

Eletrorresistividade e sísmica de refração no estudo de Água Subterrânea, em Marajó/PA.

Carmelina N. Kobayashi

RESUMO

Este trabalho foi realizado numa área de 25km² em Ponta de Pedras, Ilha de Marajó. Tendo por objetivo o dimensionamento geométrico e seleção de zonas favoráveis à água subterrânea. Foram utilizados dois métodos geofísicos: sísmica de refração e eletrorresistividade. O método sísmico foi empregado em caráter experimental, visando verificar a viabilidade de sua aplicação na área. Os resultados de interpretação confirmaram a hipótese inicial, de existência de horizontes geológicos pouco profundos, não possíveis de serem distinguidos pelo método sísmico. Com o método de eletrorresistividade foram feitas sondagens verticais e perfis horizontais. Os resultados de interpretação indicaram áreas promissoras na parte central e numa faixa ao norte da área prospectada. A espessura do aquífero raso varia entre 0 e 50m.

ABSTRACT

This work was performed in a area of 25km² in Ponta de Pedras, Marajó Island. The purpose of this work was to study the geometry of the aquifers and to select favorable zones for development of ground water. Two geophysical methods were used: seismic refraction and electrical resistivity. The first one was used experimentally intending to find out the possibility of its application in the area. The seismic results obtained confirm the original expectation of the existence of shallow geologic horizon at the surface, not able to be distinguished by the seismic method. Vertical electrical soundings and horizontal perfil resistivity were done with the electrical resistivity method. The results of the interpretation point out favorable areas in the central part of the study area and in a zone extending to the north of the prospected area. The thickness of the shallow aquifer varies between 0 and 50 m.

INTRODUÇÃO

O projeto "Avaliação e Utilização dos Recursos Hídricos da Ilha de Marajó", tem como objetivo fundamental, o estudo de águas subterrâneas rasas em algumas áreas piloto da Ilha de Marajó: áreas de concentração populacional e de campos naturais, onde se desenvolvem atividades pecuárias. Parte destes terrenos tem problemas de água salgada durante o período de secas (agosto a dezembro). Dentre os trabalhos anteriores na ilha, destacamos de IDESP (1974), que fez prospecção elétrica em uma área de 20.000km².

Este trabalho visa o estudo de detalhe para avaliar quantitativamente as dimensões de estruturas favoráveis à água subterrânea em Ponta de Pedras. O maior problema da região da Ponta de Pedras é quanto ao químismo da água subterrânea, fato constatado no trabalho de Piucci (1975), embora não chegou a afetar sensivelmente as atuais atividades da região. Alguns locais, como na Praia Grande, os moradores tem problemas de abastecimento de água, devido a terrenos com predominância de argilas e profundidades rasas.

Três poços e oito piezômetros foram utilizados para auxiliar a interpretação geofísica, fornecendo informações sobre a variação vertical de litologia e o comportamento físico-químico da água.

CARACTERÍSTICAS LOCAIS

Literatura sobre a geologia regional de Ilha de Marajó pode ser encontrada em diversas publicações tais como IDESP (1974) e Shaller Vasconcelos e Castro (1971).

A área prospectada situa-se a sudeste da Ilha, Fig.1. Pertence ao Pediplano Pleistocênico, Projeto RADAM (1974), apresentando características semelhantes às do continente, a leste da ilha.

A topografia é plana (Relatório interno do NCCG 1975), com um gradiente máximo de 0,3%.

Os principais sedimentos de superfície e subsuperfície (até 40m, máxima perfurada), compõe-se de areia fina a grossa, quartzosa, argila e silte. Concreções limoníticas, são muito frequentes, cimentando grãos de quartzo ou argila e outras substâncias. Os sedimentos desta área, fazem parte de um pacote de sedimentos deltaicos frontais e de topo, com 700-800m de profundidade (Ludwig, 1968).

Piucci e Coes (1978), fazendo a correlação entre os sedimentos de Ponta de Pedras e da Ilha de Guteiro, verificaram uma grande semelhança entre as assembléias de minerais pesados destes dois locais.

A superfície piezométrica varia entre 1m e 5m.

