

ESTUDO GEOFÍSICO REGIONAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ILHA DE MARAJÓ - PARÁ

Abel Carrasquilla¹, Luiz Rijo² & Milton J. Porsani³

Entre 1971 e 1981, o Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Estado do Pará e o antigo Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas da Universidade Federal do Pará (agora Centro de Geociências), realizaram mais de 800 sondagens elétricas verticais (SEVs), na região leste da Ilha de Marajó, com propósitos hidrogeológicos.

Com o objetivo de apresentar uma distribuição regional dos principais horizontes aquíferos da área, estas SEVs foram estudadas detalhadamente e classificadas em três tipos característicos. Em seguida, foram reinterpretadas, usando técnicas de interpretação mais modernas. Com base nos resultados desta interpretação, vários mapas foram confeccionados baseados na teoria convencional dos meios estratificados. Estes mapas, conjuntamente com os resultados dos estudos geofísicos e hidrogeológicos anteriores, mostram que os horizontes aquíferos estão distribuídos em três zonas principais:

- Uma altamente resistiva, localizada ao sul e sudeste da região dos campos. Nesta zona ocorrem os horizontes aquíferos profundos (localizado abaixo dos 50 m de profundidade), e os rasos e de média profundidade (menos de 50 m).
- A segunda, altamente condutiva, localizada no centro e ao norte da região estudada; apresenta como opções mais promissoras os paleocanais e estruturas similares (distribuídos aleatoriamente na área), juntamente com o horizonte aquífero profundo.
- Na última, com resistividade intermediária, localizada ao noroeste da região dos campos, a prospecção de água deve ser dirigida para o horizonte aquífero profundo.

REGIONAL GEOPHYSICS SURVEY FOR GROUNDWATER IN THE MARAJÁ ISLAND, PARÁ – Between 1971 and 1981, the Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Estado do Pará and the Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas of the Universidade Federal do Pará, performed more than 800 vertical electrical soundings (VES) in the eastern part of the Marajá Island for hydrogeological purposes.

In order to present a regional distribution of the principal hydrogeological horizons of the area, these VES were studied in detail, classified in three characteristic types and reinterpreted, using more modern technical resources. As a result of this interpretation, several types of maps were constructed, based on the conventional theory of stratified earth. These maps, in conjunction with the results derived from former geophysical and hydrogeological studies, show that the hydrogeological horizons are distributed in three principal zones:

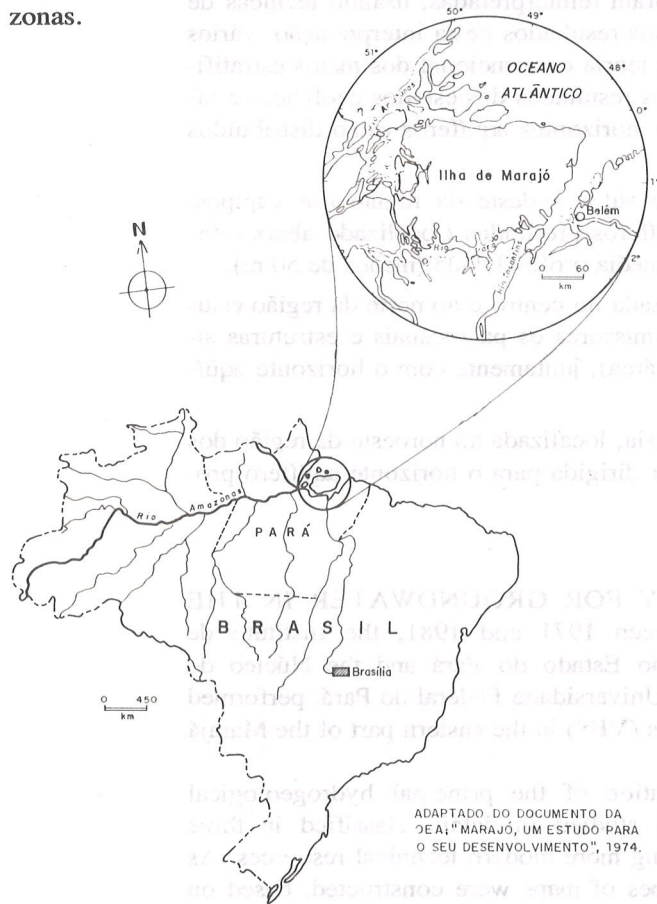
- One highly resistive zone was located in the south and southeast of the region studied. This zone consisted of two horizons: a) a deep horizon (located below 50 m), b) and intermediate depth and a shallow horizon (above 50 m).

1. Curso de Pós-Graduação em Geofísica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, C.P. 309, 66050 Belém, PA
2. Departamento de Geofísica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Fax: (091) 229.9677, C.P. 1611, 66000 Belém, PA
3. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Rua Caetano Moura, 123, 40210 Salvador, BA

- A second, highly conductive zone was located in the center and the north of the survey area. This zone contained buried-stream channels and similar structures (distributed randomly at shallow small depth) and also a deep horizon aquifer, which are the more promising groundwater objectives, in this part of the Island.
- The last zone, only moderately resistive, is located in the north-west of the survey region. Here, groundwater prospecting must be oriented to deep horizon aquifers.

1. INTRODUÇÃO

A Ilha de Marajó com 49.606 km², está localizada no estuário do Rio Amazonas (Fig. 1). Ela faz parte da porção emersa da bacia sedimentar do baixo Amazonas.



ADAPTADO DO DOCUMENTO DA OEA: "MARAJÓ, UM ESTUDO PARA O SEU DESENVOLVIMENTO", 1974.

Figura 1. Localização da área de estudo.

Figure 1. Localization of studied area.

Esta bacia é constituída de um pacote sedimentar com mais de 5000 m de espessura sobre o embasamento cristalino granítico-gnáissico (Schaller et al., 1971). Apenas os primeiros 100 metros de sedimentos quaternários é de interesse deste trabalho, as camadas superiores da Formação Marajó e do Grupo Pará (Fig. 2).

Na Ilha de Marajó, distinguem-se geograficamente duas áreas naturais:

- A parte leste, chamada de região dos campos, constituída por uma grande planície com vegetação de savana, onde se concentra a maioria da população, com intensa atividade agropecuária, artesanal e pesqueira.
- A parte oeste, constituída de floresta, também chamada região de mata e dos furos (riachos), com baixa densidade populacional, apresenta como atividade principal, a extração madeireira.

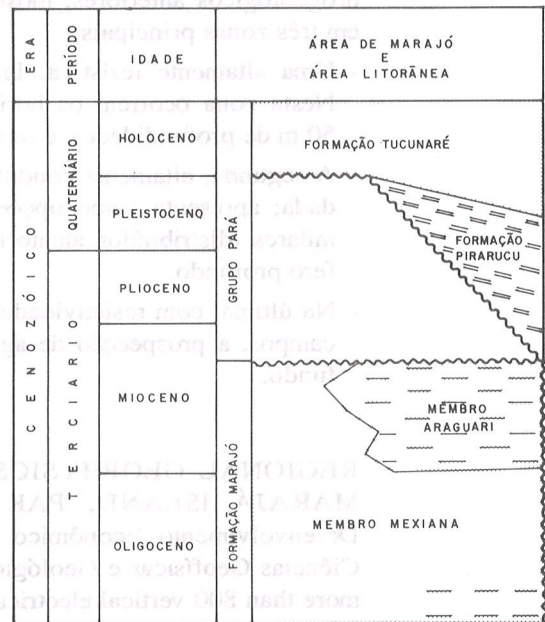


Figura 2. Parte da coluna estratigráfica da bacia sedimentar da Foz do Rio Amazonas (modificado de Schaller et al., 1971).

