	26
4.1 Aquisição	26
4.2 Processamento de Dados	29
4.3 Interpretação dos Dados	32
4.3.1 Perfil A-A'	33
4.3.2 Perfil B-B'	39
CAPÍTULO 5 Conclusão	43
Agradecimentos	45

Referências	46
APÊNDICE A Tabelas com os Dados das SEVs	49
APÊNDICE B Ficha Técnica Completa dos Poços	62

ÍNDICE DE TABELAS

2.1	Valores de cargabilidade de alguns tipos de rochas (Telford et al., 1990) . . .	18
4.1	Exemplo de dados (SEV-01)	28
4.2	Localização e distância entre as SEVs do Perfil A-A'	28
4.3	Localização e distância entre as SEVs do Perfil B-B'	29
A.1	SEV-01	49
A.2	SEV-02	49
A.3	SEV-03	50
A.4	SEV-04	50
A.5	SEV-05	50
A.6	SEV-06	51
A.7	SEV-07	51
A.8	SEV-08	51
A.9	SEV-09	52
A.10	SEV-10	52
A.11	SEV-11	52
A.12	SEV-12	53
A.13	SEV-13	53
A.14	SEV-14	53
A.15	SEV-15	54
A.16	SEV-16	54
A.17	SEV-17	54
A.18	SEV-18	55
A.19	SEV-19	55
A.20	SEV-20	55
A.21	SEV-21	56
A.22	SEV-22	56
A.23	SEV-23	56
A.24	SEV-24	57
A.25	SEV-25	57
A.26	SEV-26	57
A.27	SEV-27	58
A.28	SEV-28	58
A.29	SEV-29	58

A.30 SEV-30	59
A.31 SEV-31	59
A.32 SEV-32	59
A.33 SEV-33	60
A.34 SEV-34	60
A.35 SEV-35	60
A.36 SEV-36	61
A.37 SEV-37	61

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Mapa de situação e localização do Município de Conceição do Coité (Modificado de CPRM (2005))	3
1.2	Mapa geológico da área estudada com indicação dos perfis geofísicos A-A' e B-B' (Modificado de CPRM (1999))	4
1.3	Mapa de Esboço Geológico do Município de Conceição do Coité (Modificado de CPRM (2000))	5
1.4	Domínios Hidrogeológicos do Município de Conceição do Coité (CPRM, 2005)	6
2.1	Valores típicos de resistividade para alguns tipos de rochas (Kearey e Brooks, 2002).	8
2.2	Ilustração da Lei de Ohm em um cilindro homogêneo e isotrópico (Fachin, 2007).	9
2.3	Fluxo de corrente elétrica através de um eletrodo na superfície (Fachin, 2007)	11
2.4	Prospecção geoeletrica através do arranjo de quatro eletrodos (Fachin, 2007)	12
2.5	Arranjo Schlumberger de Eletrodos	14
2.6	Formato da onda de corrente elétrica transmitida e o sinal recebido (Modificado de Ward (1990))	16
2.7	Formato da onda de corrente elétrica (<i>On+/Off/On-/Off cycle</i>) e a representação do efeito IP - Domínio do Tempo (Braga, 1997)	17
3.1	Modos de investigar a subsuperfície se utilizando da prospecção geoeletrica (Modificado de Loke (2000))	20
3.2	Modelo de blocos gerado e dados medidos em campo apresentados na pseudo-seção.	22
3.3	Exemplo de inversão 2D (dois blocos retangulares)	23
3.4	Exemplo de inversão 2D em zona fraturada verticalizada.	24
3.5	Exibição RES2DINV para exterminar pontos de referência Ruim	25
4.1	Equipamento SYSCAL R2 da <i>IRIS instruments</i>	27
4.2	Representação da separação entre os eletrodos utilizados	27
4.3	Representação dos dados de entrada para o <i>Model Boundary General</i>	30
4.4	Interpretação dos sinais geoeletricos	32
4.5	Resultado do perfil A-A' não especificando modelo de aquisição para o software.	35
4.6	Resultado do perfil A-A' não especificando modelo de aquisição e com a presença de cargabilidade	36

4.7	Resultado do perfil A-A' especificando modelo de aquisição Schlumberger na entrada de dados do software sem a presença de cargabilidade	37
4.8	Resultado do perfil A-A' especificando modelo de aquisição Schlumberger na entrada de dados e com a presença de cargabilidade	38
4.9	Resultado perfil B-B' não especificando modelo de aquisição para o software e sem a presença de cargabilidade	40
4.10	Resultado do perfil B-B' especificando modelo de aquisição Schlumberger na entrada de dados do software e sem a presença de cargabilidade	41
4.11	Perfis litológicos dos poços próximos às SEVs 29 e 13	42
B.1	Ficha técnica Poço Boa Vista	62
B.2	Ficha técnica Poço Boa Vista (continuação)	63
B.3	Ficha técnica Poço Escola Agrícola	64
B.4	Ficha técnica Poço Escola Agrícola (continuação)	65

INTRODUÇÃO

Os métodos geofísicos possuem diversos campos de atuação. Uma importante aplicação consiste na pesquisa de água subterrânea, incluindo a identificação de rochas reservatórios, a estimativa de volume disponível e a avaliação da sua qualidade. Dentro deste contexto, o Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da Universidade Federal da Bahia (CPGG/UFBA) desenvolve, há mais de duas décadas, pesquisas em sistemas aquíferos cristalinos do semi-árido baiano (Medeiros e Lima, 1990).

Em estudos hidrogeológicos, destacam-se os métodos geoeletricos, como eletrorresistividade e polarização induzida (IP), devido ao contraste entre a propriedade física resistividade elétrica e a presença de água na rocha (Reynolds, 1997). Dentre as técnicas de investigação, tem-se a sondagem elétrica vertical (SEV) que explora variações do parâmetro estudado com a profundidade. Os levantamentos de SEV possuem como maior limitação a de não considerar variações laterais na resistividade que são comuns em rochas cristalinas onde predominam falhas e fraturas.

A região de Conceição do Coité esta inserida na zona de semi-árido da Bahia. Entre 1998 e 1999 foram realizadas sondagens elétricas verticais, visando mapear o substrato e localizar possíveis aquíferos. As SEVs foram adquiridas com o arranjo Schlumberger e separação de eletrodos de corrente $AB/2$, variando de 1,6 a 130m. Os dados de eletrorresistividade foram interpretados anteriormente considerando a inversão 1D com o *software* de domínio público RESIST versão 1.0, desenvolvido por Vander Velpen (1988) em desuso atualmente, e que permitiram a geração de duas seções geoeletricas (Oliveira, 2011).

Neste trabalho, são apresentados os resultados da inversão 2D efetuadas nos dados de campos levantados na região de Conceição do Coité. As inversões foram obtidas considerando os parâmetros da eletrorresistividade e da polarização elétrica induzida (IP) no domínio do tempo. Os dados foram adaptados para utilização no *software* RES2DINV da Geotomo inc, e posterior interpretação das estruturas em subsuperfície com auxílio de perfis geológicos de poços próximos a área de estudo.

CAPÍTULO 1

Caracterização da Região de Estudo

1.1 Localização

Os dados utilizados nesta inversão 2D foram levantados na região do município de Conceição do Coité, localizado na parte centro-norte-oriental do estado da Bahia, região Nordeste do Brasil. O município de Conceição do Coité limita-se a leste com o município de Serrinha, a sul com os municípios de Ichu e Riachão do Jacuípe, a oeste com Retirolândia e Valente, e ao norte com Santaluz e Araci. A área municipal é de 832km² e sua sede tem altitude de 440 metros e coordenadas geográficas SAD 69 11°33'00" (UTM 8723186) de latitude sul e 39°17'00" (UTM 469106) de longitude oeste. O acesso a partir de Salvador, é feito pela BR-324 até Feira de Santana. A partir desta cidade, utiliza-se a BR-116 passando pela cidade de Serrinha e em seguida chega-se a sede do município, percorrendo um total de 210km (Figura 1.1).

Da sede do município até a área onde ocorreram os levantamentos geofísicos, o acesso é feito seguindo 8,5km na direção norte, em seguida, faz-se um percurso por uma estrada não pavimentada até o povoado de Boa Vista. Segue-se a partir daí, para a área do Perfil A-A', através de estrada carroçável até o açude Boa Vista de coordenadas UTM 8730498 e 470456. A área do Perfil B-B' esta próxima a Escola Agrícola, e tem seu acesso partindo da mesma estrada que leva ao povoado de Boa Vista, de onde segue-se através de outra estrada carroçável de coordenadas UTM 8726778 e 468524 (Figura 1.2).

1.2 Geologia

A geologia da área está inserida no domínio dos terrenos cristalinos de idade Arqueana, pertencente ao Complexo Santa Luz, composto predominantemente de gnaisses bandados, ortognaisses granodioríticos e migmatitos. Esta área é cortada por uma zona de cisalhamento na direção N15E, perpendicularmente a qual foi feito o levantamento geoeletrico, através de trecho seco do açude Boa Vista (Ferreira, 1999).

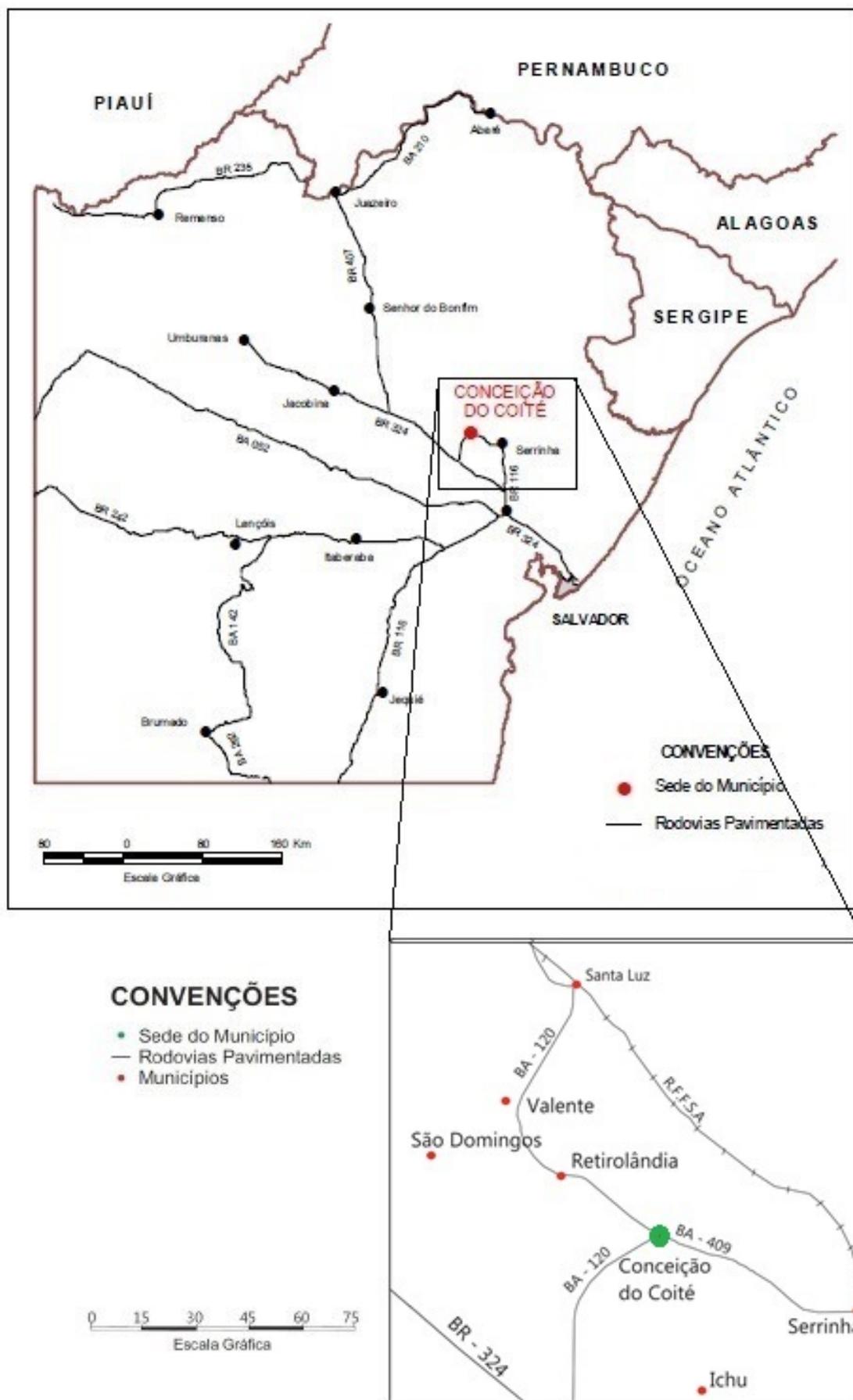


Figura 1.1: Mapa de situação e localização do Município de Conceição do Coité (Modificado de CPRM (2005))

A unidade dos Granodioritos Santa Luz, mais representativa da área de estudo, apresenta afloramentos sob forma de pisos de estradas. Ela é composta de granodioritos milonitizados. Quando sã apresenta coloração verde escura e verde clara quando alterada. Os enclaves anfibolíticos ocorrem como lentes que integram o bandamento composicional, em níveis centimétricos. Nesta unidade os afloramentos se alternam em coloração, em tons claros e escuros, produzindo um solo areno argiloso acastanhado graduando para acinzentado (Oliveira, 2011)(Figura 1.3).

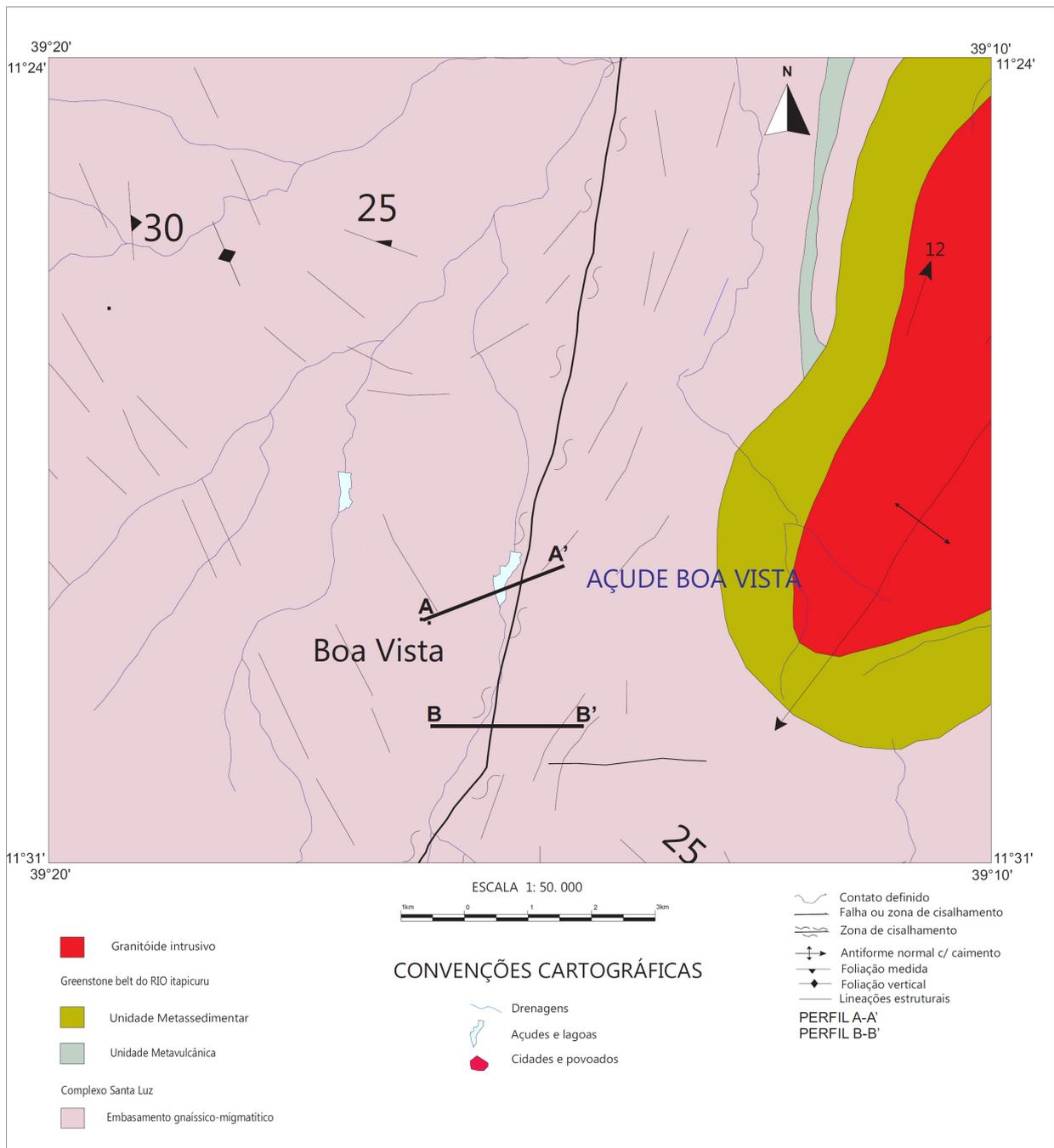


Figura 1.2: Mapa geológico da área estudada com indicação dos perfis geofísicos A-A' e B-B' (Modificado de CPRM (1999))

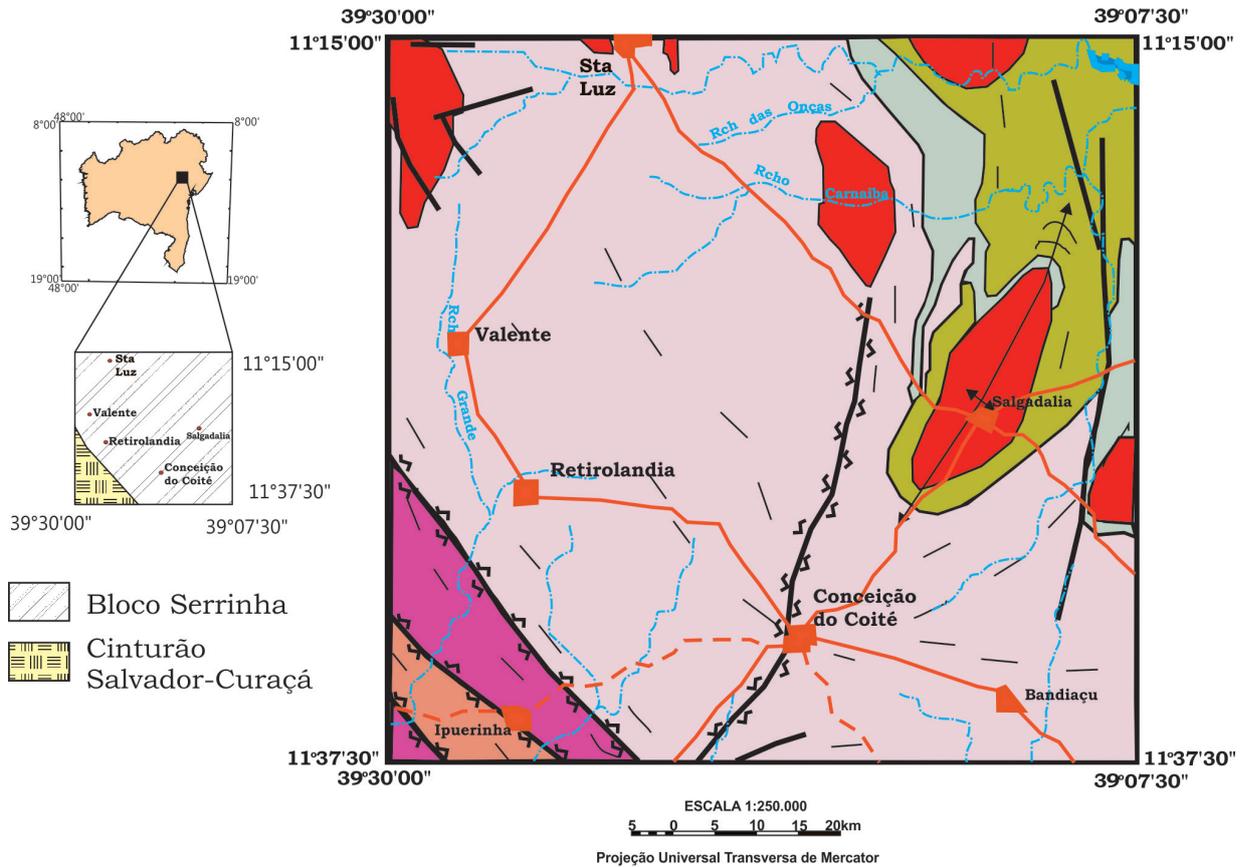


Figura 1.3: Mapa de Esboço Geológico do Município de Conceição do Coité (Modificado de CPRM (2000))

1.3 Recursos Hídricos Subterrâneos

Com relação as águas subterrâneas, pode-se distinguir dois domínios hidrogeológicos: metassedimentos/metavulcanitos e cristalino (Figura 1.4), o primeiro ocupa cerca de 60% da área municipal. Tanto os metassedimentos/metavulcanitos como o cristalino tem comportamento de aquífero fissural. Como basicamente não existe uma porosidade primária nestes tipos de rochas, a ocorrência de água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas e a água em função da falta de circulação, dos efeitos do clima semi-árido e do tipo de rocha, é na maior parte das vezes salinizada. Essas condições, definem um potencial hidrogeológico baixo para as rochas, sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa no abastecimento nos casos de pequenas comunidades, ou como reserva estratégica em períodos de prolongadas estiagens (modificado de CPRM (2005)).