A drenagem da área é constituída por rios e igarapés de água doce que estão sujeitos a influência das marés em toda a extensão.

O aquífero raso é constituído de camadas predominantemente arenosas, com intercalações argilosas, distribuídas de maneira irregular, tanto lateralmente como ao longo da profundidade.

ESTUDOS GEOFÍSICOS

MÉTODO DE ELETROPRESISTIVIDADE

Trabalho de Campo

Foram executadas 28 sondagens elétricas verticais

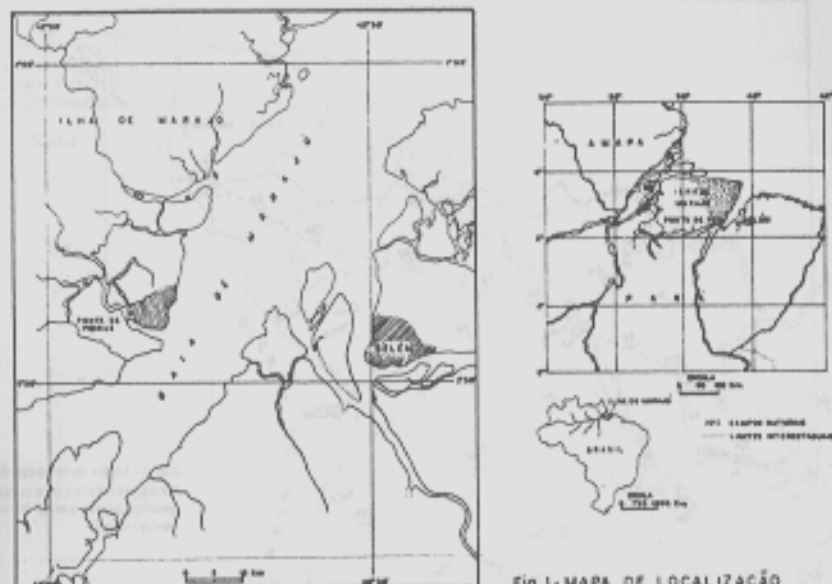


Fig.1-MAPA DE LOCALIZAÇÃO

(SEV). Fig. 2, utilizando-se arranjo simétrico Schlumberger, com valor máximo de $AB/2$, 300m, devido às limitações dos equipamentos. Para estudar a variação lateral da resistividade, foi feita uma perfilagem elétrica horizontal de 2.350m (Fig.3).

Foram utilizados dois instrumentos de medida: o SERCEL, da série AE 831 A, da Companhia Francesa e ER-300 da Companhia Nacional PERGEO.

Problemas usuais surgiram no campo, tais como a influência do SP, heterogeneidade lateral de litologia, alta resistividade de contato, sendo todos eles contornados.

Agrupamento e Interpretação das Sondagens Elétricas Verticais e Perfilagens Horizontais

Observando-se as curvas de sondagens, pode-se classificá-las em dois grupos: o 1º grupo que corresponde à maioria das sondagens (Fig. 4), é caracterizado por apresentar resistividade aparente bem elevado até $AB/2 = 50m$ e decrescente no restante da curva; o 2º grupo, se caracteriza por apresentar resistividade inicial mais baixa do que as do 1º grupo, decrescendo rapidamente, desde $AB/2 = 5m$, até o final da curva, Fig. 5.

A interpretação das curvas de SEVs, foi feita preliminarmente por processos gráficos, e, refinada por métodos numéricos. No processo gráfico foi utilizado o método do ponto auxiliar (Keller and Frickknecht, 1956) com curvas de duas canadadas. Para o método numérico foi utilizado um processo escrito em FORTRAN IV (Rijo, 1977), e adaptado para o computador HP/9866A e IBM/370, mod. 135. Essa interpretação teve apoio em sondagens geológicas.

Na Fig. 4 pode ser visto o resultado da interpretação de uma sondagem pertencente ao 1º grupo de curvas e uma sonda geo-geológica de correlação. As três sondagens estão localizadas num raio de 1 km. A partir de $AB/2 = 15$, observa-se que elas apresentam o mesmo comportamento geoeletrico.

