



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA
NO MUNICÍPIO DE NOVO REPARTIMENTO-PA APLICANDO
MÉTODOS ELÉTRICOS E ELETROMAGNÉTICOS

LAIR DA SILVA FREITAS FILHO

Belém –2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

**PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO MUNICÍPIO DE NOVO
REPARTIMENTO – PA APLICANDO MÉTODOS ELÉTRICOS E
ELETROMAGNÉTICOS**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

LAIR DA SILVA FREITAS FILHO

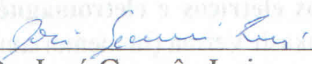
COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS NA ÁREA DE GEOFÍSICA

Data da aprovação: 31/03/2006

Nota: 85% (Excelente)

COMITÊ DE TESE:

Prof. Dr. Om Prakash Verma
(Orientador) in memoriam


Prof. Dr. José Gouvêa Luiz
(Co-orientador)


Prof. Dr. José Márcio Lins Marinho


Prof. Dr. Luiz Rijo

BELÉM

2006

A minha esposa Gorete,
pelo carinho e compreensão durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais,
Jorgete Mauad e Lair, em especial a minha mãe que ajudou a vencer todos os obstáculos que
enfrentei no decorrer de toda a minha vida.

Aos meus filhos,
Luis Felipe e Lucas.

A memória de minha avó
Maria Rodrigues Mauad por me dar como herança a semente da luta incansável.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Dr. Om Prakash Verma (In memória) pelas orientações e total apoio a essa pesquisa.

Ao Professor Dr. José Gouvêa Luiz pelas orientações e ensinamento ao longo do trabalho.

Aos membros da banca examinadora Professores Dr. Luiz Rijo e Dr. José Marcio Lins Marinho, pelas valorosas sugestões que contribuíram para este trabalho.

Aos funcionários do curso de Geofísica, em especial a Benildes.

Ao amigo e Professor Msc. Geraldo das Virgens Alves pelo apoio incondicional a essa pesquisa.

Ao amigo e técnico Paulo Magalhães pela ajuda na coleta de dados de campo.

Aos meus irmãos Lagerson e Largete pelo apoio em todos os sentidos durante esse trabalho e toda a minha vida.

A minha tia Nair camarão pelo apoio durante toda a vida acadêmica.

A UFPA/CG/DGF/CAPES pela bolsa de mestrado.

A Lana e Lena pela excelente amizade que tivemos durante o curso.

Ao CNPq pelo apoio financeiro, da pesquisa realizada dentro do projeto “Métodos Eletromagnéticos Aplicados a Região Amazônica Consolidação do Programa de Pós-graduação em Geofísica da UFPA”, processo 620240/ 2004-0, PADCT/ CT-INFRA/CNPq.

A DEUS pela oportunidade da vida.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vii
RESUMO	1
ABSTRACT	2
1 INTRODUÇÃO	3
2 LOCALIZAÇÃO, FISIOGRAFIA, GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA	6
2.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	6
2.2 FISIOGRAFIA.....	6
2.3 GEOLOGIA REGIONAL.....	8
2.4 GEOLOGIA LOCAL.....	8
2.5 HIDROGEOLOGIA.....	9
3 HIDROGEOFÍSICA DA ÁREA	10
3.1 .ÁGUA SUBTERRÂNEA EM ROCHAS ÍGNEAS E METAMÓRFICAS.....	10
3.2 MODELO GEOELÉTRICO.....	11
4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	12
4.1 TRABALHOS ANTERIORES.....	12
4.2 METODOLOGIA	13
4.3 BASE TEÓRICA DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS USADOS.....	14
4.3.1 Método da eletrorresistividade	14
4.3.1.1 Sondagem elétrica vertical(SEV).....	15
4.3.1.2 Caminhamento elétrico (CE)	16
4.3.1.3 Sondagem elétrica vertical radial (SEVR).....	16
4.3.2 Sistema Slingram	17

4.3.3 VLF	18
5 LEVANTAMENTO GEOFÍSICO	20
5.1 TRABALHO DE CAMPO.....	20
5.1.1 Levantamento Eletromagnético	21
5.1.2 Levantamento Eletrorresistivo	21
6 INTERPRETAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS DADOS	23
6.1 SEVs.....	23
6.2 SEVR.....	23
6.3 APRESENTAÇÃO DOS PERFIS ELETROMAGNÉTICOS E DE RESISTIVIDADE.....	26
6.4 ANÁLISE DOS PERFIS.....	26
6.4.1 Grupo I	28
6.4.2 Grupo II	36
6.5 MAPEAMENTO DOS EIXOS CONDUTORES.....	43
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXO –SEVs INTERPRETADAS	49

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 2.1 – Mapa de localização da área de estudo.....	7
Figura 4.1 – Disposição dos eletrodos na superfície do terreno e fluxo de corrente.....	14
Figura 4.2 – Esquema do arranjo Schlumberg ($MN \ll AB$).....	16
Figura 4.3 – Esquema do arranjo Wenner ($AM = MN = NB$).....	16
Figura 4.4 – Um típico perfil HLEM.....	18
Figura 4.5 - Princípio geofísico do VLF	19
Figura 5.1 – Mapa de localização do levantamento geofísico.....	20
Figura 6.1 – Mapa de contorno dos sedimentos sobre o embasamento.....	24
Figura 6.2 – Polígono da anisotropia Elétrica Horizontal.....	26
Figura 6.3 – Perfil 01: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) VLF e (d)CE.....	29
Figura 6.4 – Perfil 02: Sendo (a) e (b) HLEM.....	30
Figura 6.5 – Perfil 07: Sendo (a) e (b) HLEM.....	30
Figura 6.6 – Perfil 03: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.....	31
Figura 6.7 – Perfil 06: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.....	32
Figura 6.8 – Perfil 08: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.....	33
Figura 6.9 – Perfil 10: Sendo (a) e (b) HLEM.....	34
Figura 6.10 – Perfil 12: Sendo (a) e (b) HLEM.....	34
Figura 6.11 – Perfil 15: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.....	35
Figura 6.12 – Perfil 16: Sendo (a) e (b) HLEM.....	35
Figura 6.13 – Perfil 04: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.....	37
Figura 6.14 – Perfil 05: Sendo (a) e (b) HLEM, (c)	38
Figura 6.15 – Perfil 09: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) VLF e (d)CE.....	39
Figura 6.16 – Perfil 11: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.....	40
Figura 6.17 – Perfil 13: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.....	41
Figura 6.18 – Perfil 14: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.....	42
Figura 6.19 – Alinhamento dos eixos condutores.....	44

TABELAS

Tabela 1 – Espessura de sedimentos sobre o embasamento para cada SEV.....	23
Tabela 2 – Resultado da Sondagem Elétrica Vertical Radial (SEVR 02).....	25
Tabela 3 – Resultado da Sondagem Elétrica Vertical Radial (SEVR 01).....	25
Tabela 4 – Característica dos perfis do grupo I.....	27
Tabela 5 - Característica dos perfis do grupo II.....	27

RESUMO

Essa pesquisa foi realizada na comunidade rural Belo Monte, pertencente ao município de Novo Repartimento localizado no sudeste do estado do Pará. A geologia desta área é constituída por rochas metamórficas e ígneas, um contexto geológico em que as zonas mais propensas à prospecção de água subterrâneas localizam-se em fraturas. O objetivo desse trabalho é mapear essas fraturas. Inicialmente foi realizado um levantamento preliminar que consistiu em determinar a direção principal das zonas de fraturamento e obter a espessura da cobertura dos sedimentos através da Sondagem Elétrica Vertical Radial (SEVR) e Sondagens Elétricas Verticais (SEVs), respectivamente. A partir desses dados foram realizados caminhamentos eletromagnéticos HLEM na direção ortogonal às principais fraturas. Foram realizados também caminhamentos elétricos com arranjo de Wenner e eletromagnéticos VLF, com o intuito de complementar os dados

A análise integrada dos dados geofísicos permitiu identificar na área dois domínios hidrogeológicos: Fraturas no meio cristalino e o contexto sedimentar representado pela cobertura alterada (depósitos aluvionares e coluvionares), em geral de espessura média de 4 m. Este último, com um potencial hídrico bastante limitado devido à pequena espessura.

Os resultados mostram também que as fraturas na rocha cristalina estão dispostas em geral na direção NW-SE, e sendo representadas através de 7 alinhamentos de eixos condutores identificados nos perfis HLEM e confirmados pelos outros métodos, os quais indicam cinco áreas promissoras para locação de poços e captação de águas subterrâneas.

ABSTRACT

This work was carried out in the rural area of the Belo Monte community in the Novo Repartimento county, localized in the SE of the Pará state. The geology of the area contains metamorphic and igneous rocks. In this geological context fractures are the only appropriate zones for groundwater storage. The objective of this work is to map those fractures. Preliminary Vertical Electrical Soundings (VES) and Radial Vertical Electrical Soundings (RVES) were carried out to determine the general fracture directions and the thickness of the overburden. Subsequently, HLEM profilings were carried out in directions orthogonal to the fractures. Also resistivity profiles using Wenner array and VLF profiles were carried out with the objective to complement the HLEM data.

The analysis of the all data revealed two hydrogeological domains: fractures in the crystalline basement and the overburden sediments. The later one being unsuitable for groundwater exploitation because of its small thickness, averaging 4 m.

The interpreted fracture zones are NW-SE in the crystalline basement as associated to, seven conductor axes that were identified through HLEM profiles, supplemented by VLF and resistivity profiles.

As a result of this work we indicate five promissory locations for wells to be drilled for groundwater exploitation.

1-INTRODUÇÃO

A utilização da água subterrânea vem crescendo em geral, tanto para abastecimento público como para abastecimento industrial e irrigação. No Brasil tem-se observado um grande aumento no consumo da água subterrânea, nestas últimas décadas (Ponte, 1995).

Na região amazônica observa-se esse crescimento e a perspectiva é de um aumento ainda maior na exploração da água subterrânea, pois esta região é privilegiada em recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos.

Segundo Ponte (1995), 3,3 milhões de habitantes do estado do Pará, de um total de 5,6 milhões, sofrem com ausência do abastecimento de água potável. Isso é decorrente principalmente da falta dos recursos financeiros governamentais.

A utilização de água subterrânea apresenta vantagens práticas e econômicas em relação à água superficial; por exemplo, a água subterrânea pode ser captada no local onde se faz necessária e geralmente dispensa tratamento.

Atualmente, as captações de água subterrânea para abastecimento público, em sua maioria, são localizadas aleatoriamente e às vezes em áreas vulneráveis à contaminação; outras em locais poucos produtivos. Segundo dados estatísticos (Ponte, 1995), 96% das cidades paraenses são abastecidas por água subterrânea, entretanto, o nível tecnológico da captação ainda é baixo.

O levantamento geofísico através da aplicação de métodos elétricos e eletromagnéticos em várias localidades do Pará, vem trazendo grandes e importantes informações sobre o potencial hídrico existente no subsolo do estado, contribuindo na busca de soluções para os problemas referentes a abastecimento.

O município de Novo Repartimento abrange uma área de aproximadamente 15.396 km². Possui uma população estimada de 41817 habitantes, sendo que 85% dessa população localiza-se na zona rural. Sua atividade econômica de maior significado é a agropecuária, seguida pelo extrativismo vegetal e agricultura.

Na comunidade rural de Belo Monte, distante 90 Km da sede do município, local onde foi desenvolvida a presente pesquisa, o abastecimento de água é realizado através de mananciais superficiais (lago) e por poços artesianos, sendo estes últimos bastante utilizados pela população.

O aproveitamento da água destes poços é deficiente devido à pouquíssima quantidade de água armazenada no solo. Além disso, a água é, em muitos casos, de péssima qualidade, pois as construções desses poços estão concentradas muito próximas de fossas sépticas, o que representa, na prática, grandes e graves riscos à contaminação dos mesmos, com evidentes conseqüências sobre a saúde e a qualidade de vida da população.

Com o crescimento dessa comunidade e o aumento de sua população, a atual disponibilidade de água não tem condições de suprir a demanda, principalmente nos períodos críticos de baixa pluviosidade, necessitando, portanto, de fontes complementares de abastecimento de água, o que poderá ser feito através do aproveitamento dos aquíferos subterrâneos profundos.

Visando aumentar a eficiência da captação de água subterrânea, bem como ampliar o serviço de distribuição de água, a Companhia Saneamento do Pará (COSANPA), em convênio com o Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA), vem realizando levantamentos geofísicos em alguns municípios do estado, para a prospecção de água subterrânea.

Um desses levantamentos aplicando métodos elétricos e eletromagnéticos foi realizado no município de Novo Repartimento e é aqui apresentado. Pretende-se, com este trabalho, contribuir com a população na solução do problema de água no município, baseado nas informações geofísicas obtidas.

A geologia desta área é constituída por rochas metamórficas e ígneas datando do pré-cambriano. Neste contexto geológico, as zonas mais propensas ao armazenamento de água subterrânea são aquelas em que as rochas apresentam fraturas. Devido a essa condição o objetivo desse trabalho é mapear essas fraturas. Para isto, foi necessário realizar um levantamento preliminar que consistiu em determinar a direção principal das zonas de fraturamento, através de Sondagens Elétricas Verticais na configuração Radial (SEVR) e realizar Sondagens Elétricas Verticais (SEV) convencionais com arranjo Shlumberger, com a finalidade de obter a espessura da cobertura dos sedimentos. A partir das informações do levantamento preliminar foram realizados caminhamentos eletromagnéticos na direção ortogonal às principais fraturas, utilizando o método eletromagnético Slingram com configuração Horizontal coplanar (HLEM).

Foram realizados também caminhamentos elétricos com arranjo Wenner e eletromagnéticos utilizando o método Very Low Frequency (VLF) com o intuito de complementar os dados.

Esta dissertação está dividida em sete capítulos. A introdução, no primeiro capítulo, trata de uma forma geral do trabalho realizado. O segundo capítulo refere-se à localização, geologia e hidrogeologia; o terceiro capítulo mostra a hidrogeofísica da área de estudo. A metodologia encontra-se no quarto capítulo, o qual inclui também os trabalhos já realizados em pesquisas anteriores e os fundamentos teóricos dos métodos utilizados na pesquisa.

O quinto capítulo refere-se ao resultado do levantamento de campo, enquanto o sexto capítulo trata da avaliação e da interpretação dos dados.

No sétimo e último capítulo se reportam às conclusões a que se chegou na pesquisa, incluindo algumas recomendações finais.

2- LOCALIZAÇÃO, FISIOGRAFIA, GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA

2.1- LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O município de Novo Repartimento está localizado na Região Sudeste do Estado do Pará à cerca de 82 km de município de Tucuruí e aproximadamente a 350 km de Belém.

A área a ser estudada, comunidade de Belo Monte, localiza-se a 90 Km da sede municipal e está posicionada nas coordenadas geográficas 49° 47'' W e 04°20' S (Figura 2.1).

A única via de acesso a essa localidade é a rodoviária, saindo-se de Belém pela PA-150 até a cidade de Tucuruí. A partir dessa cidade, toma-se a PA-422, por pouco mais de 80 km, até a sede do município de Novo Repartimento, e daí aproximadamente 90 Km, seguindo pela rodovia transamazônica e estradas vicinais, chega-se à localidade em estudo.

2.2 - FISIOGRAFIA

O município possui clima quente e úmido, sendo que o regime pluviométrico é caracterizado por períodos fortemente chuvosos, entre novembro e maio. No restante dos meses praticamente não chove. A temperatura média é de 26°C e a precipitação pluviométrica em torno de 2300 mm anuais.

O relevo varia de plano a suavemente ondulado, com presença de serras e colinas.

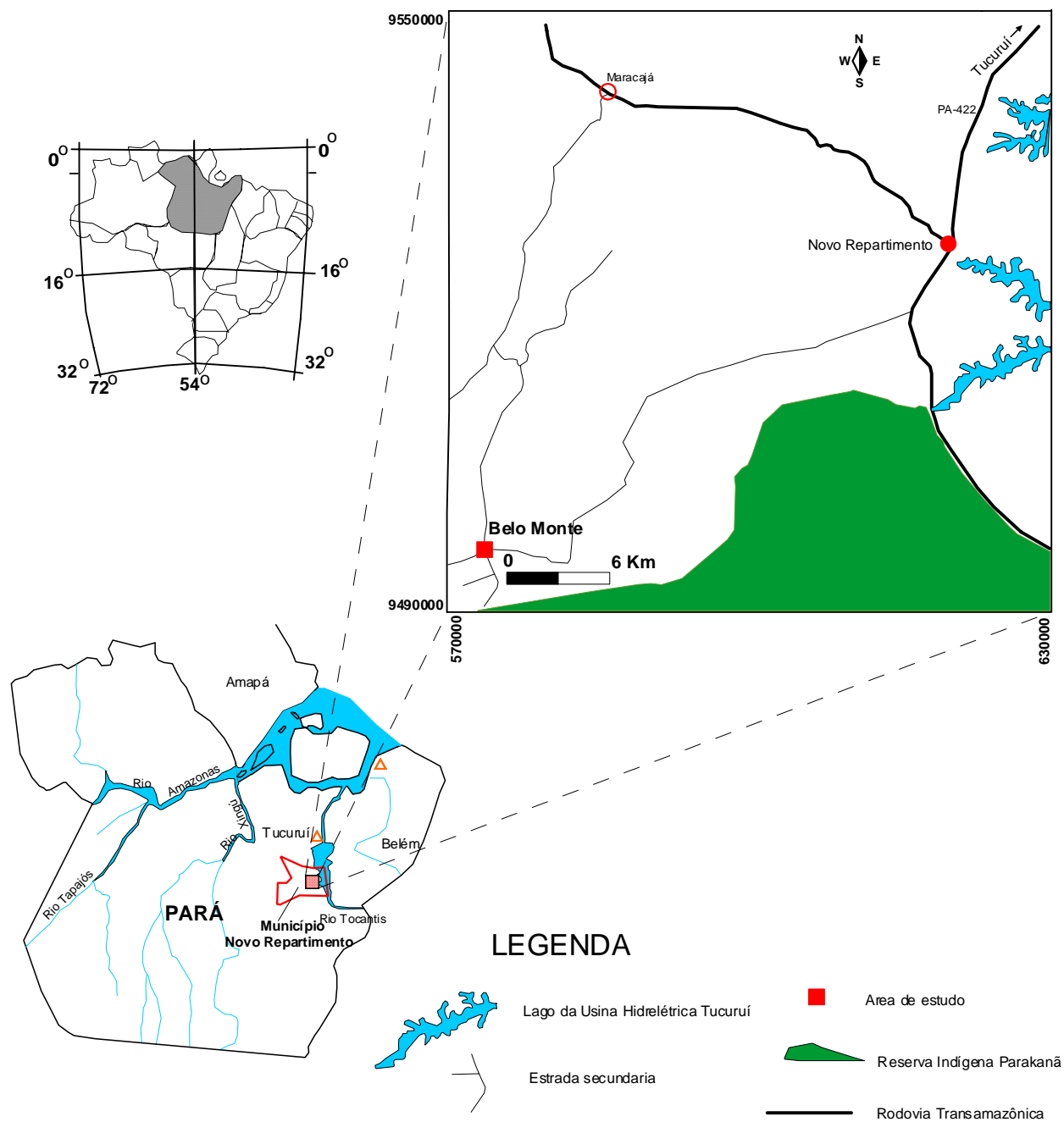


Figura 2.1- Mapa de localização da área de estudo.

