



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

Titulo da Tese:

**ESTUDO DA HIDROGEOLOGIA NO MUNICÍPIO DE
PALESTINA DO PARÁ USANDO O MÉTODO
DE ELETRORESISTIVIDADE**

Orientador: Prof. Dr. Luiz Rijo

Autor: Edson Cardoso Monteiro

Setembro – 1998

Gostaria dedicar esta tese a três pessoas :
Minha Mãe (Hilda), Esposa (Josiane) e em
especial à minha herdeira (LANA MICHELLE)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração desta tese, de modo especial gostaria de destacar:

Ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Rijo, pela suas valiosas e sinceras sugestões, e principalmente pela liberdade de investigação científica que me foi permitida.

Ao Prof. Ms. José Geraldo das Virgens Alves, pelas suas sugestões e paciência que teve no decorrer no trabalho de campo.

Aos meus examinadores Drs. Verma Om Prakash e Maurício Borges, pelas sugestões e correções que contribuíram para melhorar esta tese.

A UFFPa/CG/DGf/CAPES pelo suporte financeiro à este trabalho de mestrado.

À Prefeitura de Palestina do Pará no nome de seu prefeito João Batista pelo apoio logístico e hospedagem durante a etapa de campo.

A equipe de professores que ministraram as disciplinas do curso de geofísica.

Ao Prof. Dr. André Andrade pela sua orientação prestada no laboratório computacional.

Ao Prof. Dr. Roberto Vizeu, pelas contribuições dadas.

Ao Eng. e amigo Alfredo Carrasco pelo seu companheirismo mostrado durante o decorrer do curso.

Ao amigo João Batista, pela excelente amizade que tivemos durante o curso.

Ao técnico de campo Álvaro Prestes pela sua ajuda e dedicação no trabalho de campo.

Aos funcionários do curso de geofísica pelo suporte administrativo.

Aos alunos e amigos do estágio de campo III, pelo apoio dado na etapa de campo.

A minha família que sempre me deu apoio para a realização deste mestrado, e em especial à minha querida e amada mãe, por seus conselhos.

À todos os amigos e colegas de Mestrado e Doutorado do curso de geofísica e em especial àqueles que contribuíram mais diretamente para o fechamento deste trabalho.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	vii
RESUMO.....	01
ABSTRACT.....	02
1 - INTRODUÇÃO	03
1.1 MOTIVAÇÃO.....	03
1.2 OBJETIVO.....	05
1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	06
2 - CARACTERIZAÇÃO DA AREA DA PESQUISA.....	07
2.1 INTRODUÇÃO.....	07
2.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	07
2.3 ASPECTO FISIOGRAFICOS E HIDROGRAFICOS.....	09
2.3.1 Clima	09
2.3.2 Vegetação	09
2.3.3 Solos	10
2.3.4 Hidrografia	11
2.4 ASPECTO HISTÓRICOS, SÓCIAIS E ECONÔMICOS.....	12
2.4.1 Aspecto Históricos	12
2.4.2 Aspecto Sociais e Econômicos	12
3 - CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA E METODOLÓGICA.....	15
3.1 INTRODUÇÃO.....	15

3.2	MÉTODOS DE PROSPECÇÃO UTILIZADO NO CAMPO.....	15
3.2.1	Método Elétrico.....	15
3.2.1.1	Arranjo Schlumberger.....	16
3.3	MODELOS UTILIZADOS.....	18
3.3.1	Modelagem Direta.....	18
3.3.2	Modelagem Inversa	18
3.4	METODOLOGIA.....	20
4	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA	23
4.1	GEOLOGIA REGIONAL.....	23
4.1.1	A Faixa Araguaia.....	24
4.1.2	A Bacia do Parnaíba.....	24
4.2	UNIDADES LITO-ESTRATIGRÁFICAS REGIONAIS.....	25
4.2.1	Rochas da Faixa Araguaia.....	25
4.2.2	Rochas da Bacia do Parnaíba.....	25
4.3	GEOLOGIA LOCAL.....	28
4.3.1	Formação Xambioá.....	28
4.3.2	Formação Pimenteiras.....	32
4.3.3	Formação Potí.....	33
4.3.4	Formação Piauí.....	34
4.3.5	Formação Pedra de Fogo.....	35
4.3.6	Coberturas Sedimentares Recentes.....	37
5	CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO MUNÍCIPIO DE PALESTINA DO PARÁ	39
5.1	ESTUDOS GEOFÍSICOS E GEOLÓGICOS PRELIMINARES.....	39
5.2	PREPARAÇÃO DA ÁREA PARA AS MEDIDAS DE CAMPO.....	40
5.2.1	Preparação da Área Alvo.....	40
5.2.2	Medidas de Campo.....	41
5.2.2.1	Realização da Sondagem.....	43
5.3	TRATAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	44
5.3.1	Análise Individual das SEV's.....	46

5.3.1.1 Primeiro Horizonte Geolétrico.....	46
5.3.1.2 Segundo Horizonte Geolétrico.....	46
5.3.1.3 Terceiro Horizonte Geolétrico.....	48
5.3.1.4 Quarto Horizonte Geolétrico.....	48
5.3.1.5 Quinto Horizonte Geolétrico.....	48
5.3.1.6 Sexto Horizonte Geolétrico.....	49
5.3.2 Análise Conjunta das SEV's	50
5.3.2.1 Primeira de Famílias de Curvas do Tipo I.....	47
5.3.2.2 Segunda Famílias de Curvas do Tipo II.....	54
5.3.2.3 Terceira Famílias de Curvas do Tipo III.....	54
5.3.3 Análises e Interpretações em Secções Geolétricas.....	58
5.3.3.1 Secção Geolétrica 1.....	58
5.3.3.2 Secção Geolétrica 2.....	60
5.3.3.3 Secção Geolétrica 3.....	60
5.3.3.4 Secção Geolétrica 4.....	63
5.3.3.5 Secção Geolétrica 5.....	63
5.3.3.6 Secção Geolétrica 6.....	63
5.4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS EM MAPAS.....	67
6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
ANEXO - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS GRÁFICOS DAS CURVAS DAS 21 SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS (SEVs).....	79

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 2.1 Localização e Acesso da Área.....	08
Figura 2.2 Rio Araguaia.....	11
Figura 3.1 Arranjo Schlumberger.....	16
Figura 3.2 Equipamento Geofísico (resistivímetro) utilizado no trabalho de campo.....	22
Figura 4.1 Mapa Geológico da Folha Marabá (compilado de ALMEIDA et. Al., no prelo).....	23
Figura 4.2 Coluna litoestratigráfica dos sistemas deposicionais da bacia do Parnaíba. (Pedreira apud ALMEIDA, 1995).....	26
Figura 4.3 Mapa Geológico, modificado de ALMEIDA 1995.....	29
Figura 4.4 Mapa Geológico, modificado de ASSIS et. Al, UFPA,(1998).....	30
Figura 4.5 Formação Xambioá, representado por xisto altamente intemperizado.....	31
Figura 4.6 Seixos de quartzo com tamanhos, na Formação Xambioá.....	32
Figura 4.7 Intercalações de arenitos com siltitos, da Formação Pimenteiras.....	33
Figura 4. 8 Formação Poti, representado por arenitos com estratificação cruzada.....	34
Figura 4.9 Formação Poti, com estratificação plano paralela.....	35
Figura 4.10 Arenito estratificados da Formação Piauí.....	36
Figura 4.11 Níveis de sílex que compõe a Formação Pedra de Fogo.....	37
Figura 4.12 Coberturas recentes apresentado na margem do rio Araguaia.....	38
Figura 5.1 Fluxograma, mostrando as etapas da prospecção geofísica apoiada ao mapeamento Geológico.....	40
Figura 5.2 Mapa da localização e da densidade das Sondagens Elétricas Verticais (SEVs).....	42

Figura 5.4 SEVs (01, 02, 03, 04, 05 e 06), obtidas pelo método de inversão, para um modelo estratificado 1D.....	51
Figura 5.5 SEVs (07, 08, 09, 10, 11 e 12), obtidas pelo método de inversão, para um modelo estratificado 1D.....	52
Figura 5.6 SEVs (13, 14, 15, 16, 17 e 18), obtidas pelo método de inversão, para um modelo estratificado 1D.....	53
Figura 5.7 SEVs (19, 20, e 21), obtidas pelo método de inversão, para um modelo estratificado 1D.....	54
Figura 5.8 Famílias de curvas, representada pelas SEVs (01, 03, 04, 09, e 11).....	55
Figura 5.9 Famílias de curvas, representada pelas SEVs (02, 05, 07, 10, 17, 18, e 21).....	56
Figura 5.10 Famílias de curvas, representada pelas SEVs (12, 13, 14, 15 e 16).....	57
Figura 5.11 Secção Geométrica 01, baseado na interpretação das SEVs (20, 15, 14, 16).....	59
Figura 5.12 Secção Geométrica 02, baseado na interpretação das SEVs (15, 13 e 12).....	61
Figura 5.13 Secção Geométrica 03, baseado na interpretação das SEVs (21, 05, 09, 03 e 11).....	62
Figura 5.14 Secção Geométrica 04, baseado na interpretação das SEVs (17, 18, 07, 05, 10 e 19)..	64
Figura 5.15 Secção Geométrica 05, baseado na interpretação das SEVs (09, 04 e 02).....	65
Figura 5.16 Secção Geométrica 06, baseado na interpretação das SEVs (05, 06 e 01).....	66
Figura 5.17 Mapa do base da camada promissora.....	68
Figura 5.18 Mapa da topo da camada promissora.....	69
Figura 5.19 Mapa isópaco da camada promissora.....	70
Figura 5.19 Mapa conjugado da camada promissora, mostrando a área indicada para a perfuração dos poços.....	71

TABELAS

Tabela 1.1 Prospecção Geofísica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV), para Água Subterrânea no Estado do Pará - Convênio UFPa/FNS de 1989 - 1995, extraído e modificado de PONTE, 1995).....	04
Tabela 1.2 Valores de AB/2 e MN, usados no arranjo Schlumberger.....	41
Tabela 1.3 Resultados das interpretações das SEVs em Palestina do Pará.....	47
Tabela 1.4 Horizontes Geométricos, propostos para a subsuperfície de Palestina do Pará.....	49

ABSTRACT

This work of geophysics applied to hydrogeology was carried out in the southeast of Pará in the Palestina district at the margin of Araguaia river. Ironically there exists problems of water supply for the city population. This is due to the fact that it is not economical to maintain a treatment station and to transport the water from the river to the city. Since in this case pumping groundwater wells are more economical than take water from the river, the Geophysics Department (UFPa) was asked to cooperate with the Health National Foundation (NSF) to carry out a electroresistivity survey to help the groundwater investigation of the area.

There were made 21 vertical electrical soundings (SEV) with the Schlumberger array with 500 m and 50 m maximum AB and MN respectively. For the interpretation it was used the programs EGSLIB/SEV1D for forward modeling and EGSLIB/SEV1DIN for the inversion of homogeneous isotropic layered models.

Based on the results of the interpretation of the 21 electrical soundings and the local geology, three contour maps and six geoelectrical sections were made. From the six horizons that are shown in these sections, the fourth one with thickness of 10 to 79 m at the depth of 50 m and resistivity of 150 – 850 ohm-m is the most suitable for groundwater exploration.

The final analysis of the maps and geoelectrical sections show that the best place to locate the wells is near the area used today for capturing water.

RESUMO

Esse trabalho de geofísica aplicada à hidrogeologia, foi realizado numa área localizada na porção sudeste do estado do Pará, mas precisamente na cidade de Palestina à margem esquerda do rio Araguaia. Ironicamente existem problemas de abastecimento de água potável para a população da cidade. Esse problema deve-se ao fato que, no momento, é antieconômico o tratamento e transporte de água do rio para a cidade. Considerando que a extração de água subterrânea é economicamente mais viável para a solução desse problema, o Departamento de Geofísica e o curso de Pós-graduação de Geofísica da Universidade Federal do Pará (UFPA), por solicitação da prefeitura daquele município e da Fundação Nacional de Saúde (FNS), participaram no levantamento geofísico de eletroresistividade para investigar os possíveis locais de ocorrência de água subterrânea.

Foram realizadas, na área, 21 Sondagens Elétricas Verticais (SEVs) medidas na superfície, utilizando o arranjo Schlumberger com abertura máxima dos eletrodos AB e MN de 500m e 50m, respectivamente. Para a sua interpretação foram usados os programas de modelagem direta (EGSLIB/SEV1D) e inversa (EGSLIB/SEV1DIN) de RIJO (1994), de modelos de n camadas horizontais, homogêneas e isotrópicas.

Com base nos resultados da interpretação das 21 SEVs, e também das informações da geologia local foram confeccionadas três mapas de contorno e seis secções geoeletricas. Dos seis horizontes que aparecem nessas secções, o mais favorável para a exploração hidrogeológica é o quarto, com espessura variando de 10 a 79 m, estando a uma profundidade média de 50m e com valores de resistividade variando de 150 – 850 Ω m, sendo correlacionavel com a Formação Potí.

A análise final dos mapas e das secções geoeletricas, indicou que o local mais apropriado para a perfuração de poços, é uma área próximo à atual área de captação.

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

O planeta Terra, que também é chamado de planeta água, possui 70% de sua superfície composta por água, sendo que só 1% desse total é doce e está armazenado nos lençóis subterrâneos, rios e lagos. O Brasil detém cerca de 20% de toda água doce superficial da terra, onde a Região Amazônica comporta 80%, desse total, por isso que é considerada como a maior rede hidrográfica do planeta.

Apesar da abundância de rios no estado do Pará, o abastecimento de por meio de tratamento das águas superficiais (rios, lagos), em algumas localidades paraenses, é bastante precário em virtude dos altos custos para se manter um sistema de tratamento e distribuição de água tem conseguido resultados satisfatórios. Além disso, tem deixado de fora com relação ao abastecimento de água potável, muitos municípios principalmente os mais distantes da capital. Isto pode ser explicado pelo alto custo para se construir, manter, tratar e distribuir esse tipo de captação de água.

O levantamento Geofísico, através da aplicação de métodos elétricos (eletroresistividade), para a prospecção de água subterrânea em várias localidades do Estado do Pará, vem trazendo grandes e importantes informações sobre o potencial hídrico existente no subsolo do estado.

Segundo PONTES (1995, op. cit.), 3,3 milhões de habitantes do estado do Pará, de um total de 5,6 milhões, sofrem com a ausência o abastecimento de água potável, isso é decorrente principalmente das falta dos recursos financeiros governamentais.

Diante desse quadro, a Fundação Nacional de Saúde (FNS), vem junto as prefeituras desses municípios realizando um programa de perfuração de poços para o abastecimento de água da população com o objetivo de facilitar a localização de poços, a FNS em convênio firmado desde 1989 com a Universidade Federal do Pará (UFPA), vem realizando com a cooperação do departamento de geofísica, levantamento geofísico em vários municípios, onde a grande maioria desses levantamentos para a prospecção de água subterrânea no Pará é feita pelo método de eletroresistividade (SEV) como mostra a Tabela 1.1, extraída e modificada de PONTES (1995). Um desses levantamentos foi realizado no município de Palestina do Pará, onde se tem grandes e graves problemas com relação ao abastecimento de água, principalmente na época do verão, onde

LOCAL	MUNICÍPIO	REGIÃO DO ESTADO DO PARA	UNIDADE TECTÔNICA	SEV	OBSERVAÇÕES
Maracanã	Maracanã	NE	Bacia Sedimentar Bragança-Vizeu	X	Aquíferos salinizados, influência do mar
São Miguel	São Miguel	NE	Bacia Sedimentar Bragança-Vizeu	X	Borda da Bacia; ampliação do Sistema de água
Inhangapi	Inhangapi	NE	Bacia Sedimentar Bragança-Vizeu	X	Redifinição do manancial para captação de água
Santa Izabel	Santa Izabel	NE	Bacia Sedimentar do Pirabas	X	Redifinição do manancial para captação de água
Mosqueiro	Belém	NE	Bacia Sedimentar do Pirabas	X	Redifinição do manancial para captação de água
Icoaraci	Belém	NE	Bacia Sedimentar do Pirabas	X	Ampliação do Sistema de captação de água
Rondon do Pará	Rondon do Pará	NE	Bacia Sedimentar do Maranhão	X	Redifinição de captação de água
Bom Jesus do Tocantins	Bom Jesus do Tocantins	SE	Bacia Sedimentar do Maranhão	X	Substituição captação água superficial por subterrânea
Apeú - São Salvador	Vizeu	NE	Bacia Sedimentar Bragança-Vizeu	X	Influência de salinização das águas subterrâneas
Mãe do Rio	Mãe do Rio	NE	Bacia Sedimentar do Maranhão-Pirabas	X	Instalação Sistema de água
Irituia	Irituia	NE	Bacia Sedimentar do Maranhão-Pirabas	X	Ampliação do Sistema de água
Curionópolis	Curionópolis	SE	Craton Amazônico	X	Instalação do Sistema de água
Alter do Chão	Santarém	NW	Bacia Sedimentar do Amazonas	X	Instalação do Sistema de água
Rurópolis	Rurópolis	NW	Borda Sul da Bacia do Amazonas	X	Ampliação do Sistema de água
Uruará	Uruará	NW	Borda Sul da Bacia do Amazonas	X	Implantação do Sistema de água
Pacajá	Pacajá	NW	Craton Amazônico	X	Implantação do Sistema de água
Anapu	Pacajá	NW	Craton Amazônico	X	Ampliação do Sistema de água
Bom Jardim	Pacajá	NW	Craton Amazônico	X	Implantação do Sistema de água
Nazaré	Nazaré	NW	Craton Amazônico	X	Implantação do Sistema de água
Tuerê	Novo Repartimento	NW	Craton Amazônico	X	Implantação do Sistema de água
Maracajá	Novo Repartimento	NW	Craton Amazônico	X	Implantação do Sistema de água
Belo Monte	Novo Repartimento	NW	Craton Amazônico	X	Implantação do Sistema de água
Bela Vista	Novo Repartimento	NW	Craton Amazônico	X	Implantação do Sistema de água
Novo Repartimento	Novo Repartimento	NW	Craton Amazônico	X	Ampliação do Sistema de água
Brasil Novo	Brasil Novo	NW	Borda Sul da bacia do Amazonas	X	Ampliação do Sistema de água
Altamira	Altamira	NW	Borda Sul da bacia do Amazonas	X	Substituição do manancial superficial por subterrânea
São João do Araguaia	São João do Araguaia	SE	Faixa Araguaia	X	Ampliação do Sistema de água
Diamante	São João do Araguaia	NE	Faixa Araguaia	X	Implantação do Sistema de água

o armazenamento de água é bastante reduzido, não dando condições à população local de usufruir desse recurso natural. O Departamento de Geofísica (curso de pós-graduação) da UFPa fica responsável para redigir o trabalho de prospecção do recurso hídrico subterrâneo nessa localidade. Nesse trabalho geofísico utilizou-se basicamente o método de eletroresistividade, por ser o mais eficiente e o de menor custo para o tipo de terreno em que está assentada a cidade de Palestina do Pará.

Mesmo estando localizada à margem de um dos rios mais importantes do estado do Pará, o rio Araguaia, a cidade de Palestina não possui recursos financeiros suficientes para viabilizar a captação e distribuição desta água. A água que chega a população urbana é captada por uma bateria de 12 poços, com uma profundidade média de 10m, tendo o poço mais profundo aproximadamente 14 m. Como esses poços estão muito próximos entre si, se tem uma vazão reduzida para aproximadamente de 4000 l/ h, isso faz com que a cidade de Palestina só tenha água durante 30 minutos duas vezes ao dia. Daí a necessidade de se saber quais os melhores locais para a perfuração de novos poços.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é apresentar a localização e a distribuição regional do principal horizonte aquífero, por meio do levantamento geofísico, empregando o método de eletroresistividade de sondagem elétrica vertical (SEV) . Devido a região em torno da cidade de Palestina do Pará não oferecer as condições mínimas necessárias para o abastecimento de água subterrânea (potável) para o consumo humano, visto que, a principal fonte deste recurso natural na localidade, são poços rasos do tipo “AMAZONAS”, onde estes poços nem sempre estão revestidos (manilhados), não fornecendo nenhuma segurança em termos de qualidade de água potável.

Ademais, pretende-se também, com esse trabalho contribuir com a prefeitura local e a Fundação Nacional de Saúde (FNS), para colaborar na solução do problema de abastecimento de água da cidade de Palestina, baseada nas informações geofísicas obtidas das SEVs.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE

A presente tese, tem como característica principal, o desenvolvimento de um trabalho prático de campo, onde foi utilizado o método de eletroresistividade de Sondagem Elétrica Vertical (SEV), associados aos dados geológicos para o mapeamento da subsuperfície da área onde se situa a cidade de Palestina do Pará. A tese está dividido em seis (6) capítulos assim distribuídos:

O primeiro capítulo é formado pela introdução, cobrindo a motivação do trabalho, seus objetivos e a organização da tese.

No segundo capítulo estão apresentadas as características gerais da área de pesquisa (Palestina do Pará), abrangendo desde a localização até os aspectos sócios econômicos da cidade.

O terceiro capítulo é composto pelas características geofísicas e metodológicas do trabalho.

Já no quarto capítulo se sobressaem as características geológicas presentes na área de estudo.

O quinto capítulo é formado por uma metodologia que permitiu a caracterização hidrogeológica de subsuperfície da cidade de Palestina do Pará.

E finalmente o sexto capítulo apresentando as conclusões, assim como as sugestões ou recomendações sobre o tema da tese.

2 CARACTERÍSTICA DA ÁREA DE PESQUISA

2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo trataremos de falar das principais características que comportam o município de Palestina do Pará, tais como: localização, solo, vegetação, aspectos históricos, sociais, econômicos e o mais importante para o nosso trabalho que é a hidrografia.

2.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O Município de Palestina do Pará localiza-se na porção sudeste do Estado do Pará, situada na zona fisiográfica da Microregião de Marabá, à margem esquerda do rio Araguaia (Figura 2.1).

O município de Palestina ocupa uma extensão territorial de 988.2 Km², é limitada pelas coordenadas geográficas representadas pelos paralelos 5°47'S e 5 44'S e pelos meridianos 48°27' e 48 18'W.

Os limites municipais de Palestina do Pará são à norte e à oeste, com o Município de Brejo Grande do Araguaia, ao sul com Município de São Geraldo do Araguaia e à leste com o Estado do Tocantins.