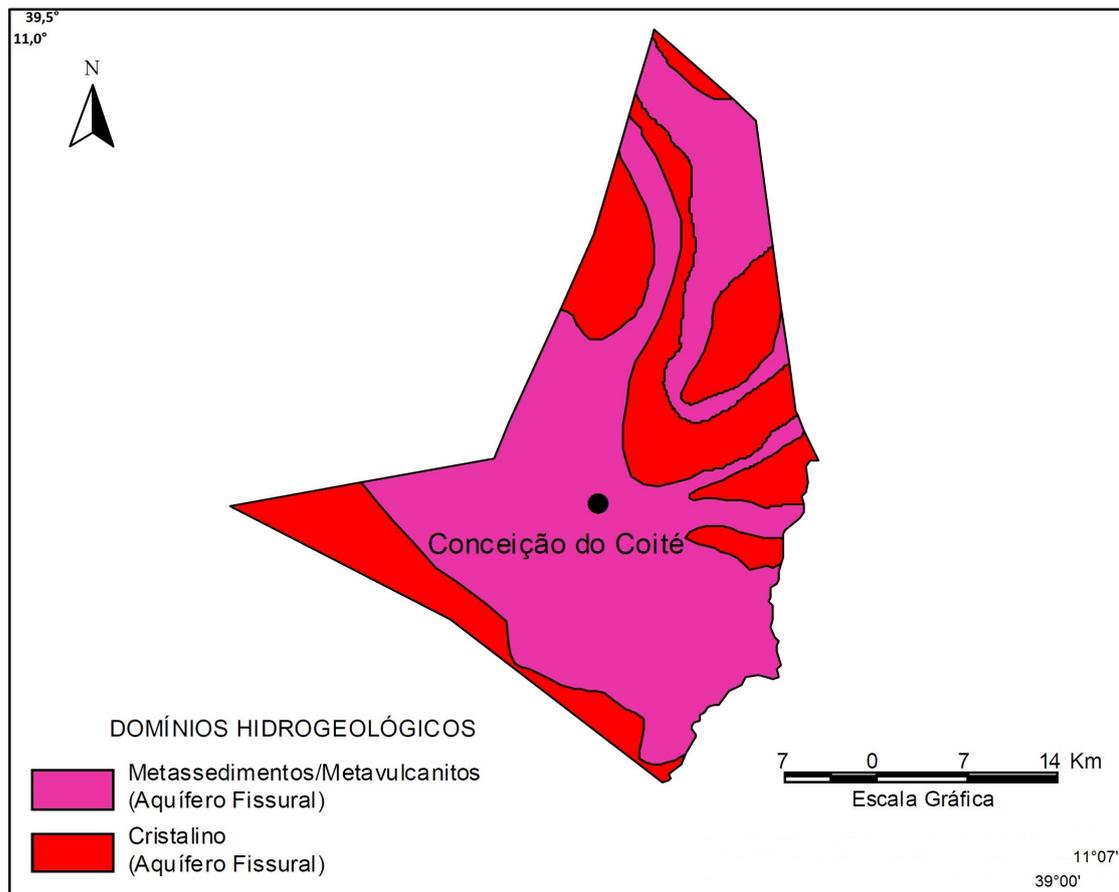


Figura 1.4: Domínios Hidrogeológicos do Município de Conceição do Coité (CPRM, 2005)

CAPÍTULO 2

Métodos Elétricos

2.1 Resistividade Elétrica das Rochas

Os métodos elétricos procuram identificar a distribuição da resistividade elétrica na subsuperfície, assim como os efeitos de sua cargabilidade, para utilizá-los no estudo das rochas no interior da Terra. Os métodos tem muitas aplicações, mas tradicionalmente empregados em estudos hidrogeológicos visando localizar, quantificar, caracterizar a qualidade da água e na monitorização dos aquíferos.

A resistividade das rochas próximas da superfície da Terra é basicamente controlada por condução eletrolítica. Este processo de condução eletrolítica ocorre pela dissociação de sais em meio aquoso, através dos poros interconectados destas rochas, de suas fraturas, das falhas ou zonas de cisalhamento. Os agentes de transporte das cargas elétricas são os íons oriundos da dissociação deste sais. A salinidade da água de formação é então um fator que influencia a resistividade da rocha. Uma maior quantidade de íons dissolvidos representa uma maior capacidade de conduzir a corrente elétrica (condutividade). Uma elevação na porosidade das rochas saturadas reduz sua resistividade, e da mesma forma, um aumento na salinidade reduz sua resistividade (Ward, 1990).

O efeito da porosidade na resistividade das rochas foi bastante estudado por Archie (1942) na primeira metade do século passado, onde foi observado que a resistividade varia aproximadamente com o inverso do quadrado da porosidade, quando a rocha está totalmente saturada com água, o que resultou ao uso difundido de uma relação empírica de resistividade e porosidade conhecida como Lei de Archie:

$$\rho = a\rho_w\phi^{-m}S_w^{-n} \quad (2.1)$$

onde,

ρ = resistividade elétrica da rocha;

ρ_w = resistividade da água dos poros;

ϕ = porosidade;

S_w = saturação em água;

a → relativo à porosidade da rocha $0,5 \leq a \leq 2,5$;

m → parâmetro de cimentação $1,3 \leq m \leq 2,5$;

$n \cong 2$.

Os valores para a , m e n referidos acima são os adotados por Telford et al. (1990).

A Figura 2.1 mostra os valores de resistividade de algumas rochas. Percebe-se que muitas litologias possuem uma grande faixa de variação dessa propriedade, devido a vários fatores como por exemplo tipo de rochas, presença de minerais condutivos maior que 10%, e de água entre outros.

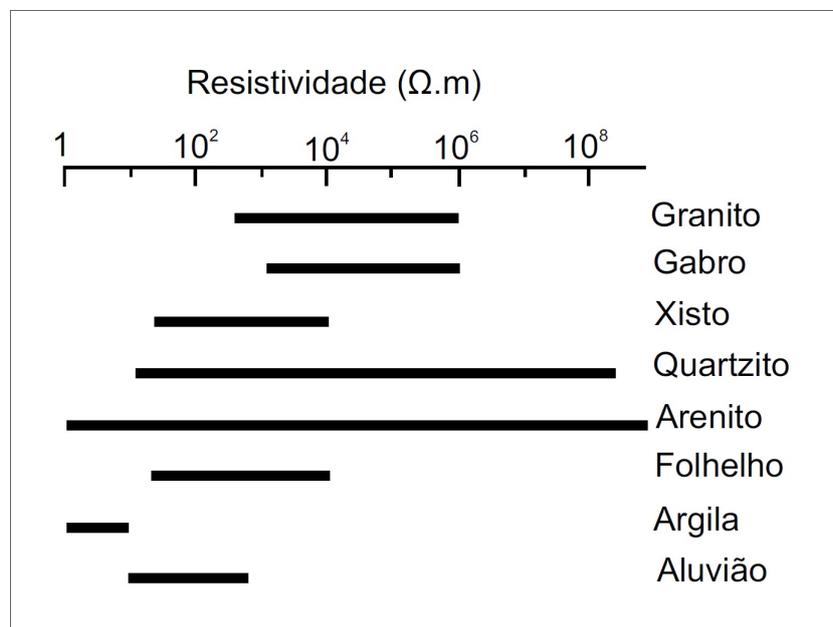


Figura 2.1: Valores típicos de resistividade para alguns tipos de rochas (Kearey e Brooks, 2002).

2.2 Fundamentos dos Métodos Elétricos

O primeiro a introduzir correntes elétricas na terra, para que através da distribuição de potencial medida na superfície fosse possível estudar a subsuperfície, foi Conrad Schlumberger. Sua idéia consistia em comparar a distribuição de potencial conseguida por uma corrente aplicada a terra real com a distribuição que existiria se a terra fosse homogênea (Johansen, 1977). Com base nestes estudos, surgiu o método da eletrorresistividade que foi aplicado pela primeira vez em 1920 para a prospecção de ferro na Normandia.

Os diferentes tipos de materiais existentes no ambiente geológico apresentam como

uma de suas propriedades o parâmetro físico resistividade elétrica, o qual reflete algumas de suas características como grau de alteração, fraturamento, saturação e hidrogeologia sem necessidade de escavações físicas. Telford et al. (1990) define a resistividade elétrica ($\Omega.m$) como a resistência elétrica R (Ω) de um prisma condutor e homogêneo de comprimento L (m) e secção transversal S (m^2), ambos de valor unitário (equação 2.2).

$$\rho = \frac{RS}{L} \quad (2.2)$$

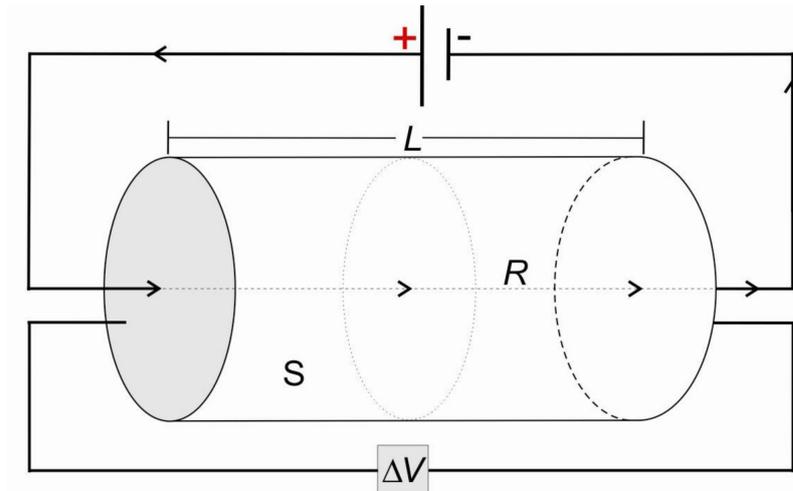


Figura 2.2: Ilustração da Lei de Ohm em um cilindro homogêneo e isotrópico (Fachin, 2007).

A Figura 2.2 ilustra a lei de Ohm em um cilindro que ao ser atravessado por uma corrente elétrica (I em ampère(A)) será submetido a uma diferença de potencial elétrico (ΔV em Volts (V)), onde sua resistência elétrica, dada por:

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (2.3)$$

Considerando uma subsuperfície como um semi-espaco homogêneo e isotrópico de resistividade elétrica ρ , ou sua inversa condutividade elétrica σ , onde por meio de eletrodos e um gerador de tensão se injeta corrente elétrica na subsuperfície (Telford et al., 1990) (Figura 2.3), é possível descrevê-la a partir da lei de Ohm na sua forma diferencial para meios homogêneos e isotrópicos, como pode ser observado na equação 2.4:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2.4)$$

onde,

\vec{J} = Vetor densidade de corrente (Ampere/área)

σ = Condutividade elétrica (siemens/metro)

\vec{E} = Campo elétrico (Volt/metro)

A densidade de corrente J pode ser definida como a corrente elétrica I dividida pela área em que a corrente está sendo distribuída em subsuperfície, supondo a forma de uma semi-esfera de área S igual a $2\pi r^2$. O aumento da distância da fonte emissora de corrente elétrica faz com que diminua o valor de J_r , assim é possível calcular a voltagem na distância de um simples ponto de injeção de corrente elétrica, ou seja, numa distância em relação ao eletrodo de corrente elétrica, sendo definido pela equação 2.5. A densidade de corrente J_r num ponto determinado da subsuperfície, tem a mesma direção, sentido e é proporcional ao campo elétrico E_r .

$$\vec{J}_r = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (2.5)$$

substituindo 2.4 em 2.5 tem-se

$$\vec{J}_r = \sigma \vec{E}_r = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (2.6)$$

podendo assim definir:

$$\vec{E}_r = \vec{J}_r \rho = \frac{I\rho}{2\pi r^2} \quad (2.7)$$

Sendo E_r o valor da intensidade do campo elétrico numa distância r do eletrodo A de injeção de corrente elétrica, pode-se então definir o potencial elétrico V , nas mesmas condições, pela integral do campo elétrico E_r entre r e o infinito (∞), ou seja, entre r e a posição em relação ao eletrodo B de corrente elétrica, como na Figura 2.3 e na equação 2.8.

$$V = \int_r^\infty E_r \cdot dr = \frac{I\rho}{2\pi} \int_r^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (2.8)$$

assim,

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (2.9)$$

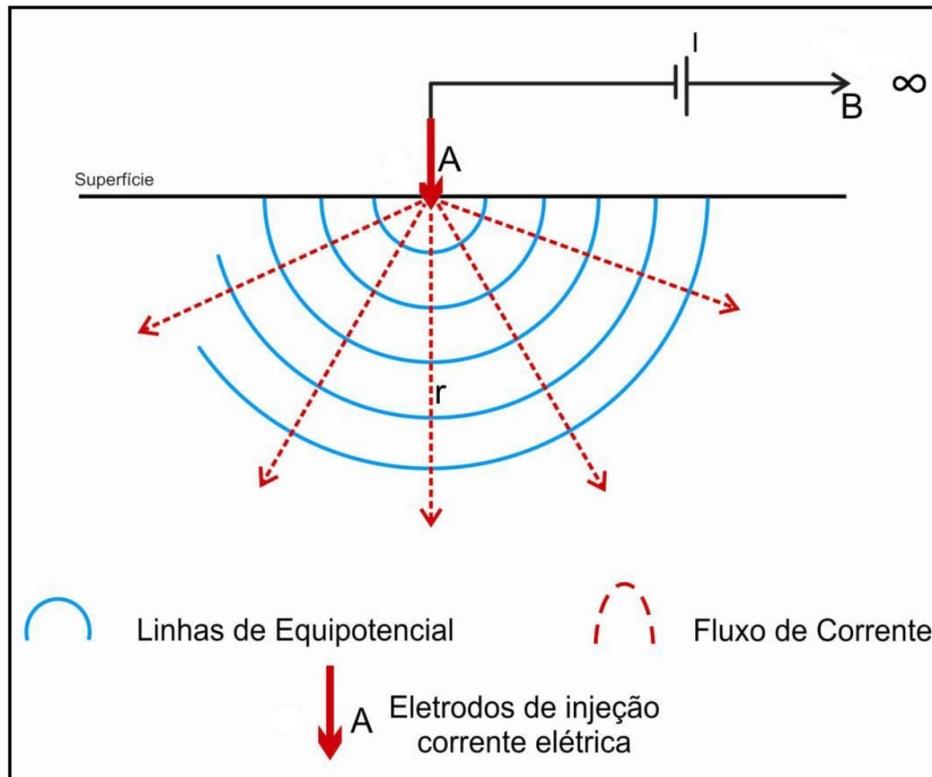


Figura 2.3: Fluxo de corrente elétrica através de um eletrodo na superfície (Fachin, 2007)

Para dois eletrodos de corrente posicionados na superfície do terreno, as linhas de fluxo de corrente elétrica são perpendiculares às linhas de igual valor de potencial elétrico V . Nestas condições, onde dois eletrodos de injeção de corrente elétrica estão posicionados próximos, podendo considerar posições finitas, o potencial elétrico será afetado por ambos os eletrodos de corrente A e B, como ilustra a Figura 2.4. Podemos observar nesta figura para um arranjo de quatro eletrodos a disposição dos eletrodos na superfície do terreno, o comportamento do fluxo de corrente elétrica e linhas equipotenciais, numa perspectiva 2D e o comportamento do fluxo de corrente elétrica e linhas equipotenciais numa perspectiva vista num plano (Adaptado de Telford et al. (1990)).

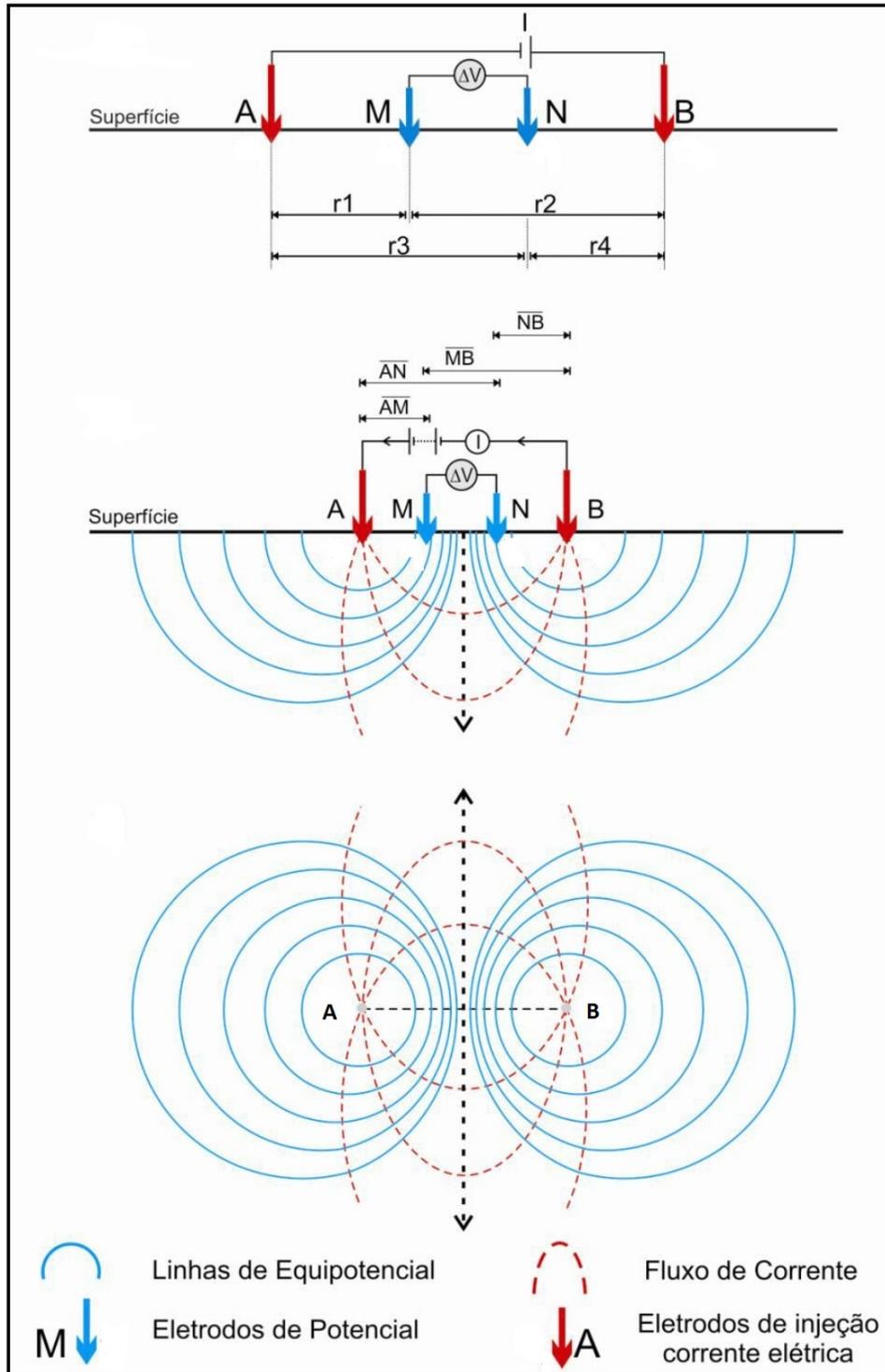


Figura 2.4: Prospecção geolétrica através do arranjo de quatro eletrodos (Fachin, 2007)

Nesta nova disposição dos eletrodos de corrente na superfície, o potencial elétrico em algum ponto em subsuperfície é igual à soma das voltagens dos dois eletrodos A e B, onde:

$$V_P = V_A + V_B \quad (2.10)$$

Onde V_A e V_B são as contribuições do potencial elétrico referentes aos dois eletrodos de corrente elétrica A e B.