Figure 2. Part of the stratigraphic column of the Amazon River Estuary (modified from Schaller et al., 1971).

O regime hídrico da Ilha oscila entre marcadamente chuvoso no período de janeiro a junho, e excessivamente seco entre agosto e dezembro. No período chuvoso, grande parte da Ilha fica alagada, interrompendo completamente toda comunicação terrestre através das estradas. No período seco, a falta de chuvas, aliada a presença de águas subterrâneas salgadas, compromete o abastecimento de água para a população e rebanhos, constituindo-se num problema social muito

sério (OEA, 1974). A água utilizada para consumo doméstico é geralmente captada de poços de pouca profundidade, onde os aquíferos estão quase sempre contaminados do ponto de vista bacteriológico, apresentando um pH ácido, ferro total muito alto, baixo teor de fluoretos, excesso de manganês e de cloreto. Isto torna essas águas inadequadas para o consumo humano, por estarem fora das normas da Organização Mundial de Saúde (Piuci & Fenzl, 1978).

Os estudos geofísicos e hidrogeológicos objetivando o levantamento dos recursos de água subterrânea na porção leste da Ilha de Marajó foram realizados por duas entidades: o IDESP e o NCGG da UFPA.

O IDESP (1971/1974) orientou os seus trabalhos de geologia, hidrogeologia e geofísica, para localizar aquíferos regionais associados a feições geológicas de grandes extensões com a finalidade de ter um inventário dos recursos de água disponíveis em toda a parte leste da Ilha. O trabalho geofísico consistiu de uma campanha de prospecção elétrica, numa área de 16.325 km². As dificuldades experimentais durante o desenvolvimento dos trabalhos foram enormes: chuvas,

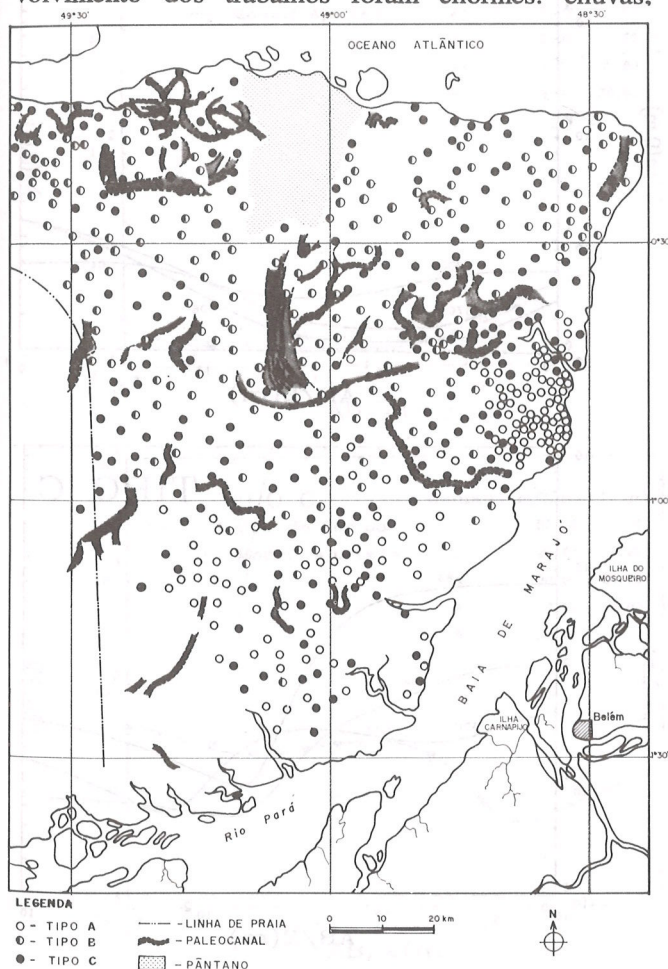


Figura 3. Localização das SEVs, paleocanais e paleopraias.
Figure 3. Localization of the VES and of the shallow buried-stream channels.

inundações, dificuldades de transporte, áreas de difícil localização e acesso, etc.; resultando em 695 SEVs, além de dois perfis de resistividade e oito perfurações com 100 m, em média, de profundidade (Fig. 3). O método utilizado foi o quadripolo Schlumberger, com uma linha de envio de corrente de, no máximo, 1000 m, para atingir profundidades de até 200 m, onde se encontram as unidades geológicas de interesse hidrogeológico na área. Com base nesses dados, foram preparados mapas de curvas de isorresistividade aparente e perfis elétricos usando-se seis separações - guias de eletrodos (2, 40, 100, 200, 300 e 400 m). Na época, a falta de recursos computacionais para o tratamento e interpretação quantitativa dificultou extrair informações geoeletricas importantes contidas nos dados (IDESP, 1974; Geomineração, 1973; Tancredi, 1972).

Em 1974, começaram os trabalhos do NCGG, com o objetivo de avaliar quantitativa e qualitativamente os recursos hídricos da parte leste da Ilha de Marajó, bem como sua utilização econômica racional em escala de detalhe, através de estudos geofísicos, hidrológicos, hidrogeológicos e sedimentológicos. Foram definidas cinco áreas-pilotos: Municípios de Soure, Salvaterra, Ponte de Pedras, região do baixo e médio Paracuarí, e circunvizinhanças do Lago Ararí. Realizaram-se cerca de 248 SEVs com o quadripolo Schlumberger, 29 km de caminhamento elétrico, 11 km de caminhamento eletromagnético (Fig. 3). Além disso, foram aplicados os métodos potencial espontâneo e sísmica de refração em caráter experimental, e realizado um trabalho de modelamento eletromagnético em escala reduzida (Kobayashi, 1979; Bezerra, 1979; Cavalcante, 1979; Porsani, 1981; Guimarães, 1983; Kobayashi & Rijo, 1980; Verma & Bischoff, 1989).

Como resultado dos trabalhos geofísicos e hidrogeológicos realizadas por essas duas instituições, as melhores opções hidrogeológicas na parte da Ilha são:

- Os arenitos profundos da Formação Marajó.
- As intercalações irregulares de camadas de areia grossa e lentes de areia (rasos e de média profundidade), do Grupo Pará.
- As estruturas arenosas rasas conhecidas como paleocanais e paleopraias.

Esses possíveis mananciais de água subterrânea foram definidos com base na análise qualitativa e semi-quantitativa da maioria das 800 SEVs obtidas na região. Na época, por falta de recursos computacionais, apenas um pequeno número desse acervo de dados foi interpretado, de fato quantitativamente.