O acesso ao município pode ser feito por vias terrestre e marítima, sendo que dista de Belém em linha reta, cerca de 286 Km.

A partir de Marabá, os rios Tocantins, Araguaia e Itacaiúnas, possibilitam, com restrições, o acesso à área por pequenas e médias embarcações, equipadas com motor de “popa”, em qualquer época do ano.

O acesso rodoviário pode ser feito via estrada pavimentada PA-150, principal via de acesso num percurso de 540 Km a partir da cidade de Belém, que apresenta comunicação com a BR-230 (Rodovia Transamazônica), permitindo o tráfego até a PA - 459 que liga a sede do município de Brejo Grande do Araguaia à Palestina do Pará.

2.3 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E HIDROGRÁFICOS

2.3.1 Clima

A região estudada está situada predominantemente, em zona de clima equatorial quente e superúmido (com pouco ou nenhum déficit de água).

Segundo a classificação de KÖPPEN (ROSATELLI et. al. 1974), com base, principalmente nas precipitações pluviométricas e nas temperaturas, o clima da região se apresenta com os tipos Am (tropical úmido e monção) e Aw (tropical úmido).

O período de inverno com chuvas vai de janeiro a maio, com as mais elevadas precipitações em março e abril, sendo que o verão se estende de junho a dezembro.

De acordo com a classificação de THORNT-WAITE (ROSATELLI et. al. 1974), que considera os índices representativos de umidade, aridez e eficiência térmica, diretamente derivados da precipitação pluviométrica e da temperatura, a Folha Marabá enquadra-se em uma região de clima úmido a sub-úmido.

A área em questão apresenta temperatura média mínima, anual, de 10°C a 26°C, com a média máxima de 25°C a 35°C, e umidade média anual de 85%.

2.3.2 Vegetação

O trabalho de VELOSO et al. (1974) apresenta as fisionomias mais comuns ocorrentes na região. De acordo com os autores, a área é servida por uma floresta bem expressiva quando comparada com o cerrado e à faixa de mistura floresta/cerrado. O **cerrado** aparece com as fisionomias de campo cerrado, às vezes alterado na sua forma degradada de parque, e de cerradão. O campo cerrado é denominado a espessas árvores baixas e esgalhadas. Quando este campo cerrado é alterado pelo fogo anual, fica reduzido a uns poucos indivíduos arbóreos distribuídos sobre extensos campos gramíneos, intercalados por inúmeras plantas lenhosas rasteiras.

Diversifica-se em três fisionomias, correspondentes a litologias diferentes: área arenosa com predominância de floresta aberta de babaçu e encaves de campo cerrado sobre testemunhos areníticos; áreas de encaves de floresta densa nos morrotes, floresta aberta mista de babaçu nos vales, e campo cerrado nas cristas e; áreas arenosas com encaves de cerradão, nas

cristas quartzosas, e floresta aberta mista de babaçu, misturada com espécies de cerrado, nas partes baixas e aplainadas.

O número de indivíduos de breu-preto e taxi-preto e de grandes árvores de cedrorana e faveiras aparecem por unidade de área.

O mogno localizado nos vales, e o pau-preto que se distribui nos vales e interflúvios, contribuem para o aumento por unidade de área. A **floresta aberta** esta unidade recobre a maior parte da área sedimentar, onde o cipoal e o babaçal, aparecem nas áreas aplainadas e nos vales respectivamente. A **floresta densa** é caracterizada pela castanheira pau-d'arco e caripé que dominam a área. Este tipo de floresta aparece intercalando a floresta aberta, onde se registram os tipos de babaçu nos vales, ou o inajá nos vales abertos, e de cipoal nas largas depressões aplainadas e nas encostas de baixas colinas.

2.3.3 Solos

De acordo com o trabalho executado por ROSATELLI et al. (1974), na região ocorrem diferentes tipos de solos, entre eles estão: **Latossolo Vermelho-Amarelo**, essa unidade ocorre em relevo suavemente ondulado, próximo ao rio Araguaia. O material originário do componente mais importante a ele associado é o filito-xisto. São solos argilosos, bem drenados, às vezes com concreções, com estrutura maciça e fertilidade natural variando de baixa a média; **Brunizém Avermelhado** são solos de textura argilosa até arenosa, bem a excessivamente drenados, fertilidade natural variando de alta a baixa. Estes solos são encontrados em terrenos com relevo suavemente ondulado, originados da decomposição de rochas básicas e também arenitos; **Podzóico Vermelho-Amarelo**, esta unidade é constituída de solos argilosos, bem drenados. É encontrado em relevo suavemente ondulado e localmente, sob a vegetação de floresta, proveniente de granitos, filito-xistos e sedimentos inconsolidados; **Areias Quartzosas**, são solos arenosos e argilosos, excessivamente drenados, com estrutura em grãos simples e maciça, de fertilidade natural baixa. O relevo onde aparecem esses solos é suavemente ondulado e são originários da decomposição de arenitos e siltitos do domínio das Formações Itapecuru, Motuca e Sambaíba e **Solos Aluviais e Hidromórficos**, são constituídos de solos de textura indiscriminada, moderadamente profundos, pouco desenvolvidos e sempre condicionados à influência de hidromorfismo. São solos ácidos com alta percentagem de alumínio. São encontrados em terrenos planos, em ilhas ou baixadas aluviais ao longo de rios. Resultam da

sedimentação de materiais recentes (Holoceno), carregados pelas correntes e deposições orgânicas.

2.3.4 Hidrografia

Na região estudada, o rio **Araguaia** figura entre um dos rios, considerados mais importantes no nosso Estado, com base em extensão, volume d'água e potencialidades econômicas, onde nas suas margens localizam-se os principais núcleos populacionais do sudeste do Pará.

Com 2.627 Km de extensão, o rio Araguaia, nasce no Morro Vermelho da Serra Pelada, na divisa dos Estados do Mato Grosso e Tocantins. Drenando em direção SW-NE, deságua na margem esquerda do rio Tocantins. Pela margem esquerda tem os seguintes afluentes: rios das Mortes e Manso, das Garças, Barreiros, Cristalino e das Vertentes. Pela margem direita, rios do Peixe, Formoso, Xavante, Água Limpa, Vermelho, Caiapó e das Lontras.

O Araguaia é famoso pela beleza de suas inúmeras praias que se formam ao longo do seu curso, na época de estiagem. Esse fenômeno também ocorre na cidade de Palestina, onde os bancos de areias formam praias no seu leito (Figura 2.2).



Figura 2.2 Rio Araguaia que em sua margem está situada o núcleo populacional de Palestina

2.4 ASPECTOS HISTÓRICOS, SOCIAIS E ECONÔMICOS

2.4.1 Aspectos Históricos

O processo de ocupação espontânea do núcleo urbano original teve início na década de 50, mas precisamente no ano de 1958, com a chegada de Olindo Ribeiro de Souza, pernambucano de Araripina, vindo do Araguatins, em busca de terras para plantar por indicação de um amigo que lhe informou o lugar. Ao desembarcar às margens do rio Araguaia, observou que sua orla não era propícia para o plantio por causa das constantes enchentes desse rio, e portanto decidiu explorar em direção ao interior. Nessa ocasião foi informado que o fazendeiro conhecido por “Zé Lima”, se intitulava dono daquelas terras (SEPLAN, 1993).

De volta a Araguatins, procurou o juiz daquela localidade, que lhe sugeriu consultar em Marabá, Nilo Abade, representante do cartório de registro de imóveis, para obter informações mais concretas sobre as terras pretendidas, uma vez que desconhecia a titulação das mesmas.

Em Marabá, Nilo Abade, com base na pesquisa realizada no referido cartório, informou que a aquela região desde o “Gorgulho” (pedra pequena encontrada à beira do rio Araguaia) não tinha dono. Solicitou, desta forma, que este informasse por escrito os resultados da pesquisa e lhe desse uma autorização para lá se estabelecer. No dia 21 de abril de 1958, juntamente com a família, chegou a região para se fixar definitivamente. Posteriormente por seu intermédio, chegaram outras pessoas, todos oriundos do Araguatins. Estes primeiros habitantes viviam da caça e pesca, de roçado e da colheita de babaçu. Durante algum tempo, este núcleo ficou conhecido como “Centro do Olindo”. Com a chegada dos protestantes, Olindo passou a freqüentar a igreja deles e, um certo dia, lendo a Bíblia, gostou da palavra Palestina. Foi até a sede do município de São João do Araguaia solicitando ao então prefeito que mudasse o nome da localidade. Em 1963, no documento de nomeação de uma professora para a escola local, já vinha especificado Palestina.

2.4.2 Aspectos Sociais e Econômicos

De acordo com estudos da SEPLAN (1993), o Município de Palestina do Pará, apesar de ter sua localização privilegiada, numa das regiões mais prósperas do Estado, em termos de

potencialidades econômicas e naturais, tem qualidade de vida da população do município é precária.

Segundo esses estudos, na parte rural no município apresenta-se descaracterizada, observando-se uma grande concentração de fazendas, que paulatinamente, vão substituindo a vegetação nativa por grandes áreas de pastos. Proliferam-se também, as queimadas, que causam alterações na temperatura, contribuindo junto com a poeira, para a poluição do meio ambiente.

As condições de moradia são extremamente precárias, prevalecendo as construções de um pavimento, com no máximo três cômodos de madeira e taipa, cobertas de palha de babaçu, telha de barro ou fibrocimento.

Na época dos estudos, a cidade contava com 400 habitações (60% de alvenaria e 40% de madeira) e tinha uma população de aproximadamente 6000 habitantes.

A cidade subdividiu-se em cinco áreas conhecidas como cidade velha, nova palestina, galiléia, roncadeira e alto bonito.

A ocupação de Palestina desde o início está vinculada à atividade agrícola, onde está fixado as culturas de arroz, milho, feijão e mandioca.

A localização do núcleo original às margens do rio Araguaia, beneficiou os habitantes quanto a caça, a pesca e o extrativismo, principalmente do babaçu e da castanha-do-Pará.

Apesar de ser considerado de pequeno valor, o babaçu gera inúmeros subprodutos (a casca produz o carvão, o bagaço é utilizado como ração e a amêndoa dá origem ao azeite e até mesmo a produção de sabonete artesanal), que ajudam na complementação da renda familiar, e essa atividade é realizada exclusivamente por mulheres, as chamadas “quebradeiras de coco”.

A atividade industrial está concentrada basicamente nos setores oleiro-cerâmico (restringe-se a produção de tijolos e telhas) e de produção de alimentos.

A atividade comercial é incipiente. Existem em média, trinta estabelecimentos varejistas de apoio local.

O setor de prestação de serviços conta apenas com dois hotéis, tipo dormitórios e dois açougues. Não existe matadouro, mercado municipal, feira livre do pequeno produtor, agência bancária, entre outros.

Quanto ao setor de administração municipal, a sede conta apenas com um prédio, além da agência dos correios e da biblioteca pública.

Quanto a segurança, a SEGUP (Secretaria do Estado de Segurança Pública), mantém na sede do município, uma casa de madeira, que serve apenas para contingente policial.

O município não conta com sistema de energia elétrica. Em algumas localidades, o problema vem sendo contornado com a utilização de motores-geradores.

O sistema de telecomunicações é servido por uma agência dos Correios e com um posto de serviço da TELEPARÁ.

3 CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA E METODOLOGIA

3.1 INTRODUÇÃO

A aplicação da maioria dos métodos elétricos em prospecção geofísica consiste em medir a distribuição de resistividade dos materiais em subsuperfície e interpretá-las em termos de dados geológicos. Como nesse trabalho o objetivo é prospectar água subterrânea, usou-se o método de eletroresistividade, em que a corrente é conduzida através do solo, utilizando contatos galvânicos (eletrodos), sendo o elemento de entrada uma corrente elétrica que é injetada diretamente ao solo através de dois pontos, enquanto que o elemento de saída é a voltagem medida em outros dois pontos.

3.2 MÉTODO DE PROSPECÇÃO UTILIZADO NO CAMPO

3.2.1 Método Elétrico (Eletroresistividade)

No método elétrico de eletroresistividade os diferentes horizontes são caracterizados por suas resistividade verdadeiras. A resistividade verdadeira de um dado material é definida como a resistência de um condutor feito deste material de comprimento unitário e seção unitária normal a passagem de corrente. Dessa forma a resistividade não é apenas função das dimensões do condutor, mas sim de sua natureza física, permitindo assim caracterizar as diferentes camadas geológicas de uma dada seqüência estratigráfica.

Há dois procedimentos comuns utilizados nas medições de resistividade aparente, conforme o objetivo que se quer alcançar para investigar a subsuperfície da terra: Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e Perfilagem Elétrica de Superfície ou Caminhamento Elétrico (ORELLANA, 1972).

Para a aplicação desse método se tem uma grande variedades de arranjos de eletrodos para as medidas de resistividade aparente da terra em subsuperfície, sendo que o utilizado no campo foi:

3.2.1.1 Arranjo Schlumberger

No arranjo Schlumberger estuda-se a variação de resistividade com a profundidade, aumentando gradativamente o espaçamentos dos eletrodos, o qual também é amplamente usado nas medições da resistividade terrestre, esta projetado para medir aproximadamente o gradiente de potencial. Nesse arranjo, dois eletrodos de potencial (M,N) proximamente espaçados, estão colocados entre os dois eletrodos de corrente (A,B), a corrente está representada por (I) e a diferença de potencial por (ΔU), como mostra a Figura 3.1. O espaçamento para este arranjo é tomado como a metade da distância entre os eletrodos de corrente.

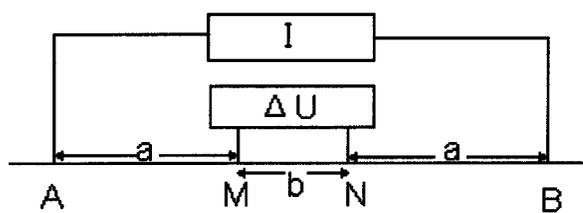


Figura 3.1 Arranjo Schlumberger, utilizado nas medições de campo

No arranjo Schlumberger, os eletrodos, M e N de medida são colocados suficientemente perto um de outro de modo que a razão entre a voltagem separação seja aproximadamente de eletrodos aproximadamente seja igual à gradiente de voltagem no ponto médio do arranjo da. O erro introduzido por ter uma separação mensurável entre os eletrodos de medida pode ser avaliado pela consideração de um fator geométrico para o caso na qual a gradiente, do campo elétrico (E), é realmente medida. E é através da equação 01 determinamos o fator geométrico:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{a - \frac{b}{2}} - \frac{1}{a + \frac{b}{2}} - \frac{1}{a + \frac{b}{2}} + \frac{1}{a - \frac{b}{2}}} = \pi \left(\frac{a^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \quad (01)$$

3.3 TÉCNICAS DE INTERPRETAÇÃO

3.3.1 Modelagem direta

Com base na geologia da área e no comportamento dos dados de campo a análise dos modelos idealizados representando a subsuperfície, que em nosso caso foi tomado por uma sucessão de camadas horizontais, homogêneas e isotrópicas, considerando sempre uma uniformidade em suas propriedades físicas.

O procedimento para a interpretação quantitativa dos parâmetros geoeletricos, é dado através de um processo comparativo de tentativa e erro, seguindo as seguintes etapas:

- Atribuem valores para os parâmetros, que exige o programa que são os seguintes: números de camadas; valores de resistividade e espessura para cada camada.
- Faz-se a comparação visualmente dos modelos criados e gerados até chegarem o mais próximo possível, levando em consideração a geologia da área, para eliminar as possíveis ambigüidades dadas pelo efeito de equivalência.

Se a comparação mostrar que os efeitos calculados ajustam-se satisfatoriamente aos efeitos medidos, os valores numéricos, atribuídos aos parâmetros do modelo, são tomados como possíveis valores dos parâmetros da feição subsuperficial, que poderia ter produzido os efeitos medidos na campo; em caso contrario, todo o procedimento é repetido.

3.3.2 Modelagem Inversa

A primeira modificação no método de regressão 'Ridge' foi concernente ao valor ponderado. Devido ao erro nas medições na resistividades aparentes (ρ_a), se considera o logaritmo da ρ_a para eliminar o vetor de valor ponderado requerido em cada ponto. Outro resultado útil ao considerar o logaritmo da espessura e das resistividades em vez das espessuras e resistividades no processo de inversão, e a exclusão de valores negativos de espessura e resistividades como possíveis soluções.

Seja G o logaritmo das resistividades aparentes e P os logaritmos dos parâmetros, então relacionando P e G através de uma expressão linear temos:

$$\Delta G = A \Delta P + \varepsilon, \quad (02)$$

sendo a matriz A igual a :

$$A_{ij} = \left. \frac{\partial G_i}{\partial P_j} \right|_{p_0} \quad (03)$$

A expressão ΔP pode ser considerada como :

$$\Delta P = (A^T A)^{-1} A^T \Delta G, \quad (04)$$

denotando os índices T e -1 como a transposta e inversa, respectivamente. Esta expressão 04 é rápida quando converge, mas instável; e precisa de valores iniciais quase exatos para a convergência. Para assegurar uma convergência com valores iniciais aproximados deixamos ao lado a velocidade e modificamos a expressão 04 como:

$$\Delta P = (A^T A + k I)^{-1} A^T \Delta G, \quad (05)$$

sendo I a matriz identidade e k uma quantidade positiva segundo Levenberg, Foster, Marquardt apud RIJO et al. (1977). Se k é muito grande a expressão 05 é lenta mas converge, se k é muito pequeno a expressão 05 se aproxima à 04, isto é, aumenta em rapidez mas pode divergir. Esta técnica na qual se altera o valor de k durante o processo de inversão é conhecida como regressão Ridge e foi criada para assegurar uma convergência estável e rápida.

Neste processo temos as seguintes etapas:

Os dados medidos durante o levantamento de campo são introduzidos no computador quase sempre com valores iniciais para os parâmetros que se desejam estimar do modelo adotado.

Na primeira etapa os dados suavizados do levantamento são colocados no computador junto com os valores obtidos de primeira aproximação feita através do método direto como modelo inicial. Para isto se utilizou o programa computacional EGSLIB/SEVIDINV desenvolvido por Inmam apud RIJO (1994 b), baseado na técnica dos mínimos quadrados amortecidos (Ridge Regression) como algoritmo de inversão, o qual se comporta como o método de gradiente, mais permite a mudança do valor do estimador durante o processo de inversão para assegurar estabilidade e rápida convergência, com maior precisão tanto do ajuste dos ruídos nos dados

como dos parâmetros das camadas do modelo é estimada. Este método de inversão permite estabelecer modelos mais representativos do subsolo através de um número determinado de interações e o grau de exatidão nas respostas dependerá da concordância entre o modelo inicial dado através do método direto e a geologia da área investigada.

3.4 METODOLOGIA

As investigações hidrogeológicas constituem o campo de aplicação onde a superioridade da SEV sobre outros procedimentos é indiscutível. Segundo ORELLANA (1972), 80% dos trabalhos de prospeção geofísica para hidrogeologia se faz por métodos elétricos e dentro deles a maior quantidade de trabalho corresponde as SEV.

O que se procurou com este procedimento foram estruturas e camadas aquíferas através da diferenciação entre as características elétricas das camadas da subsuperfície.

Na etapa de campo foram realizadas 21 SEVs utilizando o arranjo Schlumberger, executados ao longo das ruas não pavimentadas da cidade de Palestina do Pará e ao longo das principais caminhos de acesso tanto de Brejo Grande como de Palestina, com preferência em locais onde não apresenta desnível topográfico e com espaço suficiente para a abertura dos eletrodos de 500m.

O desenvolvimento do trabalho se deteve em três etapas principais:

1- Etapa Pré-campo: Esta etapa se desenvolveu e obedeceu as seguintes tarefas:

- Levantamentos bibliográficos sobre a geologia e geofísica da região de Palestina.
- Levantamentos, consultas e interpretação de mapas e cartas de diferentes escalas sobre a geologia e geofísica da área de trabalho.

2- Etapa de campo: Nesta etapa foram desenvolvidas as seguintes atividades:

- Preparação dos equipamentos de prospeção geofísica de eletroresistividade (Resistivímetro), estando representado na Figura 3.2.
- Escolha da localização e densidade das sondagens
- Realização de 21 SEVs
- Utilização de mapas geológicos, de drenagem e de vias de acesso para a localização dos pontos de sondagem

3- Etapa Pós-Campo: No decorrer desta etapa foram executadas as seguintes atividades:

- Processamento das SEVs
- Interpretações das SEVs.
- Confecções de secções geométricas.
- Confecções de mapas de isopropundidades.
- Preparação da Tese Final.



Figura 3.2 Resistivimetro, equipamento utilizado para as medidas de campo

4 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

4.1 GEOLOGIA REGIONAL

Ao longo das últimas décadas, tem-se feito varias propostas da organização de entidades e/ou unidades litoestratigráficas para a Amazônia, onde a maioria dessas propostas por carência de sustentação multidisciplinares vem sendo abandonada ao longo do tempo.