Os potenciais elétricos nos eletrodos M e N são descritos pelas equações 2.11 e 2.12 onde, r_1 é a distância entre os eletrodos AM, r_2 a distância entre BM, r_3 a distância entre AN, e por final r_4 a distância entre os eletrodos BN.

$$V_M = \frac{\rho I}{2\pi(AM)} - \frac{\rho I}{2\pi(BM)} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.11)$$

$$V_N = \frac{\rho I}{2\pi(AN)} - \frac{\rho I}{2\pi(BN)} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.12)$$

A diferença de potencial entre os eletrodos M e N resulta em:

$$\Delta V_{MN} = V_M - V_N \quad (2.13)$$

$$\Delta V_{MN} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \quad (2.14)$$

$$\Delta V_{MN} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{AN} \right) \quad (2.15)$$

Esta expressão pode ser rearrumada para termos o valor da resistividade em função dos demais parâmetros

$$\rho = \frac{2\pi \Delta V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{AN} \right)^{-1} \quad (2.16)$$

ou

$$\rho_a = K \frac{V_{MN}}{I} \quad (2.17)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{AN} \right)} \quad (2.18)$$

A constante K é denominada de fator geométrico, para um arranjo de quatro eletrodos, onde este somente depende das posições dos eletrodos de injeção de corrente elétrica (A e B) e das posições dos eletrodos de medida de potencial elétrico (M e N).

A equação 2.16 é válida para se obter o valor da resistividade elétrica de um semi-espaço homogêneo. Quando utilizada para alcançar resultados em situações generalizadas, particularmente não homogêneas, o valor da resistividade elétrica assim obtido é chamado

de resistividade aparente, ρ_a (equação 2.17) que corresponde a resistividade de um meio homogêneo equivalente que, substituindo o subsolo real, reproduz os mesmos valores de I e ΔV , nas mesmas condições geométricas dos pontos A, B, M e N (Sato, 2002).

2.3 Tipos de Arranjos de Eletrodos

Há uma variedade de arranjos existentes, cada qual possuindo vantagens e desvantagens em relação aos outros. Estas vantagens e desvantagens estão relacionadas a resolução ou capacidade de discriminação (na vertical e na horizontal), a profundidade de exploração, velocidade do levantamento (ou praticidade na aquisição dos dados), ao espaço disponível para expansão dos eletrodos e às limitações tecnológicas dos equipamentos. Com base nestas características, e nos objetivos do estudo a ser realizado é que definimos o arranjo a ser utilizado no levantamento. Dentre a grande variedade de arranjos existentes, os mais conhecidos e testados são os seguintes: Schlumberger, Wenner, Dipolo-Dipolo e Polo-Dipolo.

No arranjo Schlumberger, utilizado neste trabalho, os eletrodos de potencial (M e N) são fixados entre os de corrente (A e B), e a uma distância a do centro do arranjo, onde $a \gg b$.

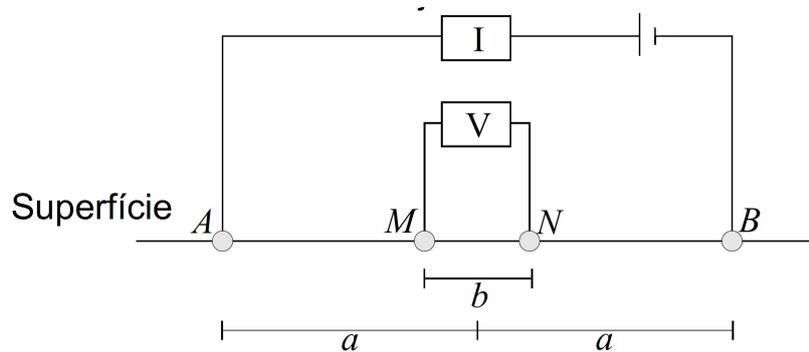


Figura 2.5: Arranjo Schlumberger de Eletrodos

O fator geométrico (K) para o arranjo Schlumberger é dado por:

$$K = \pi \left(\frac{a^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \quad (2.19)$$

Substituindo a equação 2.19 na expressão para ρ_a (equação 2.17) tem-se:

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \pi \left(\frac{a^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \quad (2.20)$$

Na técnica da sondagem elétrica vertical (SEV), os eletrodos A e B são expandidos enquanto que M e N continuam fixos. Quando o valor da diferença de potencial entre M e N

chega a um valor próximo do limite mínimo de detecção do aparelho é necessário aumentar o seu espaçamento, procedimento conhecido como embrenhagem. Dentre as vantagens deste arranjo estão a boa resolução vertical, a praticidade em campo e a grande quantidade de aplicativos para inversão disponíveis (Lemos Filho, 2003).

2.4 Método da Polarização Elétrica Induzida - IP

O Método da Polarização Elétrica Induzida (IP) teve sua origem por volta de 1920, quando o pesquisador Conrad Schlumberger, ao realizar trabalhos geofísicos com métodos geoeletricos próximos de jazimentos de sulfetos, observou que, quando a corrente elétrica introduzida no subsolo era interrompida, o campo elétrico criado não desaparecia bruscamente, mas sim de uma maneira lenta (Orellana, 1974). Esta polarização induzida ou residual, também denominada de sobretensão, não teve sua importância considerada por Schlumberger, talvez não acreditando em sua utilidade prática. Na obra de Sumner (1976), considerada uma das principais publicações referentes a esta metodologia geofísica, é citado, historicamente, como sendo Schlumberger, o primeiro que descreveu conclusivamente a resposta IP.

O IP se baseia num efeito ou fenômeno elétrico onde ao se injetar um determinado valor de corrente elétrica I na superfície do terreno através de eletrodos metálicos, A e B, num determinado tempo, num local onde há um meio condutor, ao se cessar a injeção de corrente elétrica, a diferença de potencial elétrico ΔV , entre M e N, não desaparece imediatamente, mas é atenuada de forma gradual com uma constante de tempo de várias dezenas de segundos (Orellana, 1974). O método IP possui uma resposta muito pequena a esse retardamento da voltagem no momento da interrupção de corrente elétrica.

A medida do parâmetro de IP pode ser realizada no domínio do tempo, chamado de IP - Domínio do Tempo, e no domínio da frequência, IP - Domínio da Frequência. Neste trabalho, os dados de IP foram medidos no domínio do tempo. A partir do formato da onda de corrente elétrica (Figura 2.6), em investigações utilizando o método IP no domínio do tempo, os valores máximos de voltagem durante o envio de corrente elétrica (*On+ / On-cycle*) trazem informações sobre a resistividade elétrica aparente dos materiais. Quando se interrompe a corrente elétrica (*Off cycle*), mede-se o efeito de polarização dos materiais naturais (Ward, 1990).

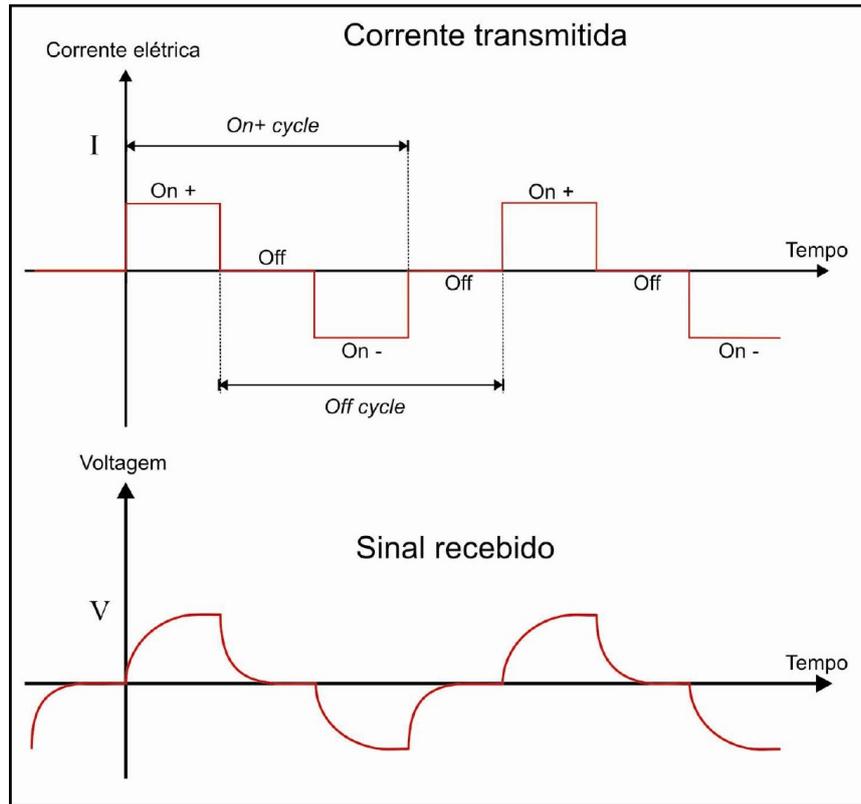


Figura 2.6: Formato da onda de corrente elétrica transmitida e o sinal recebido (Modificado de Ward (1990))

No modo IP – Domínio do tempo, as medidas de campo são realizadas a partir de um arranjo de quatro eletrodos convencionalmente chamados de A e B, M e N, fixos na superfície do terreno, onde dois eletrodos (A e B) injetarão no solo um determinado valor de corrente elétrica e os outros eletrodos (M e N) são submetidos a uma diferença de potencial elétrico primário ΔV_P , a partir disso ocorre à polarização do meio investigado.

O potencial elétrico primário ΔV_P não se anula e nem se manifesta instantaneamente no momento da interrupção da corrente elétrica no solo, mas sim varia em função do tempo $\Delta V_{IP} = f(t)$, também chamada de Curva de Descarga IP, como ilustra a Figura 2.7.

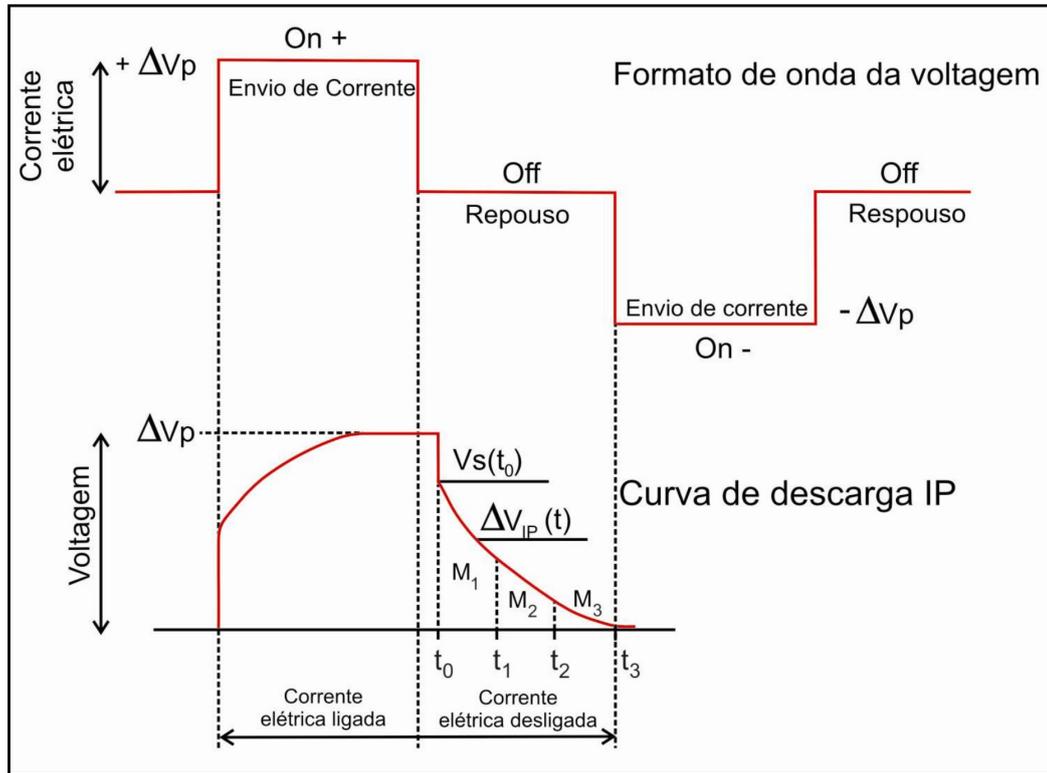


Figura 2.7: Formato da onda de corrente elétrica (*On+/Off/On-/Off cycle*) e a representação do efeito IP - Domínio do Tempo (Braga, 1997)

A curva de descarga IP, $\Delta V_{IP} = f(t)$, possui uma amplitude que varia com o meio onde está sendo investigado, ou seja, está relacionada diretamente com a capacidade que os materiais naturais têm de se polarizar. A forma de se medir o efeito da polarização induzida no domínio do tempo é comparando os valores da diferença de potencial elétrico residual existente num determinado espaço de tempo t após a interrupção de corrente elétrica ao potencial primário.

Os valores medidos da $\Delta V_{IP}(t)$ são muito menores que os valores da ΔV_P , e a relação entre ambos pode ser expresso pelo parâmetro denominado cargabilidade (M), que é forma mais utilizada para se expressar a resposta IP dos materiais naturais (Telford et al., 1990).

Parasnis (1986) definiu o termo cargabilidade como a área sob a curva de potencial transiente entre um intervalo de tempo definido t_1 e t_2 . A cargabilidade é definida pela integração da curva de descarga durante um intervalo de tempo determinado e descrito pela equação 2.21

$$M = \frac{1}{V_P} \int_{t_0}^{t_1} V_{IP}(t) dt \quad (2.21)$$

A cargabilidade é uma resposta que pode ser dada em miliVolt por Volt (mV/V),

valores percentuais (percentual IP) ou em Integral Tempo-Transiente (Telford et al., 1990). Para se ter resultados consideráveis fora do nível de ruído ou evitar a perda da sensibilidade da detecção do equipamento, a $\Delta V_{IP}(t)$ deve ser medida num intervalo de tempo t entre 0.1 e 10 segundos. Os valores de cargabilidade de alguns tipos de rocha estão disponíveis na tabela 2.1.

Rocha	Cargabilidade (ms)
Tufo vulcânico	300 - 800
Arenito, siltito	100 - 500
Rochas vulcânicas densas	100 - 500
Folhelho	50 - 100
Granito, granodiorito	10 - 50
Carbonato, dolomito	10 - 20

Tabela 2.1: Valores de cargabilidade de alguns tipos de rochas (Telford et al., 1990)

CAPÍTULO 3

Inversão de Dados

3.1 Inversão 1D

Muito do que sabemos sobre o interior da Terra é devido a levantamentos geofísicos feitos em superfície. Esses levantamentos buscam determinar as respostas físicas dos materiais em subsuperfície. Para poder determinar qual o tipo de material que esta no subsolo é necessário obter a partir da resposta física (dados) as propriedades físicas do meio que gerou estas respostas. Esse processo é chamado de inversão de dados. Para se determinar a distribuição em subsuperfície de resistividade elétrica verdadeira é necessário resolver a equação de Laplace para o potencial elétrico.

$$\nabla^2 V = 0 \tag{3.1}$$

A solução desta equação diferencial tem sua complexidade controlada pela sua geometria (condições de contorno) admitida para o modelo de subsuperfície adotado (Cavalcanti, 1999). Não se tem a solução analítica da equação de Laplace para todo os modelos geológicos de subsuperfície e, por isso, a maioria dos softwares modernos de inversão utiliza a integração numérica para descrever tais soluções.

A maior limitação para a determinação de resistividades por investigações elétricas 1D, é a existência de variações horizontais (ou laterais) de resistividade. Na prática, a situação ideal mostrada na Figura 3.1a raramente é encontrada. Tais variações laterais causam mudanças nos valores da resistividade aparente, que muitas vezes podem ser erroneamente interpretadas como variações verticais de resistividade.

Antigamente um dos maiores entraves para implementação de variações laterais na análise dos dados das SEVs era o grande volume de dados envolvido nos levantamentos bidimensionais e tridimensionais, e a falta de ferramentas computacionais mais rápidas para processarem os complexos modelos 2D e 3D. Atualmente, levantamentos 2D são comercialmente disponíveis graças ao recente desenvolvimento de instrumentos de resistividade com eletrodos múltiplos (Griffiths et al., 1990) e de softwares que permitem inversões rápidas (Loke e Barker, 1994). Entretanto, os custos envolvidos nos levantamentos, o tempo disponível, e

a disponibilidade de equipamentos citados, muitas pesquisas geofísicas, especialmente para fins hidrogeológicas foram realizadas com aquisição de dados 1D. Foram executadas SEVs na região de Conceição do Coité que são objeto deste estudo os quais foram invertidos individualmente com o software de inversão 1D (RESIST versão 1.0) e neste trabalho, buscou-se adaptar os dados da aquisição 1D para inversão 2D.

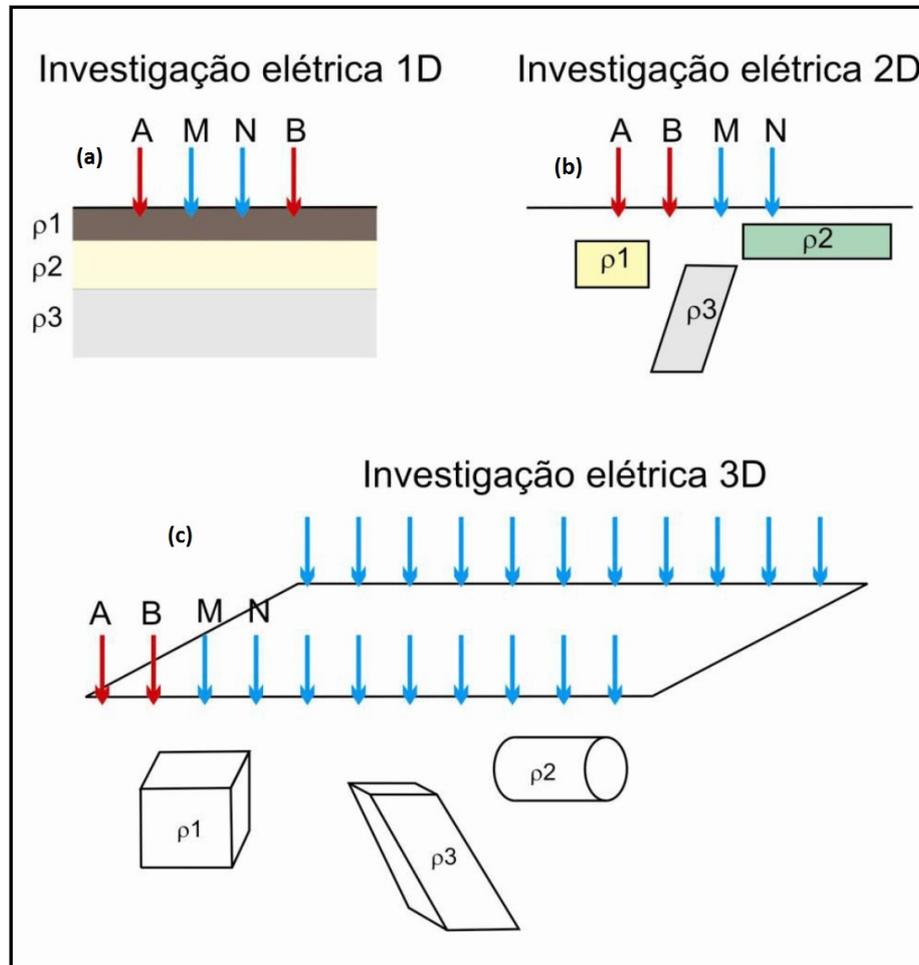


Figura 3.1: Modos de investigar a subsuperfície se utilizando da prospecção geoeletrica (Modificado de Loke (2000))

3.2 Inversão 2D

No processamento dos dados, foi utilizado o software RES2DINV da Geotomo inc. O RES2DINV é um software de inversão de medidas de resistividade e cargabilidade (IP) que pode ser usada normalmente em plataformas do Windows XP/Vista/7 com (32 e 64 bits). Pode ser usado tanto para inversão de dados terrestres e também nas pesquisas subaquáticas. Suporta inversões suaves e nítidas com contrastes para até 16.000 eletrodos e 70.000 pontos de dados com quase qualquer modelo de arranjo dos eletrodos que se tem conhecimento.