Um dos objetivos do presente trabalho foi catalogar, processar e interpretar quantitativamente todas essas informações através de técnicas de interpretação mais modernas (Rijo et al., 1977). Como resultado desse trabalho foi possível definir claramente e mapear os horizontes aquíferos mais promissores em toda a re-

gião estudada. Considerando os aspectos geológicos e o estado atual do desenvolvimento social e econômico da região, nos detemos nos horizontes rasos de até 100 m de profundidade.

2. METODOLOGIA PARA A INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA DOS DADOS ELETRORRESISTIVOS

As SEVs foram analisadas detalhadamente, com a finalidade de detectar possíveis erros cometidos no campo, analisando ao mesmo tempo a qualidade dos dados, que em geral foi de um nível aceitável (Fig. 4). Posteriormente, todas elas foram interpretadas quantitativamente utilizando-se para isto um modelo de camadas horizontais, isotrópicas e homogêneas, através de um programa desenvolvido por Rijo et al. (1977) e adaptado por Porsani (1981) e Carrasquilla (1984) para o sistema HP - 9845.

Esta interpretação consiste em calcular um modelo teórico direto, interagindo através do fornecimento dos parâmetros do modelo (espessura e resistividades das camadas) e testando visualmente na tela do monitor do computador, até se obter um ajuste com a curva de campo (Fig. 5).

Uma das dificuldades da interpretação de SEVs é a ambigüidade devido ao princípio de equivalência (Bhattacharya & Patra, 1968). Em muitos casos não é possível determinar separadamente as espessuras e resistividades dos estratos, obtendo-se ao invés disso, o produto $T = \rho h$ (resistência transversal) ou o quociente $S = h/\rho$ (condutância longitudinal) da espessura pela resistividade. Além disso, uma seqüência de camadas condutivas e resistivas alternadas produz o comportamento de um meio macroanisotrópico na interpretação das SEVs. Neste caso, é conveniente definir o coeficiente de macroanisotropia e a resistividade média (Bhattacharya & Patra, 1968):

$$\lambda = \sqrt{\rho_t/\rho_s} \tag{1}$$

$$\rho_m = \sqrt{\rho_t \rho_s} \tag{2}$$

onde ρ_s e ρ_t são respectivamente, as resistividades longitudinal e transversal totais da seqüência, definidas por:

$$\rho_t = \frac{(\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 + \dots + \rho_N h_N)}{(h_1 + h_2 + \dots + h_N)} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{\sum_{i=1}^N h_i} \tag{3}$$

$$\rho_s = \frac{(h_1 + h_2 + \dots + h_N)}{(\rho_1/h_1 + \rho_2/h_2 + \dots + \rho_N/h_N)} = \frac{\sum_{i=1}^N h_i}{\sum_{i=1}^N S_i} \tag{4}$$

onde N é o número de camadas.

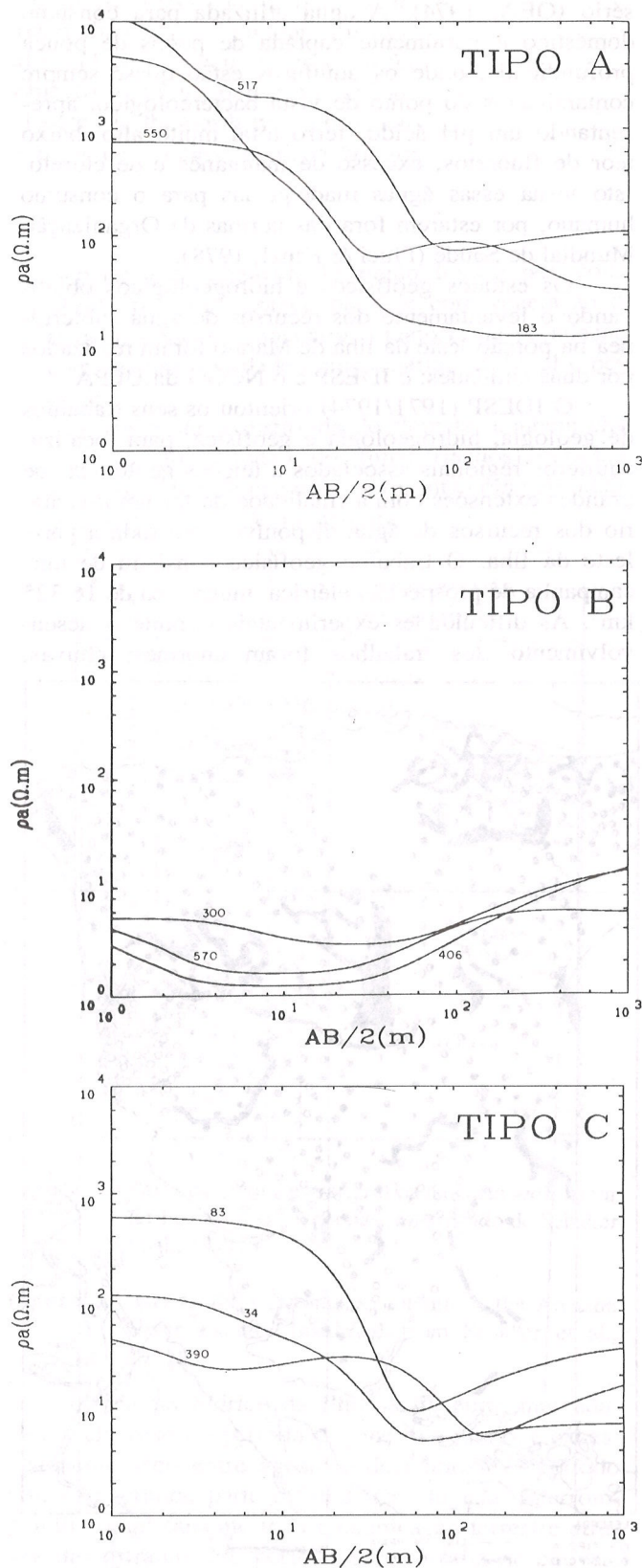


Figura 4. Classificação das SEVs.

Figure 4. Classification of the VES.