As análises de padrões, formas e geometrias das unidades geológicas associadas aos elementos estruturais descritos em várias hierarquias permitem caracterizar na área de estudo uma compartimentação maior onde o arranjo espacial temporal e crustal dos conjuntos rochosos é entendido como dois conjuntos ou províncias principais: A Faixa Araguaia Orogênica e a Bacia do Parnaíba (Figura 4.1). A relação entre as unidades destas províncias se faz por contatos discordantes

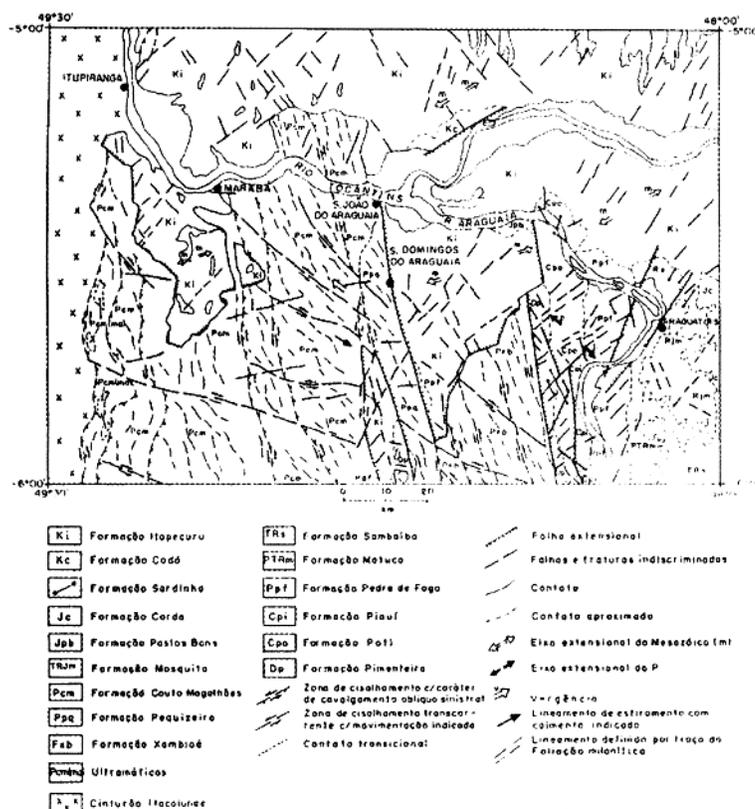


Figura 4.1 Mapa geológico da Folha Marabá (compilado de ALMEIDA et al., no prelo)

4.1.1 A Faixa Araguaia

É um cinturão de dobramento que ocupa a porção centro-norte estendendo-se para norte do país, onde é recoberta por sedimentos fanerozóicos da Bacia do Parnaíba. Encravada na porção ocidental da Província Tocantins, comporta rochas poli e unideformadas, aleitadas e imbricadas concordantemente. As rochas do Cinturão, encaixadas no Supergrupo Baixo Araguaia, representam uma sucessão metavulcano sedimentar, destacando-se dois grupos distintos. O inferior reúne originalmente uma seqüência composta por arenitos, com variações pelíticas mais restritas (Formação Morro do Campo e grande parte da Formação Couto Magalhães). A porção superior envolve sedimentos mais finos, pelíticos, carbonáticos restritos, e psamopelíticos feldspáticos (formações Xambioá, Pequizeiro e Canto da Vazante). O embasamento da Faixa Araguaia é formado por complexos gnaíssicos arqueanos (Colméia, Rio dos Mangues e Xingu) e granitóides proterozóicos, completam o quadro regional (ABREU *et al.*, 1994).

HASUI & COSTA (1990), definem como um cinturão de cisalhamento oblíquo cavalgante de baixo ângulo, constituído por um conjunto de rochas supracrustais de “trend” geral de foliação com orientação variando de NNW - SSE e NNE – SSW, resultante do cavalgamento do bloco Parangatu sobre o bloco Araguacema com idade atribuída ao proterozóico inferior a médio. A movimentação preferencial se deu de SE para NW. Zonas transcorreste com orientação WNW – ESE são interpretadas como rampas laterais.

4.1.2 A Bacia do Parnaíba

É essencialmente uma bacia paleozóica, apesar das grandes áreas cobertas por finos depósitos mesozóicos (MESNER & WOOLDRIDGE 1964). A espessura de máxima sedimentação é aproximadamente 3 km, dos quais 2,5 km são do Paleozóico e o restante do Mesozóico. Rochas cambro-ordovicianas, moderadamente metamorfisadas, estão preservadas dentro de grabens instalados em rochas do Pré-Cambriano, repousando em discordância angular sob a seqüência não metamorfisada do Paleozóico médio e superior (MESNER & WOOLDRIDGE, 1964).

4.2 UNIDADES LITO-ESTATIGRÁFICAS REGIONAIS

4.2.1 Rochas da Faixa Araguaia

Segundo ALMEIDA et. al. (no prelo) as rochas da Faixa Araguaia são compostas pelas formações Xambioá, Pequizeiro e Couto Magalhães. A Formação **Xambioá** foi definida por ABREU (1978) para caracterizar a seqüência xistosa metassedimentares com paragênese mineral de metamorfismo de Fácies Anfíbolito. É composta por estauroлита-biotita xisto, muscovita-quartzo xisto e biotita xisto, todos com granulação variando de fina a média e com textura lepidoblástica. Ocorrem como acessórios calcita, plagioclásio, apatita, opacos, zircão e turmalina. Outra litologia com ocorrência freqüente são os anfíbolios xistos como metavulcânicas máficas no pacote sedimentar. A Formação **Pequizeiro** foi estudada primeiramente por GUERREIRO & SILVA (1976) em trabalhos executados nas regiões de Pequizeiro, colocando-a no Grupo Tocantins. É constituída por xistos de coloração cinza esverdeados, com granulação fina a média. Estas rochas são compostas essencialmente de quartzo, clorita, muscovita e biotita, ocorrendo como acessórios turmalina e magnetita. A Formação **Couto Magalhães**, foi definida por Hasui *et al* (1977, *apud* GORAYEB, 1981), para abrigar um conjunto de rochas sedimentares, que ocorrem na porção ocidental do Cinturão Araguaia. É composta por uma seqüência predominantemente pelítica de filitos e ardósias, com intercalações menores de quartzitos, cherts, metassiltitos, metargilitos, metagrauvas e calcários. Uma série de corpos ultramáficos serpentinizados, acham-se encaixados nos filitos, e silexites hematíticos disseminados.

4.2.2 Rochas da Bacia do Parnaíba

Pedreira *apud* ALMEIDA et. al., (no prelo), propôs uma interpretação para a sucessão vertical dos sistemas deposicionais da bacia do Parnaíba, baseadas nas oscilações do nível do mar ao longo do tempo, esta interpretação está representada na Figura 4.2

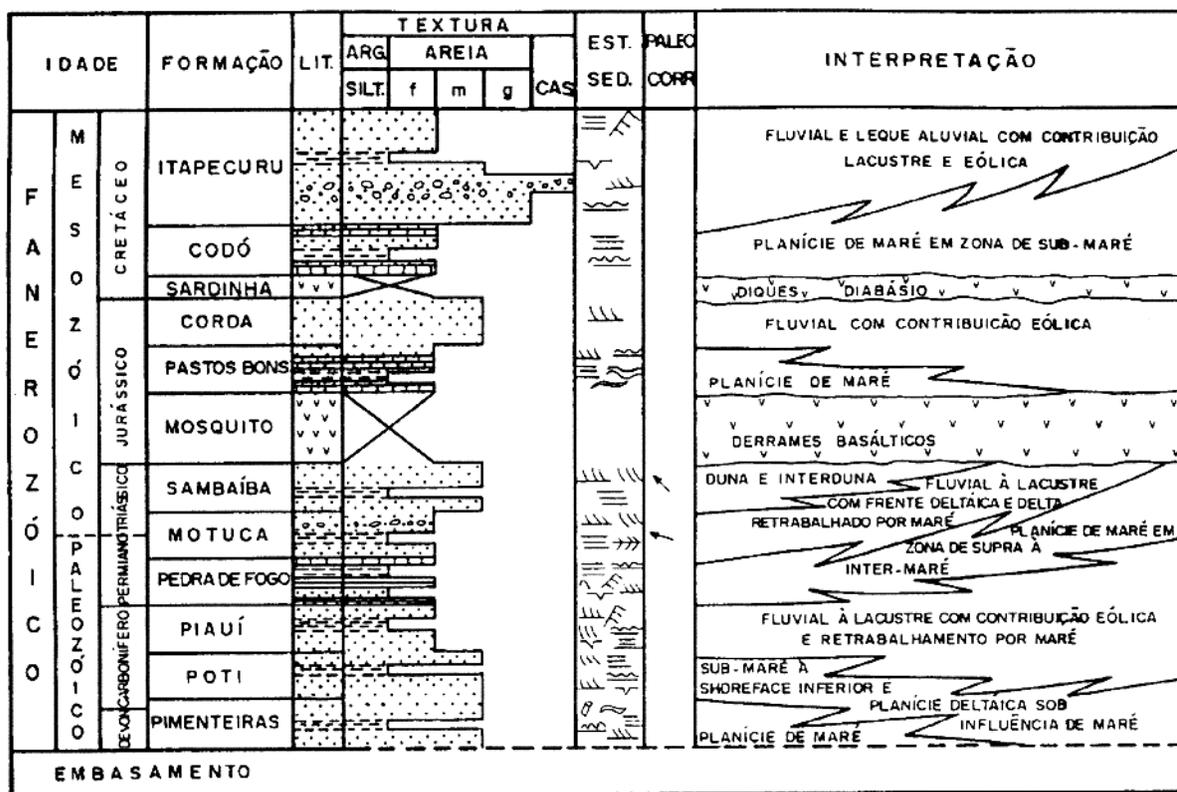


Figura 4.2 Coluna litoestratigráfica dos sistemas deposicionais da bacia do Parnaíba (Pedreira apud ALMEIDA et al., no prelo).

Small, *apud* ANDRADE & DAEMON, (1974) propôs o nome **Pimenteiras** para designar a seção de folhelhos e siltitos proximos a vila de mesmo nome, no município de Valença (PI). É caracterizada litologicamente por variações laterais gradativas de fácies, predominando o conjunto de clásticos finos, com sedimentos pelíticos presentes em toda seção, em especial na porção inferior de sequência. O nome Formação **Poti** foi introduzido por LISBOA (1914) para designar camadas de arenitos aflorantes no Rio Poti .

CAPUTO (1984) subdividiu-a em quatro membros : membro inferior de arenitos, membro de folhelhos e siltitos, membro de arenitos e membro superior de siltitos, folhelhos e diamictitos. A Formação Poti possui espessura máxima aproximada de 300 m de espessura, sendo recoberta pelos arenitos da Formação Piauí e recobrindo os folhelhos da Formação Longá. A Formação **Piauí** proposta por Small, *apud* GÓES & FEIJÓ (1994). Constitui-se de uma sequência essencialmente arenosa separada por intercalações de folhelhos, silito e sílex. Sua espessura está em torno de 330 m (MESNER & WOOLDRIDGE, 1964). A Formação **Pedra de Fogo**, proposta

por Barbosa e Gomes, *apud* AGUIAR (1971) assim denominaram uma sedimentação cíclica aflorante na área do Rio Tocantins. É caracterizada, essencialmente, por uma sequência de siltitos, folhelhos e calcários, cuja espessura é maior que 240 m.

A Formação **Motuca**, assim denominada primeiramente por Plummer, *apud* GÓES & FEIJÓ (1994) para designar arenitos e folhelhos intercalados com calcários e anidrita que ocorrem na parte central da bacia. AGUIAR (1971) dividiu-a em 3 membros: o inferior arenoso, o médio com predominância de folhelhos, calcários e anidrita e o superior também arenoso. Sua maior espessura encontra-se na faixa de 296 m. A Formação **Sambaíba** denominada inicialmente por Plummer, *apud* GÓES & FEIJÓ (1994). Seus afloramentos ocorrem na porção central da bacia e sua espessura é estimada em mais de 400 m. (AGUIAR, 1971), consiste de arenitos amarelos, róseos, acastanhados, com estratificação cruzada, de granulação fina à média e bimodal, com grande número de grãos dispersos, foscos, subarredondados, arredondados e esféricos; acamamentos cruzados em larga escala são comuns (CAPUTO, 1984). A Formação **Mosquito** AGUIAR (1971) denominou o conjunto constituído por derrames basálticos com intercalações de arenitos afossilíferos. Foi dividida em 5 membros: Basalto Inferior, Macapá, Basalto Médio, Tinguí e Basalto Superior (Northfleet e Neves, *apud* CAPUTO, (1984). Sua máxima espessura é estimada em 20m na porção W da bacia. A Formação **Pastos Bons**, foi denominada por MESNER E WOOLDRIDGE (1964), para designar um conjunto de arenitos e lamitos presentes na cidade de Pastos Bons (PI), que assentam-se discordantemente sobre a Formação Pedra de Fogo e Formação Motuca. Essa discordância é angular e erosiva, desenvolvendo na base da Formação um conglomerado com seixos de rochas das formações subjacentes, é recoberta concordantemente pela Formação Corda. A Formação **Corda**, LISBOA (1914) foi quem primeiro denominou os arenitos abaixo do fluxo de basaltos em Grajaú, Maranhão. CAMPBELL (1949), mais tarde usou o nome para todos os arenitos acima e abaixo dos folhelhos Corda. Sua espessura máxima é cerca de 70m, ocorrendo no sudoeste da bacia (CAPUTO, 1984). A Formação **Sardinha** AGUIAR (1971) denomina de Formação Sardinha os basaltos mapeados por Moore, *apud* AGUIAR, (1971). Esses basaltos são pretos, amigaloidais, alternando-se para arroxeados e em geral apresentam-se recobertos por siltitos e folhelhos cinza-arroxeados a marrom arroxeados. Sua espessura média em superfície é em torno de 20m (CAPUTO, 1984). A Formação **Codó**, também definida por LISBOA (1914). Resende e Pamplona, *apud* CAPUTO (1984), subdividiram-na em 3 unidades: Inferior. Média e Superior. A

unidade inferior consiste de um conglomerado basal seguido de camadas de folhelho betumioso preto e cinza-esverdeado, com finas intercalações de calcário, recoberto por camadas de 10m de gypso. A seção intermediária é composta na base de conglomerados polimíticos recobertos por folhelhos ostracoidais e "marls" com ostracoides, gastrópodos e lamelibrânquios no topo. A unidade superior refere-se a arenitos, siltitos e calcários micáceos, cinza intercalados com restos de plantas, ostracoides e gastrópodos. Pode atingir mais de 400 m de espessura. A Formação **Itapecuru**, primeiramente, foi definida por CAMPBELL (1949). Sua espessura máxima é estimada em cerca de 2000 m na Bacia de São Luís (CAPUTO, 1984). Consiste de arenitos avermelhados, médios a grossos, com faixas conglomeráticas, muito argilosos, pintalgados de caulim, com estratificação cruzadas incipiente e cruzada. Ocorrem intercalações de argilito e siltitos argilosos, de coloração variada. Seguem arenitos avermelhados e esbranquiçados, finos a médios, caulínicos.

4.3 GEOLOGIA LOCAL

A geologia do município de Palestina do Pará é bastante conhecida, contudo ainda existem alguns pontos polêmicos, principalmente no que se refere a questão litológica, alguns autores como ALMEIDA, (1995), identificam com base em critérios litológicos e estratigráficos, 4 unidades litoestratigráficas, nomeadas, de acordo com as colunas estratigráficas propostas por ABREU (1990) e ALMEIDA *et al* (1995), como Formações Xambioá pertencente a Faixa Araguaia e Formações Potí, Piauí, Pedra de Fogo, pertencentes a Bacia do Parnaíba além de coberturas sedimentares recentes (Figura 4.3) e outros como ASSIS *et. al.*,(1998) baseando-se também em critérios semelhantes ao de ALMEIDA (op. Cit.), propõe uma coluna litoestratigráfica dividida em 3 unidades que são Formação Xambioá, correspondente ao embasamento e Potí e Pedra de Fogo correspondendo ao sedimentos da Bacia do Parnaíba. (Figura 4.4).

4.3.1 A Formação Xambioá

É constituída essencialmente por mica-xistos que em geral apresentam um avançado grau de alteração intempérica adquirindo uma coloração rosa avermelhada (Figura 4.5) , as porções mais preservadas são representadas por anfibolitos com coloração cinza



Figura 4.5 Formação Xambioá, representado por xisto altamente intemperizado

esverdeada. Observa-se ainda a presença de magnetita e veios de quartzo fumê e hialino, e leitoso, ora concordantes ora discordantes com a foliação que apresenta atitude média de $30^{\circ}/NE$. Os veios de quartzo observados apresentam espessura que variam de 5 cm a 3 m .

Seu contato com as formações Poti e Itapecuru dá-se através de falhamentos, definidos por fotointerpretação.

Em alguns locais, observa-se no topo do pacote um nível conglomerático de aproximadamente 50cm de espessura com seixos de quartzo no xisto com tamanhos que variam de centimétricos a decimétricos (Figura 4.6) supostamente pertencentes ao Conglomerado Rio das Barreiras definido por GUERREIRO & SILVA (1976), que reconheceram o resto de uma cobertura detrítica sobre os metassedimentos da Faixa Araguaia na região do Projeto Guaraí-Conceição, sendo descrito como um conglomerado polimítico com seixos alongados de clorita

xisto e seixos de quartzo de diversos tipos com intercalações locais de siltitos e arenitos finos com matriz síltica e carbonática, depositados em ambiente, possivelmente sub-aéreo em bacias alongadas e estreitas com rápida sedimentação.



Figura 4.6 Seixos de quartzo da Formação Xambioá

4.3.2 Formação Pimenteiras

Esta unidade é composta por siltitos com níveis arenosos. Os arenitos destes níveis são finos, feldspáticos, micáceos, de coloração cinza-avermelhada, um pouco lateritizado, apresentando em algumas pontos marcas de onda. Os pacotes de silito nos quais estão intercalados estes arenitos são bem mais espessos, com laminação plano-paralela (Figura 4.7). A porção intermediária desta unidade é composta por um espesso pacote de arenitos finos, de coloração cinza esbranquiçada, micáceos, sem estruturação aparente. A porção superior é composta essencialmente por grandes pacotes de silito esbranquiçados a acinzentados, com laminação plano-paralela, ocorrendo também na base dos pacotes de siltitos estratificação flazer

(lentes de arenito conglomerático com aproximadamente 50 cm de comprimento dentro do pacote de silito).

É constituída por arenitos, silitos e subordinadamente folhelhos que se intercalam, predominando ora arenitos ora silitos.

O arenito tem composição quartzo-feldspática, as vezes lateritizado, com coloração cinza esbranquiçado, granulometria média a grossa com predomínio de grãos médios e subarredondados.

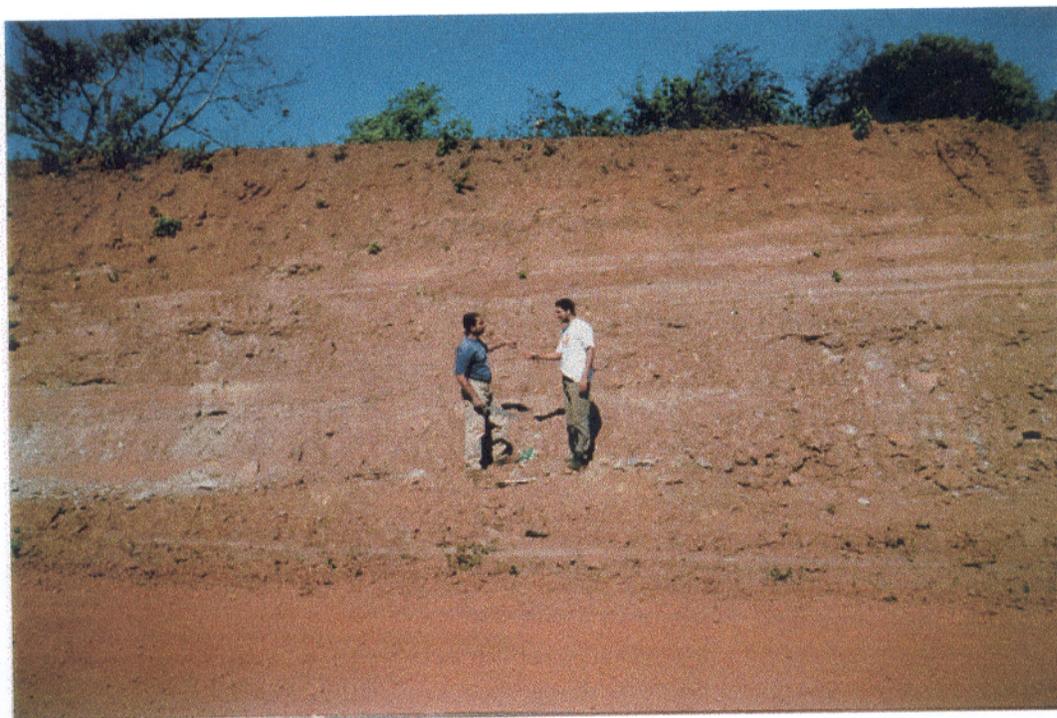


Figura 4.7 Intercalações de arenitos com silitos, dentro da Formação Pimenteiras

O silito possui coloração cinza esbranquiçado, as vezes vermelho tijolo devido ao intemperismo, com laminação plano-paralela com camadas de espessura de até 1m.

Os folhelhos apresentam coloração esverdeada a roxa, laminados, intercalados ora com silitos ora com arenitos, com camadas delgadas que variam de 3 a aproximadamente 10cm de espessura.

4.3.3 Formação Poti

A Formação Poti está presente ao longo das estradas que ligam a cidade de Palestina do Pará as localidades de Brejo Grande. É composta por arenitos e siltitos. O arenito possui coloração cinza esbranquiçado, ferruginoso com granulometria fina, bem selecionado, apresentando estratificação cruzada e plano paralela (Figura 4.8 e 4.9, respectivamente). Ocorre na forma de barras arenosas, as vezes apresentando estratificação cruzada sigmoidal de médio a grande porte (até com 1m de amplitude), raras estratificações cruzadas tipo *swaley* e estratificações cruzadas cavalgantes com tamanho médio de 3cm ou maciças, com espessuras que



Figura 4.8 Estratificação cruzada, na Formação Poti

variam de decimétricas a métricas com topo retrabalhado por ondas.

O siltito apresenta coloração cinza, micáceo com laminação plano-paralela, espessura que varia de 20 cm a 2 m, com níveis concrecionários (bolachas) com atitudes de N15W/13NE. Este pacote apresenta-se intercalado com o arenito.