A inversão utilizada pelo programa é baseada no método dos mínimos quadrados com suavização forçada (*smoothness-constrained*). A inversão por mínimos quadrados utiliza o método de otimização por mínimos quadrados Gauss-Newton (Lines e Treitel, 1984) e quasi-Newton (Loke e Barker, 1996). Esta técnica pode ser até dez vezes mais rápida que o método dos mínimos quadrados para um grande conjunto de dados e requer menos memória computacional.

De acordo com DeGroot-Hedlin & Constable (1990), o método matemático da inversão por suavização do método de mínimos quadrados é baseado em células, ou seja, o *software* reconhece a subsuperfície terrestre como blocos retangulares (*grid*) possuindo valores constantes para o parâmetro investigado.

O arranjo dos blocos está vinculado ao número de pontos investigados em subsuperfície, baseado na pseudo-seção de resistividade elétrica aparente e cargabilidade aparente (posição e profundidade teórica dos pontos investigados) (Loke e Barker, 1996). A profundidade teórica para cada ponto investigado é diferente para cada espaçamento entre eletrodos e também para cada arranjo eletródico. O software RES2DINV se baseia nos critérios definidos por Edwards (1977) para estimar as profundidades de investigação.

A Figura 3.2 ilustra a malha retangular e a posição dos blocos que simulam a subsuperfície terrestre. A distribuição e o tamanho dos blocos são automaticamente geradas pelo programa e quanto maior o número de pontos medidos em campo mais precisa é a modelagem dos dados. Para a realização do cálculo da matriz de dados o software se utiliza dos métodos Gauss-Newton e quasi-Newton nas interações. O método dos mínimos quadrados com suavização forçada se baseia na seguinte equação:

$$(J^T)J + uF)^*d = J^T g$$

$$\text{onde } F = fxfx^T + fzfz^T$$

F = uma matriz de suavização.

fx = filtro de nivelamento horizontal.

fz = filtro de planicidade verticais.

J = matriz Jacobiana das derivadas parciais.

u = fator de amortecimento (ou de suavização).

d = o vetor de perturbação do modelo.

g = o vetor da discrepância.

O vetor de discrepância g contém a diferença entre os valores calculados e medidos de resistividade aparente. A magnitude deste vetor é frequentemente dada como um valor do erro médio quadrático - RMS (*root-mean-squared*). Esta é a quantidade que o método de

de resistividade aparente medida, a segunda com valores de resistividade aparente calculada com base no modelo, e a terceira com valores de resistividade verdadeira (modelo responsável pela seção calculada, semelhante à medida).

Na Figura 3.3, dois blocos retangulares (um com resistividade mais baixa e o outro com resistividade mais alta que o *background*) somente apresentam as suas formas retangulares de modo bastante próximo do real, através da realização da inversão e geração de um modelo de resistividade verdadeira.

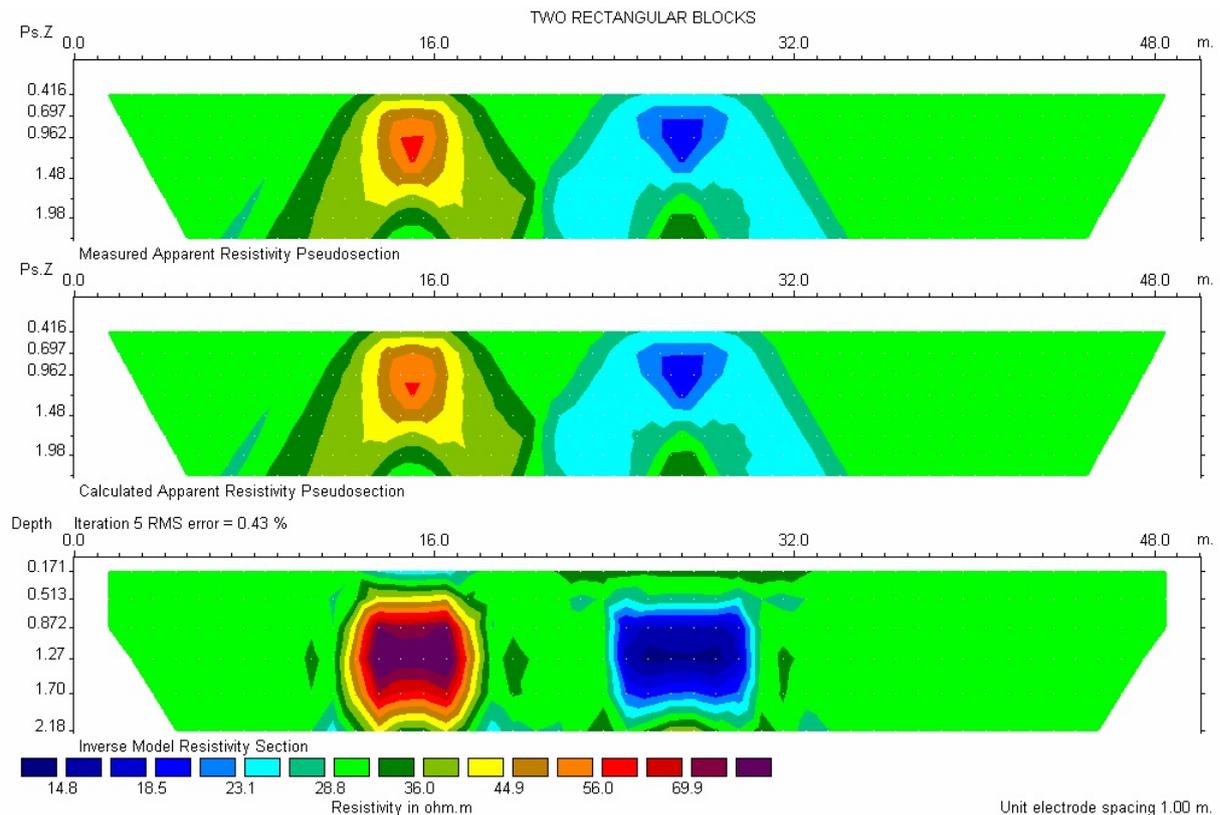


Figura 3.3: Exemplo de inversão 2D (dois blocos retangulares)

Na Figura 3.4 é apresentado o exemplo clássico de uma zona de fratura verticalizada com resistividade baixa (anomalia em azul), situada abaixo da distância 25. Somente no modelo de resistividade verdadeira aparece a anomalia verticalizada na forma real da estrutura geológica. Na seção de resistividade aparente medida, a forma da anomalia obtida é a de um “V” invertido.

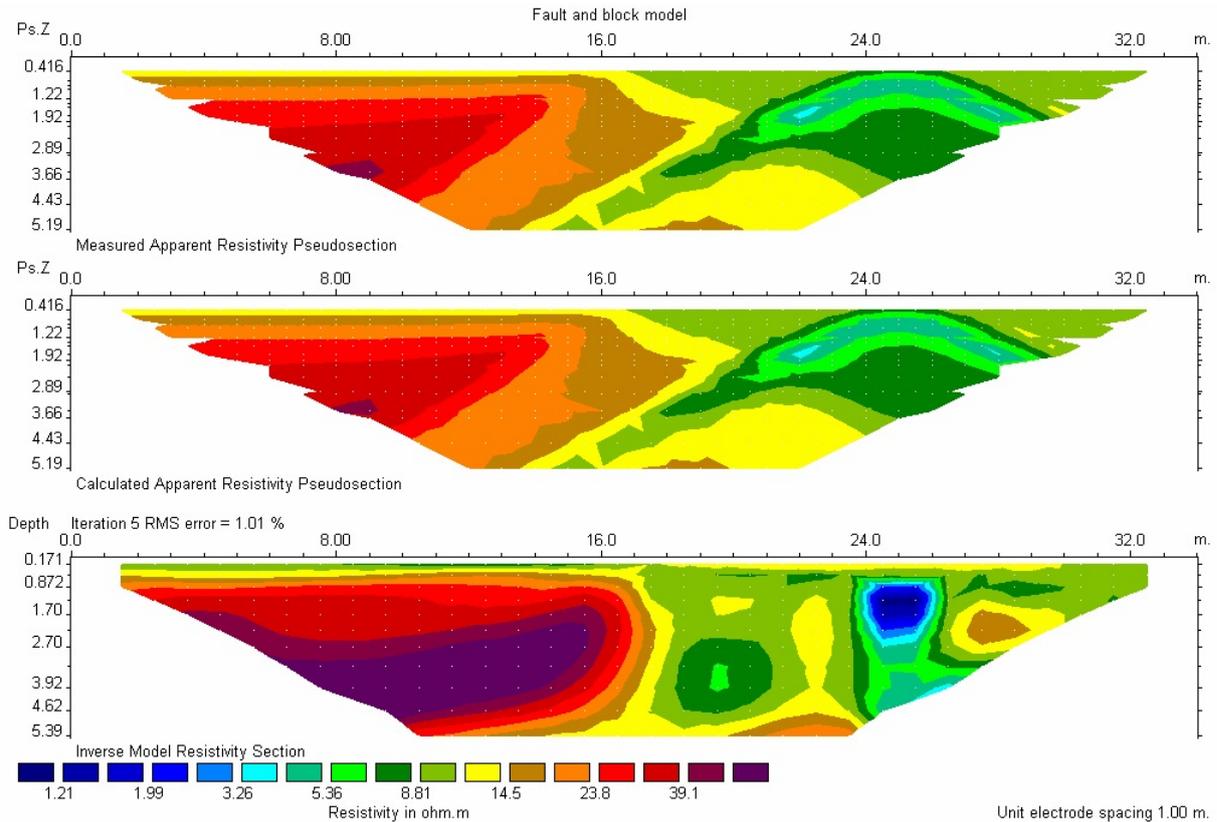


Figura 3.4: Exemplo de inversão 2D em zona fraturada verticalizada.

O programa RES2DINV ainda permite remover pontos ruins da pseudo-seção observados através de um *display*, como o da Figura 3.5. Para realizar este procedimento é necessário um pouco de experiência e prévio conhecimento da região em estudo. Esse recurso pode ser usado para a compreensão dos resultados e para sugerir novas modificações nos dados e no procedimento.

O software é completamente automatizado e o usuário não tem sequer a possibilidade de fornecer um modelo de partida na interpretação dos dados. Em um PC moderno, a inversão de uma única pseudo-seção é geralmente concluído dentro de segundos a alguns minutos. Ele suporta os arranjos mais conhecidos tais como Wenner, Schlumberger, polo-polo, polo-dipolo, dipolo-dipolo, gradiente e também os chamados arranjos não-convencionais de matrizes (arranjo de formato geral). A versão de 64 bits suporta até 8GB de RAM o que lhe permite que um conjunto de dados bem maiores possam ser processados.

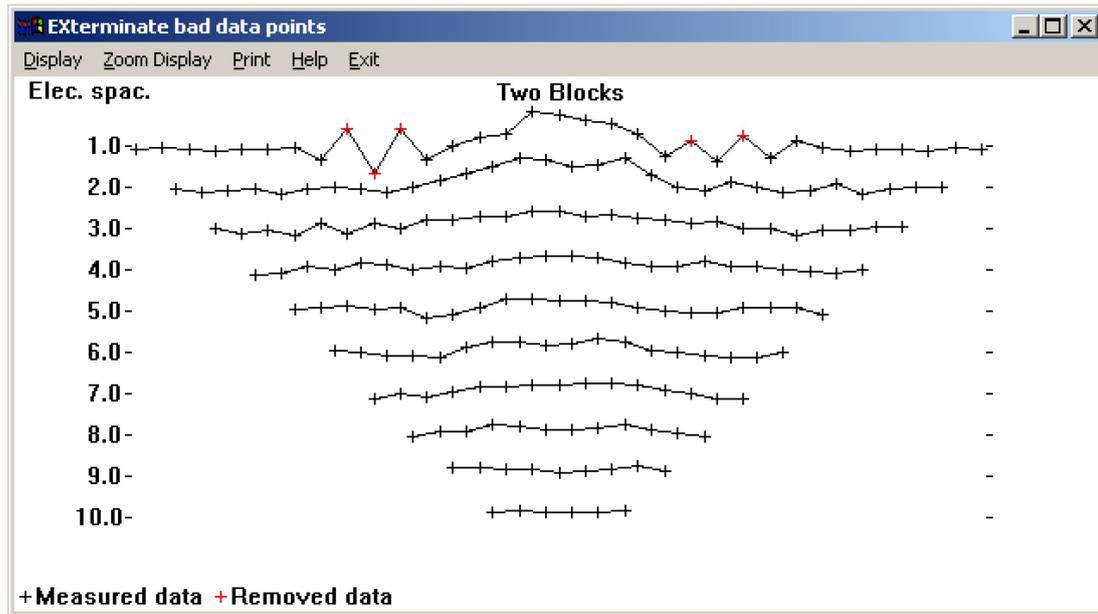


Figura 3.5: Exibição RES2DINV para exterminar pontos de referência Ruim

Através de rotinas internas, o programa escolhe automaticamente os parâmetros de inversão ideais para um conjunto de dados. No entanto, os parâmetros de inversão podem ser modificados pelo usuário caso ele conheça o tipo de levantamento feito. Um filtro de refinamento da rugosidade pode ser ajustado para enfatizar as variações de resistividade nas direções vertical, horizontal ou diagonal. Ele também pode ser otimizado para a produção de modelos com fronteiras suaves (como plumas de produtos químicos), ou com fronteiras nítidas (por exemplo, zonas de fratura).

Informações prévias de resistividade a partir de furos de sondagem ou poços entre outros podem ser incluídas para limitar e refinar o processo de inversão. Limites conhecidos, onde uma mudança abrupta na resistividade ocorre, também podem ser incorporados no modelo de inversão.

CAPÍTULO 4

Aquisição, Processamento e Interpretação dos Dados

4.1 Aquisição

O levantamento consistiu em duas linhas com Sondagens Elétricas Verticais (SEVs), usando arranjo Schlumberger com distância entre as SEVs variando de 50 a 100m. O perfil A-A' possui 20 sondagens e tem 1200m de extensão, já o perfil B-B' possui 17 sondagens e 1300m de extensão.

O equipamento utilizado para a aquisição dos dados no campo foi o SYSCAL-R2, de propriedade do Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da Universidade Federal da Bahia (CPGG/UFBA). Este equipamento é totalmente digital e fabricado pela *IRIS instruments* (Figura 4.1). Seu sistema possui uma unidade transmissora alimentada por uma bateria de 12 volts conectada a um conversor de 250 W e permite o ajuste da voltagem de saída entre 100 e 800 Volts, possui também uma unidade receptora com uma memória interna que armazena até 1022 registros, o que possibilita a conexão com um computador pessoal.

Esse aparelho realiza medidas simultâneas de eletrorresistividade, potencial espontâneo e polarização induzida aparente no domínio do tempo. Além de realizar a compensação do potencial espontâneo e a redução dos ruídos naturais ou artificiais por meio de reversões na polaridade da corrente. Como eletrodos, foram usadas barras metálicas de aço revestidas com cobre enterradas no solo, e ligadas ao sistema por cabos condutores bem isolados e de baixa resistência específica.

As coordenadas UTM dos centros das sondagens foram obtidas por GPS, este, possibilitou a orientação das distâncias entre as SEVs. Os dados das sondagens também apresentam informações de topografia, mas como a precisão do equipamento utilizado na época era baixa e desconhecida e a região era visualmente plana, foi feita a aproximação de uma região completamente plana. A metodologia e o planejamento para a aquisição dos dados foram estabelecidas previamente, para modelagem e imagiamentos 1D, com o uso do arranjo Schlumberger (Figura 4.2)



Figura 4.1: Equipamento SYSCAL R2 da *IRIS instruments*

O menor espaçamento de $AB/2$ foi 1,6m e o maior 130,0m. Não foi possível ter o mesmo espaçamento MN para todas as medidas de espaçamento $AB/2$ devido a diminuição do sinal medido no campo. Para os eletrodos de potencial (MN) as distâncias foram mantidas inicialmente fixas em $MN/2 = 0,5m$ e na embreagem alterada para 5,0m. No procedimento as medidas de $AB/2=13m$; $AB/2=16m$ e $AB/2=20m$ foram feitas para os dois valores de $MN/2$.

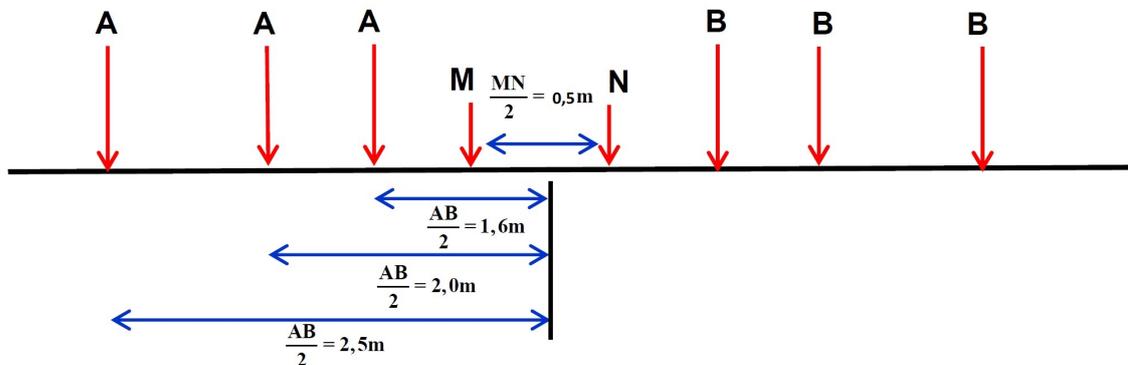


Figura 4.2: Representação da separação entre os eletrodos utilizados

A tabela 4.1 mostra os valores das aberturas dos eletrodos utilizadas $AB/2$ e $MN/2$, os valores de resistividade e cargabilidade aparentes (M) de uma SEV usada. As tabelas 4.2 e 4.3 apresentam as distâncias entre os centros das sondagens dos perfis A-A' e B-B'. As distâncias entre as SEVs foram escolhidas inicialmente por meio de mapas na etapa de planejamento da aquisição e posteriormente ajustados em campo devido a impossibilidades de execução ou visando adensamento de medidas.

SEV - 01												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	1,4	1,6	1,7	1,9	2,2	2,6	3,1	3,8	4,8	6,3	5,7	7,7
$M(mVs/V)$	0,6	0,8	1,0	1,3	1,3	5,5	3,0	3,9	4,4	7,4	2,8	0,8
SEV - 01												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	9,4	7,0	8,8	10,5	14,1	18,5	24,3	31,3	38,1	53,7	75,7	
$M(mVs/V)$	2,7	4,7	3,7	0,1	4,9	5,7	10,4	5,8	-2,8	3,7	3,3	

Tabela 4.1: Exemplo de dados (SEV-01)

Posicionamento das SEVs (m)	
SEVs	Perfil A-A'
SEV-15	0
SEV-14	100
SEV-34	150
SEV-13	200
SEV-33	250
SEV-12	300
SEV-32	350
SEV-11	400
SEV-10	500
SEV-09	600
SEV-31	650
SEV-08	700
SEV-30	750
SEV-01	800
SEV-06	850
SEV-02	900
SEV-07	950
SEV-03	1000
SEV-04	1100
SEV-05	1200

Tabela 4.2: Localização e distância entre as SEVs do Perfil A-A'

Posicionamento das SEVs (m)	
SEVs	Perfil B-B'
SEV-29	0
SEV-28	100
SEV-27	200
SEV-37	250
SEV-26	300
SEV-36	350
SEV-25	400
SEV-35	450
SEV-24	500
SEV-23	600
SEV-22	700
SEV-21	800
SEV-16	900
SEV-17	1000
SEV-18	1100
SEV-19	1200
SEV-20	1300

Tabela 4.3: Localização e distância entre as SEVs do Perfil B-B'

4.2 Processamento de Dados

Os dados das SEVs foram invertidos usando os programa RES2DINV da Geotomo inc para a construção dos mapas de resistividade aparente e das seções geológicas. Os dados utilizados neste trabalho, como explicado anteriormente, estavam organizados em arquivos .dat de saída do instrumento SYSCAL. O formato de saída e leitura dos dados são adequados ao uso de programas para processamento 1D e então fez-se necessário o ajuste destes para a leitura no software RES2DINV.