2.3-GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo está inserida no Escudo Brasil Central nos domínios do Cráton Amazônico, fazendo parte das chamadas províncias Tapajós e Tocantins. Destacam-se na porção sudoeste do Estado do Pará duas grandes unidades: complexo Xingú e grupo Tocantins.

O complexo Xingu forma o embasamento cristalino, marcado por rochas metamórficas e ígneas, destacando-se gnaisses, migmatitos, granulitos ácidos e básicos, metabasitos, metavulcânicas, anfíbolitos, dioritos, granodioritos e granitos. Importantes estruturas de orientação NW e WW (p.e., foliações, lineações, dobras, falhas e fraturas) se acham superimpostas ao complexo. (Almeida e Hasui, 1984).

O grupo Tocantins está subdividido em duas unidades distintas: Formação Tucuruí e uma Unidade Superior. A Formação Tucuruí assenta-se diretamente sobre o embasamento e é constituída por rochas de metamorfismo de baixo grau e fraturas alinhadas geralmente NNW-SSE e mergulhadas para leste. A Unidade Superior é distinguida da formação Tucuruí por uma falha de empurrão de dimensões regionais, caracterizada por mostrar rochas com grau de metamorfismo mais elevado, sendo basicamente constituída por clorita-xistos, quartzitos, metabasitos e filitos (Negrão 2002).

Na tectônica regional são reconhecidos quatro eventos atuantes sobre as rochas: (1) um sistema principal, mais antigo, representado por várias falhas de empurrão; (2) um sistema caracterizado por falhas paralelas ao acamamento, no geral NW-SE e de baixo mergulho; (3) um sistema representado por falhas e (4) um sistema mais recente constituído de falhas de forte mergulho (subverticais) do tipo normal ou inclinada (Negrão, 2002).

2.4- GEOLOGIA LOCAL

Na área de Novo Repartimento são distinguidas informalmente duas unidades litoestratigráficas: embasamento e cobertura alterada (depósitos aluvionares e coluvionares) (Negrão 2002).

- (1) O embasamento é caracterizado principalmente por gnaisses migmatizados e às vezes, milonitizados, ocorrendo subordinadamente anfíbolitos. Estas litologias constituem tanto as partes aplanadas quanto as pequenas elevações (morrotes) (Negrão, 2002).
- (2) A cobertura alterada é representada por depósitos aluvionares e coluvionares, onde os primeiros representam o capeamento de rocha alterada, formando uma cobertura gnáissica

decomposta, que é por sua vez, mais expressivo próximo ao rio Pacajá e pequenos riachos. Esses depósitos são formados por sedimentos de granulometria variada, indo desde matacões e seixos de gnaisses, veios de quartzo, até areias finas e grosseiras, quartzosas e micáceas. Os depósitos coluvionares, por outro lado, ocorrem nas encostas dos morros e morrotes, e são caracterizados por blocos, matacões e seixos de gnaisses (Negrão, 2002).

2.5 -HIDROGEOLOGIA

A Hidrogeologia desta região está representada por dois compartimentos bastante distintos: cobertura e fraturas. O primeiro está relacionado com aquíferos livres, os quais apresentam características hidrodinâmicas bastante limitadas, devido à recarga que se dá diretamente por meio das precipitações pluviométricas e por serem pouco espessos. Isto é confirmado por informações verbais dos moradores, os quais alegam que seus poços secam no período de estiagem.

O segundo aquífero possui característica hidrodinâmica mais promissora do que o primeiro. Isto porque está relacionado com aquíferos cristalinos, os quais são formados por rochas duras (p. e., metamórficas e ígneas) onde a circulação da água se faz através das fraturas abertas devido ao movimento tectônico.

3 – HIDROGEOFÍSICA DA ÁREA

3.1 - ÁGUA SUBTERRÂNEA EM ROCHAS ÍGNEAS E METAMÓRFICAS

As amostras sólidas e não fraturadas extraídas de rochas ígneas e metamórficas mostram que elas possuem porosidades praticamente nulas. Os vazios intercrystalinos condicionantes da porosidade são mínimos e não interconectados. Por esta razão as permeabilidades primárias dessas rochas, expressas como condutividade hidráulica, são extremamente pequenas (10^{-11} a 10^{-13} m/s). Esses valores foram estimados em amostras intactas de quartzito, micaxisto, filito e grauvaca, a temperaturas ambientes (Stuart et al. 1954). Medidas de condutividade hidráulica de granitos em poços sem fraturas geralmente fornecem valores da ordem de 10^{-11} m/s, o que equivale a dizer que essas rochas podem ser consideradas como impermeáveis no contexto dos problemas de aproveitamento de água subterrânea.

A melhor situação de se encontrar água no domínio dessas rochas, se concentra em fraturas produzidas por variações de tensão verificadas durante os vários episódios que marcaram a história geológica dessas rochas. As fraturas criam porosidade secundária, responsável pelo armazenamento e permeabilidade hidráulica, que controla a circulação de água nas rochas. As aberturas das fraturas geralmente são menores do que 1 mm. Em alguns casos a dissolução da sílica pode produzir aumento nas aberturas das fendas quando a água de recarga é capaz de atacar os silicatos (Feitosa & Manoel Filho, 1999).

Estudo realizado por Manoel Filho (1996) em fraturas de rochas cristalinas no Nordeste do Brasil mostrou que as condutividades hidráulicas medidas variam, em geral, na faixa de 3,8 a 5,5 cm/s, exibindo porém valores altos em relação aos que são normalmente encontrados, i.e., 1,3 e 2,5 m/s. As aberturas médias variam entre 0,2 e 0,95 mm com valores superiores a 2 mm. As porosidades são sistematicamente muito baixas, em todos tipos de rochas cristalinas, com medidas situadas entre 0,0007% e 0,0071% (Manoel Filho, 1996). Estudos realizados mostraram que não existe correlação entre profundidade abaixo do nível estático e produtividade dos poços estudados em regiões cristalinas.

3.2-MODELO GEOELÉTRICO.

Dados geológicos indicam que na área do levantamento ocorrem rochas ígneas e metamórficas (embasamento) sobrepostas pela cobertura alterada (depósito aluvionares e coluvionares). As rochas ígneas e metamórficas apresentam normalmente baixa porosidade e permeabilidade e conseqüentemente altas resistividades. Essa alta resistividade pode, entretanto diminuir se a rocha apresentar fraturas, em decorrência do aumento da porosidade secundária. Estudos geológicos mostram a existência de fraturas, que irão favorecer o aproveitamento dessas rochas para prospecção de água subterrânea.

Com base no modelo geológico é possível estabelecer os seguintes modelos geolétricos para esta área.

- Modelo 1: Nos locais onde há rochas ígneas e metamórficas não fraturadas deve-se obter, para as curvas das SEVs, um padrão de distribuição de resistividades aparentes com valores elevados (correlacionado ao solo e aterro), seguindo de um decréscimo de resistividade (cobertura alterada) e novamente uma subida nos valores seguindo uma linha inclinada de 45° , representando a resposta do embasamento não fraturado (rochas ígneas e metamórficas).
- Modelo 2: Nos locais onde há rochas ígneas e metamórficas fraturadas, o padrão das SEVs deve iniciar com valores elevados de resistividade aparente (solo e aterro) seguindo de um decréscimo (cobertura alterada) e novamente uma subida na resistividade, porém não segundo uma linha de 45° , podendo ainda haver mais um decréscimo na resistividade. Esses dois últimos eventos são produzidos pelas fraturas existentes nas rochas. Finalmente, no final da curva de SEV, os valores de resistividades deverão situar-se segundo a linha inclinada de 45° , indicando a resposta do embasamento não fraturado.

4 -DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Dois trabalhos, Vitorino (1991) e Palacky et al. (1981), realizados em situação hidrogeológica similar ao da área em estudo, foram escolhidos para demonstrar aplicações de métodos elétricos e eletromagnéticos em mapeamento de fraturas nas rochas ígneas e metamórficas.

4.1-TRABALHOS ANTERIORES

Na região do semi-árido de Patos, estado da Paraíba, Vitorino (1991) realizou uma pesquisa com o objetivo de detectar fraturas no embasamento pré-cambriano. Para isto, foram aplicados o método da eletroresistividade convencional e o eletromagnético em três áreas selecionadas na região, sendo que duas representam dos aquíferos aluviais e uma representante dos aquíferos cristalinos.

Nos aquíferos aluviais, foi determinada a profundidade até o embasamento cristalino através de sondagens elétricas verticais (SEVs) utilizando o arranjo Schlumberger e os respectivos limites laterais foram mapeados com perfisagens eletrorresistivas. Os resultados das SEVs são coerentes com as profundidades obtidas pelas sondagens mecânicas de confirmações mostrando, assim, a aplicabilidade deste método na pesquisa desse tipo de aquífero .

No aquífero cristalino, inicialmente foi determinada a orientação geral das zonas fraturadas do embasamento pela técnica modificada da SEV (denominada SEV Radial) e, em seguida, a localização dos condutores em decorrência das fraturas através dos perfis eletrorresistivo empregando o arranjo Wenner e eletromagnético utilizando o sistema coplanar horizontal (HLEM) nas frequências 880 Hz e 2640 Hz. O alinhamento exato desses condutores se fez através da locação dos perfis eletromagnéticos em plantas.

Outro levantamento geofísico semelhante com a mesma finalidade de explorar água subterrânea para consumo doméstico, foi realizado na região da República de Upper Volta, localizada na parte oeste do continente Africano por Palacky et al. (1981).

Primeiramente foi realizado um levantamento da disponibilidade de água nesta região, a qual apresenta terrenos cristalinos pré-cambrianos constituídos de gnaisses, granitos, Sequência Vulcano-Sedimentar e Metasedimentar. O resultado mostrou que os aquíferos mais econômicos

nesta região ocorrem geralmente em zonas fraturadas acompanhando as falhas em rochas pré-cambrianas com profundidade entre 15 a 40 m. Tais zonas fraturadas podem ser identificadas em fotografias aéreas, mas a sua localização precisa no solo é virtualmente impossível por meios visuais, por causa da pequena abertura das fraturas. Um erro de localização de 5 m pode fazer a diferença entre um poço produtivo e um seco.

4.2-METODOLOGIA

Adotou-se uma metodologia baseada nos trabalhos citados anteriormente, devido ao sucesso dos resultados obtidos naquelas pesquisas realizadas em um contexto geológico semelhante ao encontrado na nossa área de estudo. O desenvolvimento do presente trabalho se deve em três etapas principais:

1- Etapa Pré-campo:

- * Levantamentos bibliográficos sobre geologia e hidrogeologia
- * Levantamentos, consultas e interpretação de mapas.
- * Calibração dos equipamentos utilizados na pesquisa.

2- Etapa de campo:

- * Execução de 10 SEVs e 02 SEVR.
- * Realização de 16 perfis eletromagnéticos utilizando o sistema Slingram HLEM com frequências 110 Hz, 220 Hz, 440 Hz, 880 Hz, 1760 Hz, 3520 Hz, 7040 Hz e 14080 Hz.
- * Realização de 13 perfis utilizando a técnica de caminhamento elétrico (CE) e de 2 perfis utilizando o método eletromagnético (VLF).

3- Etapa Pós-campo:

- * Processamento e interpretação das SEVs, SEVR, CE, HLEM e VLF.
- * Confecção de mapas de contorno e perfis (elétrico e eletromagnético).
- * Confecção de mapas de alinhamento de eixos condutores associados a fraturas.
- * Preparação da dissertação.

4.3-BASE TEÓRICA DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS USADOS

4.3.1-Método da eletroresistividade

O método da eletroresistividade consiste em injetar corrente contínua ou de baixa frequência em dois pontos do terreno (A e B) para medir a diferença de potencial entre dois outros pontos (M e N). A Figura 4.1 ilustra a disposição dos eletrodos na aplicação do método na superfície do terreno.

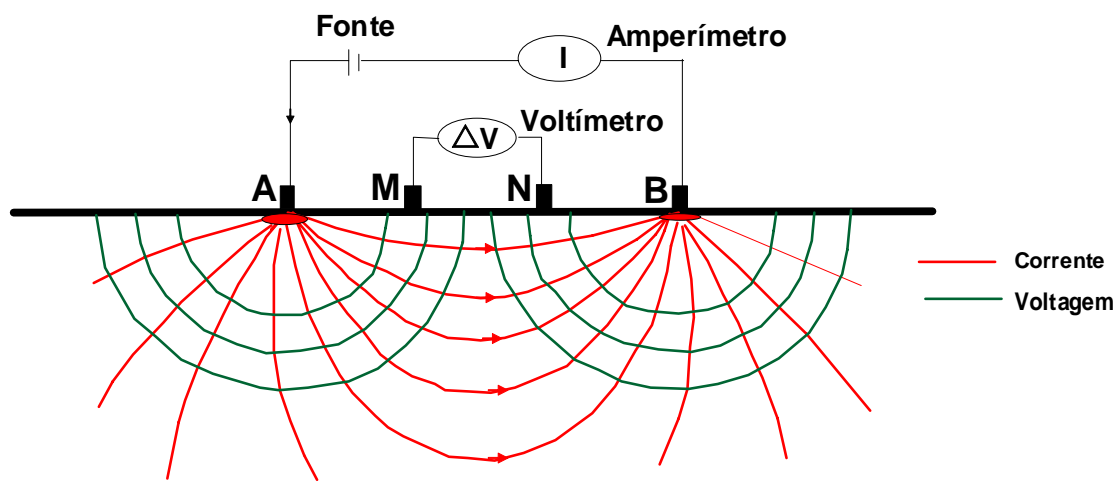


Figura 4.1-Disposição dos eletrodos na superfície do terreno e fluxo de corrente

O conhecimento da corrente injetada (I), da diferença de potencial (ΔV) e das posições relativas dos eletrodos A, B, M e N, permitem estimar o valor da resistividade (ρ) dos materiais que se encontram abaixo da superfície. Esse valor, para um meio isotrópico e homogêneo, é dado pela equação 4.1.

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

em que : K = Fator geométrico para o arranjo dos eletrodos AMNB, que é dado por:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \quad (4.2)$$

Para um meio homogêneo bastaria realizar uma medida de I e de ΔV para conhecer a resistividade. Não obstante, o ambiente geológico não sendo homogêneo, apresenta uma distribuição de resistividade que pode variar verticalmente. Dada a complexidade do meio geológico, os valores de resistividade obtidos não representam os valores reais da resistividade das camadas, senão valores denominados de resistividade aparente. Se os pontos A e B estão muito próximos, a corrente atinge uma profundidade pequena produzindo um resultado que representa quase exclusivamente o material superficial. Se o objetivo é obter dados sobre materiais mais profundos, deve-se aumentar a distância AB. A profundidade a ser atingida pode ser estimada empiricamente como sendo 1/10 a 1/3 do valor da distância AB.

De acordo com a localização dos eletrodos na superfície, são possíveis realizar a sondagem elétrica vertical (SEV) e caminhamento elétrico (CE). O outro tipo de levantamento utiliza uma modificação da SEV, denominada sondagem elétrica vertical radial (SEVR).