O arenito tem composição quartzo-feldspática, as vezes lateritizado, com coloração cinza esbranquiçado (Figura 4.10), granulometria média a grossa com predomínio de grãos médios e subarredondados, presença de icnofósseis na forma de tubos, sets com estratificações cruzadas tabular espinha de peixe com espessura média de 25cm, intercalados com sets de estratificação

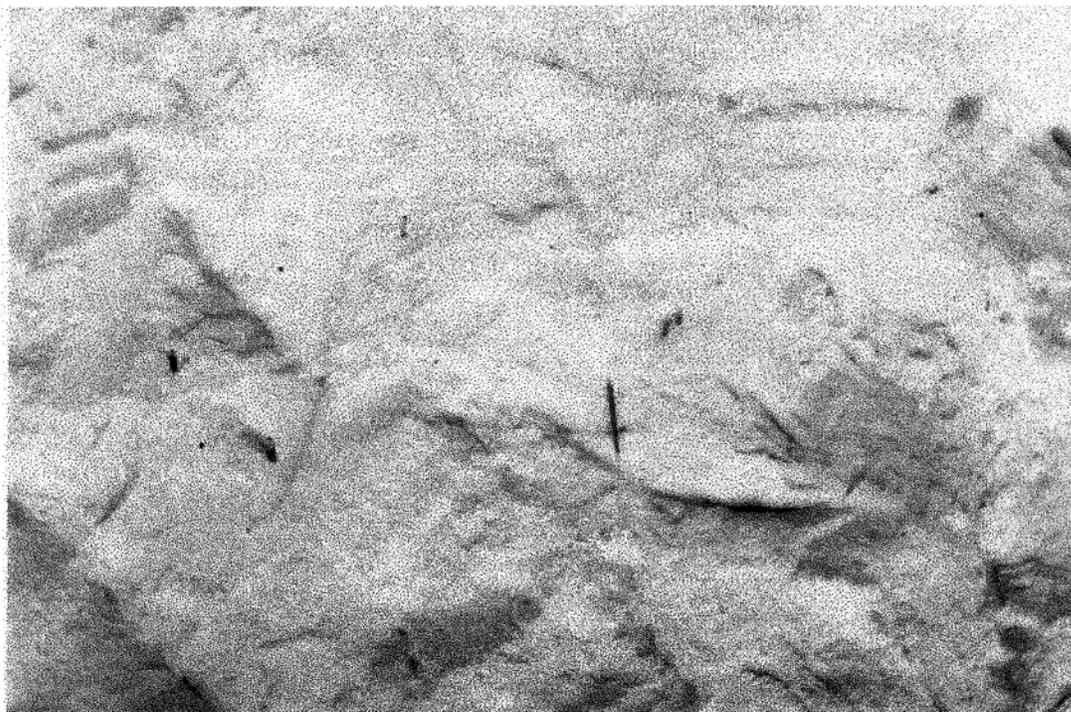


Figura 4.10 Arenito da Formação Piauí, de coloração esbranquiçada

cruzada plano paralela com espessura média de 5 cm e acamamento de 1°/ 45 AZ .

Em alguns pontos esse arenito apresenta camadas de até 30 cm de espessura com níveis lateritizados e intercalado com siltitos de coloração branco-acinzentado, com laminação plano-paralela e acamamento em torno de N22E/4SE.

O silito possui coloração cinza esbranquiçado, as vezes vermelho tijolo devido ao intemperismo, com laminação plano-paralela com camadas de espessura de até 1m.

Os folhelhos apresentam coloração esverdeada a roxa, laminados, intercalados ora com siltitos ora com arenitos, com camadas delgadas que variam de 3 a 10 cm de espessura.

Seu contato com a Formação Pedra de Fogo é concordante e gradacional . O ambiente na área de estudo foi definido por ALMEIDA (1995), como depósitos fluviais, lagunares com influência de marés e depósitos de dunas eólicas.

4.3.5 Formação Pedra de Fogo

Esta unidade é constituída por níveis de sílexitos de cor cinza esbranquiçado a creme (Figura 4.11), com dobras desenhadas pelo acamamento intercalados com camadas de siltito de cor cinza esbranquiçado com espessuras centimétricas com acamamento de N10W/5SW, bastante fraturado.

Apresenta contato por falhas normais com a Formação Pequizeiro. De acordo com ALMEIDA (no prelo), seu ambiente de sedimentação se deu em planície de maré mista, carbonático-siliciclástica rasa com variação de energia, ligada a mar restrito com influência de depósitos continentais-fluviais.



Figura 4.11 Níveis de sílex que compõe a Formação Pedra de Fogo

4.3.6 Coberturas Sedimentares Recentes

São constituídas por areias seixos, e argilas inconsolidados, relacionados às calhas dos cursos de água. Algumas argilas são provavelmente relativas à planícies de inundação e antigos terraços, observados às margens do Rio Araguaia, próximo a cidade de Palestina do Pará. Depósitos de canal constituídos por areias médias a finas de coloração branco amarelada são observadas nas margens e parte central do rio Araguaia, formando pequenas praias e barras arenosas no período de seca. (Figura 4.12).



Figura 4.12 Margem do rio Araguaia apresentando as coberturas sedimentares recentes

5 CARACTERIZAÇÃO GEOELÉTRICA

Neste capítulo usaremos como fonte principal as interpretações das Sondagens Elétricas Vertical (SEVs), utilizando basicamente o método de eletroresistividade, associados aos dados geológicos da área. Os dados geofísicos de eletroresistividade foram extraídos com o uso do arranjo Schlumberger, onde foram feitos 21 SEVs em locais diferenciados mais que continham as condições de pré-requisitos, que forão vistos no capítulo 3.

5.1 ESTUDOS GEOFÍSICOS E GEOLÓGICOS PRELIMINARES

O conhecimento geológico de qualquer área é imprescindível para a realização de qualquer levantamento geofísico, principalmente no que diz respeito a prospecção de água subterrânea, pois é de suma importância que se dispunha de dados de semi-detalle à detalhe.

Infelizmente os dados geológicos que dispomos da área de estudo não continham dados de furos estratigráficos profundos, só continham alguns furos de poços semi artesianos que possuíam no máximo 20 m de profundidade. Esse hiato, nos deixou impossibilitado de se fazer qualquer correlação geológica-geofísica de profundidade. Mas por outro lado tínhamos na literatura dados geológicos imprescindíveis para o trabalho, e ainda concomitantemente ao nosso trabalho de campo se tinha um grupo de geólogos da UFPa , fazendo o mapeamento geológico da superfície da área, dando mais subsídios para a interpretação do nosso trabalho.

Assim como o conhecimento geológico é importante, o conhecimento geofísico também deve ser feito, pois quanto mais dados existirem, menor será a complexidade da área alvo. A integração e sequência desses conhecimentos geológico-geofísico está representada na (Figura 5.1).

Quando se estuda uma sequência de rochas acamadas deve-se fazer uma distinção entre a seção geológica e a seção geoeétrica. Na seção geológica as camadas são definidas com base na granulometria, cor, mineralogia, dimensão e outros critérios puramente geológicos. Já a secção geoeétrica apresenta camadas que são definidas com base nos seus valores de resistividade aparente. Desse modo, nem sempre as duas seções são correspondentes; e é comum se encontrar uma unidade geológica correspondendo a várias unidades geoeétrica, bem como o caso inverso.

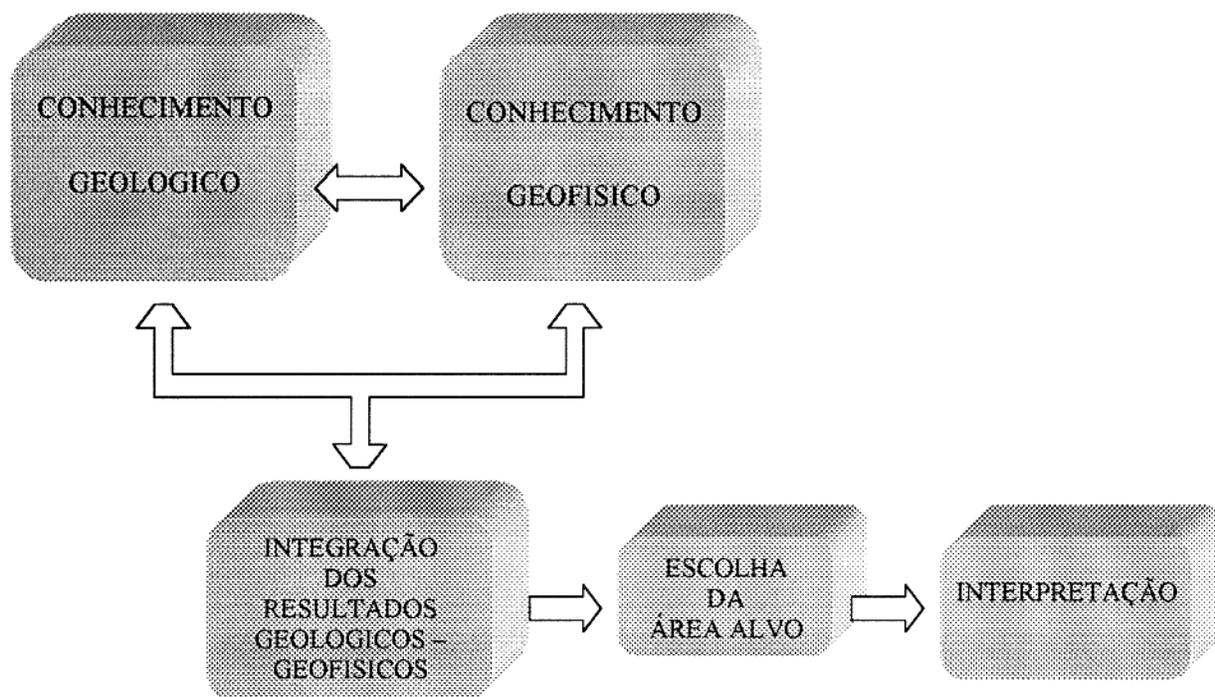


Figura 5.1 Fluxograma, mostrando as etapas da prospecção geofísica apoiada ao mapeamento geológico.

É bom lembrar que as rochas sedimentares, são formada por uma série de materiais constituídos desde argila a seixo, aumentando assim a permeabilidade e a resistividade dessas rochas. Esses materiais que usualmente que caracterizam essas rochas possuem as seguintes variações de resistividades: argilas que tem resistividades compreendidas entre 5 e 25 Ω -m; areias e seixos que vão desde 50 ate vários centenas de Ω -m, esses dados ajudam o entendimento para as possíveis interpretações.

Com isso podemos afirmar que é muito importante a seleção do método geofísico a ser aplicado na área alvo, para entender melhor através da comparação a caracterização geológica – geofísica do alvo.

E no caso específico de Palestina os dados geológicos que dispunham, contribuíram em muito para resolver algumas dúvidas de ordem geofísica.

5.2 PREPARAÇÃO DA ÁREA PARA AS MEDIDAS DE CAMPO

5.2.1 Preparação da Área Alvo

Esta etapa deve ser realizada antes de se fazer as medidas, levando em conta uma série de procedimentos que deve ser realizado de modo á torná-la viável e objetiva, dentre as quais

podemos citar: Variação topográfica para cada ponto de investigação; Arranjo e localização dos pontos de sondagens (Figura 5.2); Verificação do acesso para cada ponto de medida e principalmente verificar as fontes de ruídos.

5.2.2 Medidas de Campo

Durante o levantamento geofísico terrestre de eletroresistividade realizada no campo foram executadas 21 SEVs no município de Palestina, com arranjo Schumberger, com abertura máxima de AB de 600 m e MN máximo de 50 m (Tabela 1.2). O equipamento utilizado foi o Resistivímetro da marca R-100-A (Figura 3.2), construído por Geotest Industria Comercio de Equipamento Eletrônico, tendo potência de saída de 110 W, com intervalo de leitura variando de 0,1mV a 199,9 mV e o valor máximo de corrente fornecida é de 300 mA.

Tabela 1.2 Valores de AB/2 e MN usados no arranjo Schlumberger

MN	0.5	2.0	5.0	20.0	50.0
AB/2					
1.0	X				
1.3	X				
1.8	X				
2.4	X				
3.2	X				
4.2	X	X			
5.6	X	X			
7.5		X			
10.0		X			
13.3		X			
17.7		X			
23.7		X	X		
31.6			X		
42.2			X		
56.2			X		
75.0			X	X	
100.0				X	
133.4				X	
177.8				X	
237.1				X	X
300.0					X
426.0					X
500.0					X

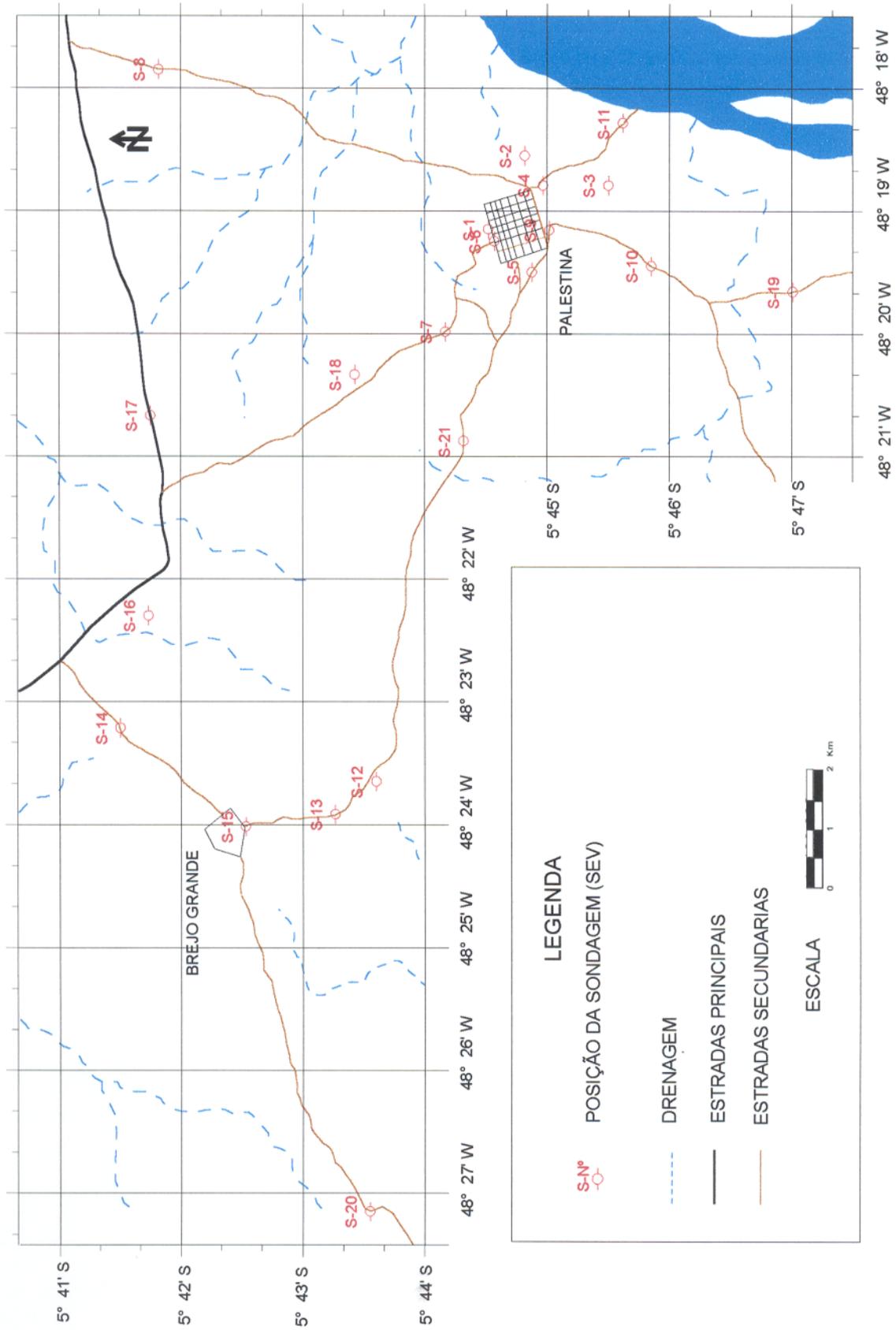


Figura 5.2 Mapa de localização das SEVs.

5.2.2.1 Realização da Sondagem

Nesta etapa deve-se ter alguns cuidados para cada sondagem Elétrica Vertical (SEV) como:

- Verificar as fontes de ruídos de cabos de alta tensão para não haver a contaminação dos dados.
- Verificar os contatos galvânicos dos eletrodos de corrente e de potencial.
- Durante as medidas, usa-se 4 mudanças nas posições dos eletrodos de potencial MN onde se tem duas medidas na mesma posição de eletrodo de corrente AB, esse procedimento que é conhecido por “embreagem” ORELLANA (1972), é necessário visando estabelecer melhor sinal nas medidas.

Para as medições da resistividade a instrumentação é usualmente simples.

- Primeiro se necessita de uma fonte de corrente, medidor de corrente, medidor de potencial, eletrodos e cabos elétricos. A corrente é gerada por baterias secas ou de automóvel, que tem a vantagem da portabilidade. Para trabalhos a grande escala se usam motores geradores movidos a gasolina. Esta corrente pode ter a forma de uma simples tensão de corrente direta, ou pode estar na forma de uma onda quadrada de baixa frequência num sistema de reversão de polaridade, objetivando alternar a direção da corrente de fluxo em intervalos de tempo e prevenir a polarização do material da subsuperfície. As medidas de potencial utilizando corrente continua recebem contribuições dos potenciais naturais (potencial espontâneo). Quando se utiliza corrente alternada a frequência é quase sempre inferior a 1 Hz e a forma da onda é normalmente senoidal.

- Os eletrodos de corrente são geralmente de aço ou de aço recoberto de cobre, ou ainda de latão, enfiados alguns centímetro no solo. Quando se tem áreas secas, o contato pode ser melhorado, colocando água no solo tornando-o úmido e mais condutivo. Simples estacas podem ter uma resistência de contato variando desde valores tão baixos como 10 ohm num solo argiloso e úmido, ate valores tão altos como dezenas de milhares de ohms em solos arenosos e secos ou em solos onde a composição seja principalmente húmus ou material vegetal.

A voltagem é usualmente medida com um potenciômetro. Para medidas de corrente são utilizados miliamperímetros que cobrem em geral uma faixa de variação que se estende desde valores inferiores a 1 mili ampère ate valores superiores a 1 ampère. Uma voltagem tão

pequena com 1mV poderia ser medida com uma exatidão de um por cento com uma melhor qualidade de potenciômetros usados em equipamento de resistividade terrestre.

Os eletrodos recebem duas denominações, eletrodos de corrente, utilizados para injetar corrente no solo, e eletrodos de potencial, utilizados para a captação das voltagens do subsolo. Os requerimentos para os eletrodos de potencial no circuito de medidas são diferentes do que os eletrodos da corrente. Não entanto, os eletrodos de potencial devem ser eletricamente estáveis, particularmente se baixas razões de comutação são usadas. Quando uma estaca de aço ou cobre é colocado no solo, a diferença de potencial entre o metal no eletrodo e a solução eletrolítica da porosidade do solo poderia tomar minutos para alcançar o equilíbrio e poderia variar eroticamente durante este período. Um eletrodo estável é obtido usando um eletrodo não polarizável, o qual é um eletrodo consistente de uma barra metálica imerso numa solução de um sal do mesmo metal num pote dentro de um pote de cerâmica. Tais eletrodos são chamados de não polarizados (NP). O material usado poderia ser cobre numa solução de sulfato de cobre, ou prata numa solução de nitrato de prata. Se a solução leva um excesso de sal em forma de cristal, ela sempre estará saturada, e se uma corrente momentânea passa através do eletrodo, não se terá mudança na concentração do eletrólito, e o eletrodo de potencial permanece essencialmente constante. O pote de cerâmica usado no eletrodo deve ser o suficientemente permeável de tal maneira que a água flua lentamente através dela para manter o contato entre o eletrodo e o solo úmido.

Os cabos para conexão dos eletrodos de corrente e dos eletrodos de medida para as medições do circuito não apresenta especiais requerimentos. Cabos finos são recomendáveis exceto quando correntes muito fortes são necessárias. É importante que um isolamento de alta qualidade seja usados para evitar a fuga de energia entre o circuito de corrente e o circuito de medida é umas das primeiras fontes de error nas medições de resistividade.

5.3 TRATAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Depois de uma análise cuidadosa das 21 Sondagens Elétricas Verticais (SEVs), com a finalidade de detectar os possíveis erros cometidos no campo, e analisando ao mesmo tempo a qualidade dos dados, através da interpretação quantitativa utilizando o modelo de camadas horizontais, homogêneas e isotrópicas, se pôde elaborar um modelo geoeétrico da área em

questão como: Definição geométrica e profundidade do embasamento, espessura, geometria, profundidade e mergulho das camadas que se encontram sobrejacente ao mesmo, e conseqüentemente o topo, e a base da camada com potencialidade hidrogeológica (aquífera), onde essa camada será o grande alvo para a exploração dos possíveis recursos hídricos subterrâneo da referida localidade.

INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA

A interpretação geofísica é o procedimento que permite a obtenção de informação geológica a partir de medidas geofísicas (Lúcia). A finalidade dos trabalhos de sondagem elétrica vertical (SEV) tem como objetivo principal a determinação da estrutura do subsolo da zona estudada. Para chegar a isso, primeiro obtemos a distribuição de resistividades no subsolo e depois procuramos o significado geológico de tais resistividades, isto é, se passa do corte geoeletrico ao corte geológico.

O procedimento para reconhecer se uma camada é o não equivalente, consiste simplesmente em comparar e agrupar as curvas com aquelas que integram uma mesma família ou aquelas que são mais afins entre si. Como passo prévio à interpretação quantitativa selecionamos e agrupamos a informação obtida através de uma interpretação qualitativa.

Esta tem como objeto conseguir uma primeira idéia ou aproximação da estrutura do subsolo estudada. Nela não se determinam as espessuras nem as resistividades em valor absoluto, mais sim se trata de estabelecer relações de desigualdade, tais como zona de profundidade máxima ou mínima de um horizonte guia pré determinado, delimitando desta maneira áreas de diferentes condições geológicas. Para isso primeiro classificamos as curvas das SEV baseando no tipo característico da curva (K, H, Q, A ou alguma combinação destas) e posição geográfica, delimitando as zonas de SEV com características semelhantes, as quais serão zonas de condições geológicas aproximadamente homogêneas.

A interpretações de cada SEV se deu através do emprego do método direto, que consiste no cálculo de um modelo teórico a partir de um modelo numérico, variando as características das camadas (espessura e resistividade), fazendo o ajuste visual do casamento das curvas anteriormente citadas. Já a interpretação do método inverso, consiste a partir de um programa computacional, usando a regra de regressão múltipla (RIDE REGRESSION), e partindo do

modelo conseguido do método direto, vai haver a integração de novos modelos até chegar a convergência, onde o resultado do modelo inverso é o mais próximo possível da diferença entre os modelos numérico e o de campo.

5.3.1 Análise Individual das SEVs

A partir da comparação dos resultados das interpretações de cada uma das 21 SEVs estudadas, propusemos um modelo baseado na correlação entre os diferentes horizontes geoeletricos, tendo como o principal critério os valores de resistividade aparente e também nas posições relativas entre os mesmos, estando apresentado na Tabela 1.3. Segundo BHATTACHARYA & PATRA, (1968); ORELLANA, (1972); KOEFOED, (1979) a equivalência elétrica de condutância longitudinal, tem variações apreciáveis; quando uma camada condutora encontra-se sobre um estrato resistivo. As interpretações foram feitas, baseado nos valores de resistividade e espessura das camadas mais próximo possível do ajuste.