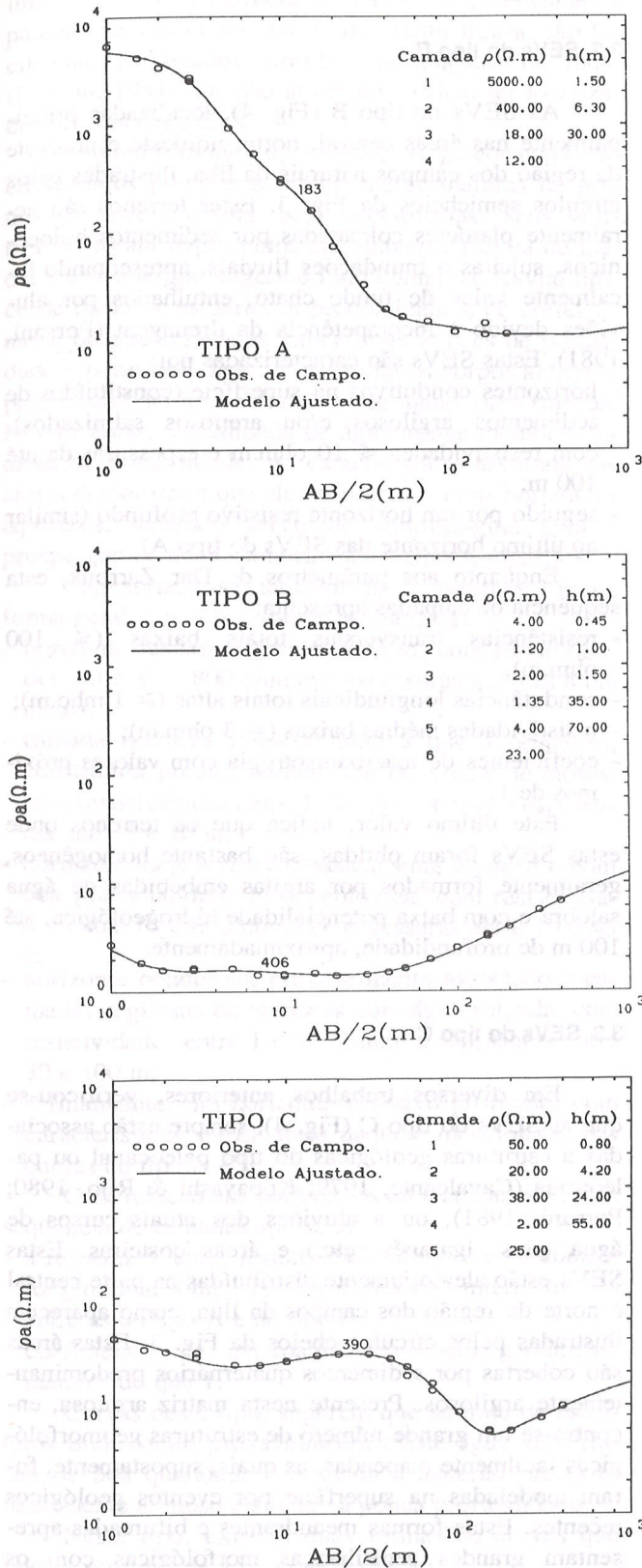


Figura 5. Resultado da interpretação de cada um tipo de SEV.

Figure 5. Interpretation of a VES of each type of soundings.

Os parâmetros λ , ρ_m , ρ_t e ρ_s conhecidos como parâmetros de Dar Zarrouk, caracterizam o meio geoeletrico estratificado, correspondendo a uma média das propriedades elétricas de um meio não homogêneo necessariamente (Keller & Frischnecht, 1966). As resistividades ρ_t e ρ_s dão uma idéia das dificuldades que a corrente elétrica encontra ao atravessar um meio fluindo normal ou paralelamente à estratificação. Como a trajetória da corrente na subsuperfície é geralmente oblíqua, é necessário considerar as duas magnitudes (Orellana, 1972). O coeficiente de macroanisotropia λ apresenta sempre valores maiores que 1, porque, devido a natureza geralmente estratificada da geologia superficial, a resistividade longitudinal é sempre menor que a resistividade transversal. Este coeficiente é um indicativo da homogeneidade dos terrenos que atravessa a corrente elétrica. Se seu valor é igual a 1, isto indica que ρ_t é igual a ρ_s , significando que o meio é eletricamente homogêneo e isotrópico. A quantidade ρ_m é a resistividade que teria o pacote de camadas, caso ele fosse homogêneo (Bhattacharya & Patra, 1968). É comum apresentar os resultados da interpretação de SEVs, na forma de mapas que utilizam estes parâmetros de Dar Zarrouk, além da condutância longitudinal ($\sigma_s = 1/\rho_s$) (Ward, 1990).

É conveniente destacar neste ponto, que devido a escassez de informação geológica da região, tanto a nível de geologia de superfície como de dados de poços, nossa interpretação é fundamentalmente geofísica. Devido a essa deficiência de controle geológico tão importante na interpretação de dados geofísicos, realizamos uma análise estatística através da técnica de inversão para equilibrar a qualidade da nossa interpretação. Usamos também o método dos elementos finitos para verificar a influência das variações litológicas laterais nas curvas de SEVs e suas implicações na interpretação usando meios estratificados. Os detalhes desses estudos estão em Carrasquilla & Rijo (1991).

3. ANALISE DAS SEVs

A utilização dos parâmetros geoeletricos acima descritos na análise qualitativa e quantitativa de todas as SEVs, aliada às informações provenientes dos trabalhos geofísicos anteriores, juntamente com a informação da geologia de superfície e de alguns poços raso, nos levaram a subdividir as SEVs de Marajó em três tipos distintos (Fig. 4):

3.1 SEVs do tipo A

As SEVs do tipo A (Fig. 4), são típicas da parte sul e sudeste da região prospectada, e estão apresentadas pelos círculos vazios da Fig. 3. Elas se caracterizam por:

- valores muito altos de resistividade na camada superficial (maiores que 1000 ohm.m, devido à formação arenosa-laterítica, com concreções limoníticas), com espessuras geralmente menores que 5 m;
- seguida de um horizonte também altamente resistivo (com resistividades variando entre 40 e 1500 ohm.m, devido a camada arenosa com frações de argila, saturada possivelmente de água doce e tendo uma boa potencialidade hidrogeológica), com espessuras entre 10 e 20 m;
- sucedida de um horizonte condutivo (formações argilo-arenosas, com resistividades variando entre algumas unidades de até dezenas de ohm.m, possivelmente contendo águas salobras), com espessuras maiores que 30 m;
- tudo isto sobre um horizonte resistivo profundo (possivelmente associado aos arenitos das camadas superiores da Formação Marajó ou às intercalações de areia grossa ou calcário do grupo Pará).

Este conjunto de camadas apresenta os seguintes parâmetros de Dar Zarrouk:

- baixos valores de condutância longitudinal total (geralmente ≤ 1 mho.m);
- resistência transversal total com altos valores (de centenas à milhares de ohm.m);
- resistividades médias altas (de centenas à milhares de ohm.m);
- coeficientes de macroanisotropia maiores que 1, o qual é um indicativo da heterogeneidade da geologia.

As intercalações irregulares de camadas de areia grossa da Formação Pirarucú e as lentes de areia da Formação Tucunaré (ambas pertencentes ao grupo Pará), de natureza clástica predominantemente arenosa, são propícias ao armazenamento de água subterrânea, se bem que, esta nem sempre é de boa qualidade (Porsani, 1981). Segundo o IDESP (1974), na superfície da Ilha encontram-se areias, siltes, argilas e lateritas, de forma alternada desde a superfície até uma profundidade de 100 m. Os aquíferos na região sul/sudeste dos campos naturais estão associados às intercalações de areia nesta seqüência de sedimentos. As perfurações aí realizadas evidenciam a presença de arenitos ferruginosos lateríticos denominados de Grês do Pará, característicos deste grupo (Piuci, 1979).