4.3.1.1 -Sondagem elétrica vertical (SEV)

São investigações que determinam as variações de resistividade em profundidade através do aumento da separação dos eletrodos A e B. Embora existam vários tipos de arranjo, o de Schlumberger (Figura 4.2), que expande a distância entre os eletrodos A e B em relação a um ponto central (o ponto da sondagem), foi escolhido neste trabalho, por sua maior facilidade de operação. O fator geométrico para esse arranjo é:

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

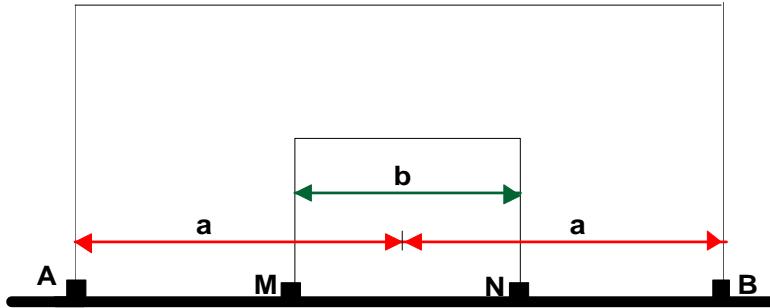


Figura 4.2-Esquema do arranjo Schlumberger ($MN \ll AB$)

4.3.1.2-Caminhamento elétrico (CE)

Quando se deseja estudar as variações laterais de resistividade do subsolo, utiliza-se a técnica do caminhamento elétrico (CE), que consiste em deslocar sobre o terreno um quadripolo AMNB fixo, realizando leitura em estações regularmente espaçadas. Neste estudo o arranjo utilizado foi o de Wenner (Figura 4.3), cujo fator geométrico dado é:

$$K = 2\pi a$$

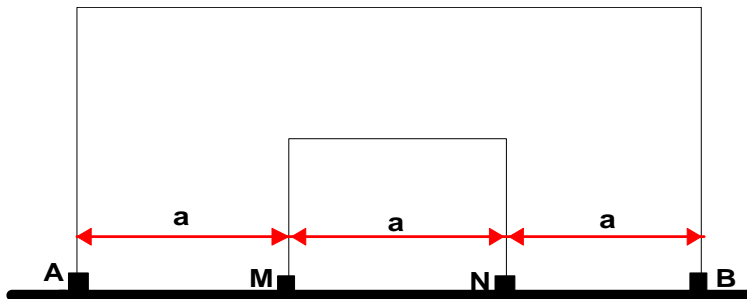


Figura 4.3-Esquema do arranjo Wenner ($AM=MN=NB$)

4.3.1.3 -Sondagem elétrica vertical radial (SEVR)

Esta técnica baseia-se na teoria da anisotropia elétrica horizontal (Bhattacharya & Patra, 1968), que estabelece que a resistividade aparente medida perpendicular à direção do acamamento é sempre menor que a resistividade aparente medida paralela ao acamamento. A SEVR consiste em realizar diversas SEVs convencionais centradas no mesmo ponto, com expansão dos eletrodos em diversas direções. Usando a teoria da anisotropia elétrica espera-se,

portanto, que os maiores valores de resistividade aparente medidos em uma SEV distribuam-se segundo a direção de menor resistividade real, no caso a direção de fraturas com água.

4.3.2-Sistema Slingram

O Slingram consiste de um dipolo transmissor (bobina transmissora) e um dipolo receptor (bobina receptora), em que as componentes em-fase (real) e quadratura (imaginária) do campo magnético vertical secundário são medidas para uma dada frequência.

Existem diferentes arranjos de bobinas para o sistema Slingram, dentre os quais o mais utilizado é o arranjo horizontal coplanar, em que tanto a bobina transmissora como a receptoras são horizontais. Por este motivo, o sistema Slingram é comumente chamado de método HLEM (Horizontal Loop Eletromagnetic).

O princípio básico do método consiste em se fazer circular uma corrente pré-determinada na bobina transmissora, a qual comporta-se como dipolo magnético oscilante. Esta corrente produzirá um campo magnético primário, e este por sua vez induzirá força eletromotriz e conseqüentemente, fluirá corrente em corpos condutores existentes na subsuperfície, que causará um campo magnético secundário. Os parâmetros elétricos do meio determinam as características do campo magnético secundário, o qual é medido no receptor através de suas componentes em-fase (real) e quadratura (imaginária), tendo como referência um sinal do campo primário enviado da bobina transmissora, por meio de cabo ou telemetria. A Figura 4.4 mostra as componentes em fase e quadratura sobre um corpo condutor, obtidas em perfil típico HLEM.

O HLEM tem se mostrado muito eficaz na localização de corpos condutores, tais como mineralizações de sulfetos maciços e, também, no mapeamento de estruturas geológicas, como falhas e fraturas (Palacky et al. 1981 ; Palacky & Sena, 1979 ; Palacky, 1981).

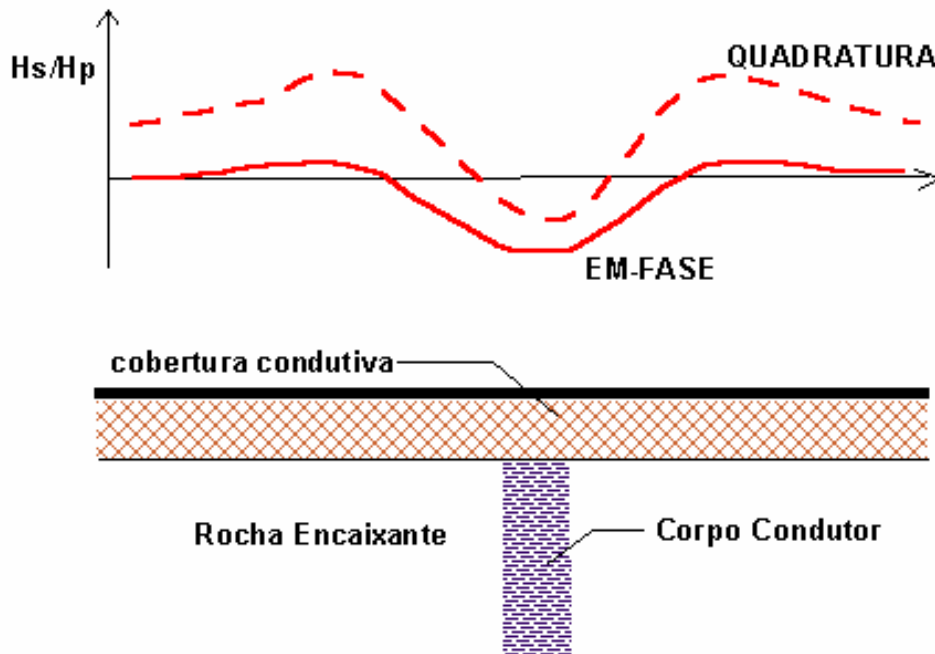


Figura 4.4 – Um típico perfil HLEM.

4.3.3 -VLF

O método VLF baseia-se no Princípio da Indução Eletromagnética, utilizando como transmissor antenas distribuídas no planeta, que operam na faixa de 15 a 30 kHz, usadas para orientação de embarcações.

O instrumento VLF é constituído de um sistema de recepção capaz de receber variações no campo magnético local, provocadas por um campo magnético secundário.

O campo magnético secundário é criado a partir de um campo magnético primário gerado pela antena transmissora que, quando encontra um corpo condutivo de dimensões e posicionamento espacial adequados, gera um campo magnético secundário caracterizando uma anomalia. A percepção desta anomalia depende basicamente do contraste de condutividade

entre o corpo anômalo e o meio no qual está encaixado, da distância do corpo anômalo ao receptor e da maneira como o campo magnético intercepta este corpo.

Em se tratando de corpos anômalos de forma tabular, dependendo da posição de receptor, eles podem ser detectados ou não. De uma forma prática, esses corpos tabulares podem ser representados por diques preenchidos por minerais metálicos com distribuição contínua ou por zonas fraturadas contendo água com alguma condutividade devido ao conteúdo de sais nela dissolvidos. A resposta obtida será máxima, quando o campo magnético primário for perpendicular ao corpo tabular condutivo que se deseja detectar e o receptor estiver em uma posição de interação máxima com o campo magnético secundário (Figura 4.5).

De ponto de vista de um levantamento geofísico, essa direção de interação máxima receptor corpo anômalo (estrutura), deve ser tal que a linha de caminhamento seja perpendicular à direção do corpo tabular.

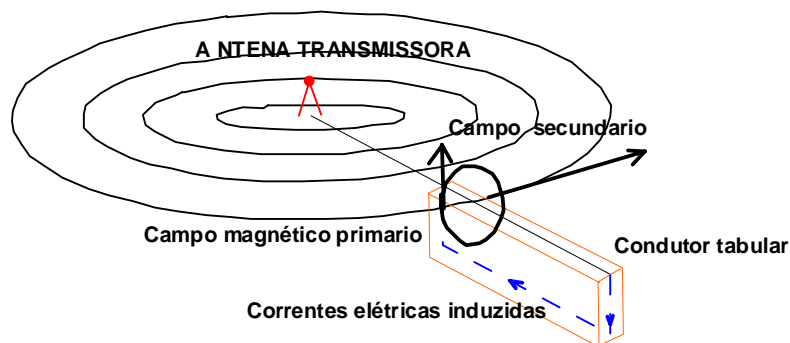


Figura 4.5-Princípio geofísico do VLF

5– LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

5.1 – TRABALHO DE CAMPO

Os levantamentos dos dados de campo foram realizados em duas campanhas: setembro de 2003 e julho de 2005, o que correspondeu ao período de estiagem desta região. Os perfis eletromagnéticos com o método HLEM abrangeram todas as ruas do vilarejo em estudo, devido a sua facilidade de operação, sendo que em alguns perfis foram consorciados com os métodos VLF (2 perfis) e CE (13 perfis). Com o objetivo de complementar os dados, foram realizadas também SEVs.

A Figura 5.1 mostra um mapa de localização da área de estudo incluindo também as demarcações das ruas e levantamentos geofísicos realizados.

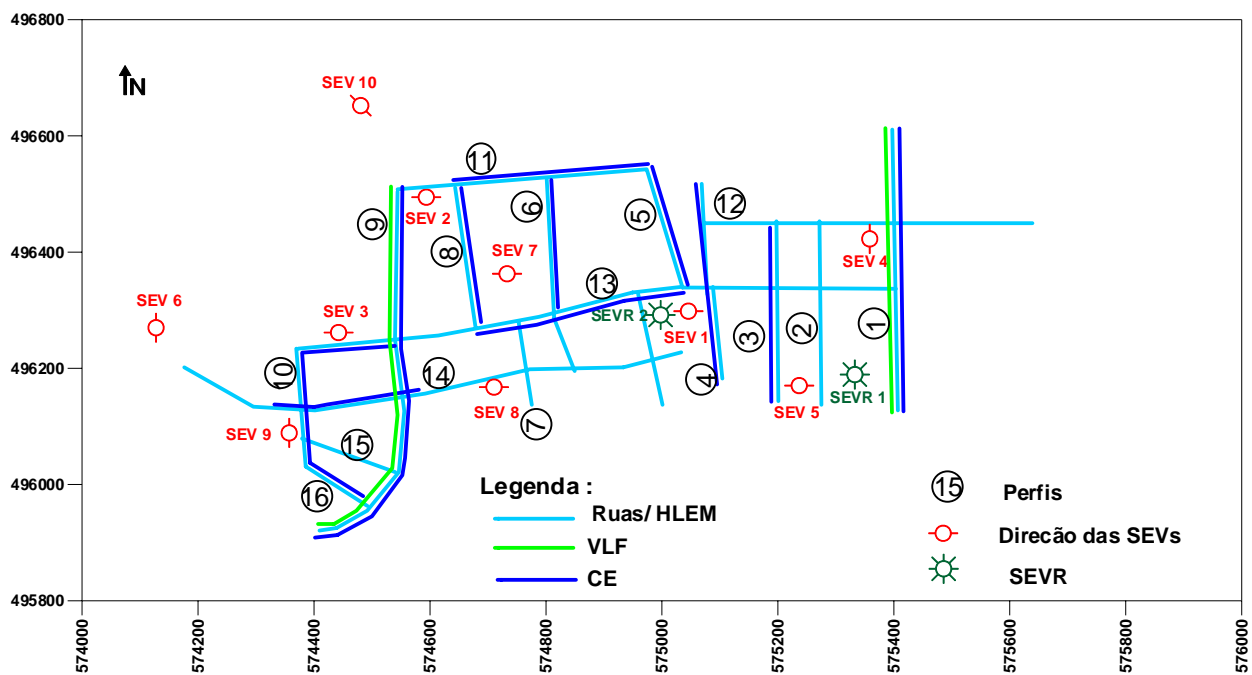


Figura 5.1 – Mapa de localização do levantamento geofísico.

5.1.1 – Levantamento Eletromagnético

Para o levantamento de campo com o método HLEM foram realizados 16 perfis (Figura 5.1), num total de 6300 metros. O instrumento usado foi o APEX MAX MIN I, operando nas frequências 110, 220, 440, 880, 1760, 3520, 7040 e 14080 Hz. O espaçamento entre o transmissor e receptor foi mantido constante ($T_x - R_x = 50m$) e as leituras foram tomadas a cada 25 m.

Durante a aquisição dos dados foram observadas e registrados na caderneta de campo a presença de qualquer material condutivo e afloramento geológico, o que poderia substanciar a interpretação dos dados.

Na aplicação do método VLF foram executados dois perfis (Figura 5.1), totalizando 1025 metros de levantamento. O equipamento utilizado foi o receptor VLF SCOPAS, modelo SE-81, sendo o parâmetro de medida o ângulo de inclinação (tilt angle) do campo resultante dos campos primário e secundário. A estação transmissora sintonizada, foi a NAA, localizada em Maine (USA), com frequência de operação de 24 KHz. Os perfis foram realizados com medidas discretas, tomadas a cada 5 metros. As mesmas observações registradas na cardeneta de campo citadas para o método HLEM foram também realizadas neste levantamento.

5.1.2 – Levantamento Eletrorresistivo

O levantamento com o método da eletroresistividade consistiu em medidas de resistividade aparente tomadas através da aplicação de SEVs, CE e SEVR. O equipamento utilizado nas medidas foi o resistivímetro GEOTEST pertencente ao DGF/UFPa.

O levantamento das SEVs correspondeu à execução de 10 SEVs. A localização dessas SEVs é mostrada na Figura 5.1, onde estão representados também os seus centros e as direções de expansão dos eletrodos. O arranjo utilizado foi o Schlumberger, com distância mínima entre os eletrodos de corrente igual a 2 metros ($AB/2=1metro$) e a máxima igual a 110 metros ($AB/2=55 metros$).

Na separação dos eletrodos foram utilizadas três mudanças de posições dos eletrodos de potencial, conhecidas como “embreagem” (Orellana, 1972), o que permitiu assim identificar os efeitos da variação lateral de resistividades nas proximidades dos eletrodos de potencial.

Já no Caminhamento elétrico (CE) foram realizados 13 perfis (Figura 5.1), num total de 1325 metros de levantamento, utilizando o arranjo Wenner com abertura entre os eletrodos de $a = 25\text{m}$ ($AB = 75\text{ m}$). O espaçamento entre as estações de leitura também foi de 25 m.

No levantamento das SEV radiais, devido a falta de espaço físico adequado dentro da área em estudo, foi possível executar somente duas SEVRs (Figura 5.1). A localização em áreas planas e amplas possibilitou expandir os eletrodos de corrente das SEVRs até 64 metros ($AB/2=32\text{metros}$), adotando-se o ângulo de 45° entre as suas direções em cada uma delas.

6 - INTERPRETAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS DADOS

6.1- SEVs

Para a interpretação foi utilizado um programa computacional de inversão de dados de SEVs desenvolvido no departamento de geofísica da UFPA (não publicado), o qual permite calcular os valores de resistividade aparente para um dado modelo teórico de camadas horizontais, homogêneas e isotrópicas. O resultado das interpretações dessas SEVs estão contidas no Anexo A. partir da interpretação dessas SEVs foi elaborada a Tabela 1, que fornece valores da espessura dos sedimentos sobre o embasamento, para cada SEV realizada.

Tabela 1-Espessura de sedimentos sobre o embasamento para cada SEV

SEV01	SEV02	SEV03	SEV04	SEV05	SEV06	SEV07	SEV08	SEV09	SEV10
2.3 m	4.0 m	5.9 m	2.7 m	4.6 m	10.1m	4.3 m	3.4 m	2.1 m	2.8 m

Fonte :Dados obtidos no pesquisa.

Os dados da tabela 1 foram usados para a construção do mapa apresentado na Figura 6.1. Este mapa é importante uma vez que fornece uma visão tri-dimensional da distribuição do embasamento na área em estudo. Observa-se no mapa que a espessura média de sedimentos é de 4 m em toda a área do estudo, exceto na sua parte oeste onde a espessura é superior a 8m.

6.2 –SEVR

Os resultados das SEVRs estão representados nas Tabelas 2 e 3. Essas tabelas fornecem valores de resistividade aparente para cada abertura de $AB/2$, obtidas nas SEVs realizadas com expansão dos eletrodos nas direções N-S, E-W, NE-SW e NW-SE. Os valores de resistividade aparente obtidos ao longo das direções de expansão dos eletrodos foram representados em mapa cuja escala representa esses valores. A posição de cada medida no mapa foi tomada ao longo das direções de expansão dos eletrodos.

A representação em mapa das resistividades aparente medidas em cada separação de $AB/2$ mostra um polígono que pode definir a direção da anisotropia elétrica horizontal do subsolo, que é correlacionada com a direção de fraturas. A direção do maior eixo deste polígono, corresponde à maior resistividade e define, de acordo com paradoxo da anisotropia a direção principal da zona de fratura nos pontos de medidas (Mallik et al.1983).

Os valores de resistividade das tabelas foram plotados utilizando o Software MATLAB 6.0 para obtenção dos polígonos da anisotropia elétrica horizontal (Figura 6.2). A análise da

Figura 6.2b (SEVR 2) possibilitou associar a direção NW-SE (Linha vermelha) com o maior eixo desse polígono e conseqüentemente com a direção principal das zonas fraturadas. Na Figura 6.2a (SEVR 1) não foi possível identificar claramente esta direção, devido à pequena assimetria entre os eixos.