Os dados das 37 SEVs foram reorganizados manualmente para o formato de leitura do RES2DINV usando a planilha eletrônica excel. Como o processos de inversão usado neste trabalho é 2D, e os dados foram obtidos para inversão 1D, e pela leitura do manual do Software, ficou sabido que o mesmo não aceitava a forma de abertura do eletrodos $AB/2$ utilizadas nesta aquisição, ou seja, para arranjos conhecidos, como no caso o Schlumberger, ele só aceita valores de $AB/2$, *Electrode Space*, formando uma malha com crescimento linear por múltiplos inteiros deste espaçamento, tivemos assim um primeiro problema a se resolver. A princípio tentou-se, a partir da curva bi-logarítmica de $AB/2 \times R_o$, calcular valores de resistividade, a partir de $AB/2$ desejados, de forma ao software poder carregar os dados. O

ideal seria montar a função da curva que melhor se ajustava aos dados e então calcular as resistividades aparente para um conhecido $AB/2$, mas a viabilidade deste procedimento e aplicação não eram boas, devido a propagação do erro e a limitações de pontos nas SEVs.

Como opção a solução deste problema, usamos um modelo de arranjo que o próprio software recomenda para situações como esta. O Software aceita um modelo de entrada de dados geral, conhecida como *Model Boundary General*, independente do arranjo, necessitando apenas das coordenadas dos $AB/2$ e $MN/2$ e dos valores das resistividades aparente e de sua cargabilidade. Assim, esta tornou-se a melhor escolha a ser feita para a implementação dos dados no programa. Adotando um sistema de coordenadas baseado nas distâncias entre as SEVs, implementamos os dados como o modelo representado na Figura 4.3 abaixo para a leitura do software, onde estão os dados correspondente a SEV-15.

```

1 LINHA 1 COITE - MOD SCHLUMB + CARG ALTER
2   0.5
3  11
4   7
5 Type of measurement (0=app. resistivity,1=resistance)
6   0
7  372
8   1
9   1
10 Chargability
11 msec
12 0.10,1.00
13 4   98.0 0.0  102  0.0  99.5 0.0  100.5 0.0  37.8 0.6
14 4  198.0 0.0  202  0.0  199.5 0.0  200.5 0.0  14.2 0.6
15 4  248.0 0.0  252  0.0  249.5 0.0  250.5 0.0  26.4 0.1
16 4  298.0 0.0  302  0.0  299.5 0.0  300.5 0.0  23.2 0.5
17 4  348.0 0.0  352  0.0  349.5 0.0  350.5 0.0  25.6 0.0
18 4  398.0 0.0  402  0.0  399.5 0.0  400.5 0.0  19.7 0.3
19 4  448.0 0.0  452  0.0  449.5 0.0  450.5 0.0  12.7 0.8
20 4  498.0 0.0  502  0.0  499.5 0.0  500.5 0.0   6.1 2.0
21 4  598.0 0.0  602  0.0  599.5 0.0  600.5 0.0  92.6 3.2
22 4  698.0 0.0  702  0.0  699.5 0.0  700.5 0.0   2.1 1.2
23 4  748.0 0.0  752  0.0  749.5 0.0  750.5 0.0   2.6 1.4
24 4  798.0 0.0  802  0.0  799.5 0.0  800.5 0.0   1.8 1.8
25 4  848.0 0.0  852  0.0  849.5 0.0  850.5 0.0   2.3 2.0
26 4  898.0 0.0  902  0.0  899.5 0.0  900.5 0.0   1.6 0.8
27 4  948.0 0.0  952  0.0  949.5 0.0  950.5 0.0   3.0 2.7
28 4  998.0 0.0 1002  0.0  999.5 0.0 1000.5 0.0   8.4 2.6

```

Figura 4.3: Representação dos dados de entrada para o *Model Boundary General*

onde,

- * 1ª linha significa título da SEV;
- * 2ª linha é a unidade de espaçamento entre os eletrodos;
- * 3ª linha é o código correspondente a arranjo geral ou não convencional.
- * 4ª linha é o código correspondente ao tipo de sub-arranjo utilizado para melhorar os resultados (0 = arranjo não especificado, 7 = Wenner-Schlumberger, 1 = arranjo Wenner, 3 = dipolo-dipolo, entre outros modelos);
- * 6ª linha é o tipo de medida (0 = resistividade aparente, 1 = resistência);
- * 7ª linha é o número de dados da SEV;
- * 8ª linha é o tipo de localização do eixo X (horizontal). Para distância horizontal verdadeira digitar 0, para dados com topografia digitar 1;
- * 9ª linha indica presença ou não de dados de cargabilidade (0 = não IP, 1 = IP presente);
- * 12ª linha deve ser inserida sempre que houver cargabilidade para indicar medida do tempo de resposta. Caso os dados não possuam cargabilidade ele deve ser retirada;
- * 13ª linha representa o formato para cada pontos de dados. 1ª Coluna = número de eletrodos usados; colunas da 2ª a 9ª representam as localizações de x e de z dos eletrodos A e B e de M e N respectivamente; 10ª coluna é a resistividade aparente ou de resistência; 11ª é a cargabilidade (IP) se presente;
- * 14ª linha possui o mesmo formato de dados anteriores. Segue-se assim até completar os dados;
- * Quando terminar a inclusão dos dados, finalizar com uma coluna inserindo alguns zeros (7 no total).

Todos os dados foram invertidos automaticamente sem introdução de nenhum modelo inicial visando obter um modelo geoeétrico com um número de camadas bem ajustado aos dados experimentais e efetuadas com a opção mais robusta que o programa permite. Cada inversão deste conjunto de dados demorou cerca de 90 minutos num computador HP com processador Intel Core 2 Duo de 1.67 GHz e 3,0Gb de memória.

Os valores de $AB/2$ com as menores aberturas (1,6m; 2,0m ; 2,5m; 3,2m) dificultavam as interpolações realizadas pelo software, pois exigiam como *Electrode Spacing* o valor de 0,4m e assim maior tempo computacional, bem como os blocos retangulares (celulas do *grid*) pequenas, e provocariam possíveis erros nos resultados. Como o objetivo maior era o entendimento da geologia em profundidade fez-se necessária a eliminação de alguns destes pontos referentes aos $AB/2$ (1,6m; 2,5m), admitindo o novo valor do *electrode Spacing* como 1,0m. Com esta alteração os dados mais superficiais ficaram omitidos na interpretação e esta camada geológica mais superficial de solo seco conforme trabalho de Oliveira (2011)

com espessura aproximada de 1 metro será utilizada na interpretação da seção geométrica. A rotina de trabalho consistiu em gerar modelos finais de inversão com mais de 7 iterações entre os dados que apresentavam erros médios quadráticos inferiores a 1,5% na suavização pelo software.

4.3 Interpretação dos Dados

Após o tratamento computacional dos dados, os modelos de resistividade e profundidade foram integrados com as informações dos mapas geológicos e hidrogeológicas da região disponibilizados pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil e também com as informações de dois poços existentes próximos as SEVs-13 e SEVs-29 cadastrados no site da SIAGAS-Sistemas de Informações de Águas Subterrâneas.

Na interpretação dos modelos de resistividade e profundidade foram discriminadas três zonas com diferentes unidades geológicas. O sinal destas unidades foram interpretadas como um material com resistividade+IP menor que $10\Omega.m$, outro material com sinal geométrico intermediário e resistividade+IP entre 10 ou $15\Omega.m$ até $40\Omega.m$ e outro material com resistividade maiores que $40\Omega.m$ (Figura 4.4). O sistema de cores adotado pelo software é automático e não é possível realizar alterações. Essas cores possuem valores para regiões e dados diferentes, porém seu uso limita-se a facilitar a visualização dos contornos das unidade geológicas da seção.

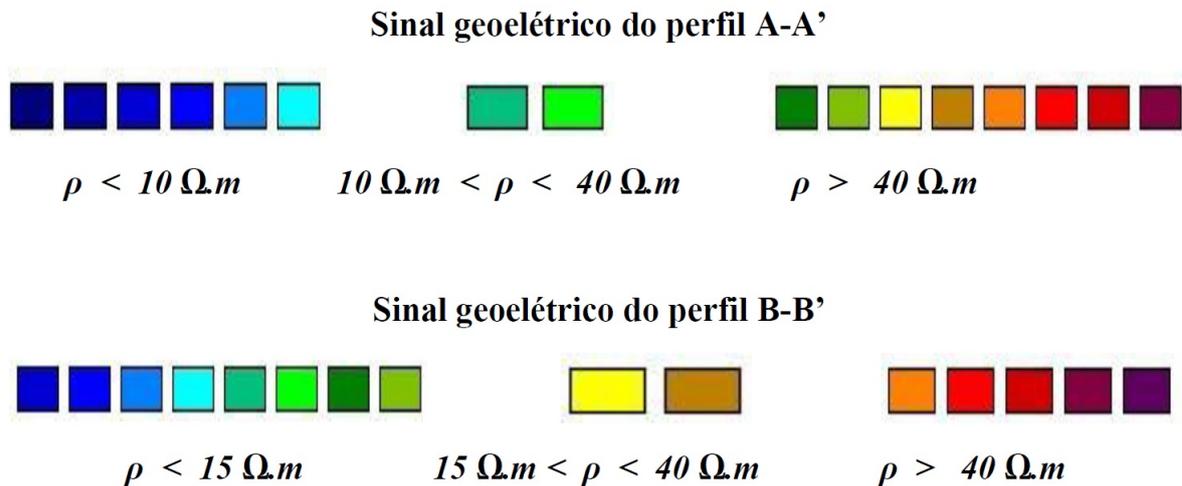


Figura 4.4: Interpretação dos sinais geométricos

4.3.1 Perfil A-A'

Os resultados do perfil A-A' são representados nas saídas gráficas do programa RES2DINV e pelos perfis interpretados 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8. As imagens geolétricas das funções resistividade aparente medida e calculada para o modelo final invertido foram interpretadas, primeiramente com o tipo de sub-arranjo não especificado, sem a presença de cargabilidade figura 4.5, e depois para este sub-arranjo com a presença de dados IP figura 4.6. Os dados deste perfil foram novamente calculados especificando o arranjo Schlumberger, sem a presença de cargabilidade figura 4.7, e também com a presença de dados IP figura 4.8.

A análise da imagem geolétrica da figura 4.5 resulta em uma estrutura geológica de subsuperfície composta por uma zona com resistividade baixa $\rho < 10\Omega.m$, pacote lateralmente extenso entre as sondagens SEV-15 a SEV-10 com profundidade entre 2 a 15 metros e repetido entre as sondagens SEV-09 a SEV-07 com menor profundidade. Com base na classificação apresentada em Telford et al. (1990) e no conhecimento geológico da área interpretou-se como sendo material areno-argiloso ou provavelmente produto de alteração da rocha do embasamento.

O material abaixo deste zona localizado entre os trechos das SEV-14 a SEV-12, apresenta resistividades intermediárias ($10\Omega.m < \rho < 40\Omega.m$) que correspondem ao embasamento cristalino fraturado. Estas zonas fraturadas foram mapeadas neste estudo até a profundidade de 50 metros, conforme indicado na seção geolétrica. Abaixo deste está o embasamento cristalino com resistividades da ordem de $40\Omega.m$. Esta mesma estrutura se repete entre as sondagens SEV-01 e SEV-02 com menor profundidade.

Os padrões citados anteriormente se repetem quando a análise é feita especificando o arranjo Schlumberger sem a presença de cargabilidade na entrada de dados do programa (Figura 4.7), no entanto houve alteração nas profundidades das camadas interpretadas. Quando é feita usando as imagens geolétricas com a presença de cargabilidade verifica-se (Figuras 4.6 e 4.8) que as zonas destacadas anteriormente como embasamento cristalino fraturado não são evidenciadas em profundidade na seção o que compromete a interpretação da estrutura geológica. A provável causa da baixa qualidade deste sinal é a dificuldade de transmitir corrente em campo, e à avaliação do uso do método IP nesta região não é adequada.

O perfil invertido revela a presença de zonas favoráveis a acumulação de água indicadas pela faixa azul. As áreas com potencialidades e favorabilidades para a captação de água subterrânea foram definidas nas faixas de resistividade intermediária, sobretudo nos locais com bom padrão de fraturamento e profundidade. Os solos areno-argilosos acima destas zonas, resultantes do intemperismo das rochas do embasamento são relativamente permeáveis possibilitando o armazenamento de água e o preenchimento das falhas e fraturas com a mesma. Esses locais apesar de interpretados como prováveis zonas à acumulação de água dependem da existência de fortes gradientes topográficos e que suas fraturas estejam

abertas para uma boa recarga e captação de água local.

O modelo interpretativo final está coerente com as informações do mapa geológico da área estudada (Figura 1.2) e também com os dados do poço 1640 (localidade Boa Vista) que se encontra próximo a SEV-13 (Figura 4.5). Este poço revela pequena diferença entre a profundidade medida para a argila e a interpretada no perfil. Existe ainda boa coerência com as estruturas litológicas reveladas e isso favorece a validação final do perfil A-A'.

PERFIL A-A' SUB-ARRANJO NÃO ESPECIFICADO

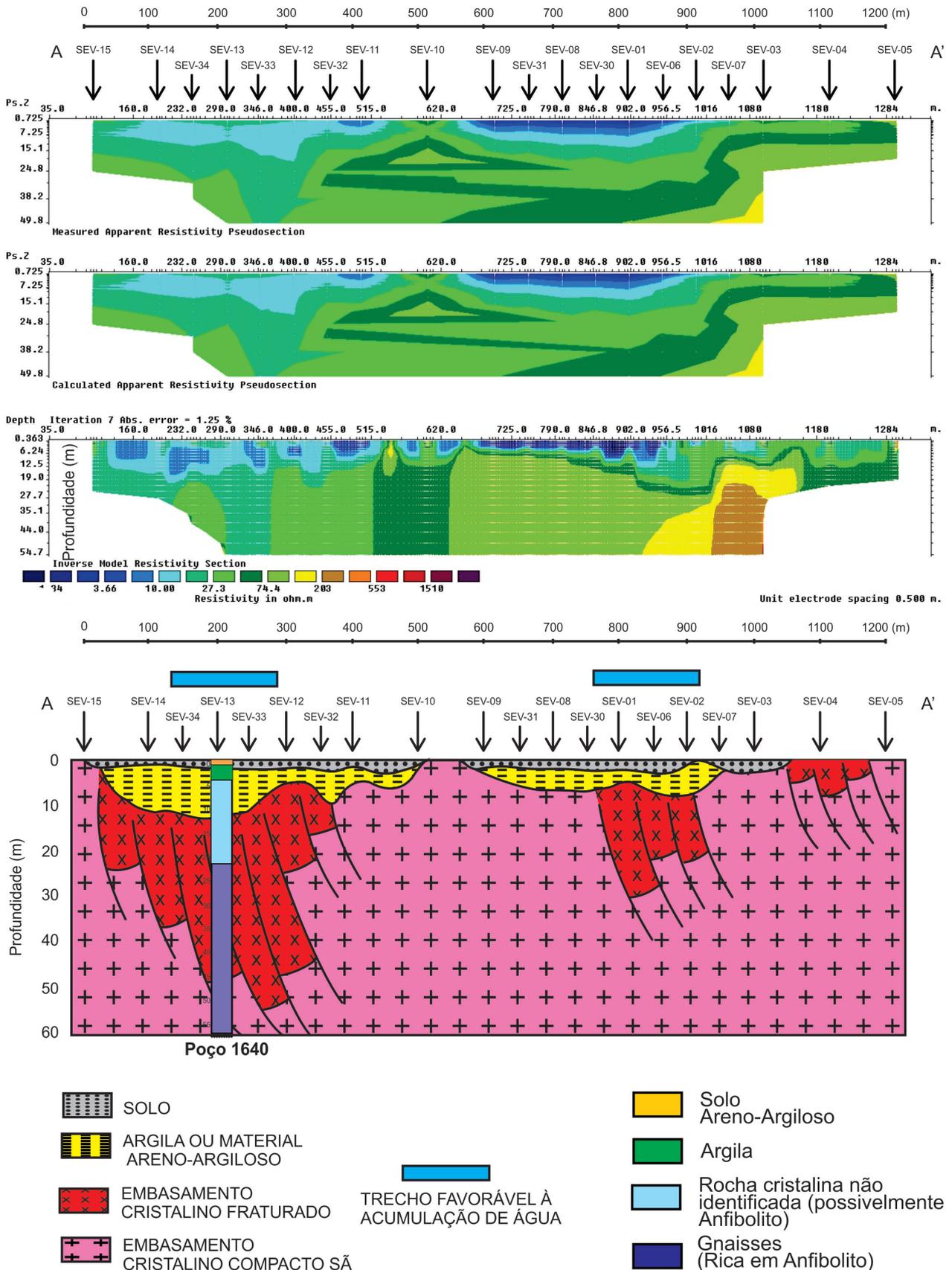


Figura 4.5: Resultado do perfil A-A' nÃo especificando modelo de aquisiÃo para o software.