5.3.1.1 Primeiro Horizonte Geoeletrico

Este horizonte geoeletrico está associado ao solo, exhibe uma faixa larga de variação de valores de resistividade, como por exemplo na SEV 07 que tem 14000 $\Omega.m$ e 1,0 m de espessura e na SEV 08 que tem 150 $\Omega.m$ e 0,5 m de espessura ; essa variação que vai de dezenas de $\Omega.m$ até milhares de $\Omega.m$, tornando esse horizonte, correlacionava com o solo, quando o mesmo está desprovido de vegetação, ficando muito rígido e seco, contribuindo assim para um valor muito alto de resistividade. Já os valores baixos de resistividade são solos na maiorias das vezes formados por areias ou úmidos. Com respeito as espessuras na maioria das SEVs se tem uma espessura que não ultrapassa de 2 m de profundidade, salvo exceções na SEV10, que tem 4,4m, na SEV 12 com 3,9 m e na SEV11 com 2,5 m, estando mostrado na Tabela 1.3

5.3.1.2 Segundo Horizonte Geoeletrico

O segundo horizonte geoeletrico, ocorre em todas as 21 SEVs, com exceção da SEV20 e apresenta valores de resistividade variando de 280 $\Omega.m$ até 3650 $\Omega.m$ e espessuras entre 1m e 65

Tabela 1.3 Resultados das interpretações das SEV's efetuadas no município de Palestina do Pará

Nº das SEV's	Resistividade aparente dos horizontes (ohm.m)										espessura das camadas (m)					espessura total (m)	prof. da base do aquífero(m)	prof. do topo do aquífero(m)	prof. do topo do embas. (m)
	r1	r2	r3	r4	r5	r6	h1	h2	h3	h4	h5								
1		600	400	700	170		1	1	16	39				57,0	55	20			
2	2500	300	40	300			1	3,7	41					45,7	100	30			
3	4500	1100	110	500			6	86	38					130,0	195	60			
4	700	350	120	600	60		2,4	6	23	53				84,4	86	40			
5	550	800	50	500	100		1	5,4	48	65				119,4	122	55			
6		1200	170	250	80			1,2	39	31				71,2	72	40			
7	3000	14000	850	70	400		13	13	40					66,0	115	60			
8	200	30	270	70	150		1	3	55					59,0		90			
9	1000	3300	60	600	100		1	5,2	49	79				134,2	140	60			
10	200	5500	1200	30	250		4	52	74					130,0	130	105			
11	350	800	60	1000			2,5	65	28					95,5	200	120			
12	6000	3000	70	400	70	2700	3,9	11	4	10	4,8			33,7	83	20	33,7		
13	28000	2500	90	270	90	3000	90	18	2	108	3			221,0	38	20	35,7		
14	5000	2500	50	250	70	3000	3,9	14	5	19	65			106,9	44	25	106,9		
15	6000	2500	100	300	100	3000	1	16,4	2	28	3			50,4	47	20	50,4		
16	9000	3500	60	200	60	2000	3,4	15	9	22	108			157,4	55	35	157,4		
17	3000	9000	1000	100	250		2,8	15,8	52					70,6	100	60			
18	5000	800	60	500	50		7	9	45	34				95,0	91	60			
19	6000	1500	60	400	50		1,6	3,8	19	17				41,4	53	30			
20						3772													
21		7000	50	900	100			6,7	39	19				64,7	65	45			

m de profundidade, estando mostrado na Tabela 1.3. Estes valores muito altos de resistividade estão relacionados à uma camada geoeétrica denominada por nós de areno argilosa, que provavelmente corresponde ao topo da Formação Poti. Ocasionalmente ocorre uma anomalia de resistividade com valor muito alto de 28000 Ω .m, isso pode ser interpretado como sendo uma lente de sílex que é encontrado nesta região, ou ainda pode ser interpretado como sendo um dique de diabásio, que também tem ocorrência nesta área

5.3.1.3 Terceiro Horizonte Geoeétrico

Este horizonte é bem definido em todas as SEVs apresentando valores de resistividade de 20 Ω .m até 370 Ω .m e de espessura de 2 m até 74 m, como mostra a Tabela 1.3, isso significa dizer que este horizonte possui uma continuidade heterogênea lateral muito forte, pois suas espessura tem uma variação muito grande, este horizonte pode ser correlacionado a parte superior da Formação Poti, foi também denominada por nós de camada argilo arenosa e é encontrada em todas as SEVs com exceção da SEV20

5.3.1.4 Quarto Horizonte Geoeétrico

É o principal horizonte geoeétrico, pois possui valores de resistividade de 140 Ω .m à 850 Ω .m, como mostra a Tabela 1.3, representando assim um horizonte medianamente condutivo condutivo, típico para a acumulação de água subterrânea e ainda possui espessuras variando de 11 m à 79 m. (Tabela 1.3). A SEV 09 e SEV 05 indicam as maiores espessuras deste horizonte, denominada por nós de arenoso e por apresentar o horizonte com potencialidades aquífera à 50m de profundidade (Tabela 1.3), esses resultados foram de suma importância, porque essas SEVs estão localizadas praticamente dentro da cidade de Palestina. Nesses locais sugerimos estudos mais detalhados de hidrogeologia que possam fornecer subsídios para uma melhor avaliação do potencial hídrico, assim como de sua qualidade físico química como Eh e Ph.

5.3.1.5 Quinto Horizonte Geoeétrico

Esse horizonte está identificado pelas as SEVs 01, 02, 04, 05, 06, 09, 12, 13, 14, 15, 16, 18 e 19 ele o que tem a menor faixa de valores de resistividade que vai de 50 Ω .m até 300 Ω .m e

com espessura variando de 10m à 108m (Tabela 1.3). Portanto, é o que tem a maior variação de espessura, de todos os horizontes da área, estando representado pela SEV 16 com 108m de espessura. Esse horizonte de camada argilo-arenosa, devido possuir valores de resistividade relativamente baixos, se destaca, por estar sobre o (xisto) embasamento da Formação Xambioá, sendo correlacionado com a parte basal da Formação Poti, segundo a interpretação dos dados das SEVs.

5.3.1.6 Sexto Horizonte Geométrico

Este horizonte só foi encontrado nas SEVs 12, 13, 14, 15, e 16 na porção oeste da área de trabalho e é correspondente ao xisto do embasamento da Formação Xambioá, possui valores de resistividade variando de 2100 $\Omega\cdot m$ à 3100 $\Omega\cdot m$, e muito espesso, como mostra a Tabela 1.3. Este horizonte também está representado pela SEV 20, pois é a única SEV que contém esse horizonte aflorando, sendo uma SEV representativa, e devido ao alto grau de intemperismo, mostra um horizonte argiloso de textura mosqueada, geneticamente associada a rocha de baixo grau de metamorfismo da fácies xisto verde, que comporta o embasamento geral da área.

Com base nos horizontes acima descritos podemos apresentar a secção geométrica típica da área, estando mostrada na Tabela 1.4 abrangendo para cada horizonte a variação da resistividade aparente e a espessura e ainda a descrição litológica de um deles.

Tabela 1.4 Horizontes Geométricos, proposto para a subsuperfície de Palestina

HORIZONTES	INTERVALO DAS	INTERVALO DAS	CARACTERIZAÇÃO
	RESISTIV. APARENTES ($\Omega\cdot m$)	ESPESSURAS (m)	LITOLÓGICA
01	150 - 14000	0,1 - 3,9	Solo
02	280 - 3650	0,6 - 65	Areno - argiloso
03	22 - 370	2,0 - 74	Argilo - arenoso
04	150 - 850	10 - 79	Arenoso argiloso
05	50 - 180	3,0 - 108	Argiloso arenoso
06	2100 - 3700	indeterminada	Xisto

Arenoso \Rightarrow Arenoso argiloso \Rightarrow Areno argiloso \Rightarrow Argilo arenoso \Rightarrow Argiloso arenoso \Rightarrow Argiloso

5.3.2 Análise Conjunta das SEVs

A partir dos resultados obtidos em cada uma das 21 SEVs (Anexo e Figuras 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7) dos horizontes geoeletricos (Tabela 1.4), tendo as seguintes considerações: localização geográfica e geológica das SEVs; valores de $AB/2$ e inclinação da curva no ramo terminal; valores iniciais de resistividade aparente e na forma de cada curva; e tomando como critério qualitativo e quantitativo pôde-se diferenciar três famílias de curvas das 21 SEVs feitas durante a etapa de campo, assim classificada:

5.3.2.1 Primeira Famílias de Curvas (SEVs do Tipo 1)

Esta família de curvas está representado pelas SEVs 01, 03, 04, 06 e 11 (Figura 5.8), estas são típicas da parte leste da área, nas quais é observado em todas elas no ramo terminal uma inclinação sempre descendente e tendo um comportamento em geral muito suave e ainda valores muito baixo de resistividade, que foi o principal critério adotado para compor esse conjunto de curva, com exceção da SEV 03, onde se tem valores altos de resistividade e sua inclinação do ramo terminal é ascendente.

As sondagens dessa família por estarem localizadas no centro da cidade de Palestina, com exceção da SEV11, necessitaram de uma interpretação mais cuidadosa.

5.3.2.2 Segunda Família de Curvas (SEVs do Tipo 2)

Este grupo de sondagem dessa família está representado pelas SEVs 02, 05, 07, 09, 10, 17, 18, e 21 (Figura 5.9), estão localizadas na parte central da área, se destaca por apresentar valores muitos altos de resistividade nas camadas superficiais e por serem curvas que apresentam um acentuado caimento na passagem da segunda queda para a terceira queda.

5.4.2.3 Terceira Família de Curvas (SEVs do Tipo 3)

Este grupo está localizado na parte oeste da área, próximo a cidade de Brejo Grande representado nas SEVs 12, 13, 14, 15 e 16 (Figura 5.10). Além de possuir valores altos de resistividade na superfície, essa família mostra uma tendência de inclinação de 45 graus na última queda, ficando evidente que a sondagem atingiu o embasamento da área. Podemos dizer que as curvas desse grupo não têm forma suave nem forte, possui forma intermediária e se destacam por apresentarem valores acima de 1000 ohm.m nas primeiras assíntotas. Também encontramos nesse grupo de famílias na SEV16 a que tem a maior profundidade de penetração de todas as 21 sondagens elétrica verticais (SEVs) realizadas durante a etapa de campo, com 158 m (Tabela 1.4)

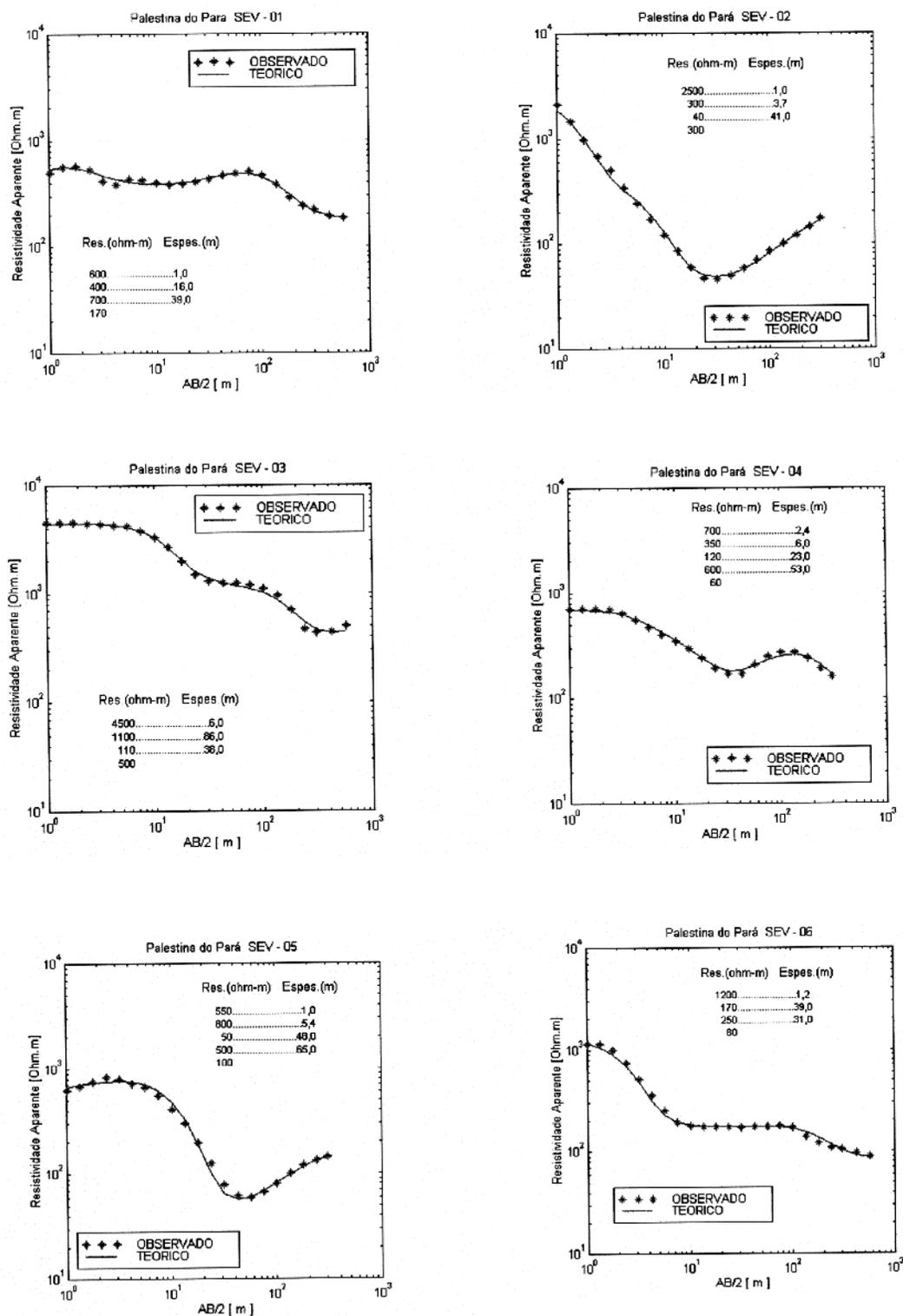


Figura 5.4 SEVs obtidas pelo método de inversão por um modelo estratificado 1D.

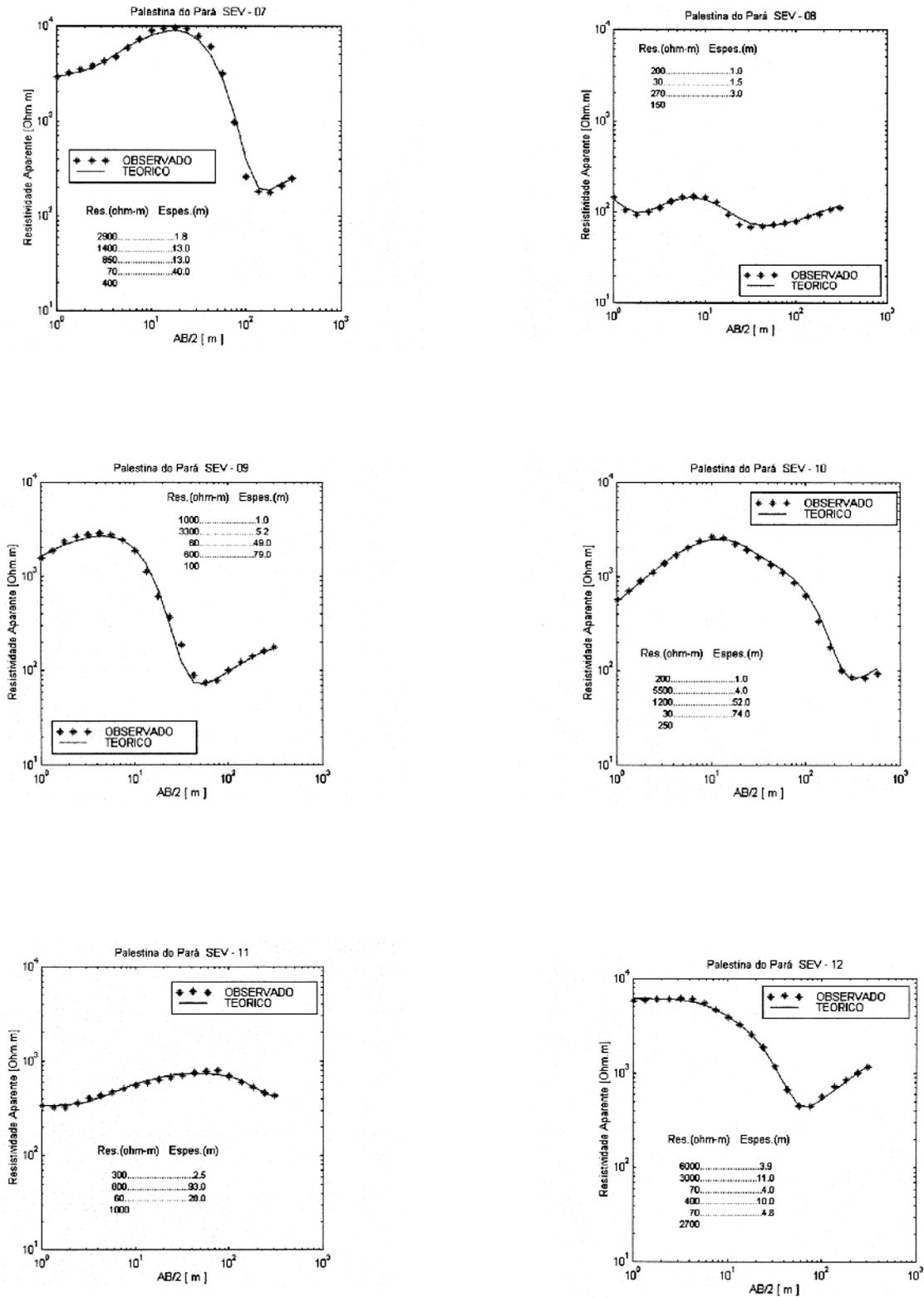


Figura 5.5 SEVs obtidas pelo método de inversão por um modelo estratificado 1D.

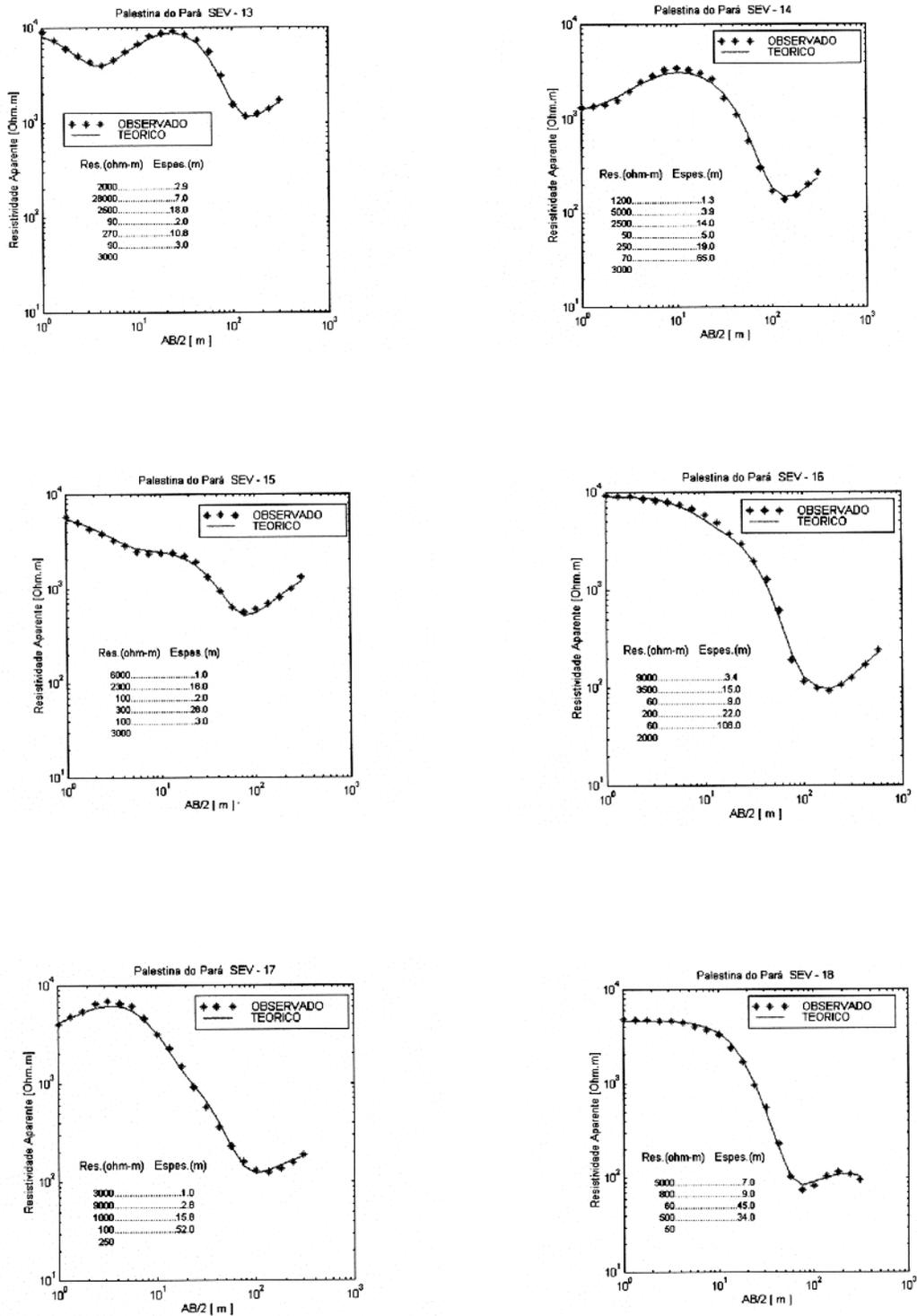


Figura 5.6 SEVs obtidas pelo método de inversão por um modelo estratificado 1D.