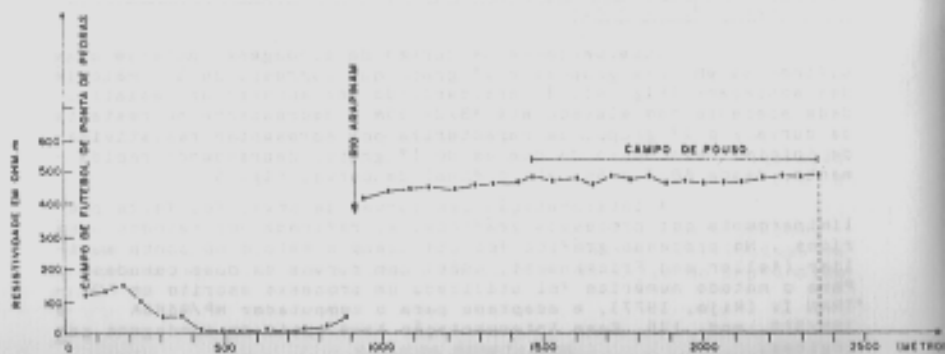
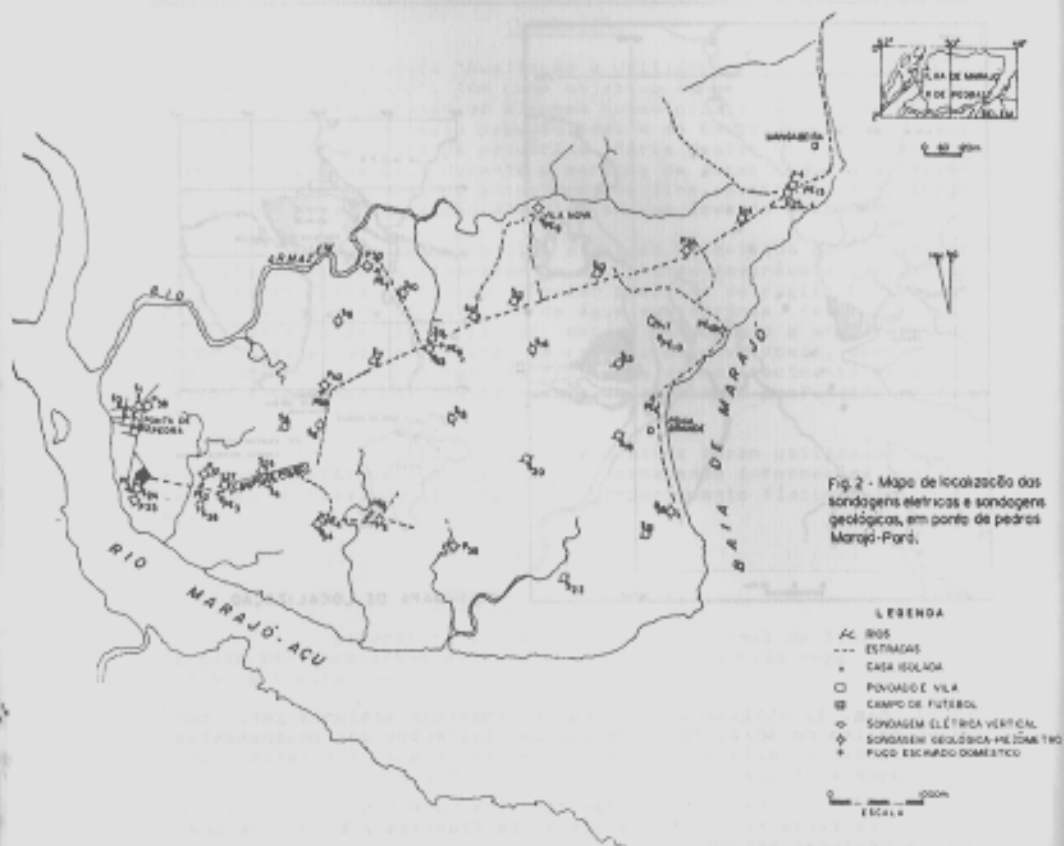


FIG. 3 - PERFILAGEM HORIZONTAL NA ESTRADA PONTA DE PEDRAS - MANGABEIRA, ARRANJO WENNER COM $a = 40$ m.