Segundo Porsani (1981), o topo da Formação Marajó, estratigraficamente abaixo do grupo Pará, está situada a mais de 100 m de profundidade. Segundo o mesmo autor, os arenitos que constituem esta formação têm a litologia mais promissora ao armazenamento de água, se bem que não se tenha conhecimento da sua qualidade. IDESP (1974), afirma que existe um substrato resistivo a uma profundidade de 100 ou mais metros, o qual está presente em toda a Ilha, podendo estar associado à Formação Marajó, cujas características hi-

drogeológicas são pouco conhecidas.

3.2 SEVs do tipo B

As SEVs do tipo B (Fig. 4), localizadas principalmente nas áreas central, norte, noroeste e nordeste da região dos campos naturais da Ilha, ilustradas pelos círculos semicirculares da Fig. 3. Estes terrenos são geralmente planícies colmatadas por sedimentos holocênicos, sujeitas a inundações fluviais, apresentando localmente vales de fundo chato, entulhados por aluviões devido à incompetência da drenagem (Porsani, 1981). Estas SEVs são caracterizadas por:

- horizontes condutivos na superfície (constituídos de sedimentos argilosos e/ou arenosos salinizados), com resistividades ≤ 10 ohm.m e espessuras de até 100 m;
- seguido por um horizonte resistivo profundo (similar ao último horizonte das SEVs do tipo A).

Enquanto aos parâmetros de Dar Zarrouk, esta seqüência de camadas apresenta:

- resistências transversais totais baixas (≤ 100 ohm.m);
- condutâncias longitudinais totais altas (≥ 1 mho.m);
- resistividades médias baixas (≤ 3 ohm.m);
- coeficientes de macroanisotropia com valores próximos de 1.

Este último valor, indica que os terrenos onde estas SEVs foram obtidas, são bastante homogêneos, geralmente formados por argilas embébedas de água salobra e com baixa potencialidade hidrogeológica, até 100 m de profundidade, aproximadamente.

3.3 SEVs do tipo C

Em diversos trabalhos anteriores, verificou-se que as SEVs do tipo C (Fig. 4), sempre estão associadas a estruturas geológicas do tipo paleocanal ou paleopraia (Cavalcante, 1979; Kobayashi & Rijo, 1980; Porsani, 1981), ou a aluviões dos atuais cursos de água (rios, igarapés, etc.) e áreas costeiras. Estas SEVs estão aleatoriamente distribuídas na parte central e norte da região dos campos da Ilha, como aparecem ilustradas pelos círculos cheios da Fig. 3. Estas áreas são cobertas por sedimentos quaternários predominantemente argilosos. Presente nesta matriz argilosa, encontra-se um grande número de estruturas geomorfológicas facilmente mapeadas, as quais, supostamente, foram modeladas na superfície por eventos geológicos recentes. Estas formas meandantes e bifurcadas apresentam grandes semelhanças morfológicas com os atuais cursos de água, correspondendo certamente a antigos canais de drenagem ou sucessivas margens abandonadas no processo sedimentar, subparalelas às

linhas de costa e margens de lagos. Os paleocanais e paleopraias aflorantes, mostradas nesta figura, são facilmente localizados através das imagens de radar (Porsani, 1981). Os não aflorantes podem ser localizados através das SEVs.

Segundo Bemerguy (1981), os paleocanais são constituídos por areias texturalmente maduras de granulção média e fina, bem selecionadas. Seus sedimentos foram depositados em ambiente fluvial de média e alta energia, sugerindo um complexo fluvial típico de bacia de estuário. A predominância de areias finas e bem selecionadas indica bons índices de porosidade e permeabilidade, o que torna os corpos arenosos promissores ao armazenamento de águas subterrâneas. Nessas áreas, a qualidade de água atinge melhores índices de potabilidade. As características texturais das areias demonstram que eles constituem bons horizontes aquíferos, devendo servir de controle-guia para a prospecção de água subterrânea próxima à superfície.

Caracterizam-se também por apresentar, numa forma geral, cinco horizontes geoeletricos:

- horizonte resistivo devido ao solo, com resistividades entre 10 e 800 ohm.m e espessuras maiores a um metro;
- camada resistiva (mais condutiva que a primeira), constituída predominantemente de argilas arenosas, com resistividades entre 100 e 500 ohm.m e espessuras entre 1 e 10 m;
- horizonte mais resistivo, basicamente arenoso e com boa potencialidade hidrogeológica, com resistividades entre 10 e 800 ohm.m e espessuras entre 10 e 40 m;
- horizonte condutivo, provavelmente associado a camadas argilosas ou arenosas com água salgada, com resistividades entre 1 e 10 ohm.m e espessuras entre 30 e 100 m;
- e finalmente, um horizonte resistivo profundo, com características semelhantes daquele mencionado nas curvas do tipo A e B.

Com relação aos parâmetros de Dar Zarrouk, esta seqüência de camadas apresenta:

- a resistência total, resistividade média e condutância longitudinal total, com características intermediárias entre as do tipo A e do tipo B;
- coeficientes de macroanisotropia são geralmente maiores do que 1.

Curvas deste tipo, sugerem que se trata de estruturas onde muito provavelmente existe água subterrânea de boa qualidade, associada a material predominantemente arenoso e situado à pouca profundidade.

Neste tipo, existem duas formas de curvas que podem ser consideradas como exceção:

- SEVs localizadas sobre corpos arenosos identificados através de imagens de radar, que apresentam comportamento semelhantes as curvas do tipo B,

possivelmente causadas pela presença de porções de argila ou de água salgada dentro do paleocanal.

- SEVs com comportamento do terceiro tipo, mas que não estão localizadas sobre estruturas arenosas, segundo as imagens de radar. Isto pode ser devido ao fato do paleocanal estar soterrado.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As informações resultantes dos trabalhos hidrogeológicos e geofísicos anteriores, desenvolvidos pelo IDESP e NCGG/UFPA, assim como os modelos geofísicos obtidos da reinterpretação dos dados das SEVs da região dos campos da Ilha de Marajó, foram utilizados para classificar os horizontes aquíferos desta região em dois grandes grupos: a) horizontes aquíferos profundos (abaixo dos 50 m) e b) horizontes aquíferos rasos e média profundidade (acima dos 50 m). O primeiro se faz presente em toda a região leste da Ilha e está provavelmente associado as lentes de areia das regiões mais profundas do grupo Pará ou aos arenitos das partes superiores da Formação Marajó. O segundo, na área central (na forma de paleocanais e estruturas similares), e na área sul e sudeste (na forma de lentes de areia do Grupo Pará). Com a finalidade de destacar estas unidades geológicas, que se constituem naquelas que apresentam algum interesse hidrogeológico na área, foram preparados mapas da condutância longitudinal total, resistividade média, profundidade do horizonte aquífero profundo e espessura da camada que contém o horizonte aquífero raso e de profundidade média. Estas informações nos permitiram separar a região em três áreas principais: a) sul e sudeste, b) central e norte, e c) nordeste.