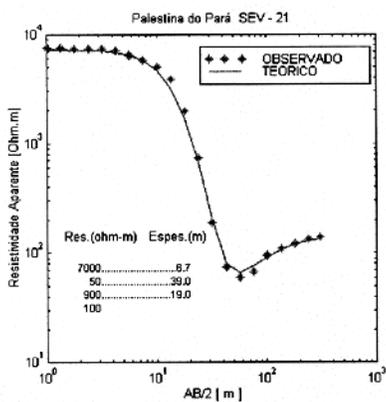
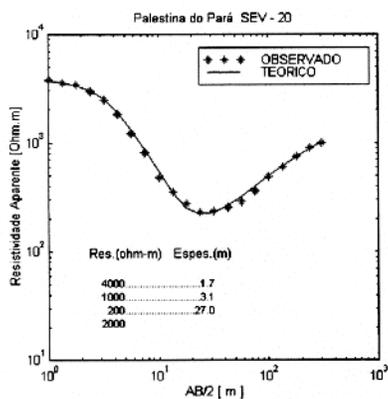
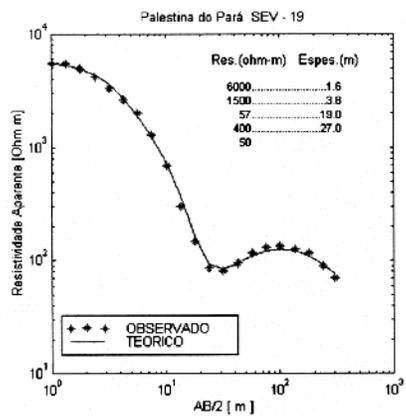


Figura 5.7 SEVs obtidas pelo método de inversão por um modelo estratificado 1D.

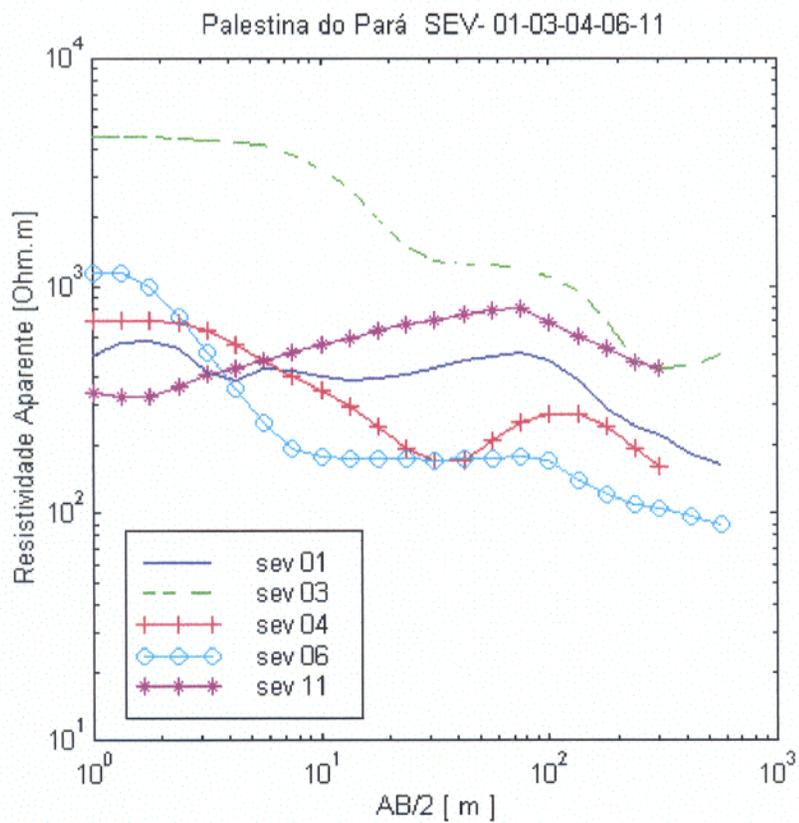


Figura 5.8 Família de curva do tipo I

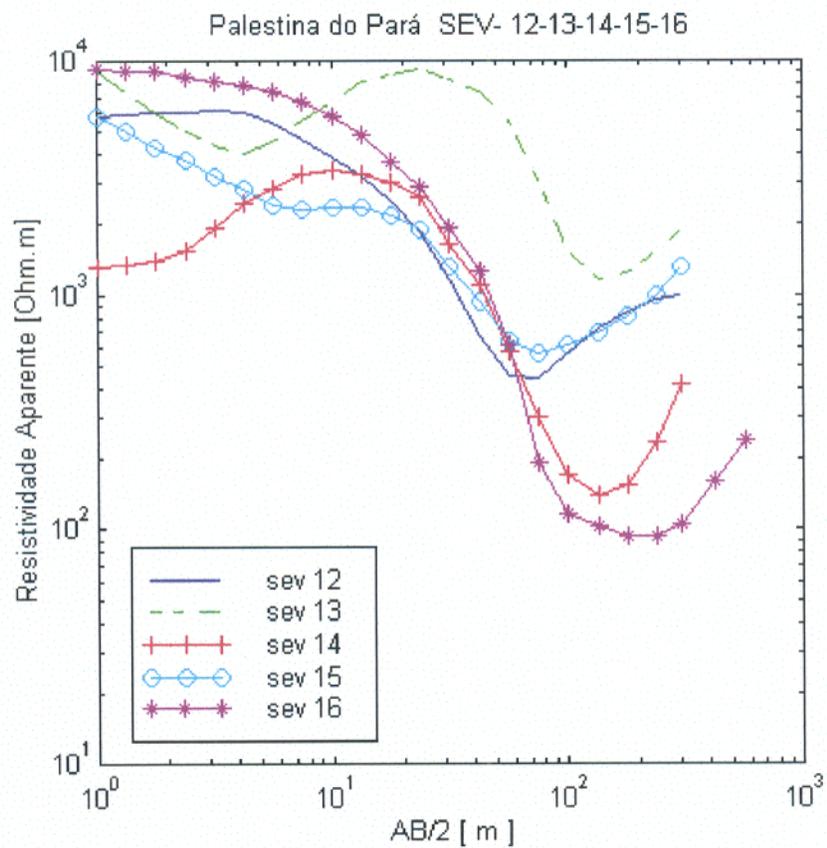


Figura 5.9 Família de curvas do tipo II

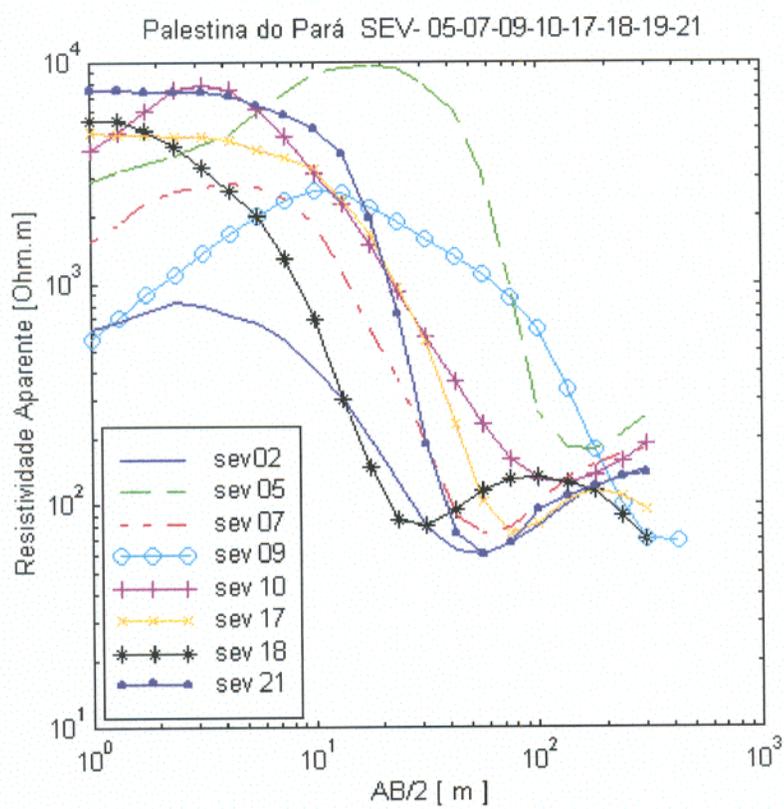


Figura 5.10 Família de curva do tipo III

5.3.3 Análises e Interpretação em Secções Geométricas

Depois de analisados todos os resultados obtidos, das SEVs tanto individual como em conjunto das SEVs, e tomando como critérios a localização, a forma, a geometria, espessura e a relação espacial dos horizontes e/ou camadas geométricas, foi possível elaborar e fazer, por meio de correlações, um quadro sobre a bidimensionalidade (2D) da subsuperfície de Palestina com 06 camadas geométricas abaixo descritas.

Devido a não equidistância de uma SEV para outra, usou-se uma variação de escala horizontal em todas as secções e que não aconteceu com a escala vertical, onde foi usado a mesma escala para as 6 secções. Com relação a topografia, para cada SEV, foi usado o mapa plani-altimétrico do ministério do exército.

5.3.3.1 Secção Geométrica 1

Esta secção é composta por quatro SEVs 20, 15, 14 e 16, tendo uma direção NE-SW, na porção oeste da área (Figura 5.11), sendo composta por quatro camadas e mais o embasamento, que apresenta-se com uma forte efeito tectônica, principalmente entre as SEVs 20 e 15. Sobreposta ao embasamento tem-se a camada argilosa com resistividade variando de 50 $\Omega.m$ à 90 $\Omega.m$, estando acompanhando a geometria do embasamento e é dentre as demais camadas é a que possui maior espessura principalmente nos locais das SEVs 14 e 16, logo acima se tem a camada arenosa de resistividade variando de 200 $\Omega.m$ - 290 $\Omega.m$, também está acompanhando a topografia do embasamento e obedece uma homogeneidade na sua espessura. Mais acima se tem a camada argilo-arenosa com resistividade variando de 50 $\Omega.m$ - 80 $\Omega.m$, também possui espessura homogênea acompanhando a geometria do embasamento e por último a camada areno-argilosa com resistividade variando de 2400 $\Omega.m$ - 3600 $\Omega.m$. É observável que há aumento na espessura das camadas da SEV15 em direção a SEV16, isso pode significar que estamos indo em direção ao centro da bacia.

SECÇÃO GEOELÉTRICA 1

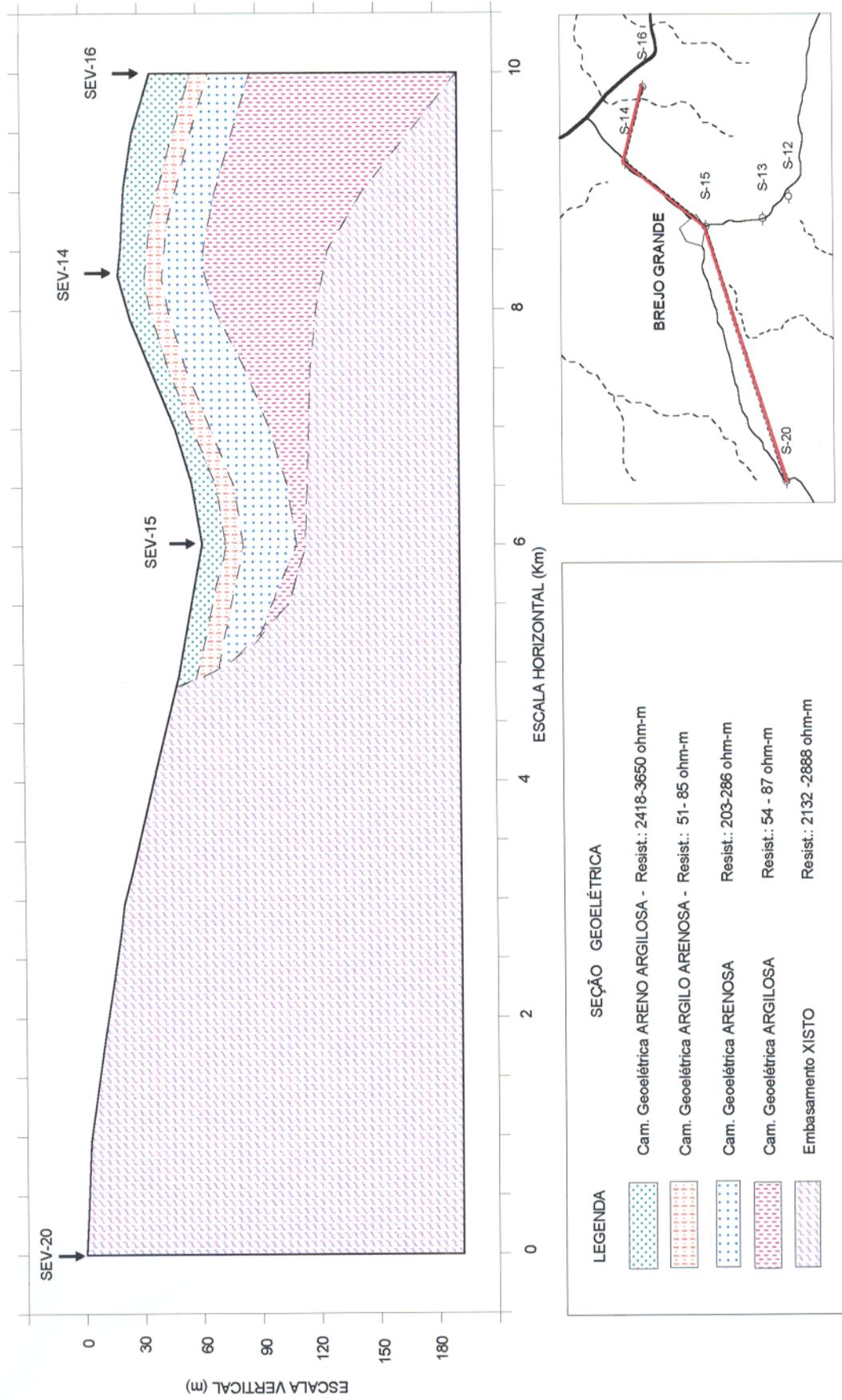


Figura 5.9 Secção Geoelétrica, baseada nas interpretação das SEVs (20, 15, 14 e 16)

O solo não foi considerado em todas as seis (6) secções geoeletricas devido sua pequena espessura em relação a grande escala utilizada na horizontal.

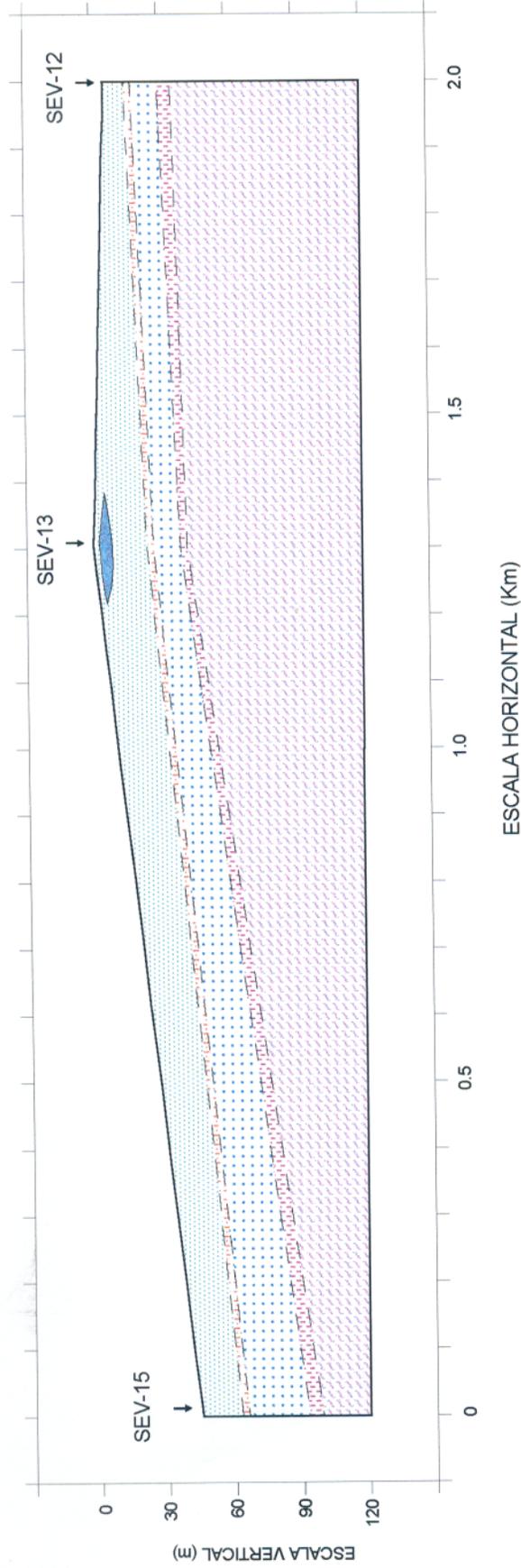
5.4.3.2 Secção Geoeletrica 2

Está mostrada na Figura 5.12 é formada por três SEVs (15, 13 e 12), tendo uma direção aproximada de N-S, na parte oeste da área, mais precisamente à sul de Brejo Grande. Também está representada por quatro camadas e mais o embasamento que foram descritos na secção anterior. É possível perceber que as quatro camadas sedimentares apresentam um estreitamento de suas espessuras da SEV 15 em direção a SEV12, isso pode significar que estamos indo em direção ao contato borda/embasamento. Na SEV13, observar-se que existe um valor muito alto de resistividade, ou seja é um valor anômalo de resistividade, e tem aproximadamente 7 m de espessura, como esse valor não tem correlação com nenhuma das outras SEVs, chamamos de uma lente, e geologicamente falando uma lente de sílex ou ainda um dique de diabásio qualquer um dos dois possuem valores de resistividade muito altos, e é encontrado na área.

5.3.3.3 Secção Geoeletrica 3

Esta secção está representa pelas SEVs 21, 05, 09, 03, e 11, tem direção preferencial de NW-SE , possui quatro camadas geoeletricas, sendo que as quatro são camadas sedimentares, portanto não apresenta a camada geoeletrica do embasamento. De um modo geral observa-se que há uma disposição das camadas da SEV21 para a SEV11, com um mergulho suave até a SEV09 e mais forte até a SEV11 (Figura 5.13), isso pode significar que em direção a SEV 21 se tem a aproximação do contato geológico do embasamento com a seqüência sedimentar da bacia. A camada arenosa que é a mais indicada para a obtenção de água, possui espessuras variando de 19 ate 79 m, e mostra uma tendência de espessamento no sentido NW-SE onde com certeza atingirá seu maior valor de espessura e profundidade.

SECÇÃO GEOELÉTRICA 2



SEÇÃO GEOELÉTRICA	
	Cam. Geométrica ARENO ARGILOSA - Resist.: 2400 - 2900 ohm-m
	Cam. Geométrica ARGILO ARENOSA - Resist.: 70 - 90 ohm-m
	Cam. Geométrica ARENOSA Resist.: 270 - 380 ohm-m
	Cam. Geométrica ARGILOSA Resist.: 70 - 90 ohm-m
	Embassamento XISTO Resist.: 2900 - 3100 ohm-m
	SILEX Resist.: 28200 ohm-m

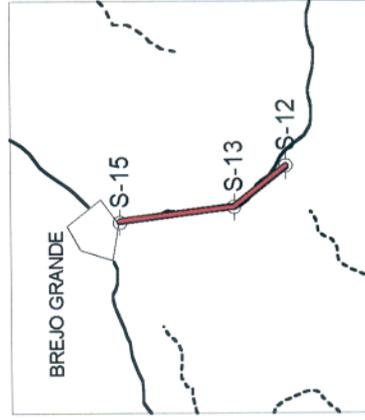


Figura 5.12 Secção geoeétrica, baseada nas interpretação das SEVs (15, 13 e 12)

SECÇÃO GEOELÉTRICA 3

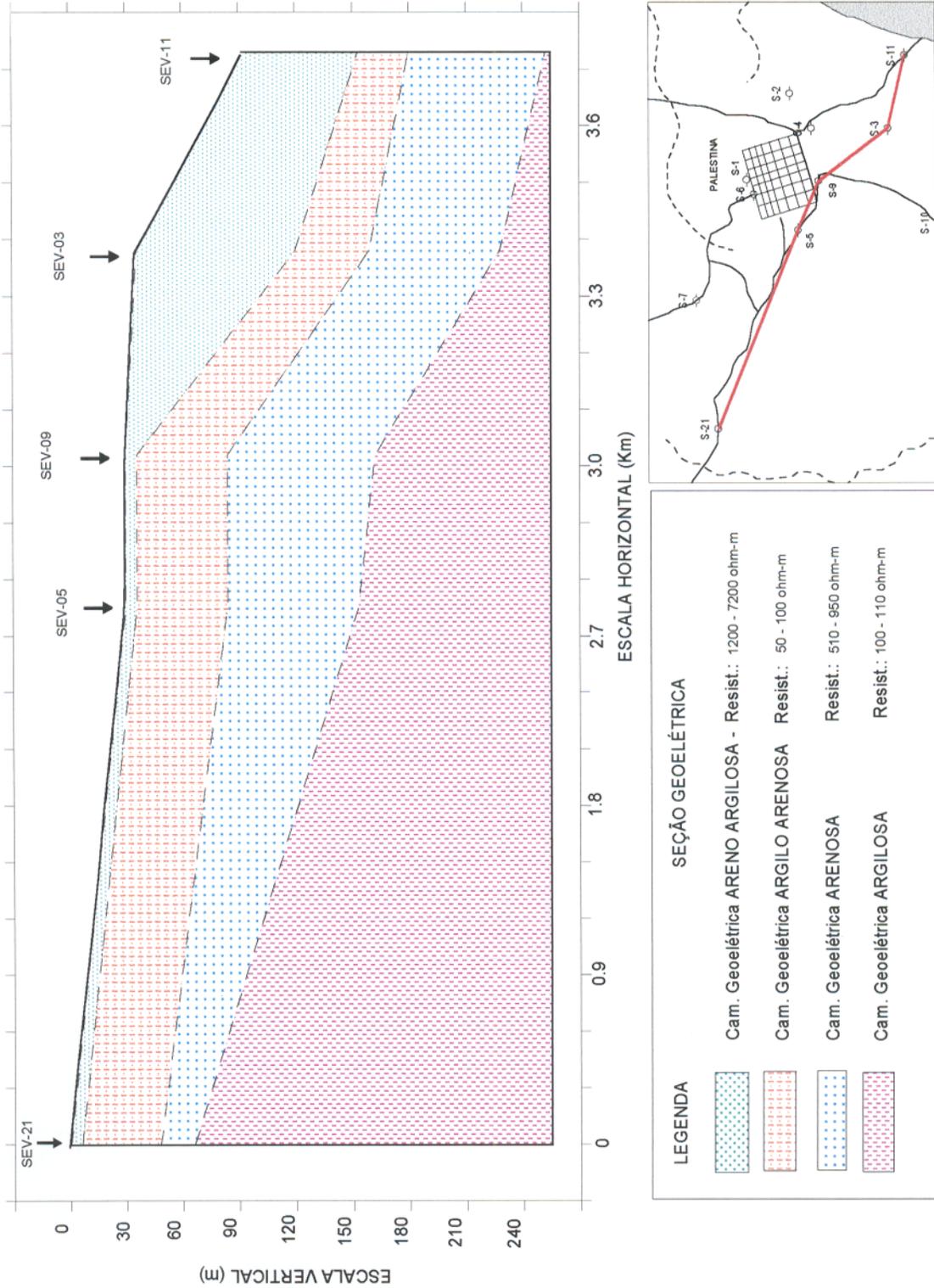


Figura 5.13 Secção geoeétrica, baseada na interpretação das SEV's

5.3.3.4 Secção Geométrica 4

A Figura 5.14 representa a segunda secção geométrica do segundo grupo é composta por 7 SEVs (17, 18, 7, 5, 9, 10 e 19) e possui também, como na secção anterior apenas as quatro camadas geométricas, portanto não apresenta o embasamento. Sua extensão total é de 7.7 Km, tendo direcção preferencial NNW-SSW. É importante observar da SEV 9 para a 19 tem-se mergulho oposto, isso significa dizer que se tem um mini-graben, ou uma dobra com mergulho muito suave.