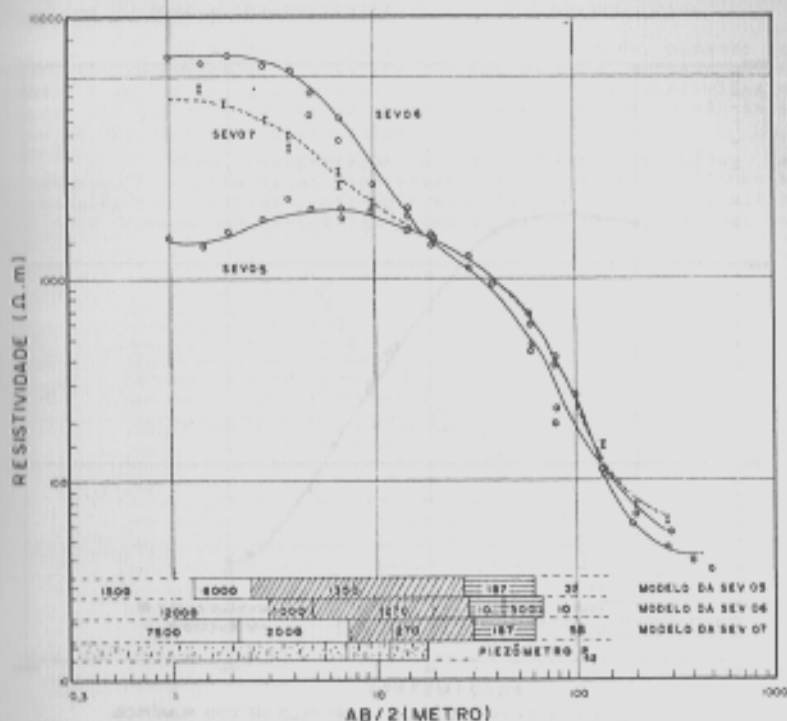


FIG. 4 - INTERPRETAÇÃO DAS SEV 05,06,07 PELO MÉTODO NUMÉRICO.

O, I, O - OBSERVAÇÕES DE CAMPO

— — — — — CURVAS OBTIDAS DO MODELO ACIMA

1500 RESISTIVIDADE EM OHM.M

▨ HORIZONTE M_1

▨ HORIZONTE M_2

A camada geoeletrica de resistividade em torno de 1.270hm.m, que será designado de horizonte M_1 , foi interpretada como sendo de predominância arenosa e saturada com água doce. O segundo horizonte, designado de M_2 , com resistividade em torno de 200 ohm.m, pode ser uma camada de areia argilosa que M_1 , ou de mesma formação deste, porém saturado com água mais salinizada. Esta última hipótese é verdadeira para a área compreendida entre o Rio Arapina e o Rio Arnazém, evidenciada pela condutividade da água em dois poços, que apresentaram um valor dezenas de vezes maior do que no restante da área. O perfil elétrico horizontal, destaca essa variação de resistividade, conforme a Fig. 3. A última camada interpretada, de resistividade relativamente baixa, com dezenas de ohm.m, foi interpretada como sendo de predominância argilosa. Um poço de 200m, perfurado em Soure, onde a geologia é semelhante sugere que a interpretação tem consistência.