4.1 Horizontes aquíferos profundos

Este horizonte aparece evidenciado no ramo terminal ascendente das SEVs próprio de litologias resistentes. Estas informações serviram para elaborar um mapa da profundidade do horizonte aquífero profundo que aparece na Fig. 6. As SEVs que não apresentavam este ramo, que eram uma minoria, significam que o embasamento resistivo encontra-se mais profundo, sendo que o valor no ponto, foi aproximado por uma interpolação.

O horizonte resistivo profundo está situado à profundidades que variam num intervalo entre 30 e 280 m, de uma forma heterogênea na área e deve-se provavelmente aos sedimentos arenosos da Formação Marajó ou às intercalações de areia grossa ou calcário das camadas mais profundas do Grupo Pará. Isto implica que este ramo terminal ascendente das SEVs, pode coincidir com diferentes níveis estratigráficos.

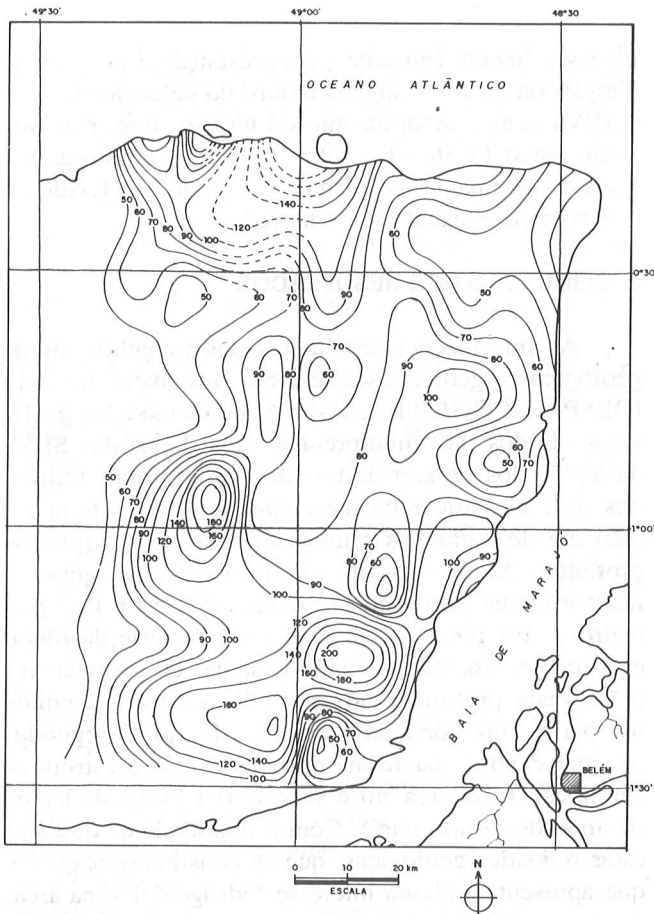


Figura 6. Mapa da profundidade do horizonte aquífero profundo.

Figure 6. Map of localization of the deep hydrogeological horizon.

Desta forma, o nível geoeletrico mapeado não possui um significado realmente geológico, devido principalmente a que ele foi construído com base em modelos geofísicos em virtude das escassas informações geológicas disponíveis.

Embora não se tenha maiores informações sobre a qualidade da água deste horizonte aquífero, ele se reveste de importância, principalmente na parte sul e sudeste, onde muitas vezes a qualidade da água dos horizontes rasos está fora dos padrões de potabilidade (Fenzl & Piuci, 1981; Piuci & Fenzl, 1978). Nele podem estar presentes provavelmente, recursos de água que devem ser levados seriamente em consideração, pois é para estas profundidades que se devem orientar todas as pesquisas de água subterrânea nas partes noroeste, central e norte, para se obter água de boa qualidade, caso não haja aquíferos rasos disponíveis (I-DESP, 1974)

4.2 Horizontes aquíferos rasos e de média profundidade

Os valores de ρ_m graficados no mapa da Fig. 7, permitiram separar a região leste da Ilha de Marajó em

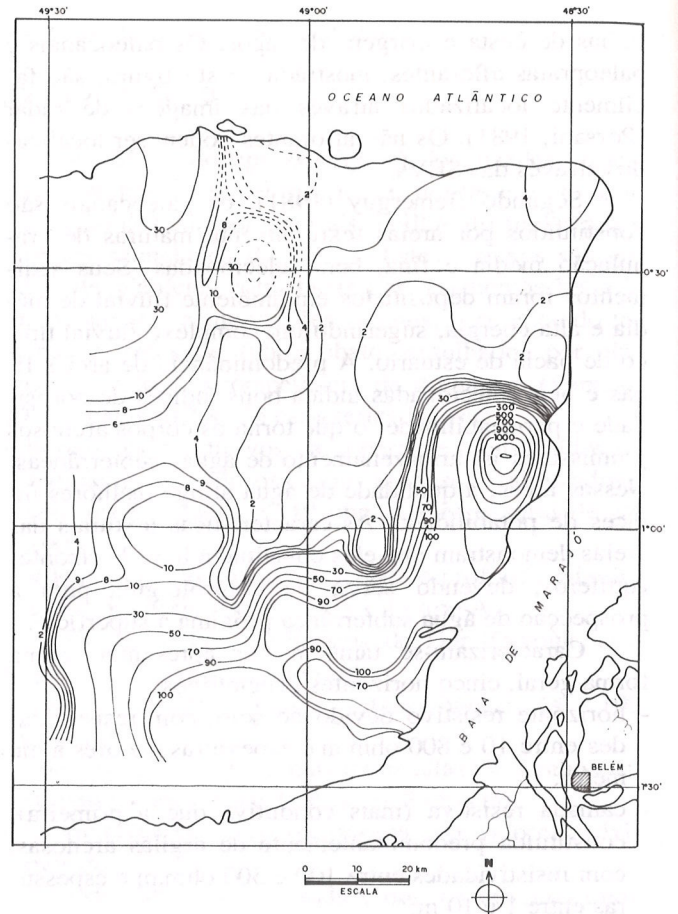


Figura 7. Mapa da resistividade média, ρ_m .

Figure 7. Map of mean resistivity, ρ_m .

três áreas principais, tal como aparece na Fig. 8: a) área sul e sudeste, b) área central e norte, e c) área noroeste. Este mapa reflete bem as características geoeletricas do pacote de camadas que repousa em cima do substrato resistivo, sendo portanto, de grande utilidade para separar a região em base a presença de horizontes aquíferos rasos e de média profundidade.

4.2.1 Área sul e sudeste

Nesta área (nº 1 da Fig. 8) encontram-se os terrenos que apresentam arenitos ferruginosos altamente resistivos, os quais dificultam a passagem da corrente em forma normal e paralela ao acamamento (Kobayashi & Rijo, 1980). Eles apresentam portanto, altos valores de ρ_m (de até 1500 ohm.m) e baixos valores de σ_s (≤ 10 mho.m) (Fig. 9). As SEVs do tipo A, características desta área, indicam a presença de horizontes altamente resistivos (geralmente maiores que 1000 ohm.m) associados a segunda e/ou terceira camada.