5.3.3.5 Secção Geométrica 5

Esta secção está representada por 3 SEVs (09, 04 e 02) e tem direcção W - ENE localizada próxima a cidade de Palestina, onde podemos observar que da SEV 09 em direcção a SEV 02 a camada arenosa possivelmente estará aflorando, conforme mostra a Figura 5.15, onde a mesma de sua espessura aumentando no mesmo sentido do mergulho. Isso é muito importante, pois fica mais propício a capacitação de águas provenientes da superfície, como por exemplo a água pluviométrica, que é muito intensa durante sete meses do ano, dando assim a possibilidade de haver uma maior recarga, para a formação da camada subterrânea aquífera.

5.3.3.6 Secção Geométrica 6

É a mais importante em termos de localização, pois se encontra dentro da cidade de Palestina, representada por três SEVs 05, 06 e 01 Figura 5.16, tendo direcção principal NE – E. Como na secção anterior a camada arenosa promissora também tem sua espessura aumentando na mesma direcção do mergulho, e tende a aflorar próximo a cidade de palestina.

SECÇÃO GEOELÉTRICA 6

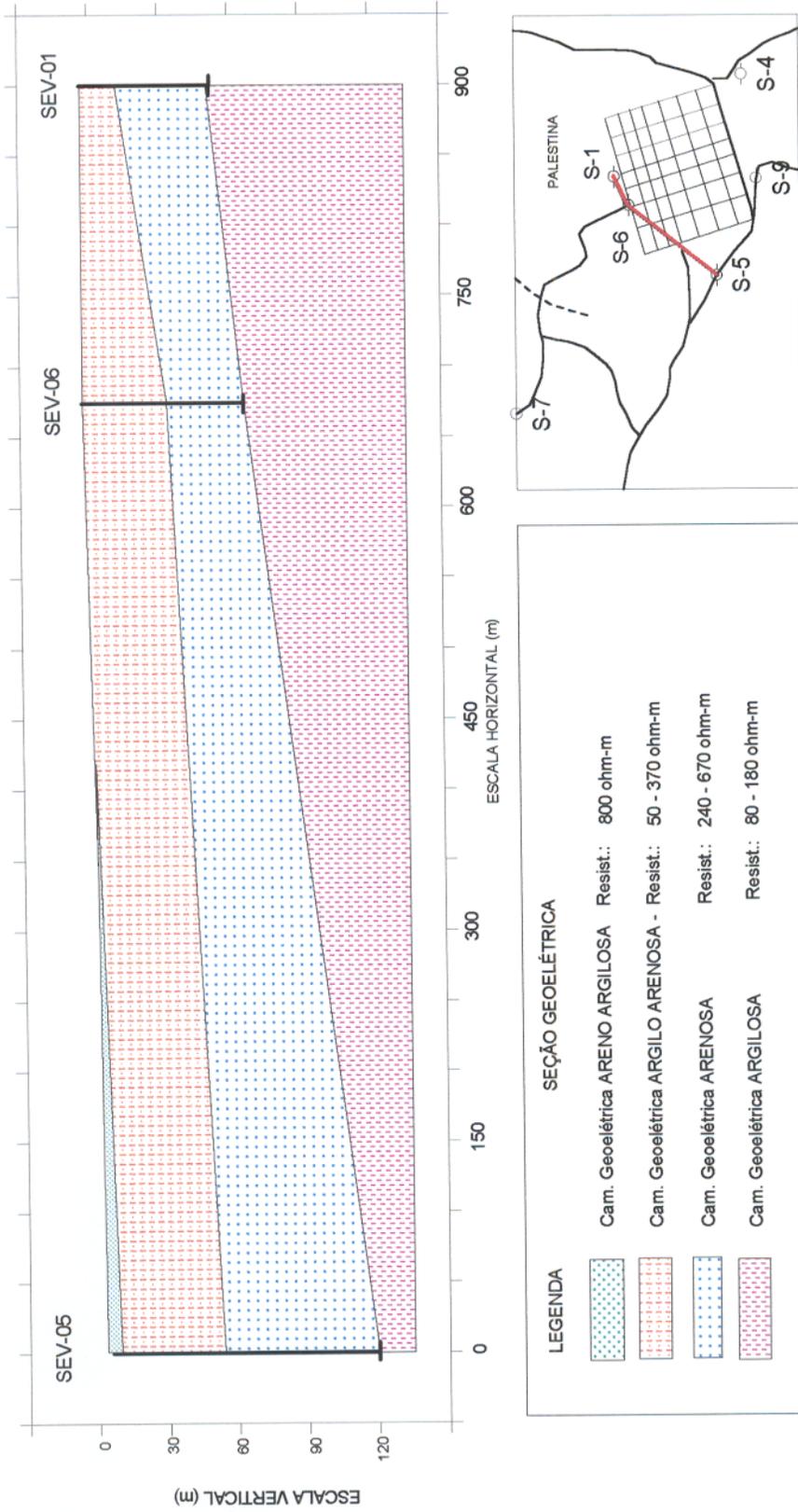


Figura 5.16 Secção geoeétrica, baseada na interpretação das SEVs (05,06 e01)

SECÇÃO GEOELÉTRICA 5

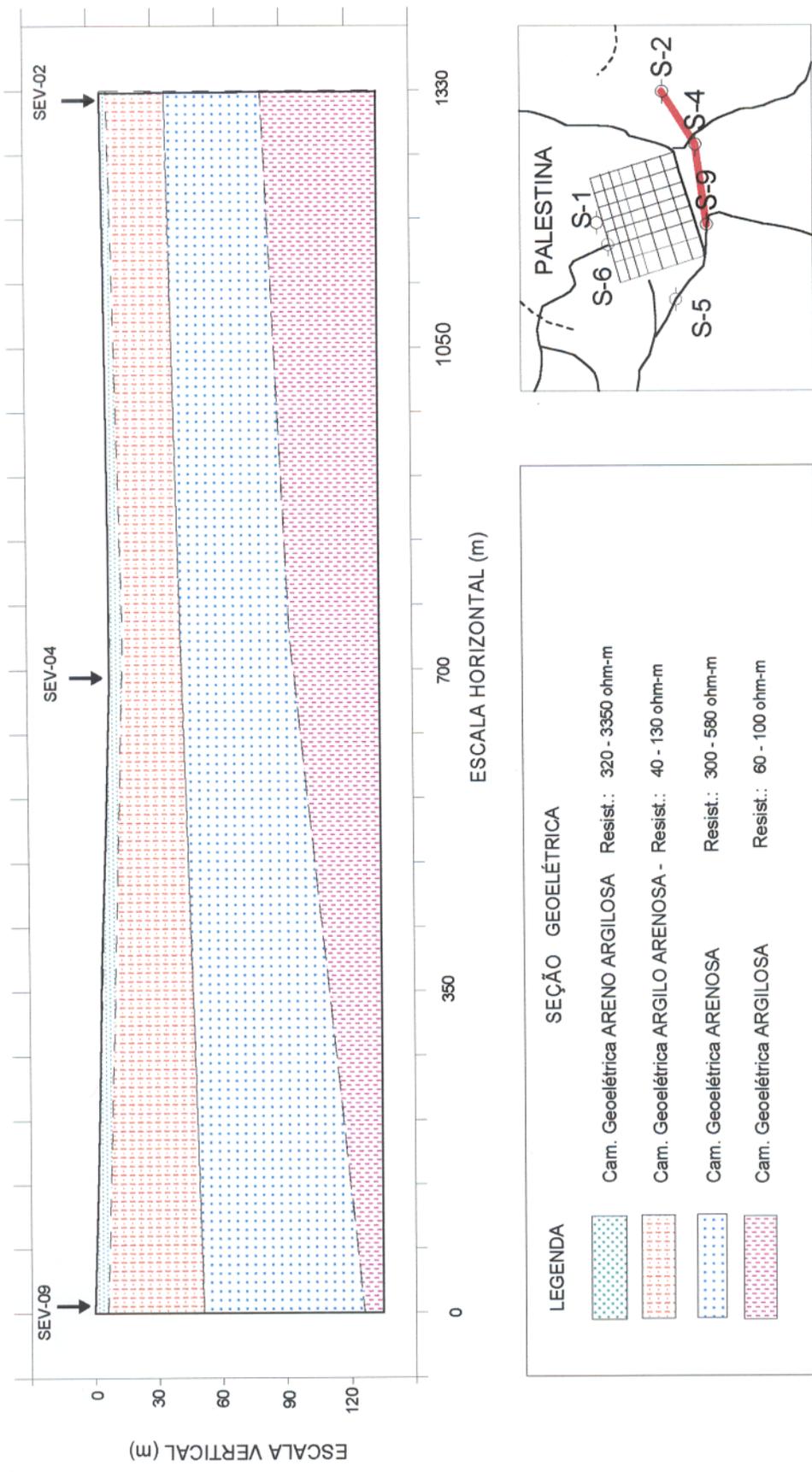
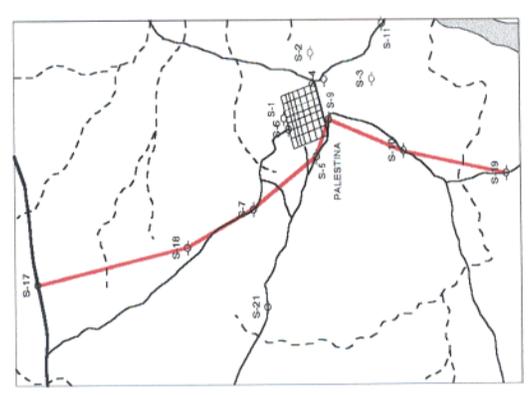
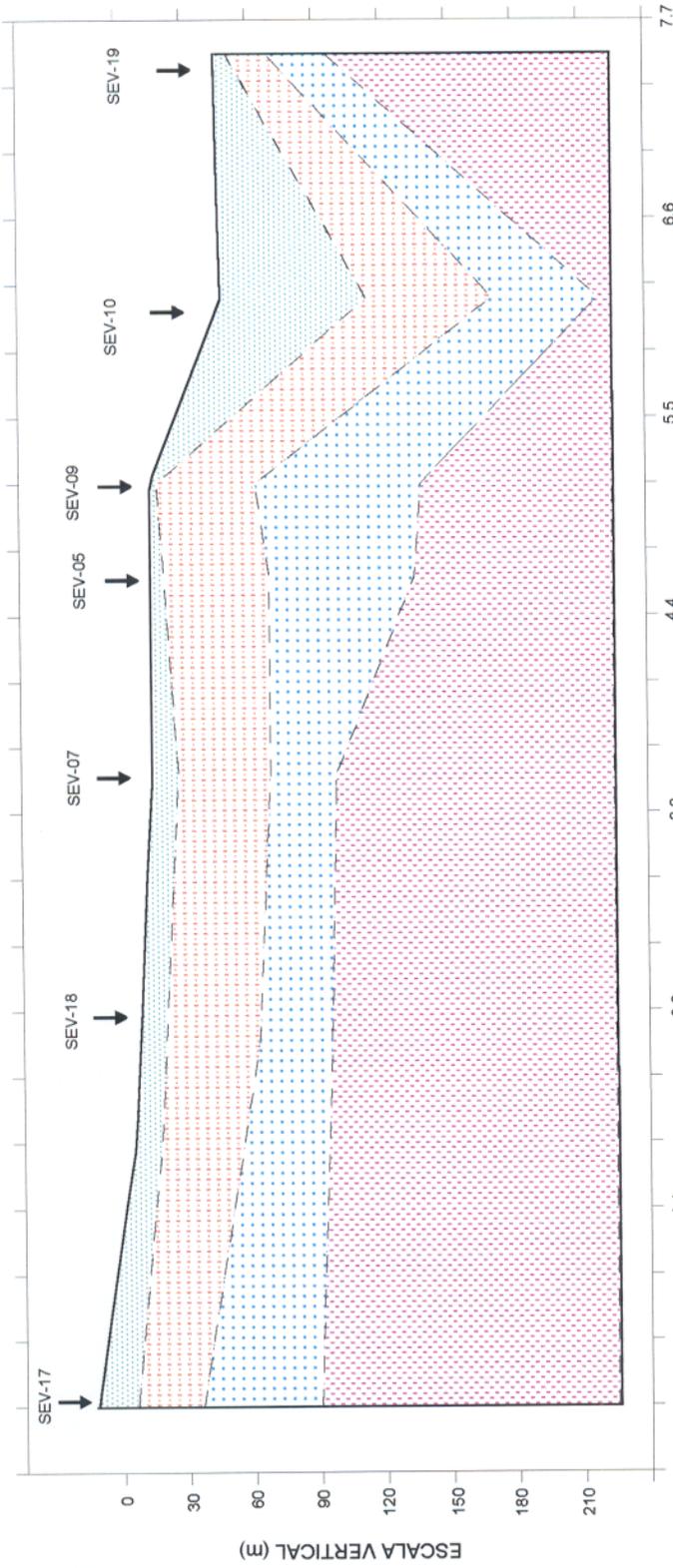


Figura 5.15 Secção geoeétrica, baseada na interpretação das SEVs (09, 04 e 02)

SECÇÃO GEOELÉTRICA 4



SEÇÃO GEOELÉTRICA	
	Cam. Geométrica ARENO ARGILOSA Resist.: 800 - 3350 ohm-m
	Cam. Geométrica ARGILLO ARENOSA - Resist.: 25 - 80 ohm-m
	Cam. Geométrica ARENOSA Resist.: 230 - 580 ohm-m
	Cam. Geométrica ARGILLOSA Resist.: 50 - 100 ohm-m

Figura 5.14 Secção geoeétrica, baseada na interpretação das SEV's (17, 18, 07, 05, 10 e 19)

5.4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS EM MAPAS

Através das análises dos dados apresentados nos capítulos anteriores em forma de secções geométricas, foi possível elaborar mapas de valores do topo e base da camada arenosa promissora como aquíferos, estando representado nas Figuras 5.17 e 5.18 respectivamente e ainda o mapa de isópacos da camada alvo (Figura 5.19). De posse desses dados se pôde indicar o melhor local para a obtenção de água para a cidade de Palestina, como está demonstrado na área em amarelo na Figura 5.20. Como o município de Palestina não dispõe de recursos financeiros para a implementação das novas obras de captação, ficará muito provavelmente indesejável a escolha de um outro local para tal obra, já que a área onde está situada atualmente a bateria de poços, possui todo um conjunto definido de equipamentos, portanto vai requerer assim menos gastos nesse local.

MAPA DE CONTORNO

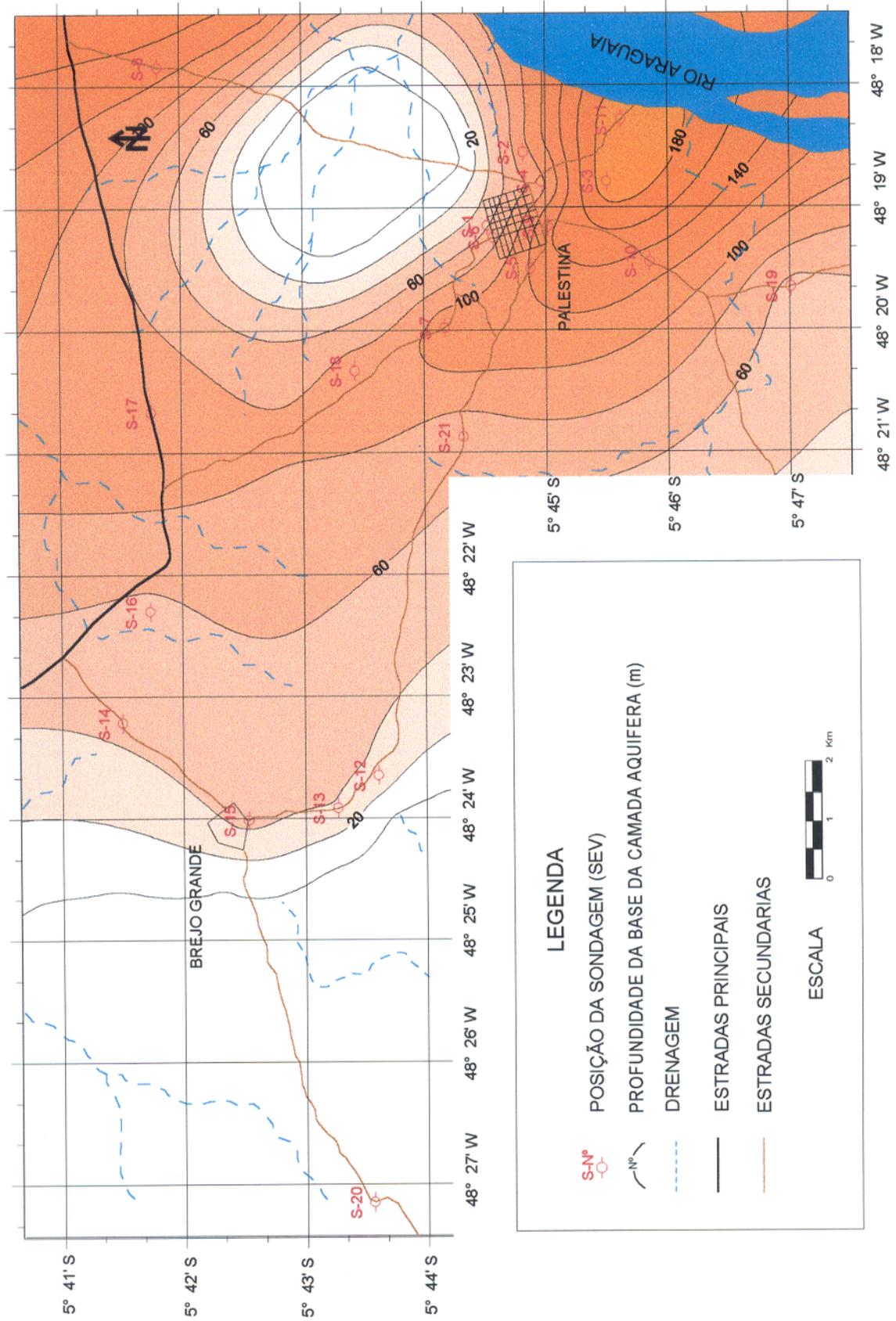


Figura 5.17 Mapa da base da camada arenosa promissora como aquífero.