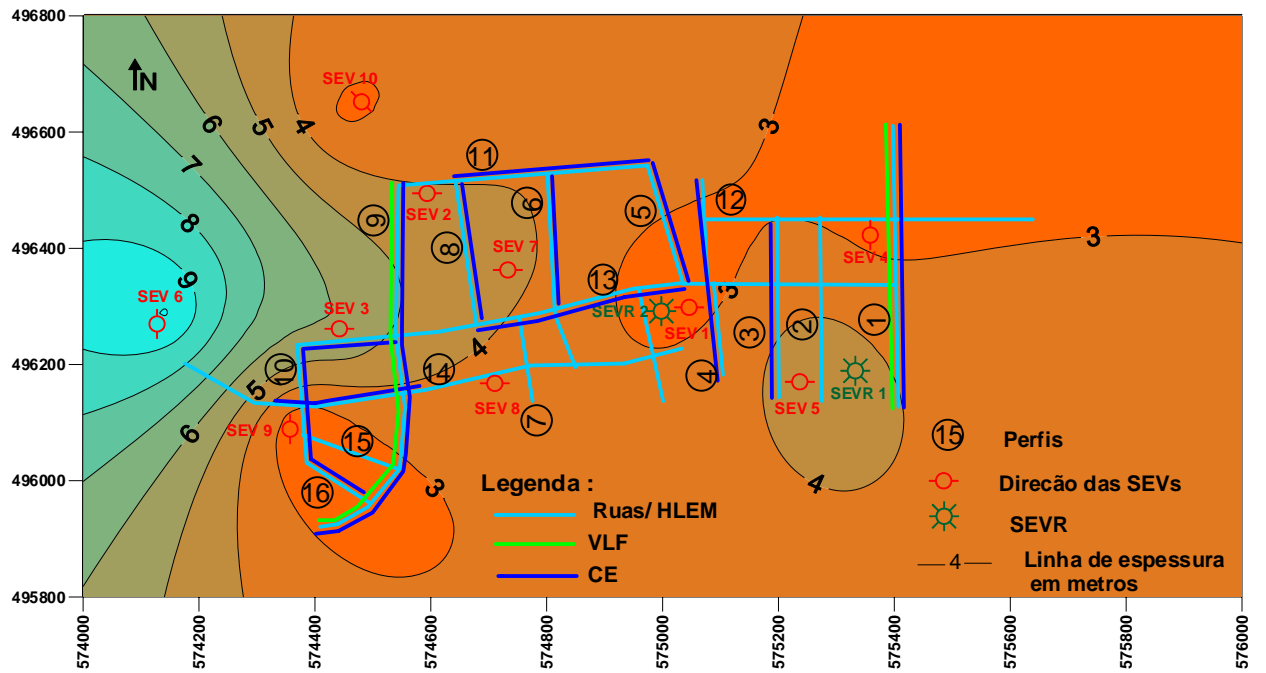


Figura 6.1 – Mapa de contorno dos sedimentos sobre o embasamento.

Tabela 2- Resultado da Sondagem Elétrica Vertical Radial (SEVR 02).

AB/2	VALORES DAS RESISTIVIDADES PARA CADA DIREÇÃO ($\Omega.m$)			
	N – S	E – W	NE – SW	NW -SE
2,4	313	316	311	315
3,2	292	300	296	298
4,2	212	219	185	221
5,5	215	241	207	234
7,5	280	320	264	310
10	360	397	376	391
13	435	475	473	479
18	453	488	505	523
24	526	597	548	630
32	653	525	537	680

Fonte : Dados obtidos na pesquisa.

Tabela 3- Resultado da Sondagem Elétrica Vertical Radial (SEVR 01).

AB/2	VALORES DAS RESISTIVIDADES PARA CADA DIREÇÃO ($\Omega.m$)			
	N – S	E – W	NE – SW	NW -SE
2,4	156	162	137	135
3,2	167	178	144	147
4,2	187	219	177	170
5,5	249	272	221	195
7,5	317	301	255	233
10	473	330	310	340
13	561	409	430	580
18	571	478	482	601
24	653	525	537	680

Fonte ; Dados obtido no pesquisa.

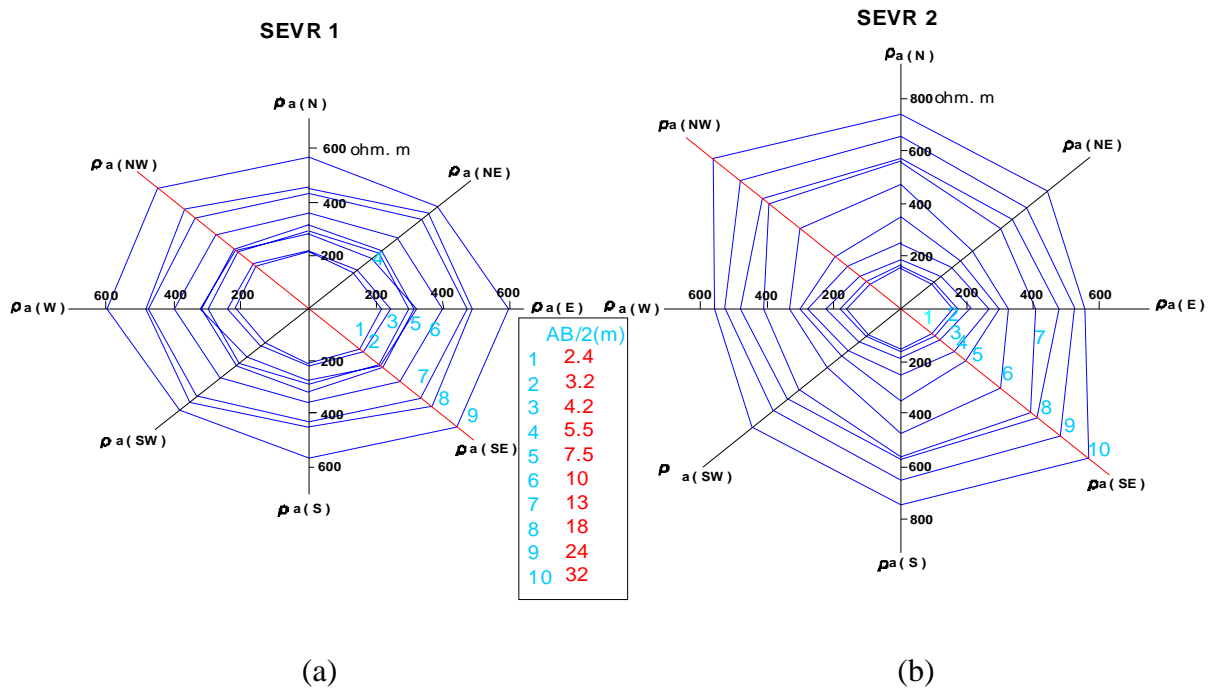


Figura 6.2– Polígono da anisotropia Elétrica Horizontal.

6.3-APRESENTAÇÃO DOS PERFIS ELETROMAGNÉTICOS E DE RESISTIVIDADE

Os perfis eletromagnéticos HLEM mostram no eixo vertical os valores das componentes real e imaginária e na posição horizontal o ponto médio entre as bobinas transmissora e receptora. Nos perfis VLF, o eixo vertical mostra os ângulos de inclinação do campo resultante da interação dos campos primário e secundário. Para os caminhamentos elétricos, a resistividade aparente foi representada no eixo vertical, enquanto o ponto médio do arranjo foi representado no eixo horizontal. Essas representações permitem que se visualizem variações laterais e se identifiquem os eixos condutores localizados na subsuperfície.

6.4 - ANÁLISE DOS PERFIS

Os perfis foram divididos em 2 grupos. Essa divisão foi considerada devido às características semelhantes entre eles. O grupo I (Tabela 4) é composto por perfis que não apresentaram inflexões significativas nos seus gráficos, enquanto que o grupo II (Tabela 5) é formado por perfis que apresentaram anomalias, sendo algumas delas anomalias de fratura. É importante frisar que exceto os perfis 9 e 13, todos os outros iniciaram e terminaram em depressões topográficas, devido a área estar situada em um platô. Os perfis 9 e 13 se encontram

nas ruas de acesso a cidade, não tendo seu caminhamento se estendido em decorrência do aumento do custo na implantação do sistema de abastecimento fora da área urbana.

Tabela 4: Característica dos perfis do grupo I.

Perfil	Extensão (metros)	Direção
01	375	N-S
02	300	N-S
03	300	N-S
06	325	N-S
07	100	N-S
08	75	N-S
10	175	N-S
12	550	W-E
15	125	W-E
16	75	W-E

Fonte : Dados obtidos na pesquisa.

Tabela 5: Característica dos perfis do grupo II.

Perfil	Extensão (metros)	Direção
4	325	N-S
5	375	N-S
9	600	N-S
11	425	W-E
13	1125	W-E
14	825	W-E

Fonte : Dados obtidos na pesquisa.

6.4.1-Grupo I

Esse grupo é composto pelos seguintes perfis 1, 2, 3, 6, 7, 8, 12, 15 e 16. A Figura 6.3 mostra as respostas obtidas no perfil 1. Os valores das componentes real (Figura 6.3a) e imaginária (Figura 6.3b) se comportam de forma linear (sem anomalias) em todo perfil para as

freqüências utilizadas (14080 Hz, 7040 Hz, 3520 Hz, 1760 Hz, 880 Hz, 440 Hz, 220 Hz e 110Hz), ocorrendo o mesmo com os dados de resistividade (Figura 6.3d) que também não mostram nenhuma mudança significativa nos valores.

Os resultados da aplicação do método VLF apresentaram-se muito oscilantes e de amplitudes baixas, conforme mostra a Figura 6.3c, não sugerindo a existência de condutores.

A integração dos resultados mostra que essa região provavelmente é formada por uma única litologia.

Analisando os valores medidos ao longo do caminhamento dos perfis 12 e 2 (Figuras 6.10 e 6.4), pode-se notar similaridade com o perfil 1, indicando as mesmas características geofísicas e geológicas citadas anteriormente.

Os perfis 3, 6, 7, 8, 10, 15 e 16 deste grupo, estão representados nas Figuras 6.6, 6.7, 6.5, 6.8, 6.9, 6.11 e 6.12. Todas essas Figuras mostram as respostas obtidas para as componentes real e imaginária, algumas delas mostram também as medidas obtidas em CE.

Os perfis 3, 7, 8, 15 e 16 demonstram inflexões em seus gráficos que não são características de zonas de fraturas e podem estar relacionadas a contatos geológicos entre duas litologias diferentes.

O perfil 6 (Figura 6.7) mostra entre as posições 5 e 8 uma anomalia característica de fratura indicadas pelas componentes real e imaginária (Figura 6.7a e 6.7b), mas quando se realizou o CE (Figura 6.7c), ficou evidenciado uma região bastante resistiva. Tal fato pode ser explicado devido nesta área existir uma declividade de aproximadamente 6m, que provavelmente influenciou no resultado do HLEM.

Conclui-se, portanto, que perfis deste grupo não apresentam anomalias características de rochas fraturadas. Tal fato pode ainda ser confirmado através das SEVs 1, 4, 5, 7 e 8, que foram executadas próximas a esses perfis e apresentaram um padrão do modelo 1 (item 3.2).

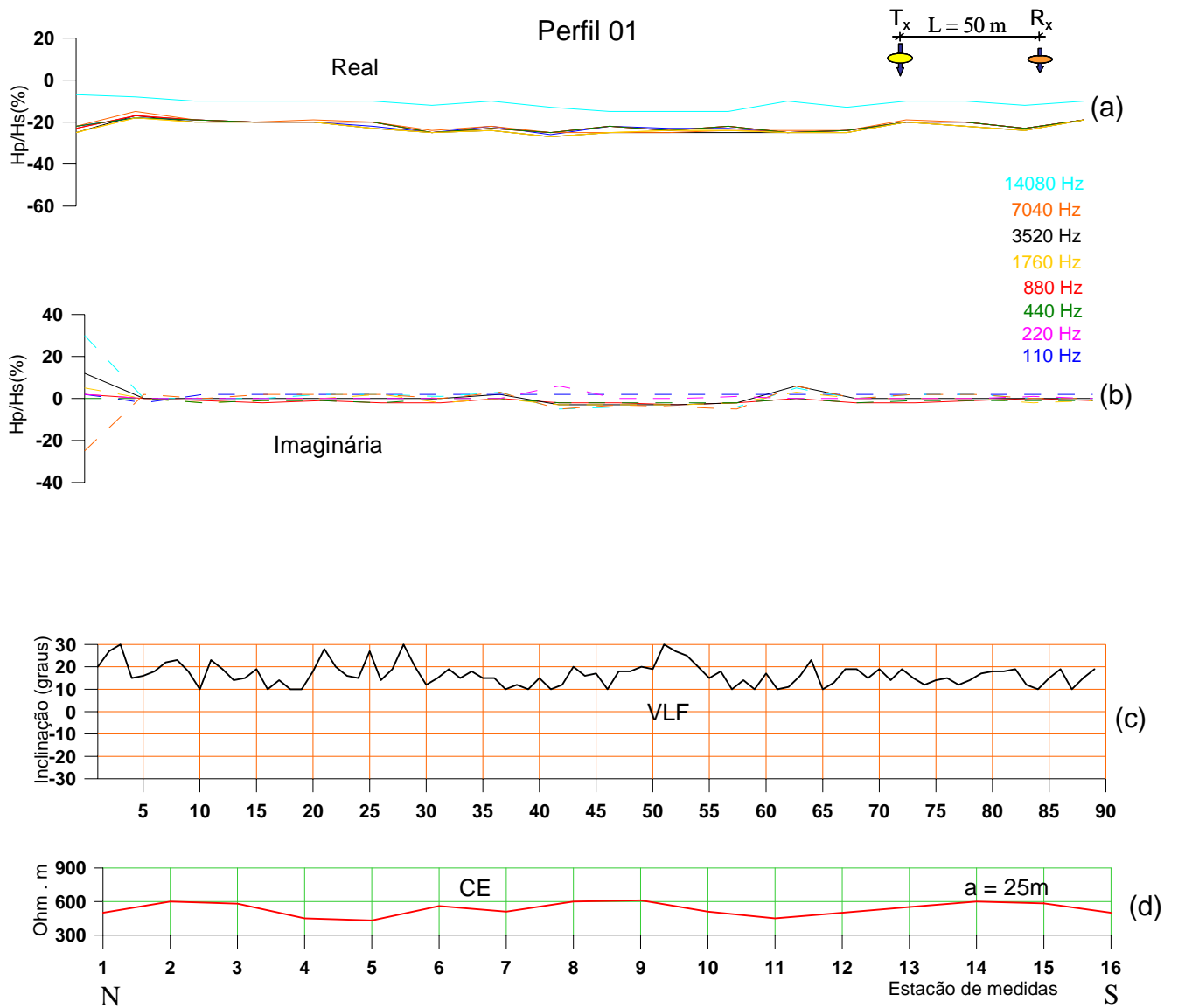


Figura 6.3-Perfil 01: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) VLF e (d)CE.

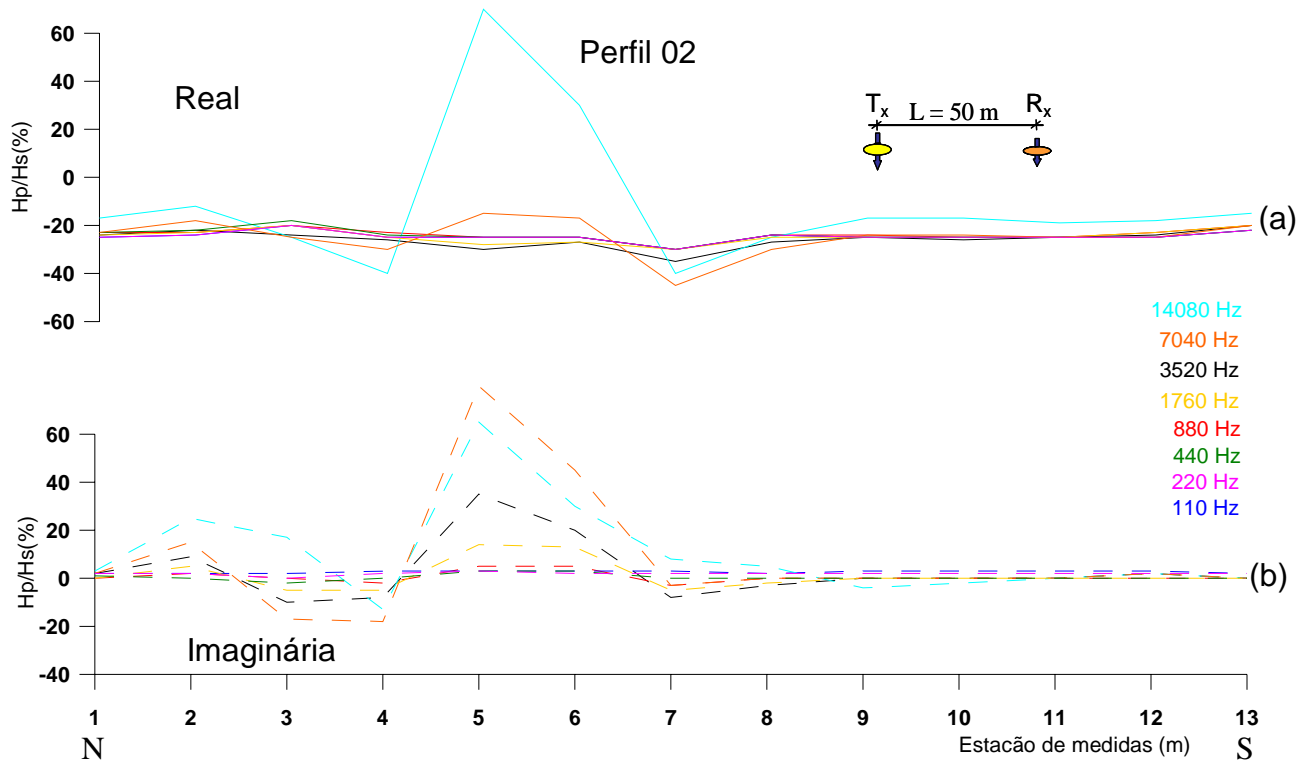


Figura 6.4-Perfil 02: Sendo (a) e (b) HLEM.