PERFIL A-A' SUB-ARRANJO NÃO ESPECIFICADO + IP

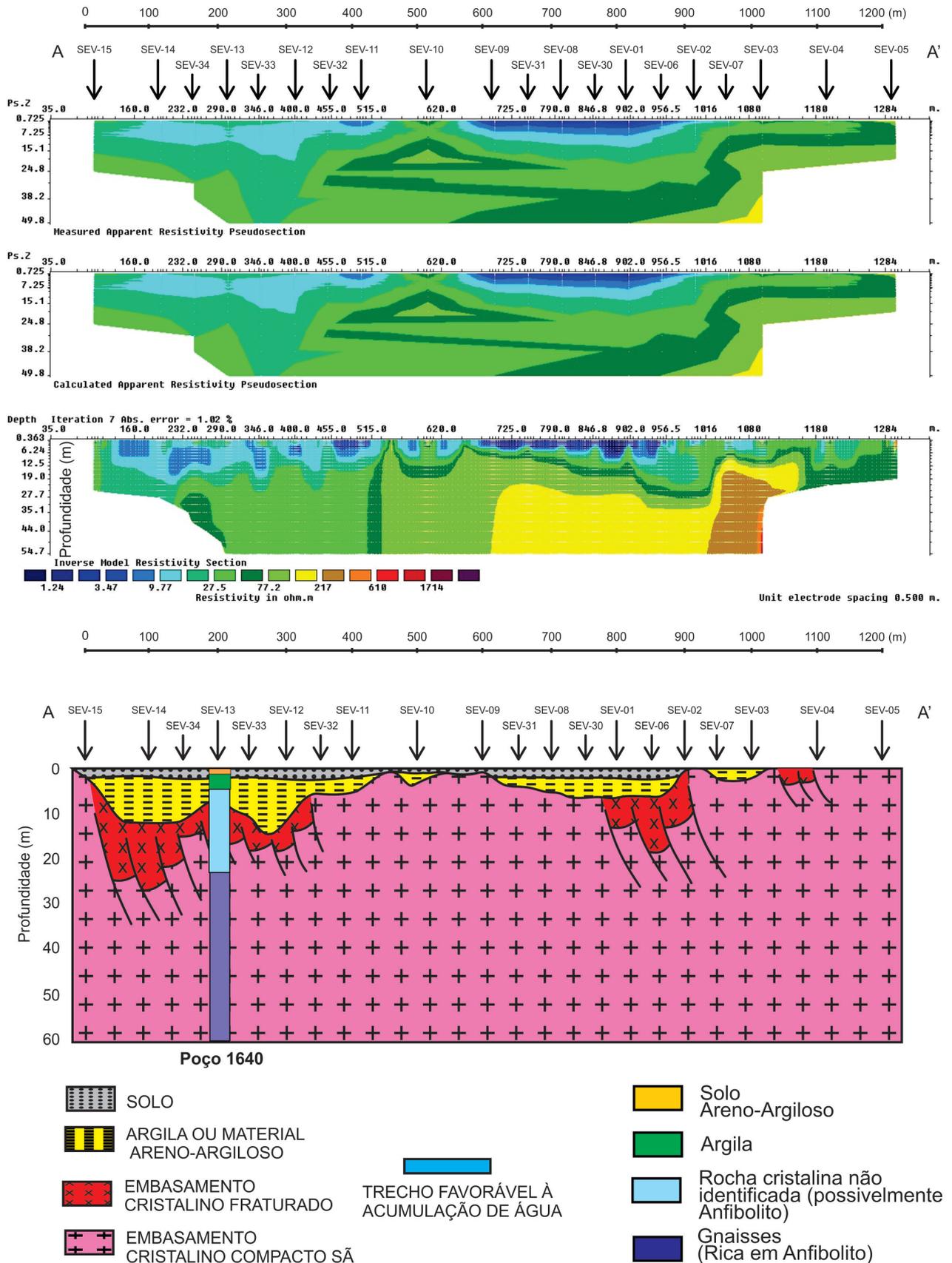


Figura 4.6: Resultado do perfil A-A' não especificando modelo de aquisição e com a presença de cargabilidade

PERFIL A-A' SUB-ARRANJO SCHLUMBERGER

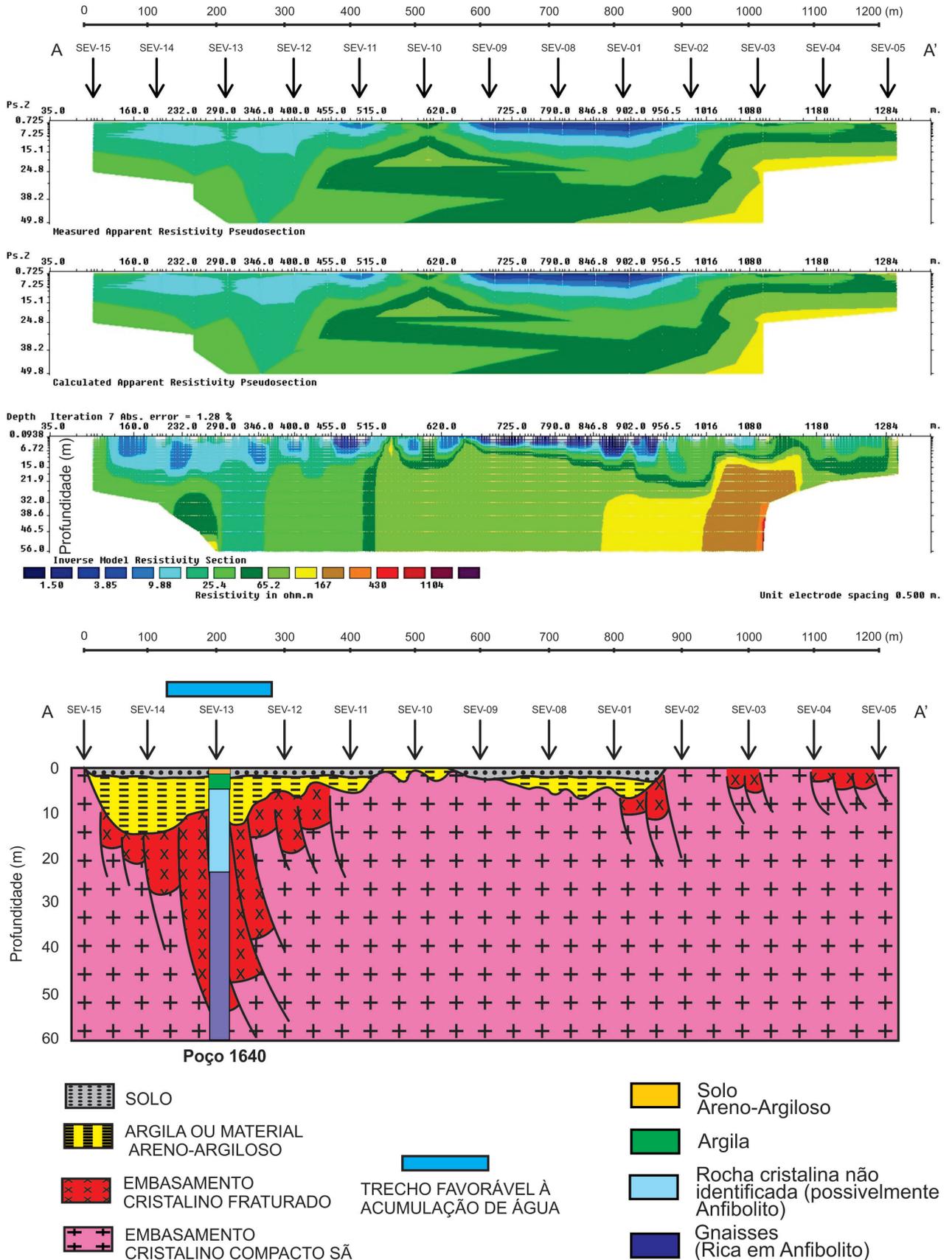


Figura 4.7: Resultado do perfil A-A' especificando modelo de aquisição Schlumberger na entrada de dados do software sem a presença de cargabilidade

PERFIL A-A' SUB-ARRANJO SCHLUMBERGER + IP

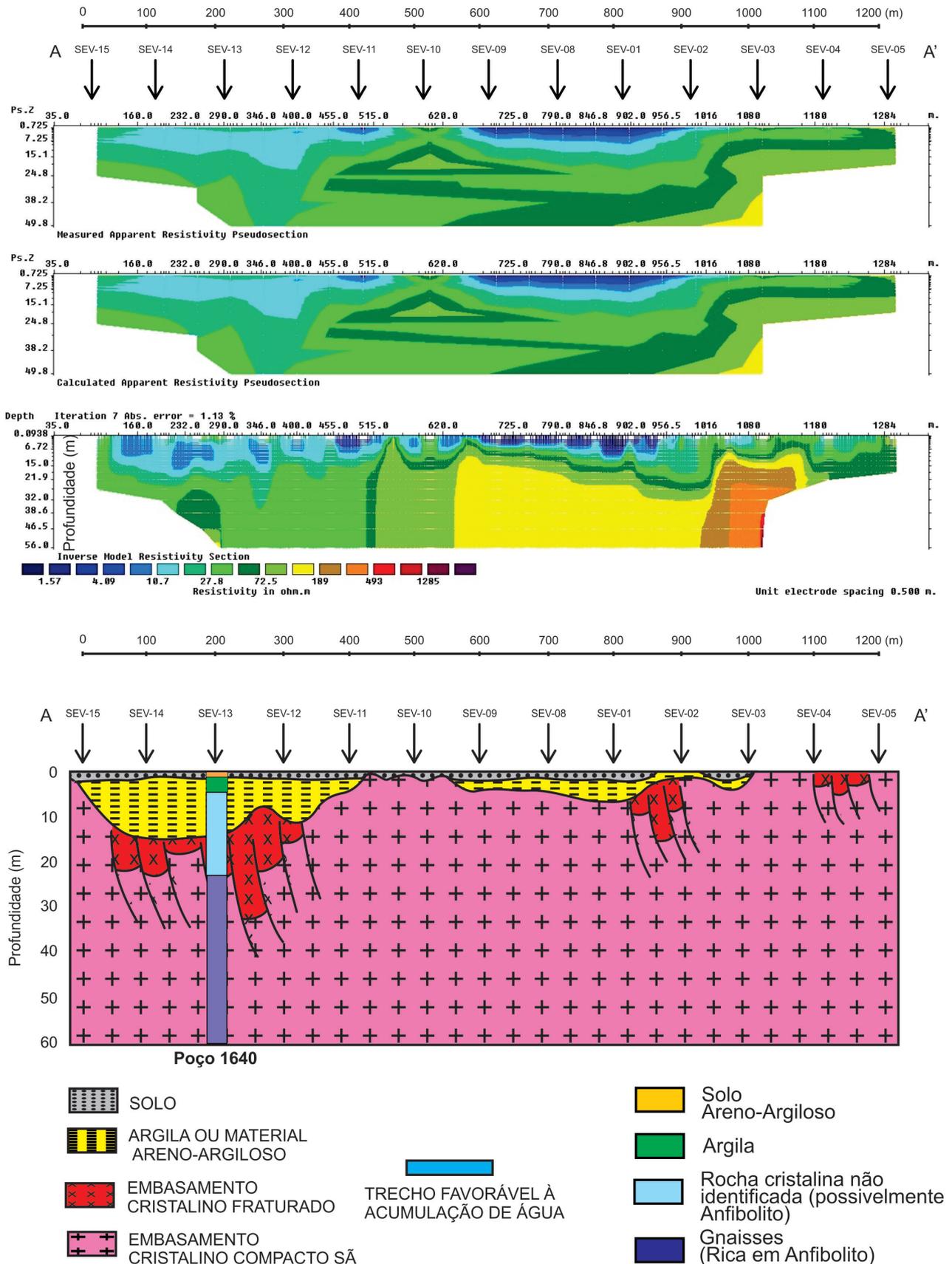


Figura 4.8: Resultado do perfil A-A' especificando modelo de aquisição Schlumberger na entrada de dados e com a presença de cargabilidade

4.3.2 Perfil B-B'

Para o perfil B-B' foram interpretados somente os dados de resistividade sem influência da cargabilidade. A análise da imagem geométrica fornece um resultado bastante similar ao perfil A-A' com predominância de blocos preservados do embasamento ($\rho > 40\Omega.m$), em quase todo o perfil aflorando em alguns trechos ou localizados logo abaixo das camadas de solo seco. Da SEV-23 até a SEV-19 tem-se uma estrutura geológica com profundidade de até 10 metros, grande continuidade lateral e resistividade baixa $\rho < 15\Omega.m$, indicando a presença de argila ou material areno-argiloso, produto de alteração da rocha do embasamento. Na região abaixo da SEV-21 e entre as SEV-18 e 19, com profundidades superior a 10 metros tem-se um extenso pacote com resistividades intermediárias ($15\Omega.m < \rho < 40\Omega.m$) que correspondem ao embasamento fraturado (Figura 4.9).

Os mesmos padrões citados se repetem quando a análise é feita especificando o arranjo Schlumberger sem a presença de cargabilidade (Figura 4.10). O perfil invertido revela a presença de zonas favoráveis a acumulação de água indicadas pela faixa azul. Essas áreas com potencialidades e favorabilidades para a acumulação de água subterrânea também foram definidas nas faixas de resistividade intermediária e bom padrão de fraturamento e profundidade, e que possuíam logo acima solos areno-argilosos com boa permeabilidade, o que possibilitando o armazenamento de água e o preenchimento das falhas e fraturas com a mesma. Esses locais indicados como zona favorável à acumulação de água dependem da existência de fortes gradientes topográficos e que suas fraturas estejam abertas para uma boa recarga e acumulação. A qualidade desta água deve ser analisada para que confirme a viabilidade de sua utilização para abastecimento.

O modelo interpretativo final do perfil B-B' revela boa coerência com as informações do mapa geológico da área (Figura 1.2) e também com os dados do poço 2574 (localidade Escola Agrícola) que se encontra próximo a SEV-29 (Figura 4.9). Este poço revela uma pequena camada superficial de solo e logo abaixo o embasamento cristalino sem presença de qualquer material areno-argiloso.

PERFIL B-B' SUB-ARRANJO NÃO ESPECIFICADO

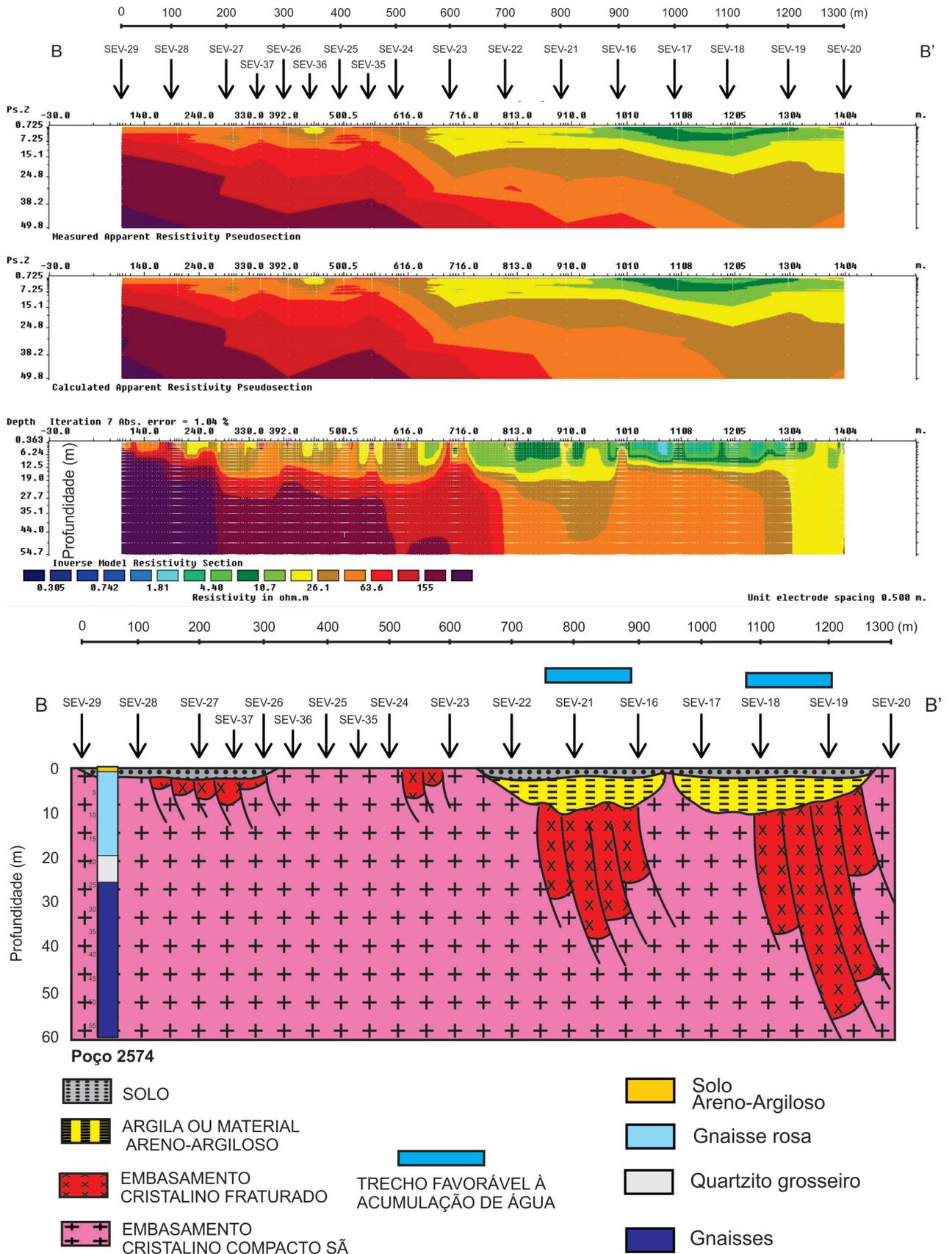


Figura 4.9: Resultado perfil B-B' não especificando modelo de aquisição para o software e sem a presença de cargabilidade

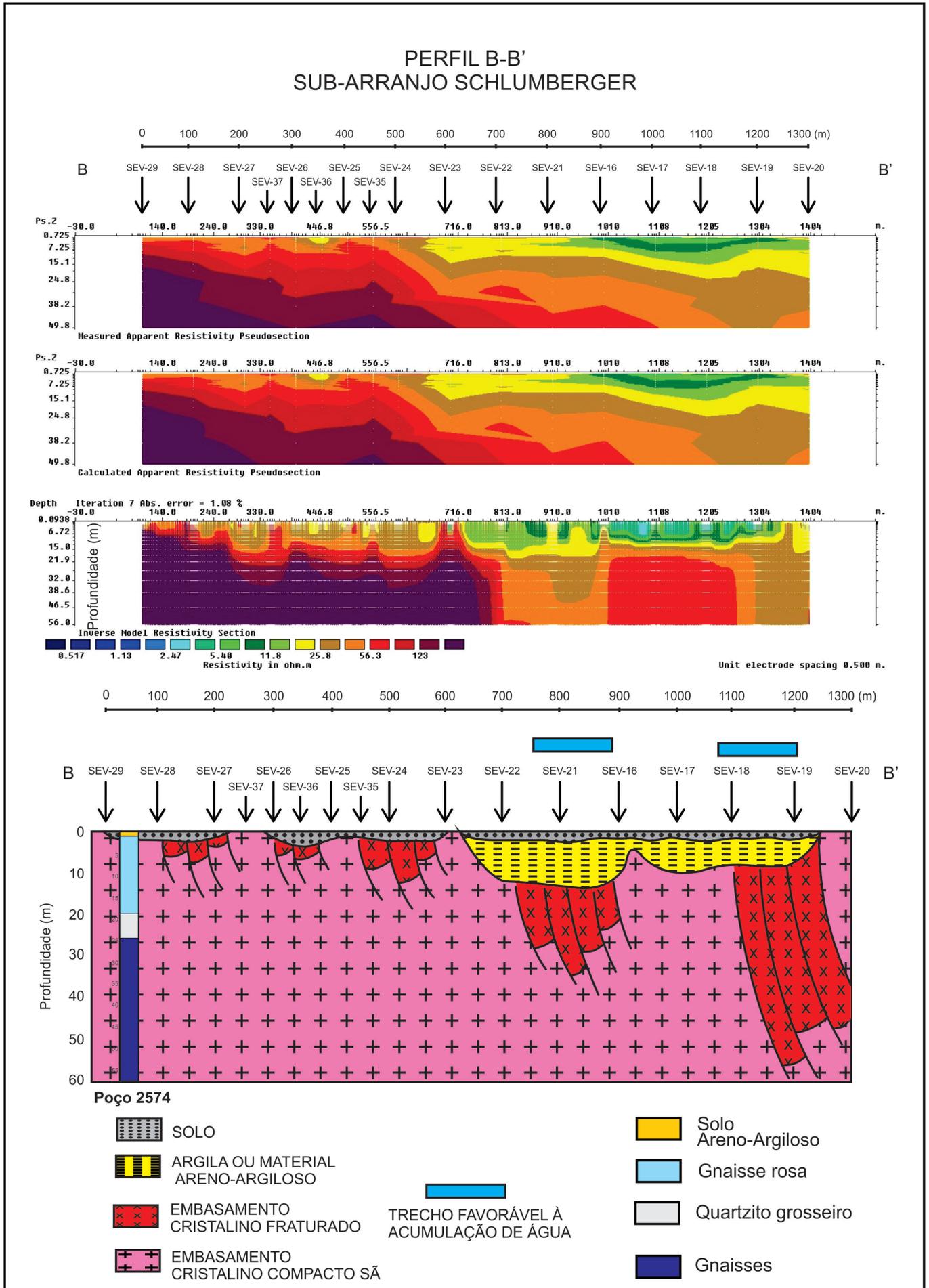


Figura 4.10: Resultado do perfil B-B' especificando modelo de aquisição Schlumberger na entrada de dados do software e sem a presença de cargabilidade