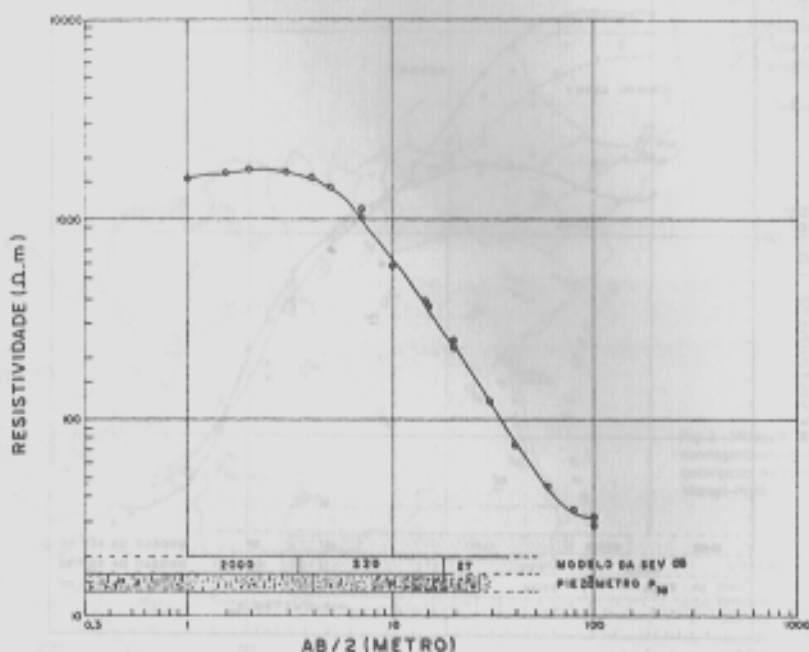


FIG. 5 - INTERPRETAÇÃO DA SEV 03 PELO MÉTODO NUMÉRICO.

- OBSERVAÇÕES DE CAMPO
 \ CURVA OBTIDA DO MODELO ACIMA
 2000 RESISTIVIDADE EM OHM.M

A Fig. 5, mostra a interpretação de uma curva do grupo 2. Neste, observa-se a ausência da camada de resistividade 1270 ohm.m. Quanto às outras camadas geolétricas deste grupo de curvas é semelhante ao do 1º grupo. As SEVs do grupo 2 foram feitas em áreas onde os resultados de análise da água apresentaram melhor salinidade. Este fato explica a resistividade inicial relativamente baixa das curvas de sondagens deste grupo.

MÉTODO DE REFRAÇÃO SÍSMICA

Trabalho de Campo

O equipamento utilizado no levantamento sísmico foi o sistema TRIO de Refração Sísmica, da Cia ABEM, de 24 canais.

Os tiros foram dados com espoletas elétricas sísmográficas nº 8 e dinamite gelatinosa 40%. A carga máxima utilizada foi de 75 gramas e enterrados a cerca de 1m de profundidade.

Os geofones foram estendidos em linha reta, com espaçamento de 2 metros entre os quatro das extremidades e o restante, entre eles, distanciados de 11 metros. A escolha do pequeno espaçamento nas extremidades visava o registro do impulso sísmico direto (onda direta).

Foram feitas tiros diretos e reversos, próximos (2m) e distantes da distribuição (30 m).

Registros obtidos e interpretação

Os registros sísmicos foram muito bons, podendo ser observado com destaque, a primeira chegada de onda, marcada com símbolo δ na Fig. 6. As outras ondas refratadas foram suprimidas na figura, por que além de não estarem nítidas no registro, não interessavam aos objetivos deste estudo.

Para interpretação dos dados foram construídas as hodocronas. A maioria delas apresentam duas retas com diferentes inclinações Fig. 7. Cada inclinação está ligada a um determinado horizonte sísmico com diferentes velocidades de propagação das ondas.

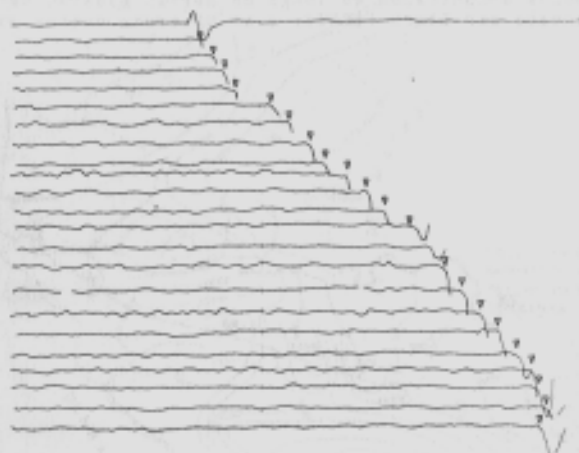


Fig. 6 - REGISTRO SÍSMICO - TIRD REALIZADO EM SANTO LENÇO, NA ESTRADA PONTA DE PEDRAS - MANGABEIRA.