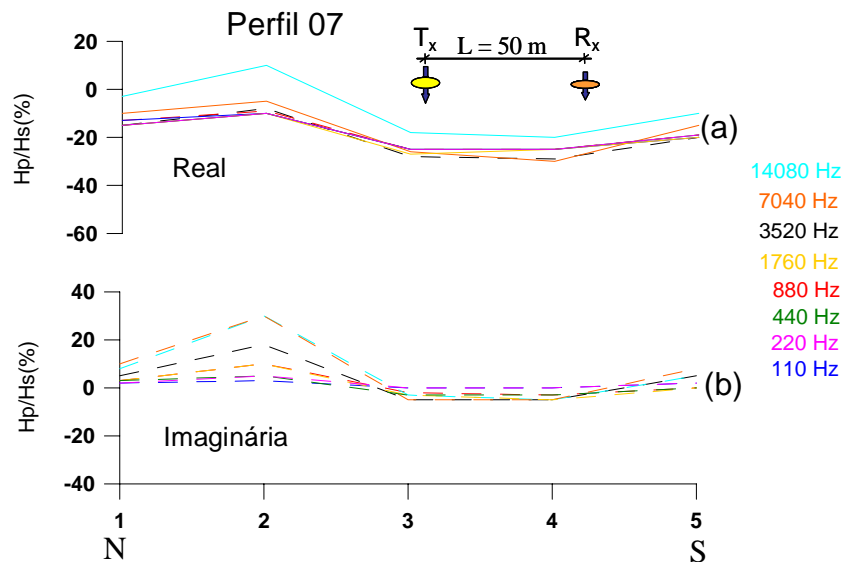


Figura 6.5-Perfil 07: Sendo (a) e (b) HLEM.

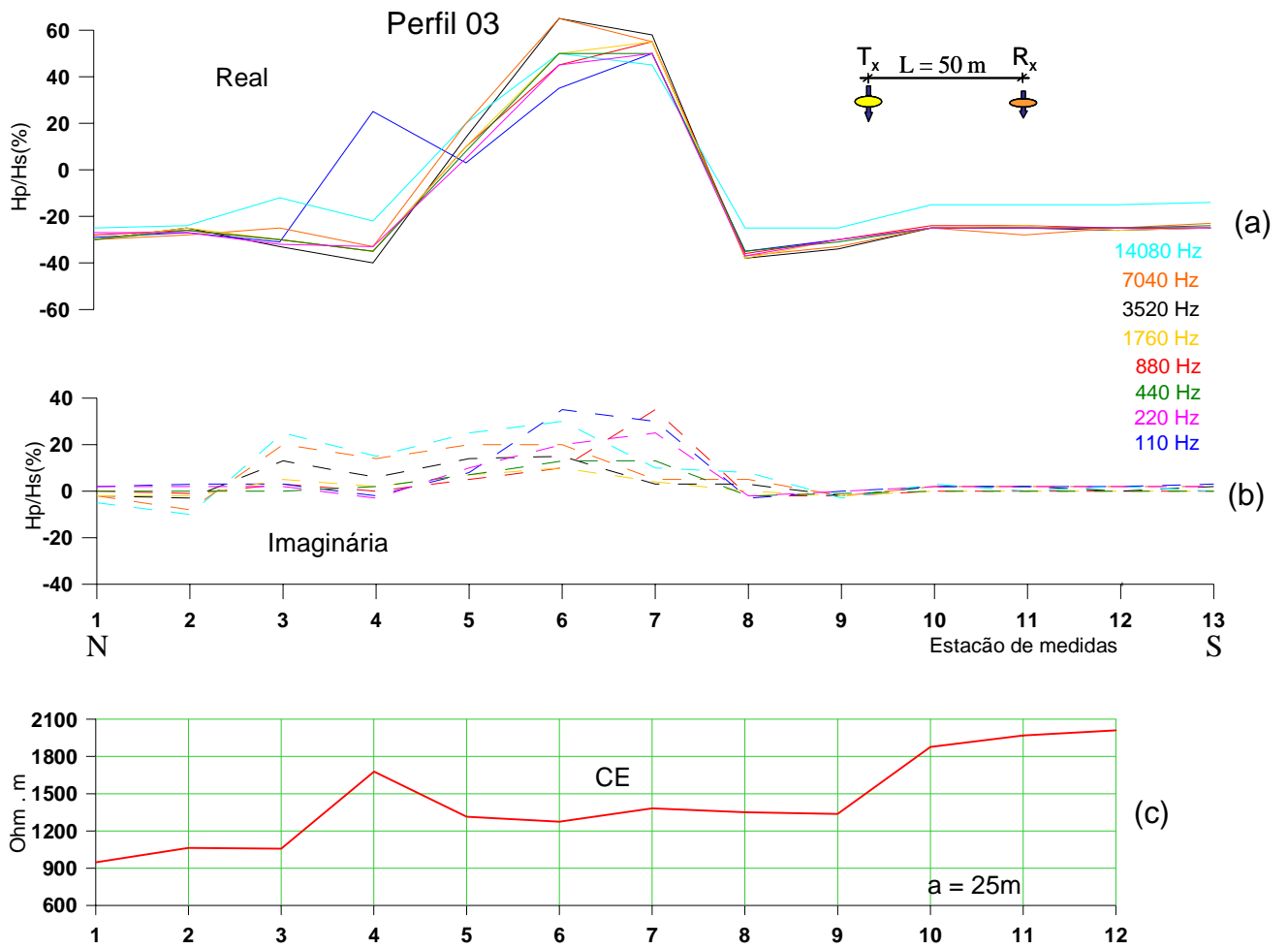


Figura 6.6-Perfil 03: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.

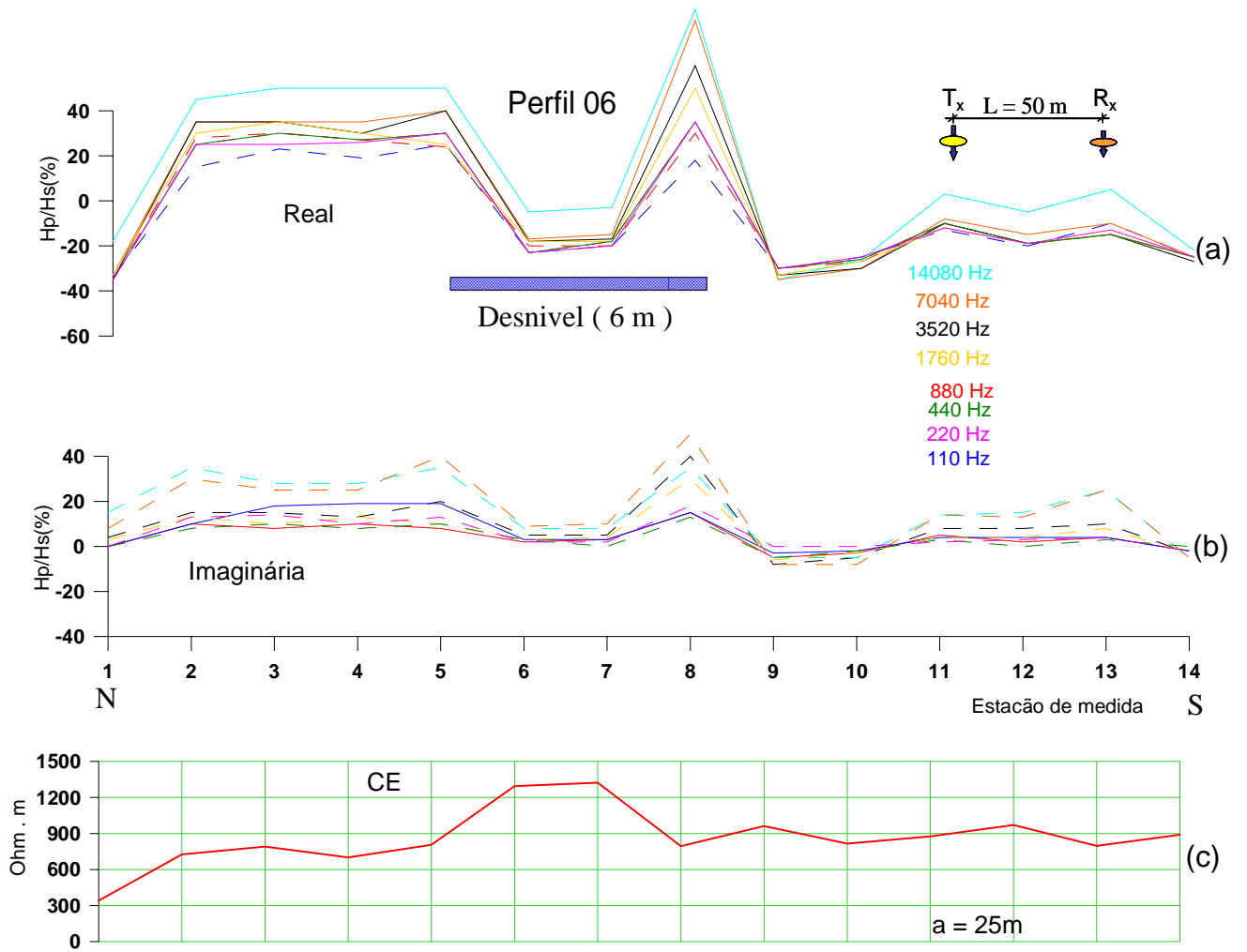


Figura 6.7 -Perfil 06: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.

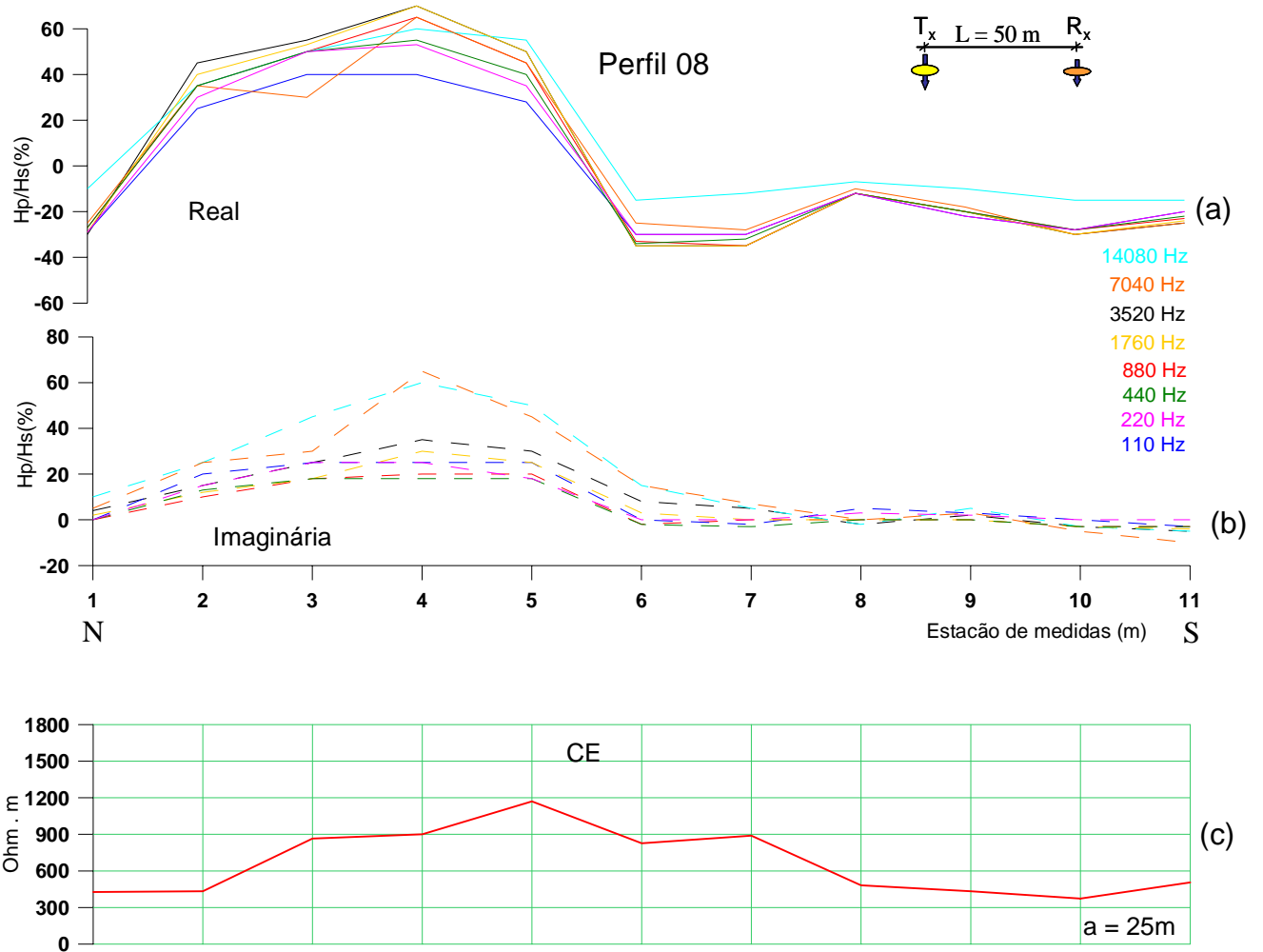


Figura 6.8-Perfil 08: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.

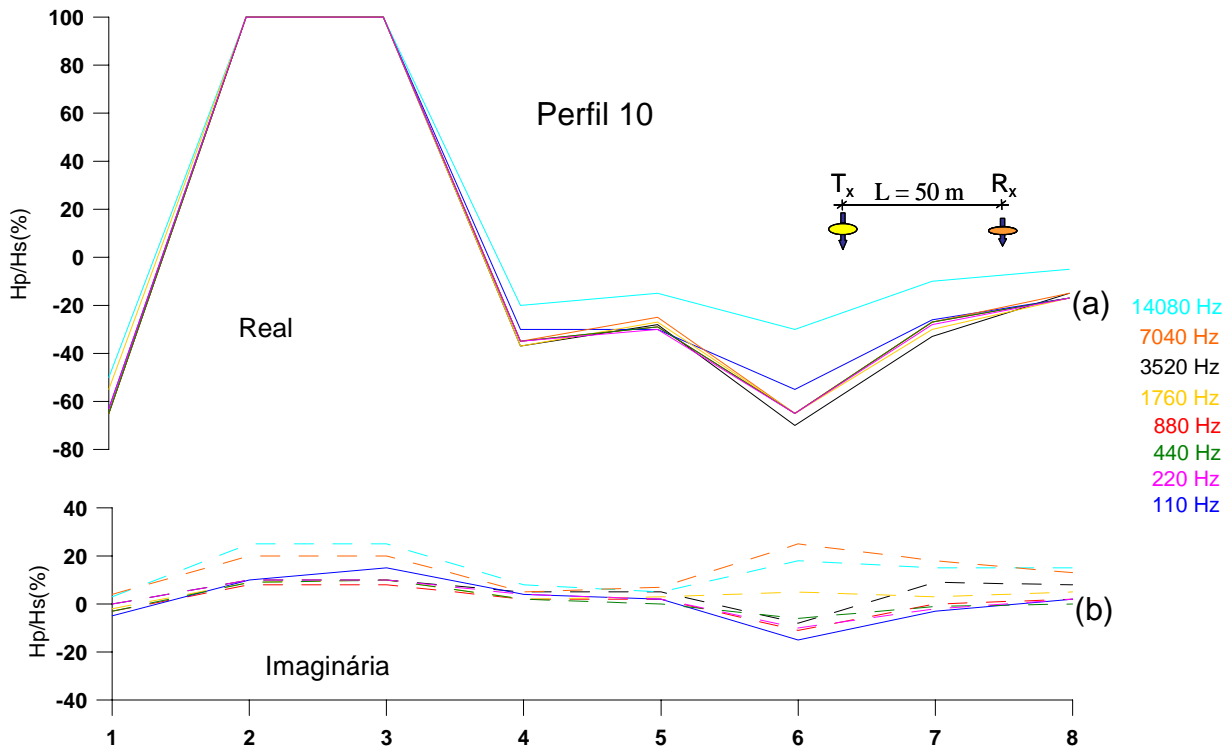


Figura 6.9-Perfil 10: Sendo (a) e (b) HLEM.