Ficha Geológica de Poço

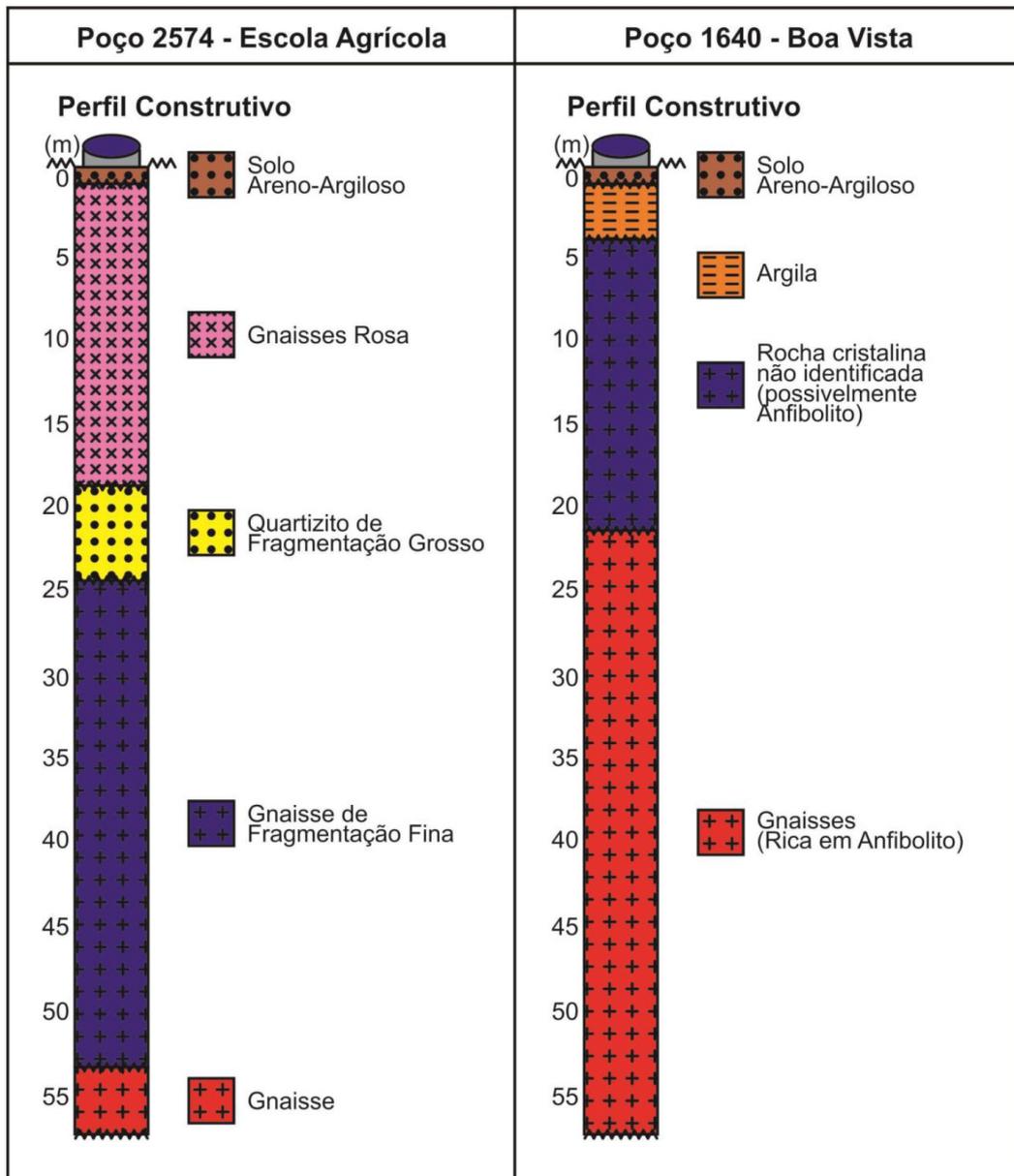


Figura 4.11: Perfis litológicos dos poços próximos às SEVs 29 e 13

CAPÍTULO 5

Conclusão

A geração de um modelo 2D de valores verdadeiros de resistividade aparente com o uso de software mostrou-se satisfatória quando há uso do modelo de entrada de dados *Model Boundary General*. Quanto maior a distância entre os centros das SEVs, menor será a qualidade da inversão para dados adaptados 1D para 2D. A qualidade da inversão diminui se os eletrodos AB sofrerem grandes variações em seu espaçamento ou assumir valores não lineares.

As respostas obtidas apresentaram pouca alteração entre as imagens, ou seja, os dois sub-arranjos tiveram uma boa concordância em toda a sua extensão, quando na entrada de dados foi utilizada o modelo de sub-arranjo não especificado e posteriormente o sub-arranjo Schlumberger sem a presença de cargabilidade.

Os dados de resistividade, permitiram definir melhor a geologia da subsuperfície definindo os modelos de resistividade reais e profundidades. Foram discriminadas três diferentes unidades geoeletricas interpretadas como sendo um material argiloso ou areno-argiloso ($< 10\Omega.m$) resultante do intemperismo ou produto de alteração da rocha do embasamento e outros materiais, outra unidade com embasamento cristalino que possui provavelmente falhas e fraturas ($10\Omega.m < pa < 40\Omega.m$) e grandes blocos preservados ou zonas preservadas do embasamento cristalino são, possivelmente gnaisses ($> 40\Omega.m$).

Considerando que a qualidade dos dados de cargabilidade na área estudada era muito baixa, devido, sobretudo, as dificuldades de transmitir corrente sobre altas resistência de contato, onde os terrenos são de solo seco e a ocorrência de chuva não é constante os mesmos não influenciaram nos resultados.

A interpretação 2D na área investigada permitiu limitar e identificar o possível aquífero fissural que compreende as zonas fraturadas das rochas cristalinas localizadas entre trechos das SEV-14 a SEV-12. Foi possível definir a continuidade lateral e as variações de argilosidade e profundidade das zonas de cobertura alterada com profundidade média de 15 metros.

Os resultados da implementação 2D, mostrou-se eficiente, mesmo sendo o dado de origem 1D, corrigindo profundidades e delimitando as estruturas do topo e embasamento de

trabalhos feitos anteriormente na região. Esta modificação e seus resultados permitem concluir que a aplicação da modelagem 1D para 2D, é adequada na pesquisa de recursos hídricos armazenados em rochas cristalinas fraturadas. Entretanto, devido a própria complexidade estrutural e a heterogeneidade desse meio geológico, a integração de outras técnicas como o caminhamento elétrico dipolo-dipolo, forneceriam informações mais claras e precisas sobre as áreas mais favoráveis a presença de água, além de posicionar, em superfície, a zona de anomalia condutora (associada a falhamentos e/ou fraturamentos saturados), bem como estimar o mergulho da estrutura identificada.

Agradecimentos

Quero agradecer a Prof. Dr^a. Susana Silva Cavalcanti pela orientação feita de forma franca e objetiva, auxiliando da melhor maneira durante a elaboração deste trabalho e em muitos outros momentos do curso, consolidando uma boa amizade neste período.

Ao Prof. Dr. Olivar A. L. de Lima pela colaboração e presteza no atendimento das muitas dúvidas e pelos conhecimentos transmitidos durante o curso.

Agradeço também ao geofísico aposentado da Petrobras João José S. Costa, pela ajuda na caracterização e organização dos dados utilizados, além dos conhecimentos e experiências transmitidas na fase final de elaboração deste trabalho.

Agradeço aos professores e funcionários do curso de geofísica pela atenção e conhecimento compartilhado.

Agradeço também aos meus colegas da graduação *Jairo J. Correia de Andrade*, *Átila Joaquim Costa*, *Cleber de Jesus Santos* e *Anderson Roque* pelo apoio e motivação para finalização do trabalho. A todos os colegas de graduação e amigos(as) que direta ou indiretamente contribuíram para o culminar deste momento.

Agradeço a comissão examinadora pelas sugestões oferecidas para o aprimoramento deste trabalho acadêmico.

Agradeço aos meus pais e familiares por todo apoio dado em todos os momentos. A minha namorada Thaiane Gomes pela paciência durante a elaboração deste trabalho.

Agradecimentos especiais aos amigos: *Anderson Goés Matioli*, *Eronildo de Jesus Souza*, *Danilo Ribeiro de Sá Teles*, *Valdencaastro Pereira Vilas Boas Jr.* e ao funcionário do CPGG/UFBA Joaquim Lago pela colaboração no uso dos aplicativos disponíveis.

Agradeço a Deus, e a todos os presentes na apresentação desta Monografia. Deus, abençoe a todos.

Referências

- Archie, G. E. (1942) The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, *Petroleum Transactions of AIME*, **01**:54–62.
- Braga, A. C. O. (1997) Métodos geoeletricos aplicados na caracterização geológica e geotécnica – Formações Rio Claro e Corumbataí, no Município de Rio Claro – SP, Tese doutorado, UNESP, Rio Claro - SP, Brasil.
- Cavalcanti, S. S. (1999) Hidrologia subterrânea na área do aterro Sanitário de Salvador usando métodos geofísicos elétricos, Dissertação de mestrado, Universidade Federal Da Bahia, Salvador-BA, Brasil.
- CPRM (????) Serviço Geológico do Brasil - Programa Nacional de Prospecção de Ouro - PNPO), year = 2000, address = Salvador-BA, Brasil, school = CPRM, type = Mapa,.
- CPRM (2000) Serviço Geológico do Brasil - Projeto: Estudos Hidrogeologicos das Sub-bacias dos Rios Poço Grande e Peixe - Ba. Mapa Geologico Área ii.
- CPRM (2003) Serviço Geológico do Brasil - Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia - SIG. Mapa.
- CPRM (2005) Serviço Geológico do Brasil - Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Conceição do Coité - Ba.
- DeGroot-Hedlin, C. e Constable, S. (1990) Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data, *Geophysics*, **55**:1613–1624.
- Edwards, L. S. (1977) A modified pseudosection for resistivity and induced polarization, *Geophysics*, **42**:1020–1036.
- Fachin, S. J. S. (2007) Ensaio geoeletricos 2D no antigo lixão de Ribeirão Preto - SP: avaliação de parâmetros de aquisição e monitoramento ambiental do problema, Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto-SP, Brasil.
- Ferreira, N. R. (1999) Inversão de dados eletroresistividade em meios bidimensionais, Tese doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, Brasil.
- GEOTOMO-inc (2003) GEOTOMO SOFTWARE - RES2DINV, version 3.53, Rapid 2D resistivity e IP inversion using the least-square method – Geoelectrical Imaging 2D e 3D, Geotomo Software, Penang, Malaysia.
- Griffiths, D. H. e Barker, R. (1993) Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology, *Journal of Applied Geophysics*, **29**:211–226.

- Griffiths, D. H.; Tumbull, J. e Olayinka, A. (1990) Two-dimensional resistivity mapping with a computer-controlled array, *First break S.*, **01**:121–129.
- IRIS-instruments (1992) *Syscal R2: Manual of 250 W DC/DC converter*, Iris instruments, Orleans, France.
- Johansen, H. K. (1977) A man/computer interpretation system for resistivity soundings over a horizontally stratified earth, *Geophysical Prospecting*, **25**:667–691.
- Kearey, P. e Brooks, H. (2002) *An Introduction to Geophysical Exploration*, Blackwell Science, U.S.A.
- Kosin, M.; Guimarães, J. T. e Abram, M. B. (2003) *Carta geológica do Brasil ao milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB*.
- Lemos Filho, C. E. B. (2003) *Avaliação hidrológica dos aquíferos na região sudeste do Complexo Industrial de Camaçari utilizando geofísica elétrica*, Trabalho final de graduação, Universidade Federal Da Bahia, Salvador-BA, Brasil.
- Lines, L. R. e Treitel, S. (1984) A review of the least-squares inversion and its application to geophysical problems, *Geophysical Prospecting*, **32**:159–186.
- Loke, M. H. (2000) *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: A practical guide to 2-D and 3-D surveys*, Report Geotomo LLC, Penang, Malaysia.
- Loke, M. H. e Barker, R. (1994) Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudo-sections, *Geophysical Prospecting*, **60(6)**:1682–1690.
- Loke, M. H. e Barker, R. (1996) Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudo-sections by a quasi-newton method, *Geophysical Prospecting*, **44**:131–152.
- Medeiros, W. E. e Lima, O. A. L. (1990) A geoelectrical investigation for ground water in crystalline terrains of central Bahia, Brazil., *Ground Water*, **28**:518–523.
- Oliveira, M. A. S. D. (2011) *Aplicabilidade do Método Geofísico de Eletroresistividade na Pesquisa de Água Subterrânea em Rochas Cristalinas na Região de Conceição do Coité-BA*, Trabalho final de graduação, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, Brasil.
- Orellana, E. (1974) *Prospeccion geoelectrica por campos variables*, Ed. Biblioteca Técnica Philips, Madrid.
- Parasnis, D. S. (1986) *Principles of applied geophysics*. 4 ed, Chapman and Hall, London.
- Reynolds, J. M. (1997) *An Introduction to applied and environmental geophysics*, John Wiley and Sons Ltd.
- Sato, H. K. (1979) *Método eletromagnético para interpretação de polarização induzida e resistividade, usando o protótipo de um sistema a multifrequência*, Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, Brasil.

Sato, H. K. (2002) Métodos elétricos (notas de aula).

Telford, W. M.; Geldart, L. P. e Sheriff, R. E. (1990) Applied Geophysics, Cambridge Un. Press, Cambridge.

Ward, S. H. (1990) Resistivity and induced polarization methods - Geotechnical and Environmental Geophysics, Society of Exploration Geophysics, **01**:147–189.

APÊNDICE A

Tabelas com os Dados das SEVs

SEV - 01												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	1,4	1,6	1,7	1,9	2,2	2,6	3,1	3,8	4,8	6,3	5,7	7,7
$M(mVs/V)$	0,6	0,8	1,0	1,3	1,3	5,5	3,0	3,9	4,4	7,4	2,8	0,8
SEV - 01												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	9,4	7,0	8,8	10,5	14,1	18,5	24,3	31,3	38,1	53,7	75,7	
$M(mVs/V)$	2,7	4,7	3,7	0,1	4,9	5,7	10,4	5,8	-2,8	3,7	3,3	

Tabela A.1: SEV-01

SEV - 02												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	7,9	8,4	8,6	10,5	12,5	15,1	18,8	22,2	22,3	24,6	21,5	25,3
$M(mVs/V)$	2,3	2,6	3,3	3,8	3,8	4,5	4,8	3,4	5,6	6,4	5,5	7,5
SEV - 02												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	22,7	25,5	23,3	22,7	25,0	26,6	30,4	36,3	44,6	53,9		
$M(mVs/V)$	6,4	2,1	7,7	10,7	11,2	13,2	14,4	15,4	20,8	16,8		

Tabela A.2: SEV-02

SEV - 03												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	111,1	86,1	74,4	61,5	50,2	48,2	42,1	36,0	35,0	39,0	36,8	44,1
$M(mVs/V)$	7,0	7,0	6,9	6,7	6,9	6,6	6,5	6,0	6,0	7,1	6,0	7,6
SEV - 03												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	41,6	54,2	51,5	60,4	74,8	90,6	104,1	113,7	108,7	136,5	167,4	
$M(mVs/V)$	5,9	7,1	6,1	6,5	5,9	7,7	8,4	9,7	15,3	9,6	10,6	

Tabela A.3: SEV-03

SEV - 04												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	45,5	42,5	40,2	33,0	31,6	28,0	26,5	27,3	29,7	34,3	38,7	38,7
$M(mVs/V)$	0,9	0,9	1,2	1,5	1,5	2,0	1,5	2,3	6,8	5,5	4,2	2,0
SEV - 04												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	41,7	44,3	47,9	58,6	72,1	91,0	112,5					
$M(mVs/V)$	4,2	2,0	2,9	8,0	12,9	6,6	3,7					

Tabela A.4: SEV-04

SEV - 05												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	324,5	208,8	161,8	118,2	94,8	84,8	82,2	75,0	76,4	58,0	72,2	65,9
$M(mVs/V)$	8,5	9,0	8,3	7,3	5,4	4,4	5,0	6,3	1,5	4,1	4,1	-0,7
SEV - 05												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	51,4	63,3	54,0	61,7	75,9	92,9	114,6					
$M(mVs/V)$	4,4	9,4	4,8	1,9	3,6	2,6	3,3					

Tabela A.5: SEV-05

SEV - 06												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	3,1	3,0	3,1	3,8	4,6	5,7	7,4	9,0	10,3	10,3	9,2	12,6
$M(mVs/V)$	2,3	2,7	3,6	3,8	3,5	3,8	3,5	4,4	3,8	2,9	4,8	4,2
SEV - 06												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	11,6	16,0	15,3	19,2	19,7	23,2	29,1	38,2	47,1	60,2		
$M(mVs/V)$	6,0	2,0	5,9	7,3	13,2	11,9	13,2	13,6	22,2	10,5		

Tabela A.6: SEV-06

SEV - 07												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	37,6	26,5	17,3	15,8	16,8	19,1	22,5	25,3	28,7	32,1	32,1	39,5
$M(mVs/V)$	1,3	1,5	1,9	1,9	2,8	2,3	3,3	3,0	3,7	4,3	4,3	6,6
SEV - 07												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	35,4	45,3	41,4	49,1	58,7	71,3	86,6					
$M(mVs/V)$	5,1	6,8	5,6	5,7	6,5	7,2	8,3					

Tabela A.7: SEV-07

SEV - 08												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	1,7	1,8	2,0	2,3	2,6	3,1	3,7	4,4	5,4	6,5	7,1	8,6
$M(mVs/V)$	1,5	1,8	1,9	2,5	2,8	2,5	4,1	5,0	6,4	8,4	8,4	6,3
SEV - 08												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	7,9	11,1	10,1	12,6	15,9	19,9	25,3					
$M(mVs/V)$	8,2	3,5	9,7	11,5	13,7	16,8	16,6					

Tabela A.8: SEV-08

SEV - 09												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	1,9	2,1	2,2	2,5	3,0	3,4	4,3	5,3	6,5	8,5	7,1	10,3
$M(mVs/V)$	1,0	1,2	1,2	2,1	2,1	2,6	2,7	4,6	2,6	3,5	5,9	108,1
SEV - 09												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	9,0	13,3	12,0	15,7	19,3	22,7						
$M(mVs/V)$	4,7	12,8	5,0	8,2	6,3	7,0						

Tabela A.9: SEV-09

SEV - 10												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	103,4	92,6	81,4	69,1	60,7	60,9	49,7	45,4	37,2	35,5	30,0	36,5
$M(mVs/V)$	3,4	3,2	3,4	4,1	5,0	5,4	5,9	5,8	6,3	7,2	6,1	6,3
SEV - 10												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	30,0	45,8	38,4	47,2	63,7	80,8	106,3					
$M(mVs/V)$	6,9	4,1	7,6	8,2	8,3	9,1						

Tabela A.10: SEV-10

SEV - 11												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	7,4	6,1	6,3	6,2	6,0	6,4	7,2	8,6	10,2	12,9	10,3	14,5
$M(mVs/V)$	1,2	2,0	2,8	3,2	4,2	4,3	4,9	3,9	6,5	6,8	6,3	5,7
SEV - 11												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	11,7	17,0	14,0	17,1	22,4	27,8						
$M(mVs/V)$	5,6	6,7	7,1	8,0	8,3	8,9						

Tabela A.11: SEV-11

SEV - 12												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	23,6	19,7	17,8	15,4	13,3	12,1	10,4	10,1	11,0	12,4	11,1	12,8
$M(mVs/V)$	0,2	0,3	0,5	1,0	1,7	2,9	4,3	5,5	5,9	8,2	7,4	9,6
SEV - 12												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	11,8	14,2	13,3	14,5	15,2	15,5	16,0	18,4	21,3	25,3	30,1	
$M(mVs/V)$	9,4	11,2	11,6	13,0	14,9	18,2	21,6	20,9	23,0	20,4	30,8	

Tabela A.12: SEV-12

SEV - 13												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	24.7	23.2	23.2	22.9	20.7	20.3	18.3	17.3	16.9	17,4	16.0	16.7
$M(mVs/V)$	0.3	0.5	0.8	1.1	1.7	2.3	3.4	4.3	5.0	5.6	5.1	6.5
SEV - 13												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	15.4	16.9	15.4	15.8	17.5	20.1	23.4	27.8	31.2	33.9	40.2	
$M(mVs/V)$	5.8	8.0	6.2	4.5	7.2	7.4	8.4	9.9	10.7	12.5	7.4	

Tabela A.13: SEV-13

SEV - 14												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	16.2	14.2	14.1	14.4	13.9	14.4	14.8	13.9	13.3	13.2	14.0	11.8
$M(mVs/V)$	0.2	0.6	0.5	2.2	1.0	1.5	2.1	0.2	3.9	3.8	4.3	7.7
SEV - 14												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	12.9	12.4	13.6	15.0	17.3	19.9	24.9	31.3				
$M(mVs/V)$	5.6	7.3	5.7	5.2	5.0	2.6	7.8	4.4				

Tabela A.14: SEV-14

SEV - 15												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	38.4	37.8	29.8	26.6	25.4	23.1	22.1	20.2	19.5	18.0	25.3	16.6
$M(mVs/V)$	0.5	0.6	0.7	0.7	1.0	1.3	1.7	2.1	1.9	3.8	2.7	6.1
SEV - 15												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	21.0	16.2	18.9	20.3	22.5	25.4	31.0	38.6				
$M(mVs/V)$	3.9	14.2	4.7	4.9	4.9	4.5	5.8	4.5				