MAPA DE CONTORNO

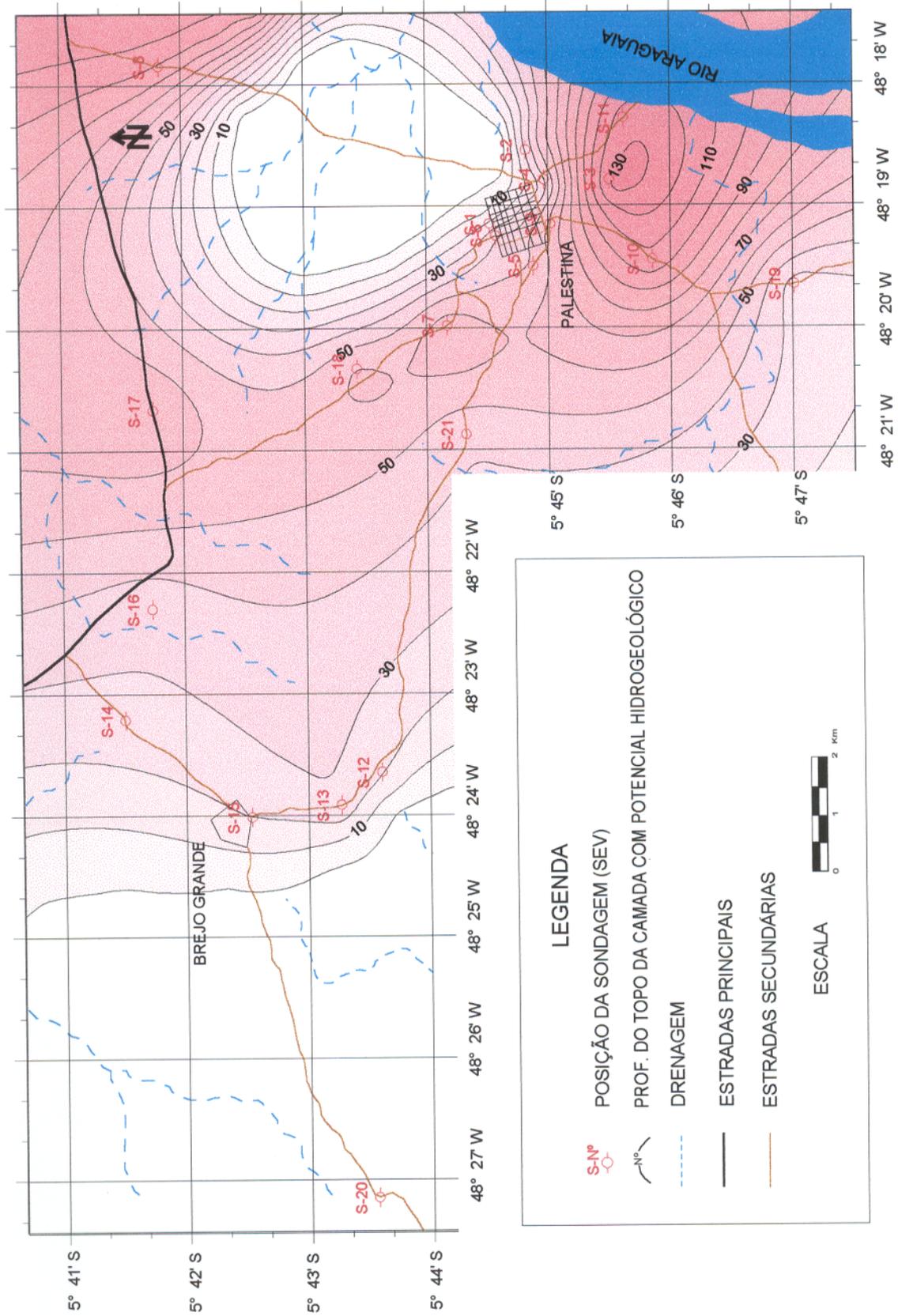
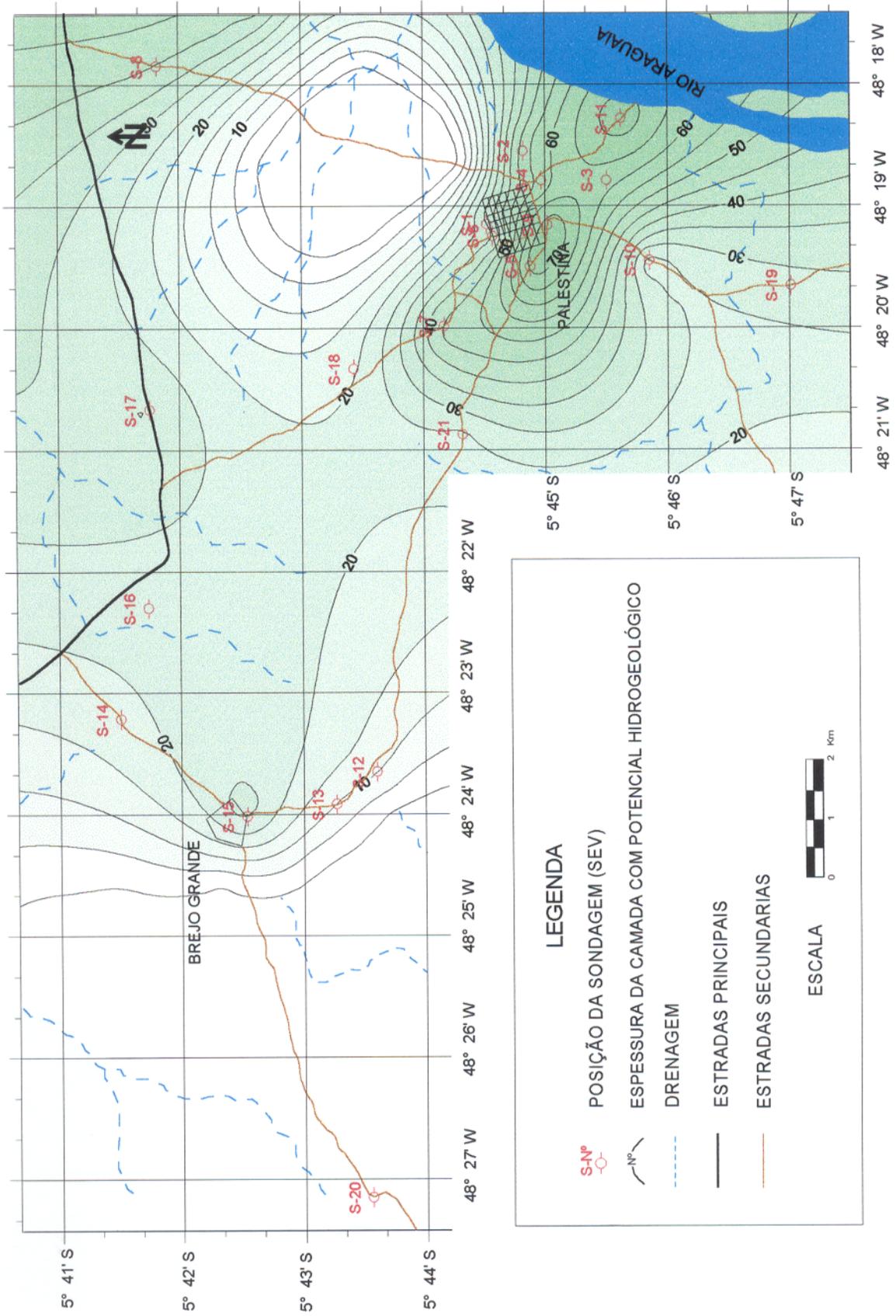


Figura 5.18 Mapa do topo da camada arenosa promissora como aquífero.

MAPA DE CONTORNO



LEGENDA

- S-Nº ○ ○ POSIÇÃO DA SONDAGEM (SEV)
- ESPESSURA DA CAMADA COM POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO
- DRENAGEM
- ESTRADAS PRINCIPAIS
- ESTRADAS SECUNDARIAS

ESCALA 2 km

Figura 5.19 Mapa Isopaco da camada arenosa promissora como aquífero.

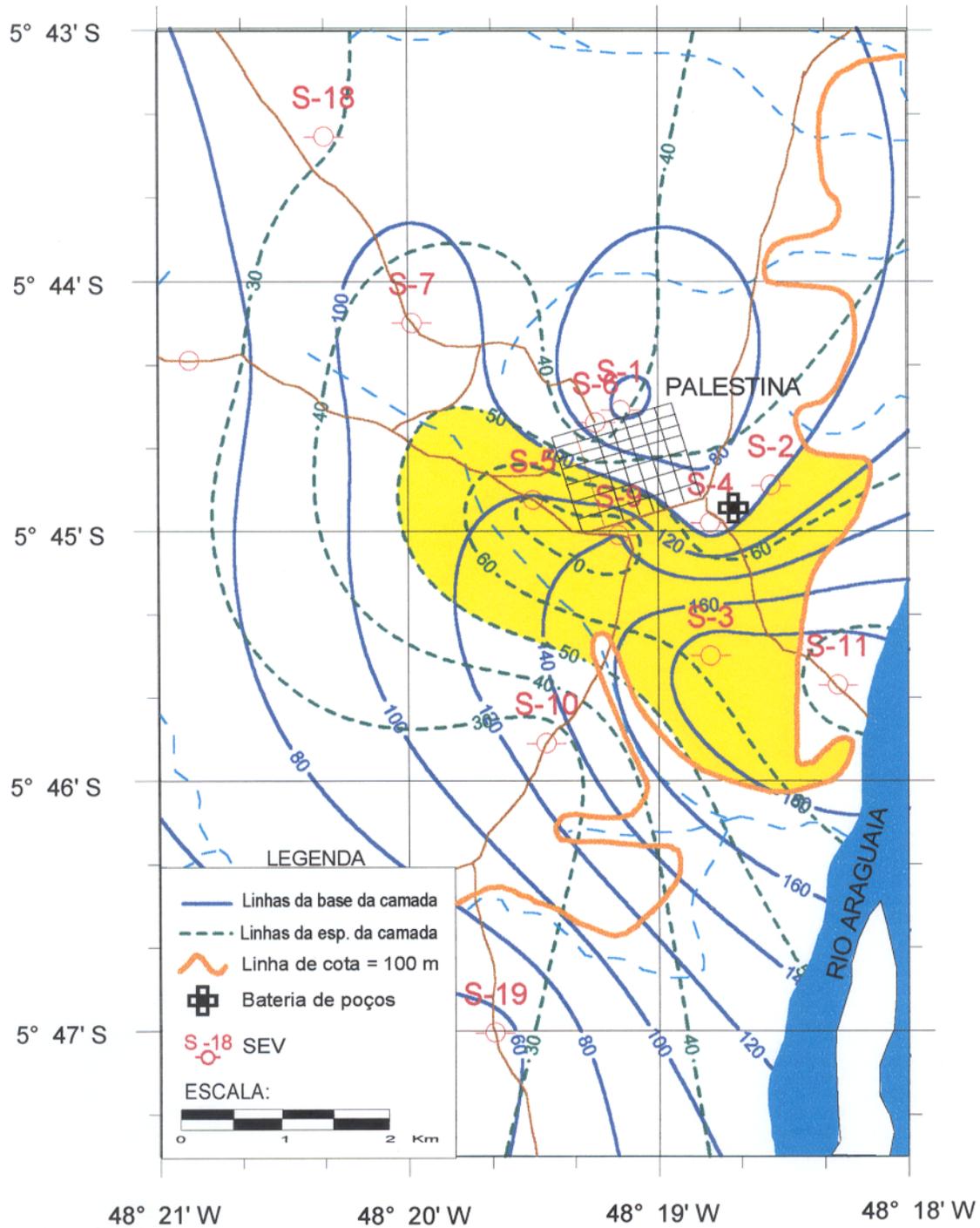


Figura 5.20 Mapa conjugado da base e espessura da camada arenosa aquifera.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo por eletroresistividade aplicada à água subterrânea, na cidade de Palestina resultou na definição de locais com alta potencialidades hidrogeológica.

O trabalho foi feito com base apenas nas informações das 21 Sondagens Elétrica Vertical (SEVs), dados adicionais foram muito poucos apenas os da geologia de superfície e os dozes poços que são usados atualmente para a captação de água. Não há nenhuma informação registrada sobre dados de subsuperfície e foi através das análises dessas sondagens que se pôde chegar à algumas conclusões como:

1. Definir seis horizontes geoeletricos
 - O primeiro horizonte, corresponde ao solo, lateralmente heterogêneo com espessura variando ate 3.9 m e com resistividades variando de 35 Ω m até 9000 Ω m
 - O segundo horizonte geoeletrico, possui uma variação de resistividade aparente que vai de 280 Ω .m até 370 - Ω .m e está associado a primeira camada geoeletrica definida como areno-argilosa. Neste horizonte foi identificado valores muito alto de resistividade cerca de 28000 Ω .m, que pode ser classificado como uma lente de um material muito resistivo, provavelmente de sílex ou então ser um dique de diabásio que também é ocorre nesta área. Nesse horizonte se encontra o primeiro nível freático de ocorrência localizada.
 - O terceiro horizonte geoeletrico, tem variação de resistividade aparente de 25 Ω .m – 380 Ω .m e espessura de 2 m a 74 m, corresponde a camada argilo-arenosa. É o horizonte que está acima do horizonte aquífero principal da área, foi o único horizonte que não teve suas espessuras inferida e sim definida pelas sondagens elétricas verticais.
 - O quarto horizonte geoeletrico, é o principal horizonte, pois ele está associado a uma camada arenosa argilosa, devido seus valores de resistividade aparente variarem de 230 Ω .m – 950 Ω .m, portanto tendo grandes possibilidades de ser um excelente aquífero de água subterrânea.

- O quinto horizonte geométrico, tem uma variação de resistividade que vai de 5 até 180 Ω .m, onde apresenta uma espessura máxima de 108 m e está associado a uma camada argilosa arenosa.
- O sexto e último horizonte geométrico corresponde ao embasamento da área, formada por um xisto, sendo uma rocha metamórfica da formação Xambioá, unidade constituinte da Faixa Araguaia.

Em resumo podemos correlacionar esses horizontes geométricos com a litoestratigrafia da área em que o 1º, 2º, 3º, 4º e 5º são pertencentes a formação Poti, e o 6º pertencente a formação Xambioá representando o embasamento da área, segundo os dados da Equipe de campo III.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, F. A. M. de . 1978. **Estratigrafia e Evolução Estrutural do Segmento Setentrional da Faixa de Dobramentos Paraguai**. Belém, NCGG/UFPa. 90 p. Tese (Mestrado)
- ABREU, F. A. M. de . 1990. **Evolução Geotectônica do Pré-Cambriano da Região Meio Norte do Brasil e sua Relação com a África Ocidental**. Belém, NCGG/UFPa. 440. Tese (Doutorado)
- ABREU, F. A. M. de, GORAYEB, P. S. R. & HASUI, Y. 1994. Tectônica e Inversão Matemórfica no Cinturão Araguaia, In: SIMP. DE GEOL. DA AMAZÔNIA. 4; Boletim, 1994. Boletim de resumos expandidos. Belém, SBG. Núcleo Norte. P. 1-4.
- AGUIAR, G.A. 1971. Revisão Geológica da bacia Paleozóica do Maranhão. In: CONG. BRAS. DE GEOLOGIA, 25, S. Paulo, 1971. Anais. S. Paulo. SBG. V. 3 p. 113-122.
- ALENCAR, B. V. de; BORGES, M. S.; GÓES, A . M.. 1995. Avaliação Paleomagnética e Tectono-Sedimentar das Formações Poti e Pastos Bons na Região de Floriano-Nazaré do Piauí. I CONG. INTER. DA SOC. BRAS. DE GEOFÍSICA. 4. Rio de Janeiro. 1995. Resumos expandidos, Rio de Janeiro, SBGf. V. 2 . p. 1060-1062.
- ALMEIDA, H. G.de.1995. **Folha SB.22.X-D. Escala 1.250.000. Estado do Pará, Parnaíba e Tocantins**. Brasília. CPRM. 144p. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
- ALMEIDA, H. G.; MARINHO, P. A. DA C.; MARTINS R. C. – Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Texto DNPM/CPRM. (no prelo).
- ANDRADE, S. M. & DAEMON, R.F. 1974. Litoestratigrafia e Bioestratigrafia do Flanco Sudeste da Bacia do Parnaíba (Devoniano e Carbonífero). In: CONG. BRAS. DE GEOLOGIA. 29. Porto alegre. 1974. Anais. Porto Alegre. SBG. v. 2. p. 129-137.
- BHATTACHARYA, P. K. & PATRA, H. P. 1968. **Direct Current Geoelectric Sounding; Principles and Interpretation**. Amsterdam, Elsevier Publishing Company. 135 p. (Methods in Geochemistry Geophysics, 9).
- BOAVENTURA, R. S. 1974. Geomorfologia da Folha SB 22 (Araguaia) e parte da Folha SC 22 (Tocantins). IN: BRASIL. Projeto RADAM BRASIL. **Folha SB 22 Araguaia e parte da Terra**. Rio de Janeiro: Cap.2, p. 3-30 (Levantamento de Recursos Naturais 4).

- BORGES, M. da S., MORAES JUNIOR, O., SILVA, A. Q., ASSIS, J. F. P. 1994. O arcabouço estrutural da Bacia do Parnaíba na Região de Balsas (MA). *In: SIMP. DE GEOL. DA AMAZÔNIA*. 4. Belém. SBG/NO. p: 45-46.
- CAMPBELL, D. F. 1949. **Bacia do Maranhão**. Rio de Janeiro. Conselho Nacional do Petróleo. p: 81-83. (Relatório 1949).
- CAPUTO, M. V.. 1984. **Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and Paleogeography by of Northern Basin of Brazil**. Santa Barbara Thesis Universit of California, 538 p. PhD Thesis
- CARRASCO, A. M.V. 1998. **Comparação dos Métodos Elétricos e Eletromagnético Transiente no Domínio do Tempo para a Prospecção de Água Subterrânea**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 100 p. (Tese de Mestrado).
- CARRASQUILLA, A. A. & RIJO, L. 1991. Análise da Utilização da Teoria dos Meios Estratificados na Interpretação de SEVs da Ilha de Marajó, Pará. **Revista Brasileira de Geofísica**, 9 (2): 187-197.
- COSTA, J. B. S. BORGES, M. S.; IGREJA, H. L. S.; HASVY, Y. 1991a. Aspectos da Evolução Teutônica da Bacia do Parnaíba e sua Relação com o Arcabouço do Pre- Cambriano. *In: SIMP. NAC. DE EST. TECT.*, 3. Rio Claro, 1991. Boletim de resumos expandidos e rotiros das excursões. Rio Claro, SBG p. 96-98.
- COSTA, J. B. S., IGREJA, H. L. S., BORGES, M. da S., HASUI, Y. 1991b . Tectônica mesoceno-zóica da região norte do Brasil. *In: SIMP. NAC. DE ESTU. TECTÔNICOS*, 3., Boletim de resumos expandidos e roteiros das excursões. Rio Claro - SP. SBG/NSP. p 108-110.
- GO S, A.M.O. & FEIJÓ, F.J., 1994. Bacia do Paraíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 1, janeiro/março. (8): 57-67.
- GORAYEB, P. de S. 1981. **Evolução Geológica da Região de Araguaia - Pequizeiro**. Tese de Mestrado. Goiás - Brasil. Belém, UFPa. 100p.
- GUERREIRO, M.G.S.& SILVA, J.M.R, 1976 **Projeto Guaraí-Conceição Relatório Final Convênio DNPM/UFPa**.
- HASUY, Y. & COSTA, J. B. S. 1990. O Cinturão Araguaia: Um Novo Enfoque Estrutural-Estratigráfico. *IN: CONG. BRAS. GEOL.* 36., Natal, 1990. **Anais Natal**, SBG V.5, P 2535-2549.

- IDESP – Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Pará – **Abastecimento de Água – Anuário Estatístico** – 1988. Pesquisas Geofísicas realizadas em Convênio – FNS/UFPa de 1988 – 1995 (Jul) e Defecit da demanda de consumo de água potável no estado do Pará. (Relatório diagnóstico).
- INMAN, J. R. 1975. Resistivity Inversion with Ridge Regression. **Geophysics**. 40: 789-817.
- INMAN, J. R.; RYU, T.; WARD, S. H. 1973. Resistivity Inversion. **Geophysics**. 38: 1088-1108.
- KELLER, G. V. & FRISCHNECHT, F. C. 1970. Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Oxford, Pergamon Press. 517 p.
- KOEFOD, O. 1979. **Geosounding Principles 1**, Resistivity Sounding Measurements. Amsterdam, Elsevier. 276 p.
- LIRA, S. R. B.; FIGUEIREDO, M. G. V.; PINHEIRO, T. P. 1993. **São Domingos do Araguaia**. Belém, Seplan. 32 p – (novos município, 19).
- LISBOA, M. A. R. 1914. The Permian Geology of the Northern Brazil. **American Journal of Sciences**. v. 177, p. 425-442.
- LUIZ, J. G. & SILVA, L. M. DA C. 1983. **Curso de Geofísica de Prospecção**. Belém, UFPa. Centro de Geociências. 263 p.
- MARINHO, P. A .C. 1994. Cinturões Itacaiúnas e Araguaia na Folha Marabá. IN: CONG. BRAS. Geol., 38., Camboriú, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos**. Camboriú. SBG. p. 214 – 215.
- MARTORANO, L. G.; CEZAR, E. G. M.; PEREIRA, I. C. B. 1983. **Estudos Climáticos do Estado do Pará, Classificação Climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornthwhite, Mather)**. Belém, Sudam/Embrada, SNLCS. 53 p.
- MENDES, J. C. 1984. **Elementos de Estratigrafia**. São Paulo. T. A . Queirós Ed. da Universidade de São Paulo. 556 p.
- MESNER, J. C. & WOOLDRIDGE, L. C. 1964. ParnaíbaPaleozoic Basin and Cretaceous Coastal Basins North Brazil. **Bolletim Association of Petroleum Geologists**, v. 48, p.1476-1512.
- ORELLANA, E. 1972. **Prospección Geoelectrica en Corriente Contínua**. Madrid. Paraninfo. 523 p.

- PINA et. al. (1998). Mapeamento geológico superficial de Palestina do Pará. UFPa – Relatório do Estágio de campo III.
- PETRI, S. & FÚFARO, V.J. 1983. **Geologia do Brasil**. São Paulo, T.A. Queiros Editor/EDUSP.
- PONTE, M. X. 1995. Relatório Diagnostico – Pesquisas Geofísicas realizadas em Convênio – FNS/UFPa de 1988-1995 (Jul) e Déficit da demanda de consumo de água potável no Estado do Pará.
- PORSANI, M. J. & RIJO, L. 1993. Estudos Geológicos e Geofísicos aplicados à prospeção de água subterrânea na região do lago Arari – Ilha de Marajó. **Revista Brasileira de Geofísica**, 11 (1): 101-123.
- RIJO, L. 1994 a. Sev 1D – Programa para Modelagem de Sondagem Elétrica Vertical Unidimensional. EGSLIB (Electrical Geophysics Software Library). Belém, DGf/UFPa.
- RIJO, L. 1994 b. Sev1dinv – Programa para Inversão de Sondagem Elétrica Vertical Unidimensional. EGSLIB (Electrical Geophysics Software Library). Belém, DGf/UFPa.
- RIJO, L.; PELTON, W.H.; FEITOSA, E. C.; WARD, S. H. 1977. Interpretation of Apparent Resistivity Data from Apodi Valley, Rio Grande do Norte, Brasil. *Geophysics*, 42: 811-812.
- ROSATELLI, J. S. , VIEIRA, L. S. , ARAUJO, J. V. , ARAUJO, M. P. de SOMMER, S. 1974. Levantamentos Exploratórios de Solos da Folha SB.22. ARAGUAIA e parte da Folha SC.22.TOCANTINS. In: Brasil Projeto RADAN BRASIL Rio de Janeiro. 1974 (Levantamento dos Recursos Naturais, 4).
- ROSS, C. T. F. 1990. **Finite Element Methods in Engineering Science**. New York, Ellins. Horwood. 519 p.
- SEPLAN. 1993. Palestina do Pará. Novos Municípios Paraenses, 25. Relatório. Belém - Pará. Governo do Estado. 36 p.
- SILVA, A. DE Q. 1996. **Eletroresistividade Aplicada à Caracterização Hidrogeológica para o Abastecimento da Cidade de São Domingos do Araguaia- Pará**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Tese (Mestrado em Geofísica) – Curso de pós-graduação em Geofísica, Centro de Geociências, UFPa, 1996.

VELOSO, H. P.; JAPIASSU, A. M. S.; FILHO, L. G.; LEITE, P. F., 1974. Vegetação da Folha SB 22 (Araguaia) e parte da Folha SC 22 (Tocantins). In: BRASIL. Projeto . **Folha SB 22 Araguaia e parte da Folha SC Tocantins**; Geologia, Geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. Cap. 4, p. 9-119 (Levantamento de Recursos Naturais, 4).