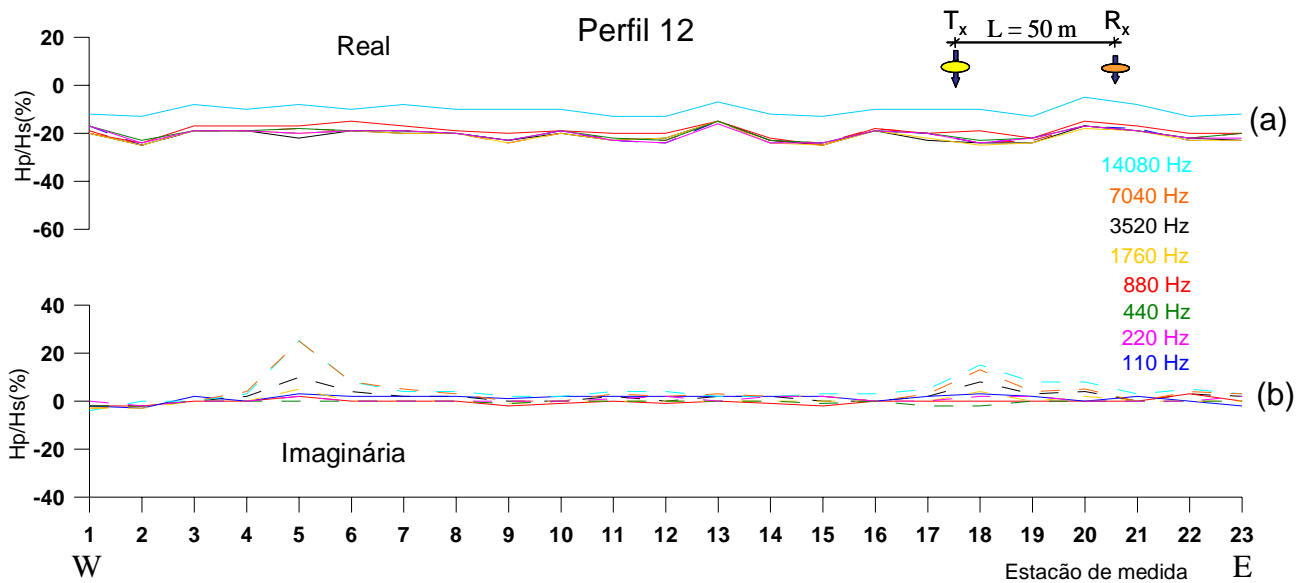


Figura 6.10-Perfil 12: Sendo (a) e (b) HLEM.

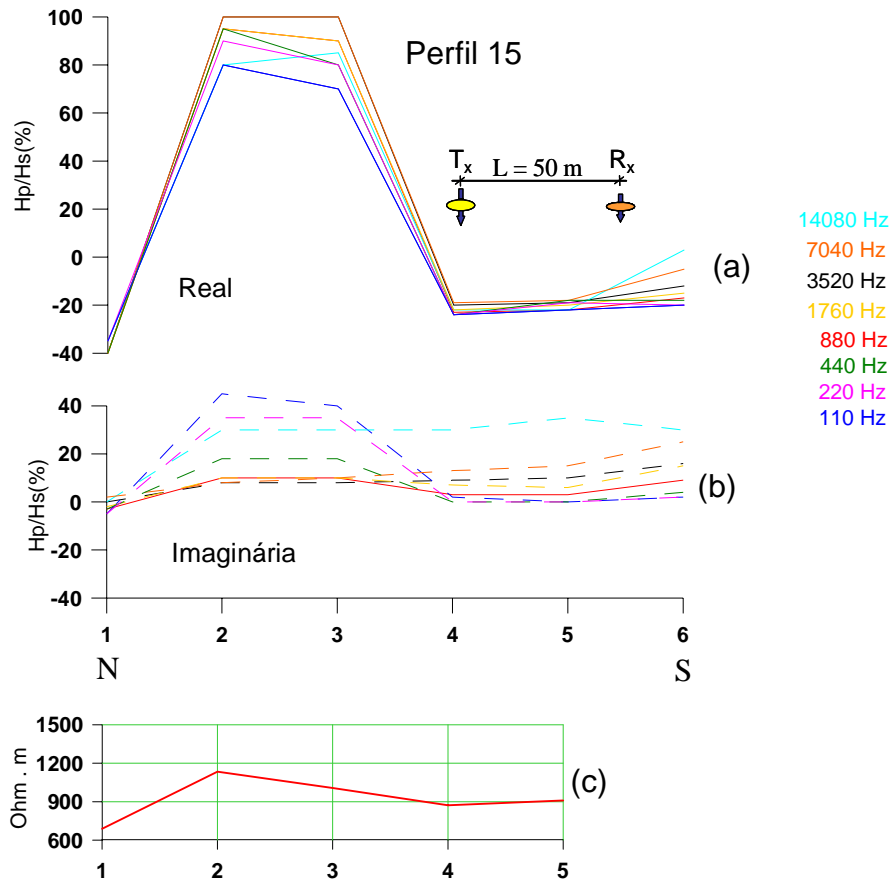


Figura 6.11-Perfil 15: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.

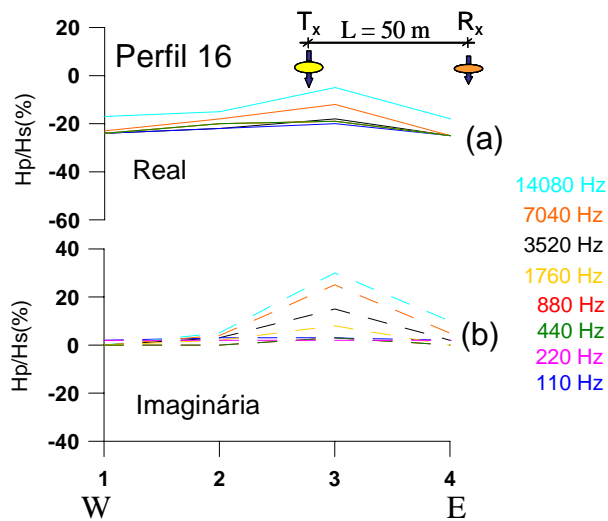


Figura 6.12-Perfil 16: Sendo (a) e (b) HLEM.

6.4.2 – Grupo II

O grupo II é constituído pelos perfis 4, 5, 9, 11, 13 e 14. Os valores medidos nestes perfis estão representados nas Figuras 6.13 a 6.18. As componentes real e imaginária dos perfis HLEM mostram uma seqüência de anomalias evidenciadas em todas as frequências, que indicam possíveis fraturas.

Os perfis 4 (Figura 6.13) e 5 (Figura 6.14) mostram um único eixo condutor localizados nas posições 6NS e 8NS, respectivamente, identificados pelas setas G1 e G2. Os caminhamentos elétricos mostrados nesses perfis confirmam as duas zonas condutoras.

O perfil 9 (Figura 6.15) está localizado entre umas das ruas de acesso no sentido da comunidade Maracajá. Nesse perfil é possível identificar nas medidas com HLEM a presença de dois eixos condutores bem distintos, D1 e C1 localizados nas posições 4NS e 14NS. Ambos os condutores também produziram fortes anomalias VLF (Figura 6.15c) e baixa resistividade (Figura 6.15d), indicando assim zonas de fraturas.

Nos perfis 11 (Figura 6.16), 13 (Figura 6.17) e 14 (Figura 6.18), observam-se anomalias bastante significantes nos valores das componentes real e imaginária. Essas anomalias coincidem com baixos valores de resistividade, indicando que elas representam condutores associados a zonas de fraturas produtivas para prospecção de água subterrânea.

As SEVs 9 e 3, efetuadas próximas aos perfis 13 e 14, confirmam a presença de fratura, pois se enquadram dentro das características do modelo 2 (item 3.2).

Os perfis 13 (Figura 6.17) contem três eixos condutores indicados pelas setas B2, C3 e F1 localizados nas posições 3WE, 7WE e 22WE. Já o perfil 14 (Figura 6.18) os condutores encontrados foram representados pelas setas A1, B1 e C2 e localizam-se nas posições 9WE, 13WE e 16WE.

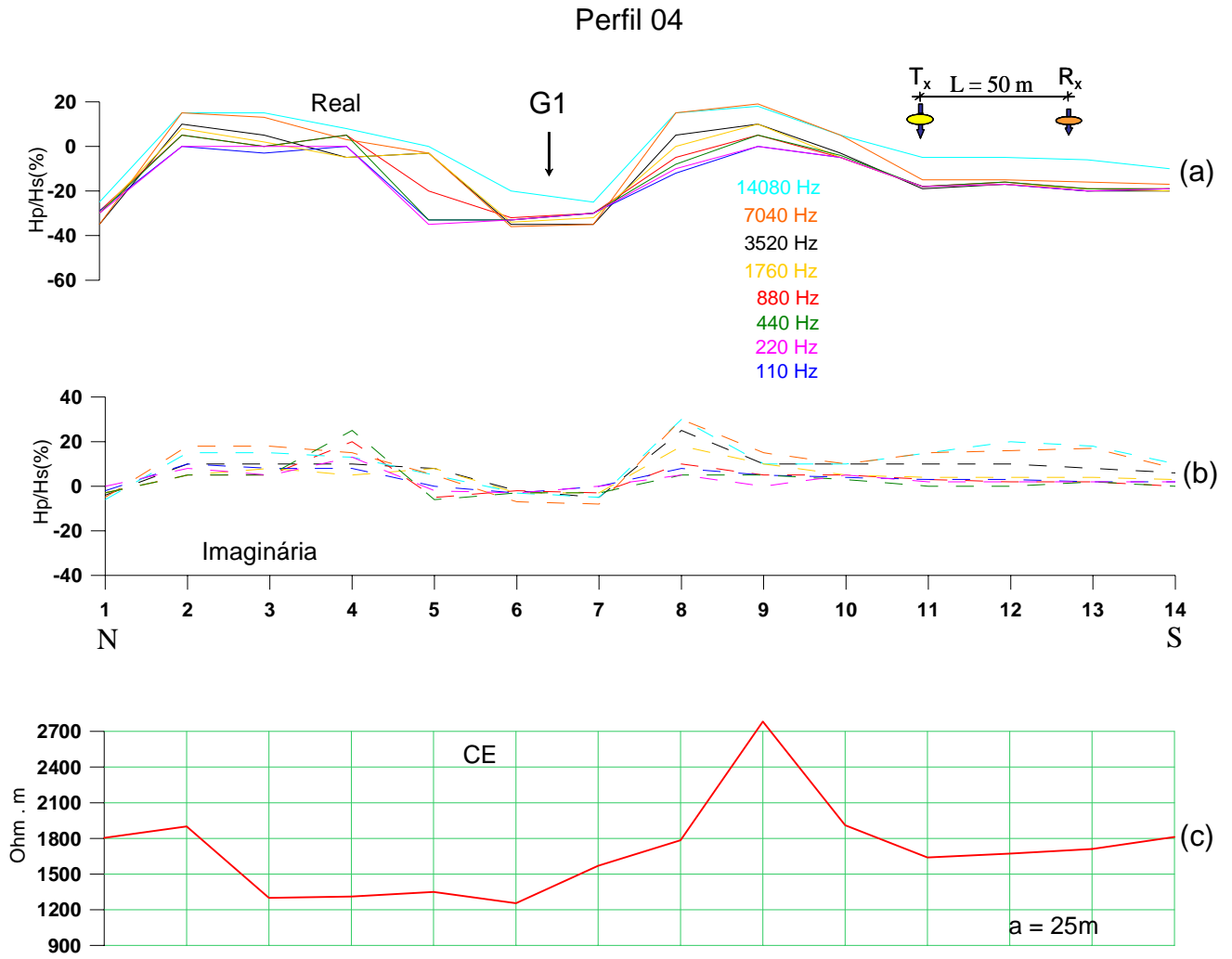


Figura 6.13-Perfil 04: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.

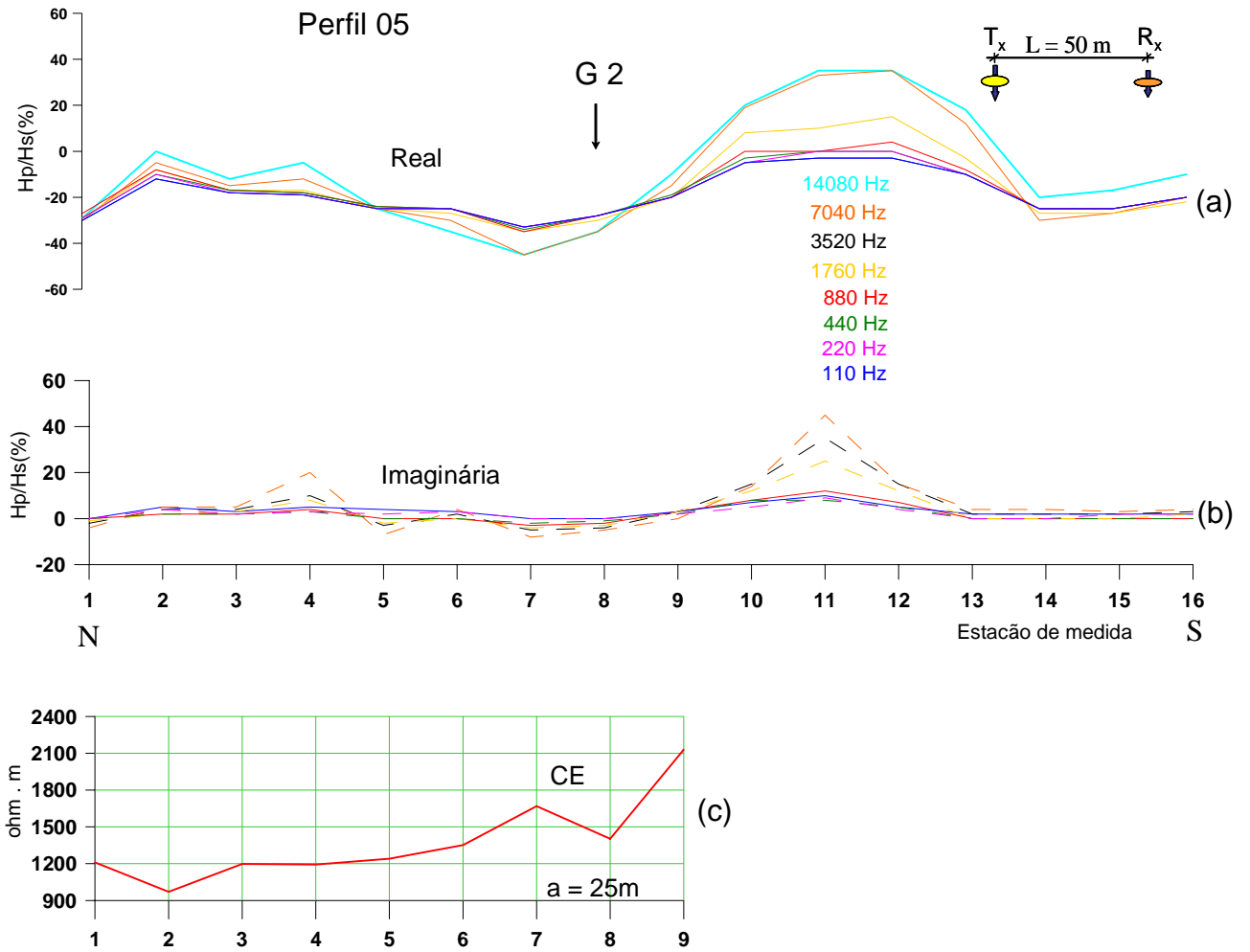


Figura 6.14 -Perfil 05: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.

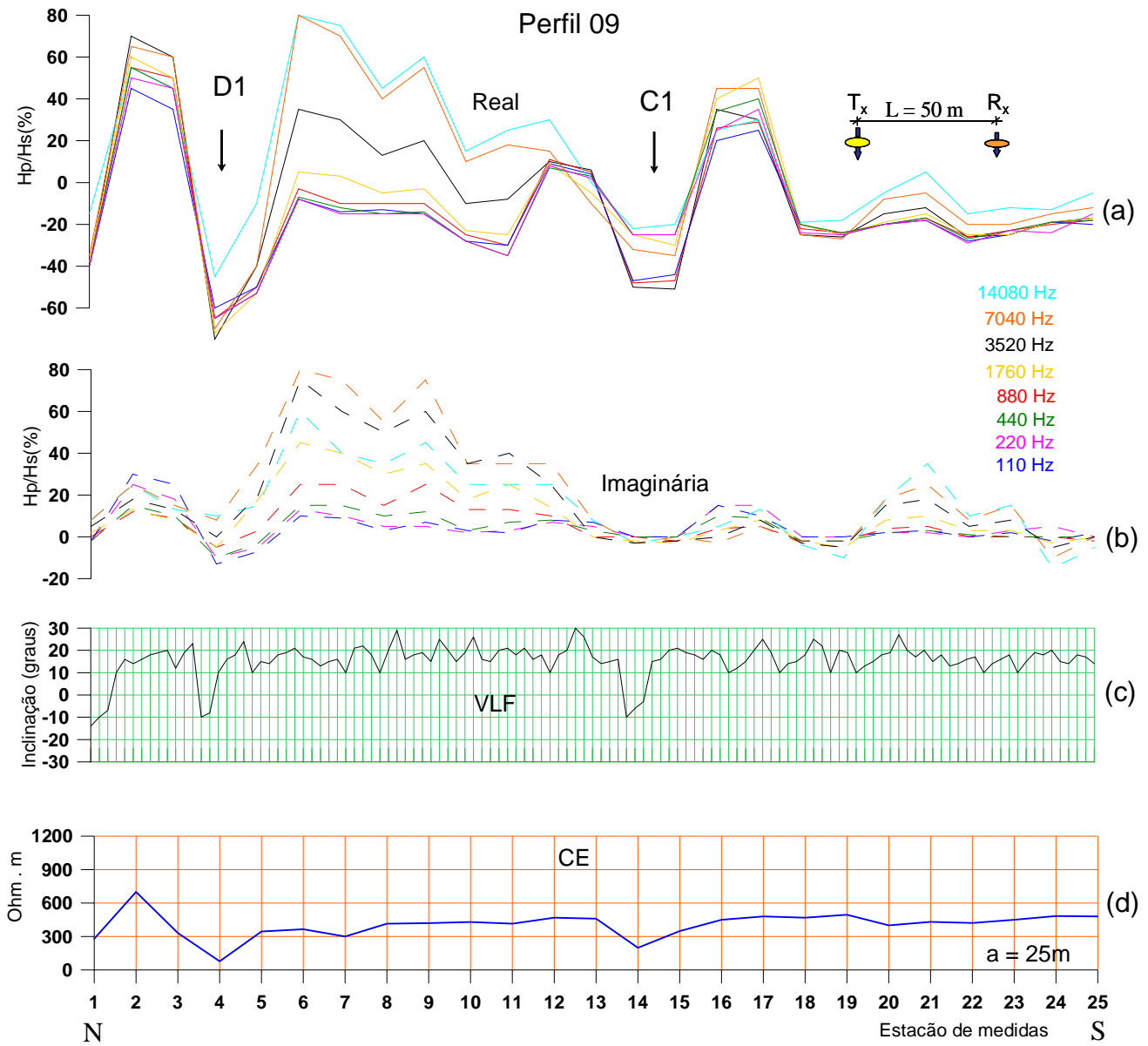


Figura 6.15-Perfil 09: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) VLF e (d)CE.