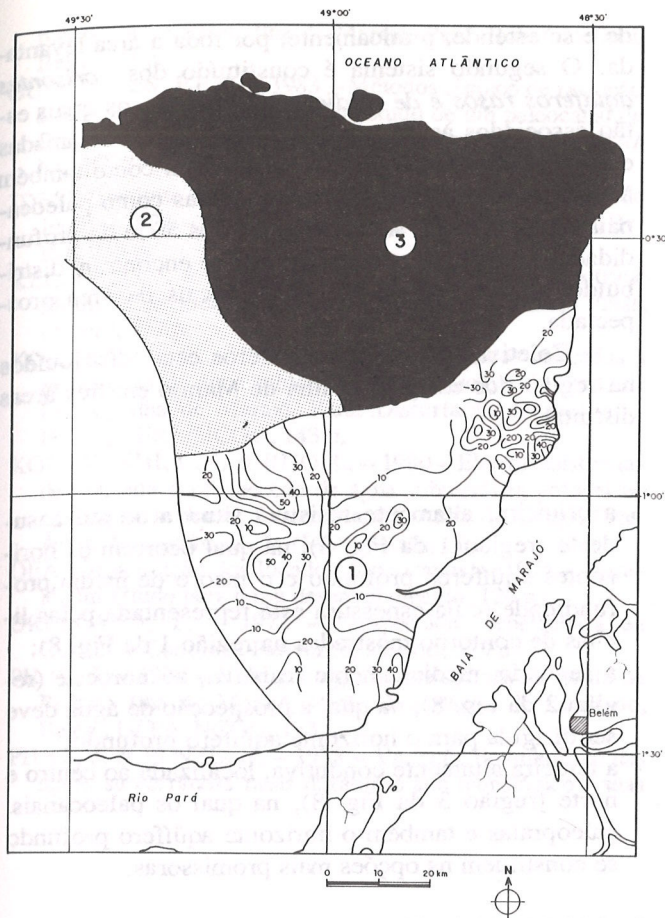


Figura 8. Mapa ilustrando as três zonas principais, de acordo com as resistividades dos seus terrenos. (1) Região Sul e Sudeste (mostrando os contornos da espessura do horizonte aquífero raso e de profundidade média). (2) Região Noroeste. (3) Região Central e Norte.

Figure 8. Map of three principal zones, based on terrain resistivities. (1) South and Southeast region (the thickness contours of the shallow and average depth hydrogeological horizon are shown). (2) Northeast region. (3) Central and North region.

Trata-se segundo o IDESP (1974), de terrenos a média profundidade que correspondem aparentemente ao horizonte aquífero superficial (10 a 50 m) constituído de camadas predominantemente arenosas, associadas as lentes de areia do grupo Pará. O mapa da Fig. 8 apresenta a espessura deste horizonte na parte que corresponde a área 1. Vale ressaltar que estas espessuras foram escolhidas com base no modelo geofísico, já que os testemunhos de perfurações, que poderiam fornecer maiores esclarecimentos, só são encontrados, em forma localizada, em Ponta de Pedras (sul da área; Kobayashi, 1979), Salvaterra (sudeste da área; Bezerra, 1979) e Soure (sudeste da área; Kobayashi & Rijo, 1980).

4.2.2 Área noroeste

Nesta parte da região (nº 2 da Fig. 8), encontram-se valores médios ρ_m (de até 30 ohm.m) e valores altos de σ_s (de até 50 mho.m). Esses valores são intermediários dos encontrados no sul-sudeste e no centro-norte, e evidenciam a ausência tanto das lentes de areia como de estruturas rasas tipo paleocanais e estruturas similares. Por conseguinte, as expectativas enquanto a aquíferos devem ser dirigidas para o horizonte aquífero profundo, presente em toda a região leste. SEVs do tipo B, as quais possuem uma espessa camada condutiva de argila em cima de um substrato resistivo, são típicas desta área.

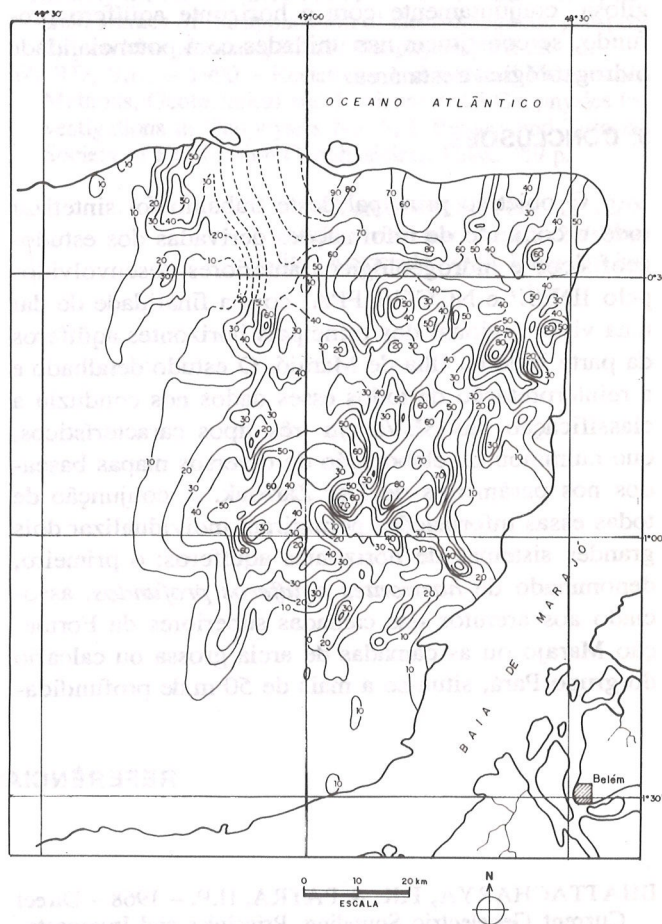


Figura 9. Mapa da condutância longitudinal total, σ_s .

Figure 9. Map of total longitudinal conductivity, σ_s .

4.2.3 Área central e norte

Esta área (nº 3 da Fig. 8), apresenta baixos valores ρ_m (≤ 5 ohm.m) e altos valores de σ_s (≥ 10 e até

100 mho.m). É bom esclarecer que, o contraste de ρ_m entre os paleocanais e a matriz argilosa é pequeno, logo, não é possível fazer uma localização dos mesmos através deste mapa, dentro da matriz argilosa predominante. Por outro lado, o grande intervalo de valores de σ_s para esta área (Fig. 9), evidencia tanto a presença dessa extensa matriz argilosa, como a das estruturas rasas (paleocanais e estruturas similares), que por estar constituídas de areia e água de qualidade aceitável, resultam em baixos valores deste parâmetro. As SEVs do tipo B (relacionadas com aqueles extensos terrenos argilosos embebidos de água salobra) e as do tipo C (associadas a estruturas geológicas do tipo paleocanal ou paleopraias) são características desta área. Estas estruturas rasas distribuídas aleatoriamente na matriz argilosa, conjuntamente com o horizonte aquífero profundo, se constituem nas unidades com potencialidade hidrogeológica desta área.

5. CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho foi sintetizar todo o conjunto de informações derivadas dos estudos geofísicos e hidrogeológicos anteriores desenvolvidos pelo IDESP e NCGG/UFPA, com a finalidade de dar uma visão regional dos principais horizontes aquíferos da parte leste da Ilha de Marajó. O estudo detalhado e a reinterpretação de todos esses dados nos conduziu a classificação das SEVs em três tipos característicos, que culminou na elaboração de diversos mapas baseados nos parâmetros de Dar Zarrouk. A conjugação de todas essas informações permitiram individualizar dois grandes sistemas de horizontes aquíferos: o primeiro, denominado de *horizontes aquíferos profundos*, associado aos arenitos das camadas superiores da Formação Marajó ou as camadas de areia grossa ou calcário do grupo Pará, situa-se a mais de 50 m de profundida-

de e se estende, praticamente, por toda a área levantada. O segundo sistema é constituído dos *horizontes aquíferos rasos e de média profundidade*, os quais estão associados às intercalações irregulares de camadas e lentes de areia do Grupo Pará, assim como também às estruturas arenosas rasas conhecidas como paleocanais e paleopraias, situados acima dos 50 m de profundidade. Estes horizontes aquíferos se encontram distribuídos aleatoriamente em vários locais da área prospectada.

Coletivamente, estes aquíferos estão distribuídos na região dos campos da Ilha de Marajó em três áreas distintas:

- a primeira, altamente resistiva situada ao sul e sudeste (região 1 da Fig. 8), na qual ocorrem os horizontes aquíferos profundo e o raso e de média profundidade (cuja espessura está representada pelas linhas de contorno mostradas na região 1 da Fig. 8);
- a segunda, medianamente resistiva, ao noroeste (região 2 da Fig. 8), na qual a prospecção de água deve ser dirigida para o horizonte aquífero profundo;
- a terceira altamente condutiva, localizada ao centro e norte (região 3 da Fig. 8), na qual os paleocanais, paleopraias e também o horizonte aquífero profundo se constituem nas opções mais promissoras.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Sr. Ronald Vieira, pela realização das ilustrações, ao IDESP pela gentileza em ceder os dados utilizados neste trabalho e aos revisores pelas sugestões que contribuíram no aprimoramento deste trabalho. Esta pesquisa foi patrocinada pela FINEP e CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BHATTACHARYA, P.K. & PATRA, H.P. - 1968 - Direct Current Geoelectric Sounding. Principles and Interpretation. Elsevier, Amsterdam, 135 p.
- BEMERGUY, R.L. - 1981 - Estudo sedimentológico dos paleocanais da região do Rio Paracuarí, Ilha de Marajó, Estado do Pará. Dissertação de mestrado, UFPA/NCGG, 95 p.
- BEZERRA, C.A. - 1979 - Eletroresistividade aplicada ao estudo de água subterrânea no município de Salvaterra - Marajó - Pará. Dissertação de mestrado, UFPA/NCGG, 58 p.
- CARRASQUILLA, A.A. - 1984 - Estudo geofísico sobre águas subterrâneas na Ilha de Marajó, Pará, Brasil. Dissertação de mestrado, UFPA/NCGG, 143 p.
- 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), neste volume.
- CAVALCANTE, G.M.L. - 1979 - Geofísica aplicada a prospecção de água subterrânea no Rio Paracuarí, Ilha de Marajó, Pará. Dissertação de mestrado, Belém, UFPA/NCGG, 88 p.
- FENZL, N. & PIUCI, J. - 1981 - Características físico-químicas das águas subterrâneas rasas de Ponta de Pedras (Ilha de Marajó) e suas conseqüências para o uso humano. Anais do XXX Congr. Bras. Geol., 1: 353-354, Recife, PE.
- GEOMINERAÇÃO - 1973 - Estudo hidrogeológico por

- prospecção elétrica. Ilha de Marajó, Pará. Relatório final, Belém, 24 p.
- GUIMARÃES, P.P.D. - 1983 - Métodos sísmico de refração e eletromagnético aplicado ao estudo de um paleocanal da Ilha de Marajó, Pará. Dissertação de mestrado, UFPA/NCGG, 87 p.
- IDESP (Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Pará) - 1974 - Estudos integrados da Ilha de Marajó. Belém, 333 p.
- KELLER, G.V. & FRISCHNECHT, F.C. - 1966 - Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Pergamon Press, Oxford, 571 p.
- KOBAYASHI, C. - 1979 - Métodos geofísicos aplicados à prospecção de água subterrânea no município de Ponta de Pedras, Ilha de Marajó, Pará. Dissertação de mestrado, Belém, UFPA/NCGG, 143 p.
- KOBAYASHI, C.N. & RIJO, L. - 1980 - Eletrorresistividade aplicada à prospecção de água subterrânea potável no município de Souré, Ilha de Marajó. Anais do Congr. Bras. Águas Subterrâneas, 1: 71-84, Recife, PE.
- OEA (Organização dos Estados Americanos) - 1974 - Marajó, um estudo para o seu desenvolvimento. 124 p.
- ORELLANA, E. - 1972 - Prospección Geoelectrica en Corriente Contínua. Paraninfo, Madrid, 523 p.
- PIUCI, J. - 1979 - Hidrogeologia da área piloto de Ponta de Pedras, Ilha de Marajó, Pará. Dissertação de mestrado, Belém, UFPA/NCGG, 143 p.
- PIUCI, J. & FENZL, N. - 1978 - Variação do quimismo das águas subterrâneas rasas durante o ano hidrológico e suas consequências para o uso humano. Reunião Anual da SBPC, 30: 394-395, São Paulo, SP.
- PORSANI, M.J. - 1981 - Paleocanais, uma opção para a prospecção de águas subterrâneas rasas na Ilha de Marajó. Dissertação de mestrado, Belém, UFPA, 109 p.
- RIJO, L., PELTON, W.H., FEITOSA, E.C. & WARD, S.H. - 1977 - Interpretation of apparent resistivity data from Apodi Valley, Rio Grande do Norte, Brazil. Geophysics, 42: 811-822.
- SCHALLER, H., VASCONCELOS, D. & CASTRO, J. - 1971 - Estratigrafia preliminar da bacia sedimentar da foz do rio Amazonas. Anais do XXV Congr. Bras. Geol., 3: 189-202, São Paulo, SP.
- TANCREDI, A.C. - 1972 - Application de la prospection électrique a l'étude hydrogéologique de L'île de Marajó, État du Pará, Brésil. Diplome Et. Sup. Strasbourg, Multig. 25 p.
- VERMA, O.P. & BISCHOFF, J.H. - 1989 - Laboratory and field studies of the application of electromagnetic prospecting on Marajó Island, Brazil. Geophysics, 54: 23-30.
- WARD, S.H. - 1990 - Resistivity and Induced Polarization Methods, Geotechnical and Environmental Geophysics. Investigations in Geophysics No. 5, I: Review and Tutorial. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, 389 p.

Versão recebida em: 18/12/90

Versão revista e aceita em: 20/09/91

Editor Associado: O.A. Lima de Lima