Tabela A.15: SEV-15

SEV - 16												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	10.1	9.4	8.5	8.9	9.4	10.3	11.7	13.2	13.9	14.6	12.5	16.7
$M(mVs/V)$	1.6	2.3	3.3	4.2	5.2	6.1	6.4	6.3	5.8	6.0	5.5	7.4
SEV - 16												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	14.6	20.6	18.3	23.1	26.9	31.9	36.0	40.8	47.6	56.9	75.4	
$M(mVs/V)$	7.8	5.9	7.3	7.9	7.6	7.2	8.8	4.6	10.1	5.7	12.4	

Tabela A.16: SEV-16

SEV - 17												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	11.6	8.4	7.1	6.7	6.7	7.0	7.0	7.1	7.6	8.3	8.1	8.5
$M(mVs/V)$	0.3	1.2	2.1	3.0	5.6	5.5	-0.5	3.6	9.7	10.3	3.6	5.3
SEV - 17												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	8.8	10.6	10.6	13.3	17.2	21.3	27.3	35.2				
$M(mVs/V)$	5.4	15.0	7.6	7.2	7.7	11.8	7.1	10.2				

Tabela A.17: SEV-17

SEV - 18												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	56.3	34.9	18.3	8.6	6.0	5.4	5.7	6.2	7.1	9.1	9.0	10.1
$M(mVs/V)$	-0.8	-0.9	-0.7	0.0	1.0	2.7	2.8	5.6	1.5	4.1	5.1	7.3
SEV - 18												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	9.8	11.2	11.2	12.2	13.7	16.8	22.0	27.3				
$M(mVs/V)$	6.2	-0.7	5.4	3.0	8.5	10.2	9.3	10.1				

Tabela A.18: SEV-18

SEV - 19												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	30.9	15.3	9.4	8.4	8.5	9.3	10.1	11.3	13.3	15.9	12.9	16.4
$M(mVs/V)$	-1.4	-1.7	-0.3	0.4	0.6	0.9	1.6	2.4	1.6	0.7	2.7	2.2
SEV - 19												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	13.2	19.6	15.9	19.0	22.2	24.1	27.7	28.8	29.3	27.5	33.1	
$M(mVs/V)$	3.5	3.7	4.0	5.0	5.1	6.2	7.3	11	18.9	0.0	14.3	

Tabela A.19: SEV-19

SEV - 20												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	51.3	40.0	35.4	29.0	25.5	18.3	13.3	13.0	14.2	17.2	14.5	17.3
$M(mVs/V)$	0.3	0.5	0.8	1.0	1.4	1.6	2.0	1.4	1.6	3.7	3.3	5.1
SEV - 20												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	14.3	18.7	15.3	16.9	20.6	22.7	23.5	27.0	32.1	35.1	55.4	
$M(mVs/V)$	4.0	6.9	4.7	5.4	6.3	7.1	8.5	8.1	10	11.8	32.0	

Tabela A.20: SEV-20

SEV - 21												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	81.1	43.7	31.0	25.3	21.9	22.4	21.5	20.0	15.6	16.6	15.0	18.8
$M(mVs/V)$	0.0	0.9	0.9	1.0	-0.2	1.3	2.0	0.0	2.3	3.9	4.3	2.8
SEV - 21												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	17.3	21.2	20.0	22.6	27.8	31.8	35.2	39.5	42.2	51.7	66.7	
$M(mVs/V)$	4.2	3.3	3.9	4.6	5.2	4.9	5.3	4.9	5.8	10.0	9.6	

Tabela A.21: SEV-21

SEV - 22												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	52.6	38.9	31.8	26.9	22.4	20.9	20.2	20.2	21.0	23.1	17.7	24.8
$M(mVs/V)$	-0.4	0.0	0.3	0.8	0.3	1.8	2.1	2.6	-0.3	0.0	2.2	-0.9
SEV - 22												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	18.5	27.4	20.3	23.6	28.0	32.9	39.0	51.5	66.8			
$M(mVs/V)$	9.8	1.7	4.3	1.9	5.6	4.0	6.1	4.0	4.4			

Tabela A.22: SEV-22

SEV - 23												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	33.2	32.1	27.0	21.5	19.5	19.8	18.9	20.3	20.9	17.9	24.3	15.5
$M(mVs/V)$	0.1	0.2	0.5	0.8	0.6	1.7	-4.8	1.5	2.2	3.4	2.3	6.1
SEV - 23												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	19.6	16.6	20.5	19.7	23.0	26.1	31.4	39.0	44.9			
$M(mVs/V)$	3.1	7.1	2.7	2.5	1.8	3.1	7.2	5.9	8.7			

Tabela A.23: SEV-23

SEV - 24												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	230.4	121.4	60.4	45.2	39.2	36.5	34.6	33.8	33.2	35.0	39.8	35.5
$M(mVs/V)$	0.0	-0.1	0.3	1.4	2.2	0.2	3.7	0.8	1.0	2.7	2.5	2.6
SEV - 24												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	40.1	39.3	44.4	48.6	54.6	62.5	74.8	91.3	113.7			
$M(mVs/V)$	2.6	2.1	2.0	2.3	2.9	3.0	4.9	4.3	4.4			

Tabela A.24: SEV-24

SEV - 25												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	53.1	50.5	51.6	51.4	51.8	58.8	50.1	56.7	63.1	76.9	51.0	76.1
$M(mVs/V)$	0.9	1.2	1.5	1.8	2.2	2.3	2.2	2.3	2.3	2.6	2.5	2.6
SEV - 25												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	49.7	73.1	48.2	54.4	62.1	72.7	86.4	101.2				
$M(mVs/V)$	2.8	3.4	2.6	2.0	2.8	3.2	3.5	4.8				

Tabela A.25: SEV-25

SEV - 26												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	115.9	64.7	47.4	35.4	34.0	35.4	38.1	38.0	39.3	43.3	41.3	45.9
$M(mVs/V)$	0.8	1.5	2.2	2.4	2.4	2.4	2.7	3.1	2.7	3.6	3.3	3.3
SEV - 26												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	44.1	51.1	49.6	54.7	66.0	74.6	83.8	99.0	114.9	139.3	177.7	
$M(mVs/V)$	4.5	3.9	4.2	4.0		3.6	5.8	5.5	4.7	3.1	5.0	

Tabela A.26: SEV-26

SEV - 27												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	66.5	57.7	51.7	48.1	43.6	42.4	41.5	39.8	38.3	35.8	41.2	32.5
$M(mVs/V)$	1.7	2.7	3.3	3.9	4.1	4.2	5.0	4.7	4.5	4.0	3.0	2.9
SEV - 27												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	37.2	36.2	41.0	49.5	62.1	70.8	86.5					
$M(mVs/V)$	4.4	4.7	3.9	4.0	3.6	3.3	2.7					

Tabela A.27: SEV-27

SEV - 28												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	41.8	40.1	44.2	47.3	49.2	48.3	54.9	59.9	62.2	68.3	81.0	65.1
$M(mVs/V)$	1.0	1.3	1.5	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.4	2.3	2.5	3.0
SEV - 28												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	77.7	67.6	81.9	97.4	109.4	132.0	154.9					
$M(mVs/V)$	2.5	2.3	2.6	2.7	3.8	3.3	3.6					

Tabela A.28: SEV-28

SEV - 29												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	57.1	54.8	52.3	47.0	39.4	41.2	44.6	52.9	65.9	87.1	73.5	105.7
$M(mVs/V)$	8.4	9.4	9.9	10.3	9.8	9.1	8.1	7.9	7.8	7.7	7.8	7.3
SEV - 29												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	90.2	120.4	104.9	117.9	138.2	163.3	204.8	244.0	240.0	236.7	298.4	
$M(mVs/V)$	7.4	7.0	6.5	6.8	8.5	6.7	7.3			7.7	7.9	

Tabela A.29: SEV-29

SEV - 30												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	2.1	2.3	2.4	2.7	3.0	3.5	4.1	4.8	5.8	7.2	6.0	8.3
$M(mVs/V)$	1.6	2.0	2.4	3.8	4.0	4.3	4.8	5.0	6.5	8.0	6.4	28.1
SEV - 30												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	7.5	10.6	9.6	12.2	16.0	20.9	27.7	39.0				
$M(mVs/V)$	10.2	13.2	9.7	11.2	10.4	15.7	12.9	14.1				

Tabela A.30: SEV-30

SEV - 31												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	2.6	2.6	2.8	3.2	3.6	4.3	5.3	6.1	7.2	9.3	7.5	10.6
$M(mVs/V)$	1.2	1.4	1.7	1.7	2.4	2.9	6.5	3.8	3.3	6.1	5.8	9.1
SEV - 31												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	9.0	13.5	11.5	14.5	19.1	24.6	32.6					
$M(mVs/V)$	6.2	7.7	7.9	8.9	9.9	11.5	11.9					

Tabela A.31: SEV-31

SEV - 32												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	14.4	12.7	12.4	12.2	12.0	12.6	12.9	12.5	13.3	15.1	16.1	15.7
$M(mVs/V)$	0.4	0.8	1.0	1.5	2.0	2.4	3.3	4.4	5.2	7.2	5.9	6.9
SEV - 32												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	17.3	17.0	19.1	21.6	24.2	27.6	33.6	42.9	51.2			
$M(mVs/V)$	7.2	6.6	9.0	11.2	14.1	16.5	17.7	18.1	18.1			

Tabela A.32: SEV-32

SEV - 33												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	23.8	25.6	26.9	25.2	23.9	21.8	16.9	14.8	13.4	12.9	13.4	12.5
$M(mVs/V)$	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	4.3	4.8	6.4	5.9
SEV - 33												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	12.2	13.6	13.0	13.6	15.0	15.6	17.1	18.8	19.8	20.4	24.1	
$M(mVs/V)$	6.1	7.4	6.8	8.3	8.3	9.6	8.2	13.7	14.9	15.8	15.2	

Tabela A.33: SEV-33

SEV - 34												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	27.0	26.4	22.5	20.1	17.5	16.3	14.2	12.4	11.2	11.3	12.4	11.2
$M(mVs/V)$	0.1	0.1	0.2	0.3	0.7	1.0	1.8	1.2	3.7	6.3	3.8	4.3
SEV - 34												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	11.6	12.1	12.1	13.7	15.8	17.7	20.0	23.8	27.7	32.5		
$M(mVs/V)$	4.4	2.3	4.8	4.0	5.8	4.8	9.0	9.6	9.2	13.9		

Tabela A.34: SEV-34

SEV - 35												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	206.6	106.3	64.4	46.1	34.5	40.3	40.1	45.8	49.3	54.6	41.2	60.2
$M(mVs/V)$	0.6	1.0	2.3	3.4	3.3	3.0	3.2	3.1	3.5	5.7	2.7	3.2
SEV - 35												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	46.4	71.3	56.4	68.3	82.4	88.8	100.1	125.0	137.0	166.8	210.0	
$M(mVs/V)$	3.1	3.7	3.1	2.4	3.3	4.6	3.5	3.8	4.3	3.0	2.9	

Tabela A.35: SEV-35

SEV - 36												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	25.3	23.7	21.7	20.4	18.1	19.4	19.6	20.0	22.4	26.1	35.1	28.6
$M(mVs/V)$	0.6	0.8	1.2	1.3	1.8	1.9	2.5	2.2	1.3	1.3	2.3	
SEV - 36												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	38.7	32.4	45.6	55.5	65.8	75.5	91.7					
$M(mVs/V)$												

Tabela A.36: SEV-36

SEV - 37												
$AB/2(m)$	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10	13	13	16
$MN/2(m)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5	0,5
$\rho_a(Ohm.m)$	105.4	85.0	75.2	64.6	59.8	50.8	47.3	46.4	49.9	55.3	60.7	58.1
$M(mVs/V)$												
SEV - 37												
$AB/2(m)$	16	20	20	25	32	40	50	65	80	100	130	
$MN/2(m)$	5	0,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
$\rho_a(Ohm.m)$	63.4	62.0	66.3	70.8	83.3	95.0	110.9	132.7				
$M(mVs/V)$												

Tabela A.37: SEV-37

APÊNDICE B

Ficha Técnica Completa dos Poços



Ficha Técnica Completa de Poço



Poço: 2900001640	UF : BA	Município : Conceicao do coite	Localidade : BOA VISTA
------------------	---------	--------------------------------	------------------------

Perfil Construtivo	
0	
5	
10	
15	
20	
25	
30	
35	
40	
45	
50	

Gerais	
Dados Gerais:	
Nome :	CERB 1-1381/82
Data da Instalação :	
Proprietário :	CERB
Natureza do Ponto :	Poço tubular
Uso da água :	
Cota do Terreno :	
Localização:	
Localidade :	BOA VISTA
UTM (Norte/Sul) :	8730436
UTM (Leste/Oeste) :	470129
Latitude (GGMSS) :	112904
Longitude (GGMSS) :	391626
Bacia Hidrográfica:	Atlantico Sul-Leste
Subbacia Hidrográfica:	Rios Vaza-Barris, Itapicuru e outros
Situação:	
Data :	21/10/2003
Situação :	Obstruido

Construtivos					
Perfuração:					
Data:	Profundidade Inicial(m)	Profundidade Final(m)	Perfurador	Método	
10/06/1982	0.00	52.00	CERB	Roto-percussao	
Diâmetro:					
De (m):	Até (m):	Polegadas	Milímetros		
0.00	5.40	8	203.2000		
5.40	52.00	6	152.4000		
Revestimento:					
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	
0.00	5.40	Aço galvanizado com rosca e luva	6	152.4000	
Filtro:					
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Ranhura
Espaço Anular:					
De (m):	Até (m):	Material			
0.00	0.90	Cimentação			
Boca do Tubo:					
Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)		
10/06/1982	0.46	6	152.4000		
Entrada d'água:					
Profundidade:					
22.00					
27.00					
Profundidade Útil:					
Data:	Profundidade:				
	52.00				

Figura B.1: Ficha técnica Poço Boa Vista

Geológicos			
Feição Geomorfológica:			
Descrição:			
Formação Geológica:			
Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Tipo de Formação:	
0.00	3.00	Eluvial	
3.00	52.00	Proterozoico Inferior	
Dados Litológicos:			
De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	1	Solo argiloso	SOLO ARGILOSO, MARROM ESCURO.
1	3	Argila	ARGILA ACINZENTADA.
3	21	Rocha Cristalina não identificada	ROCHA BASICA DE COLORACAO CINZA ESCURA, POSSIVELMENTE ANFIBOLITO.
21	52	Gnaisses	GNAISSE DE COLORACAO CINZA ESCURO, RICO EM BIOTITA.
Hidrogeológicos			
Aquífero no Ponto:			
Aquífero: Fissural	Topo (m):	3.00	
	Base (m):	52.00	
	Captação:	ÚNICA	
	Condição:	LIVRE	
Penetração:	PARCIAL		
Nível da Água:			
Data:			
Nível da Água (m):			
Nível Medido Bombeando (S/N)?			
Vazão (m ³ /h):			
Teste de Bombeamento			
Teste de Bombeamento:			
Data:	Surgência:	Nível Estático (m):	Duração do Teste (h):
15/06/1982	N	4.80	12:00
Nível Dinâmico:	Vazão Específica (m ³ /h/m):	Coefficiente de Armazenamento:	Vazão Livre (m ³ /h):
36.50			
Permeabilidade (m/s):	Transmissividade (m ² /s):	Vazão Após Estabilização (m ³ /h):	Tipo do Teste:
		4.78	Rebaixamento
Método:	Unidade:		
	Air-lift		
Análises Químicas			
Análises Químicas:			
Data da Coleta:			
Condutividade Elétrica (µS/cm):			
Qualidade da Água (PT/CO):	5.00		
Sabor da Água:			
Qualidade da Água (Odor):			
Temperatura (C°):			
Turbidez (NTU):	1.7		
Sólidos Suspensos (mg/l):			
Sólidos Sedimentáveis (mg/l):			
Aspecto Natural:			
Ph:	6.80		

Figura B.2: Ficha técnica Poço Boa Vista (continuação)

Poço: 2900002574	UF : BA	Município : Conceicao do coite	Localidade : ESCOLA AGRICOLA		
------------------	---------	--------------------------------	------------------------------	--	--

Perfil Construtivo					
0					
10					
20					
30					
40					
50					
60					
70					

Gerais					
Dados Gerais:					
Nome :	CERB 1-5090/91				
Data da Instalação :					
Proprietário :	Prefeitura Municipal				
Natureza do Ponto :	Poço tubular				
Uso da água :	Abastecimento doméstico				
Cota do Terreno :	350.00				
Localização:					
Localidade :	ESCOLA AGRICOLA				
UTM (Norte/Sul) :	8726748				
UTM (Leste/Oeste) :	468618				
Latitude (GMMSS) :	113104				
Longitude (GMMSS) :	391716				
Bacia Hidrográfica:	Atlântico Sul-Leste				
Subbacia Hidrográfica:	Rios Vaza-Barris, Itapicuru e outros				
Situação:					
Data :	21/10/2003				
Situação :	Obstruído				
Construtivos					
Perfuração:					
Data:	Profundidade Inicial(m)	Profundidade Final(m)	Perfurador	Método	
11/11/1991	0.00	70.00	CERB	Roto-percussao	
Diâmetro:					
De (m):	Até (m):	Polegadas	Milímetros		
0.00	5.30	8	203.2000		
5.30	70.00	8	203.2000		
Revestimento:					
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	
0.00	5.30	Aço sem costura com rosca e luva	6	152.4000	
Filtro:					
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Ranhura
Espaço Anular:					
De (m):	Até (m):	Material			
0.00	1.00	Cimentação			
Boca do Tubo:					
Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)		
21/10/2003	0.70	6	152.4000		
	0.23	6	152.4000		
Entrada d'água:					
Profundidade:					
29.00					
55.00					
Profundidade Útil:					
Data:	Profundidade:				
	70.00				

Figura B.3: Ficha técnica Poço Escola Agrícola

Geológicos			
Feição Geomorfológica:			
Descrição:			
Formação Geológica:			
Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Tipo de Formação:	
0.00	1.00	Quaternario	
1.00	70.00	Proterozoico inferior	
Dados Litológicos:			
De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	1	Solo	SOLO ARENO ARGILOSA AMARRONZADO
1	17	Gnaisses	GNAISSE ROSA, SA, COMPOSTAESSENC. P/QTZO. E ORTOCL.(BD. FELS.), FRAG. MED.
17	24	Quartzito de fragmentação grossa	HORNBLENDA GNAISSE ACZ. SAFRAG. FINA. (BD. MAFICA).
24	54	Gnaisses	GNAISSE ESBR. SA, COMP. QTZO E FEDSP. FRAG. FINA.
54	58	Gnaisses	HORNBLENDA GNAISSE, ACZ. SAFRAG. FINA.
58	66	Gnaisses	HORNBLENDA GNAISSE, ACZ. SAFRAG. MEDIA.
66	70	Gnaisses	HORNBLENDA GNAISSE, ACZ. SAFRAG. FINA.
Hidrogeológicos			
Aquífero no Ponto:			
Aquífero: Fissural	Topo (m):	1.00	
	Base (m):	70.00	
	Captação:	ÚNICA	
	Condição:	LIVRE	
	Penetração:	PARCIAL	
Nível da Água:			
Data:			
Nível da Água (m):			
Nível Medido Bombeando (S/N)?			
Vazão (m ³ /h):			
Teste de Bombeamento			
Teste de Bombeamento:			
Data:	Surgência:	Nível Estático (m):	Duração do Teste (h):
Nível Dinâmico:	Vazão Específica (m ³ /h/m):	Coefficiente de Armazenamento:	Vazão Livre (m ³ /h):
Permeabilidade (m/s):	Transmissividade (m ² /s):	Vazão Após Estabilização (m ³ /h):	Tipo do Teste:
Método:	Unidade:		
Análises Químicas			
Análises Químicas:			
Data da Coleta:			
Condutividade Elétrica (µS/cm):			
Qualidade da Água (PT/CO):			
Sabor da Água:			
Qualidade da Água (Odor):			
Temperatura (C°):			
Turbidez (NTU):			
Sólidos Suspensos (mg/l):			
Sólidos Sedimentáveis (mg/l):			
Aspecto Natural:			
Ph:			

Figura B.4: Ficha técnica Poço Escola Agrícola (continuação)