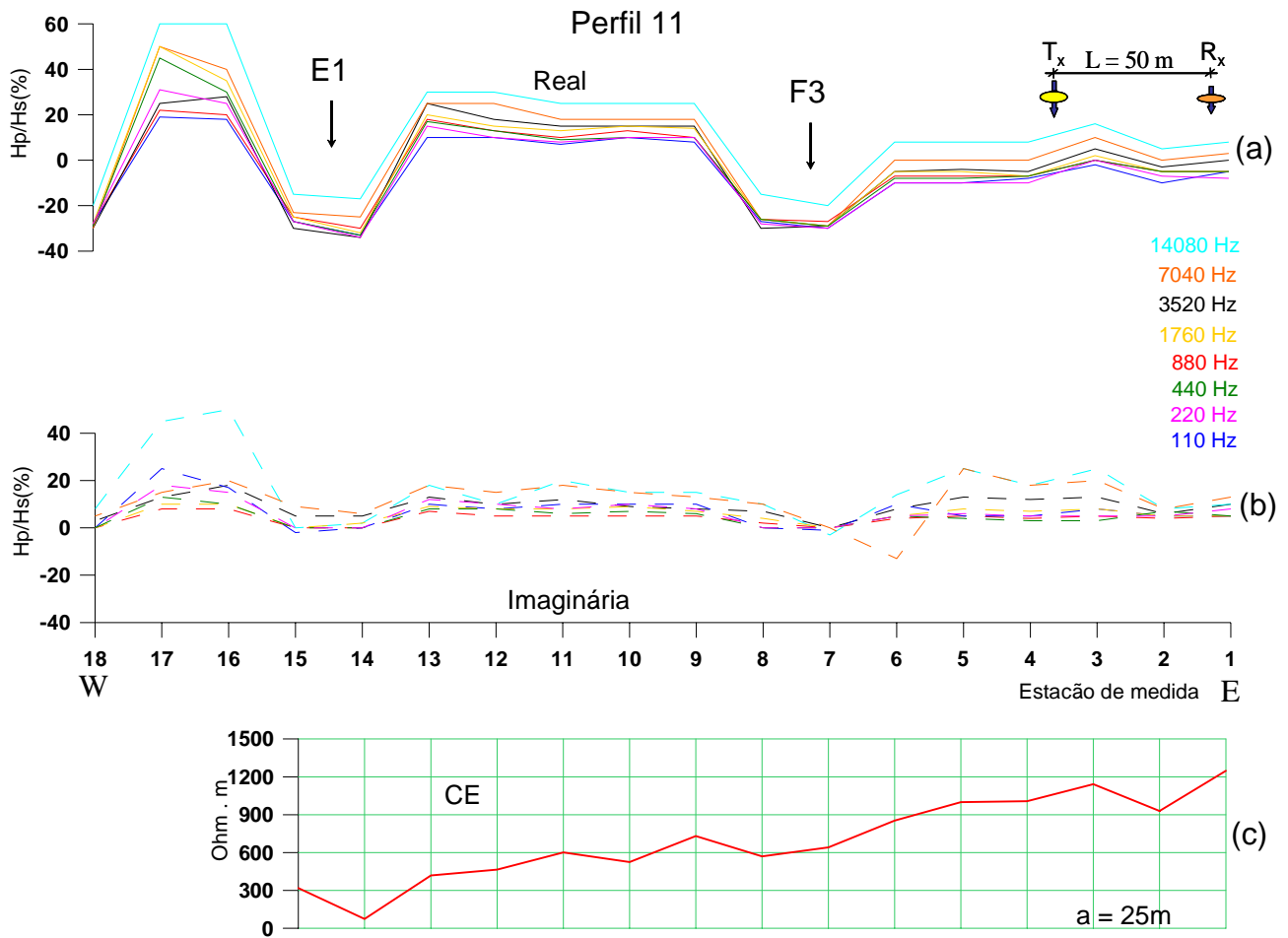


Figura 6.16-Perfil 11: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.

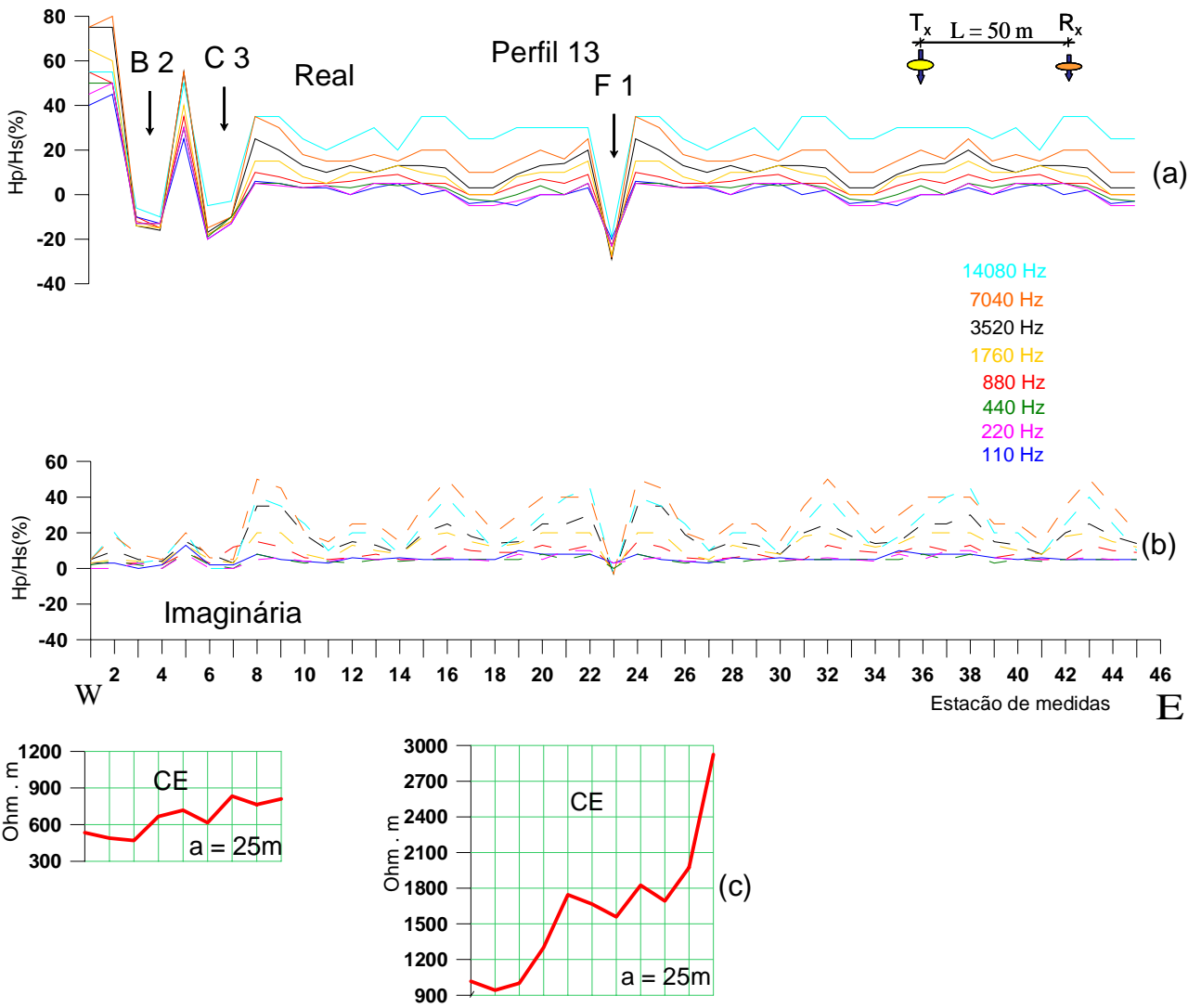


Figura 6.17-Perfil 13: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.

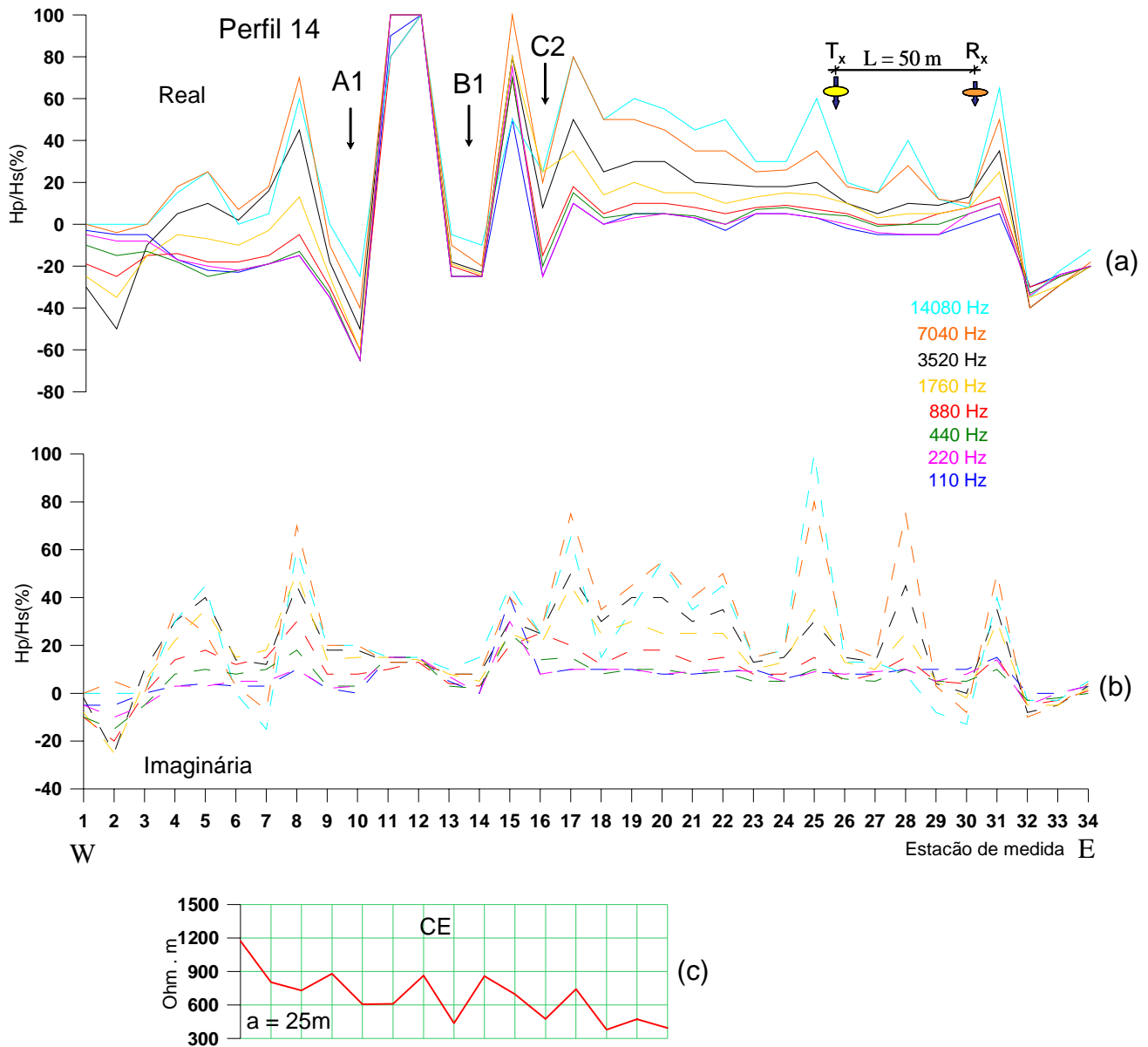


Figura 6.18-Perfil 14: Sendo (a) e (b) HLEM, (c) CE.

6.5 - MAPEAMENTO DOS EIXOS CONDUTORES

Com o objetivo de se observar a distribuição dos eixos condutores na área em estudo, as suas posições nos perfis foram locadas sobre o mapa da área (Figura 6.19). Essa representação mostra que há na área uma seqüência de sete alinhamentos de eixos condutores, identificados pelas letras A, B, C, D, E, F e G. A Figura 6.19 mostra também que os eixos condutores apresentam uma tendência NW-SE, que coincide com a direção principal das zonas fraturadas indicada pela geologia. Essa direção está também de acordo com o resultado obtido com a SEVR.

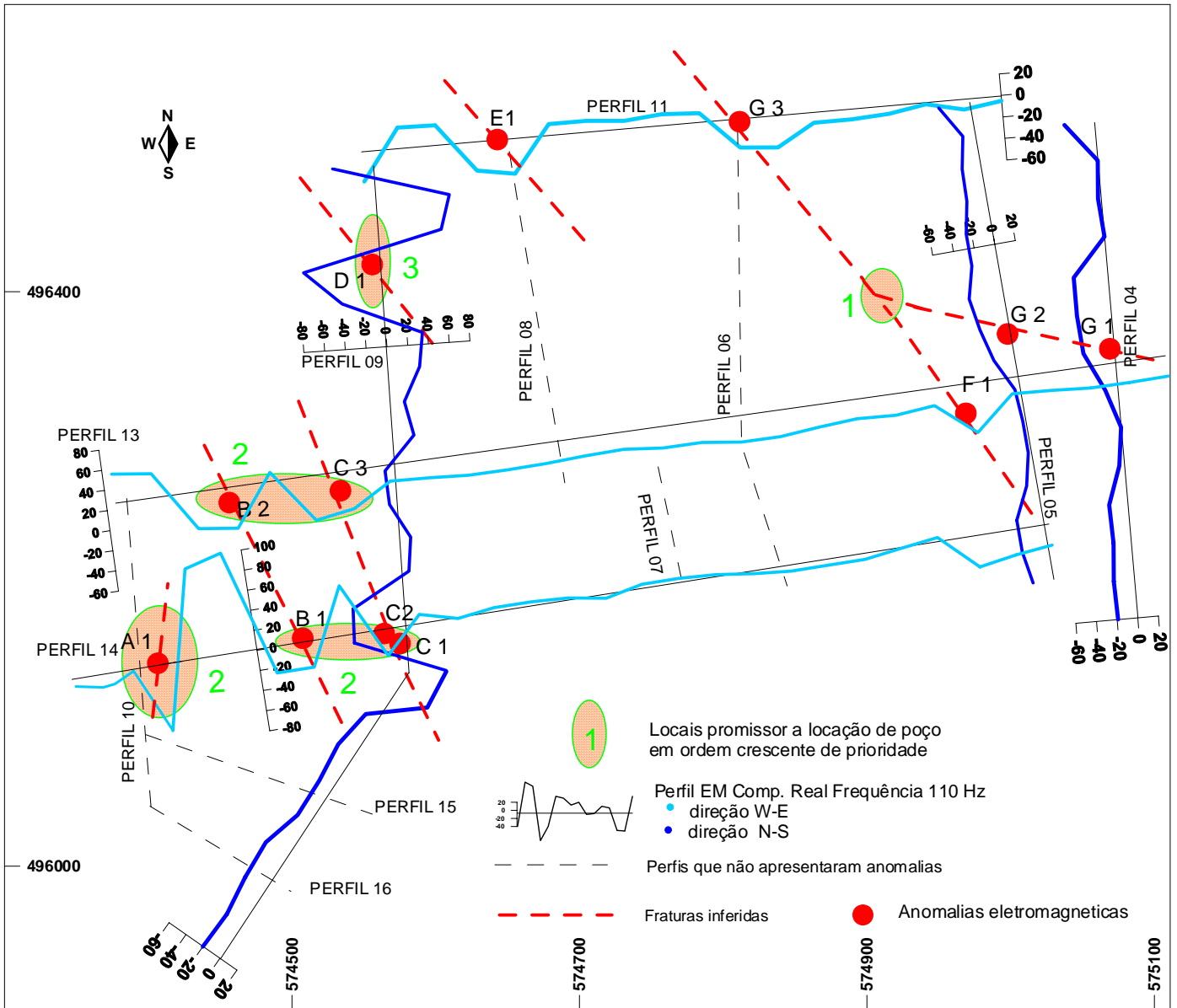


Figura 6.19 – Mapa de alinhamento dos eixos condutores.

7-CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa mostra que a área investigada é composta por dois tipos de aquíferos, típicos de regiões cristalinas, os quais foram identificados aplicando métodos elétricos e eletromagnéticos.

O aquífero freático, contido nas zonas de cobertura alteradas, foi pesquisado utilizando o método da eletrorresistividade, que permitiu determinar a sua espessura até o embasamento cristalino. Os resultados, a partir das 10 SEVs efetuadas, indicam que a espessura de sedimentos sobre o embasamento é bem pequena, ficando em torno de 4 m, exceto na parte oeste da área onde pode ser superior a 8 m. Este resultado demonstra que o aquífero freático apresenta um potencial hídrico bastante limitado devido sua pouquíssima espessura.

Os aquíferos em rochas cristalinas, por sua vez, que são os que normalmente apresentam melhores condições de reservas de água subterrânea no contexto geológico da área, quando contêm fraturas foram identificados no estudo. O levantamento geofísico permitiu que se identificassem condutores associados as fraturas do cristalino, estabelecendo ainda a sua direção preferencial, NW-SE, que coincide com os dados geológicos.

Com base na integralização dos resultados do levantamento geofísico e da geologia pode-se identificar cinco locais que apresentam potencial promissor para a captação de água subterrânea. Esses locais encontram-se destacados por elipses amarelas na figura 6.19. As elipses estão numeradas em ordem crescente de prioridade, que foi estabelecida conforme descrito abaixo:

- Prioridade 1- O local apresenta anomalias geofísicas significantes coincidindo também com o cruzamento de eixos de condutores (fraturas).
- Prioridade 2- Locais com anomalias significantes sem cruzamento de eixos condutores (fraturas).
- Prioridade 3- Em decorrência da presença de anomalia geofísica isolada.

Os métodos geofísicos usados nesta pesquisa apresentaram deficiência devida não permitir a distinção entre fraturas preenchidas de material argiloso e fraturas saturadas com água. Apesar dos métodos geofísicos serem de aplicações indiretas e não possibilitar a localização direta dos depósitos de água subterrânea, o emprego deles, junto com os estudos

geológicos e hidrológicos, melhoram a probabilidade de sucesso na prospecção de água. Baseado neste contexto, existe grande possibilidade de se encontrar água potável nos 7 eixos condutores identificados nesta pesquisa.

É importante frisar que não existe nenhum poço perfurado na localidade estudada, o que torna a interpretação geofísica menos precisa, por falta de calibração. Mesmo assim, acreditamos que as informações aqui apresentadas serão úteis para a COSANPA aumentar a possibilidade de sucesso na locação de poços nesta comunidade.

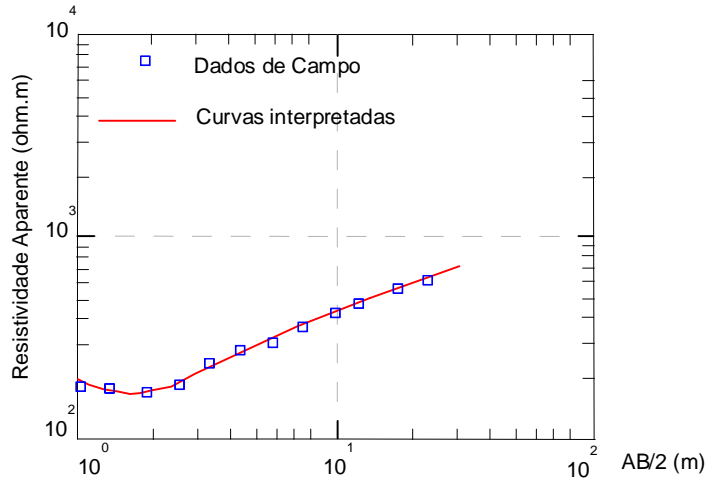
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y.1984.**O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo, Ed.Edgard Blucher. 378p.
- BHATTACHARIA, P.H. & PATRA, H.P. 1968. **Direct Current Geoelectric Sounding**. Amsterdam, Elsevier. 133p.
- FEITOSA, F. A. C. & FILHO, J. M. (coord.). 1999 .**Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza, CPRM, p.28-32.
- MALLICK, S.B.; BHATTACHARYA, D.C. ; NAG, S.K. 1983. Behaviour of Fractures in Hard Rocks A Study by Surface Geology and Radial VES Method **Geoexploration**.21:181-189.
- MANOEL FILHO, J. 1996. **Modelo de dimensão fractal para avaliação de parâmetros hidráulicos em meios fissural**. São Paulo, Instituto de Geociência, USP. 197p. (Tese Doutorado).
- NEGRÃO, R. J. 2002. **Levantamento geológico no município de Novo Repartimento**, Prefeitura Municipal de Novo Repartimento,SEOVI-Pará (Relatório interno).
- ORELLANA, E. 1972. **Prospección Geométrica en Corriente Contínua**. Madrid, Paraninfo.523p.
- PALACKY, G. J.1981. The airborne electromagnetic methods as tool of geological mapping.**Geophysical Prospecting**, 29:60-88.
- PALACKY, G. J. & SENA, O.F. 1979.Conductor Identification in Tropical Terrains-Cases Histories from the Itapecuru Greenstone Belt,Bahia ,Brazil.**Geophysics** ,44: 1941-1962.

- PALACKY, G. J.; RITSERMA, I. L. ; DE JONG, S. J. 1981. Eletromagnetic prospecting for groundwater in Precambrian terrains in the Republic of Upper Volta. **Geophysical Prospecting**, 29:932-955.
- PONTE, M. X. 1995. **Pesquisa Geofísica Realizada em Convênio –FNS/UFPA de 1988-1995 (jul)- e Déficit da demanda de consumo de água potável no Estado do Pará.** Belém , Funasa, (Relatório Diagnóstico).
- STUART, W. T.; BROWN, E. A. ; RHODEHAMEL, E. C. 1954. **Groundwater investigations of the Marquette iron mining district.** Michigan Geol.Surv. Div.
- VITORINO, F. S. 1991. **Estudo de água subterrânea com métodos elétricos na região semi-árido de Patos-Pb.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências (Dissertação de Mestrado).

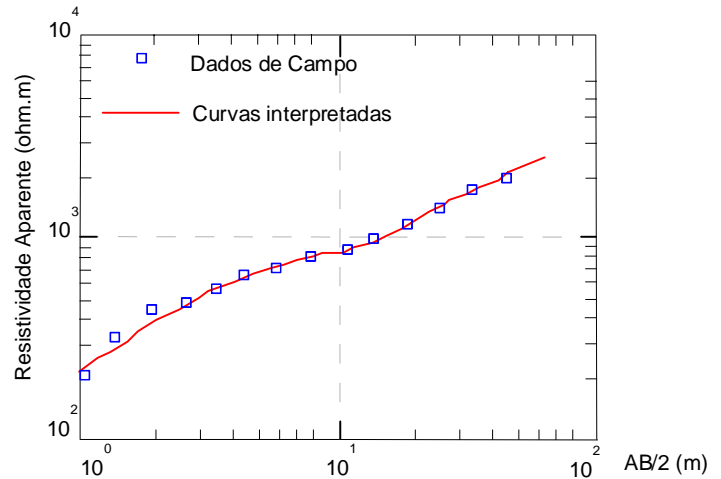
ANEXO

SEV 01



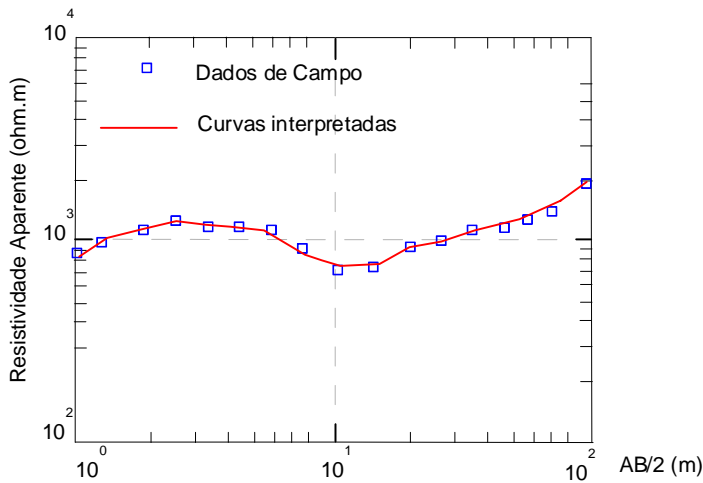
Resistividade (ohm.m)	Espessura (m)
258	0.4
102	0.9
413	1.0
662	

SEV 02



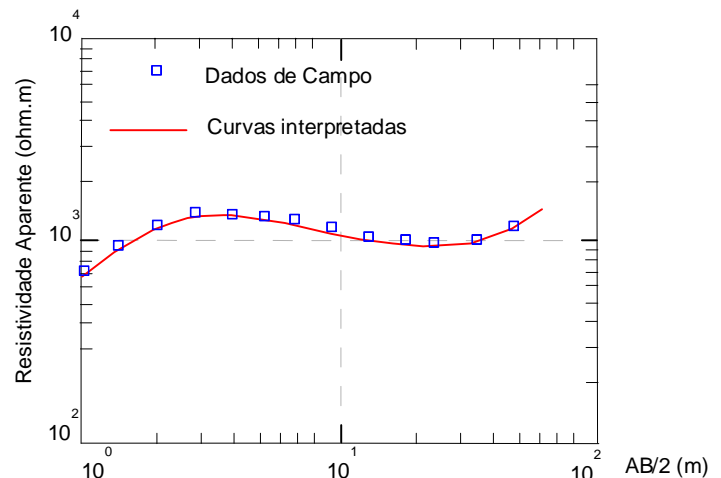
Resistividade (ohm.m)	Espessura (m)
76	0.3
2840	1.2
300	2.5
4290	

SEV 03



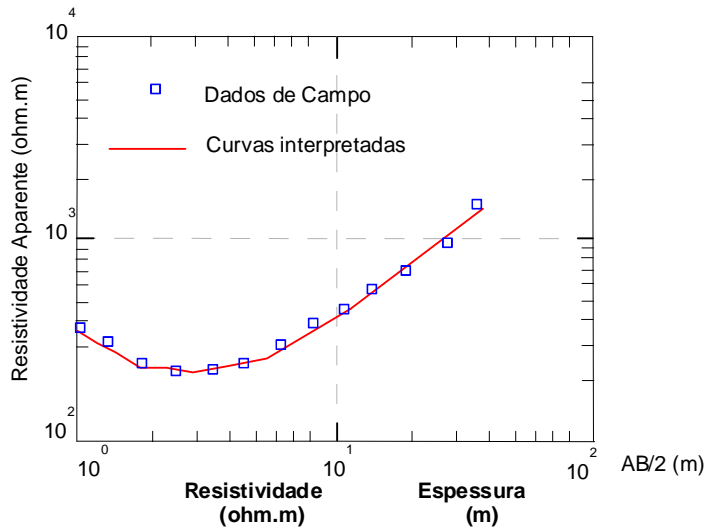
Resistividade (ohm.m)	Espessura (m)
531	0.5
1726	2.0
255	2.7
434	0.7
1968	

SEV 04



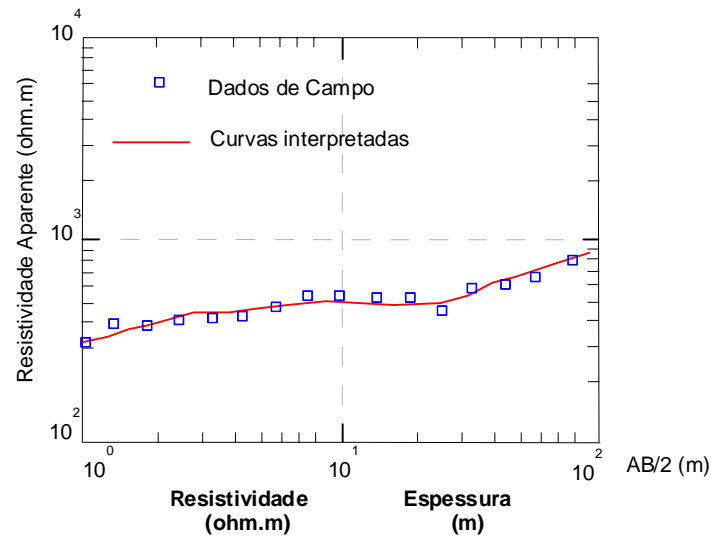
Resistividade (ohm.m)	Espessura (m)
363	0.5
2200	1.2
636	1.1
2350	

SEV 05



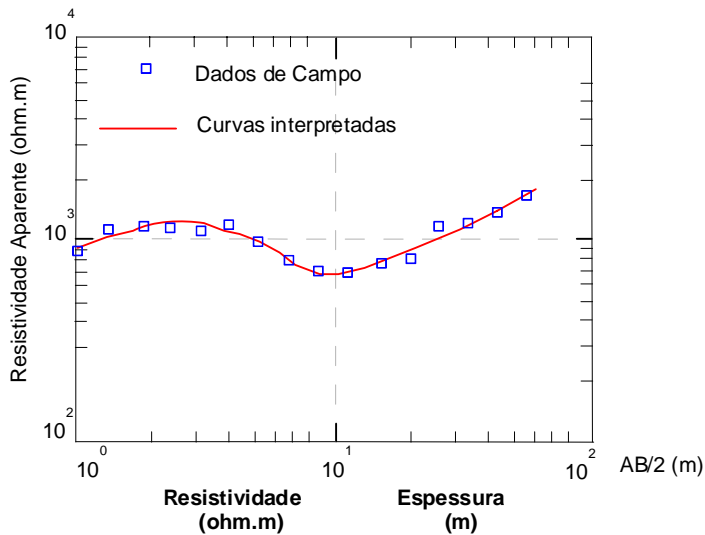
Resistividade (ohm.m)	Espessura (m)
711	0.3
197	4.3
30111	

SEV 06



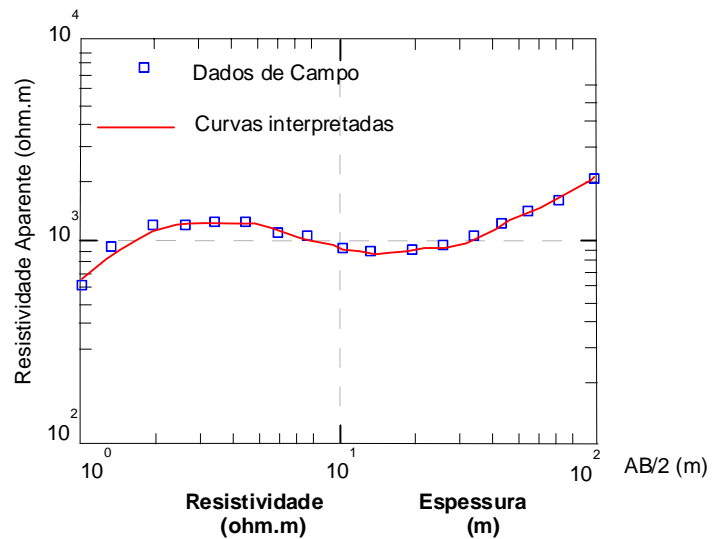
Resistividade (ohm.m)	Espessura (m)
239	0.5
498	7.2
391	0.7
111	1.7
1029	

SEV 07



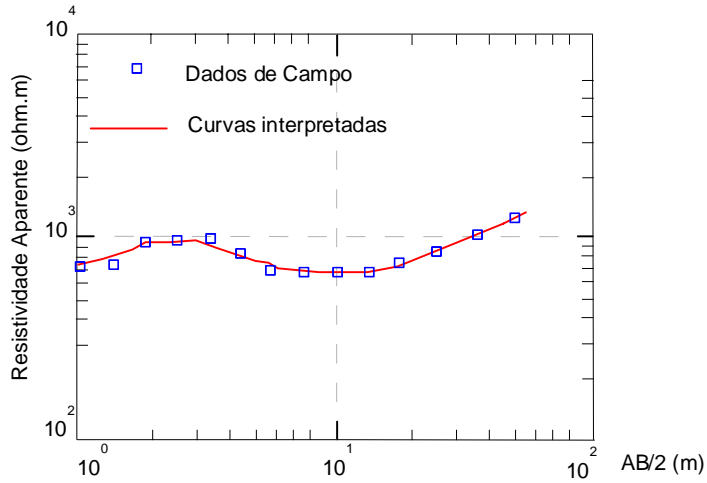
Resistividade (ohm.m)	Espessura (m)
559	0.4
1736	2.0
145	1.9
2190	

SEV 08



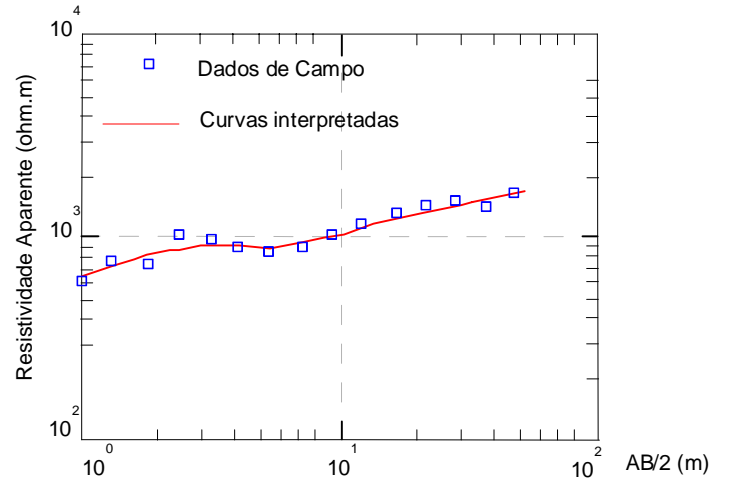
Resistividade (ohm.m)	Espessura (m)
291	0.4
4635	0.9
226	2.1
6589	

SEV 09



Resistividade (ohm.m)	Espessura (m)
545	0.5
1709	0.6
597	1.0
2658	

SEV 10



Resistividade (ohm.m)	Espessura (m)
544	0.5
2172	0.7
1296	1.0
227	0.6
2258	