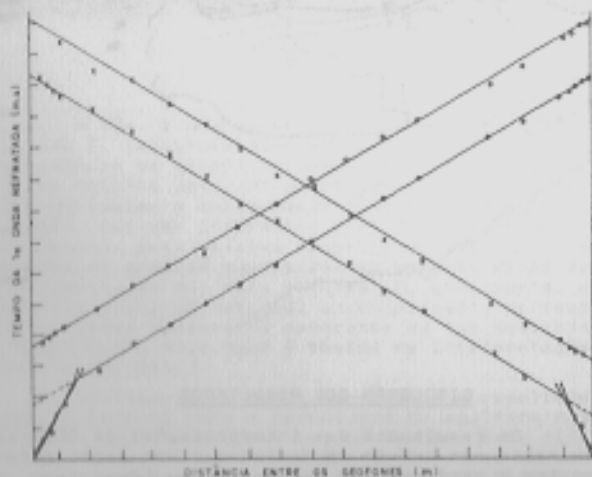
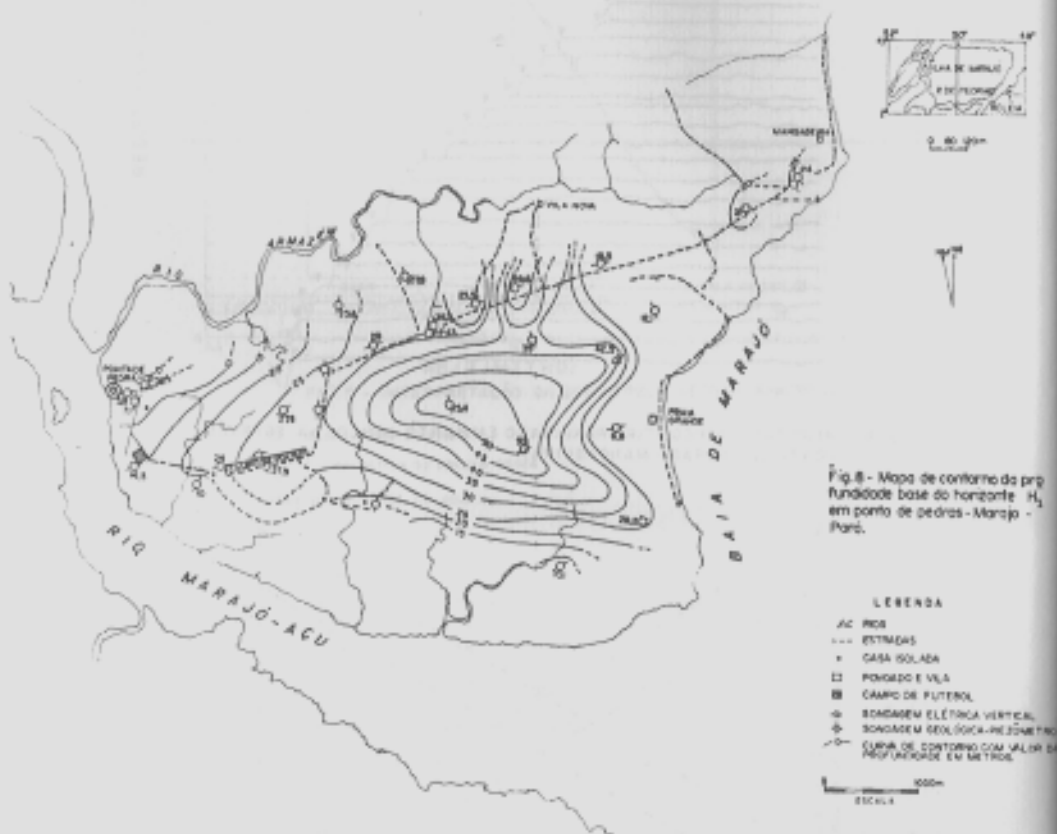


Fig. 7 - HODOCRONA DE UMA DISTRIBUIÇÃO A 400m DO PIEZÔMETRO P_{44} NA ESTRADA PONTA DE PEDRAS - MANGABEIRA.

Da interpretação quantitativa, pode-se destacar os seguintes resultados:

- O ângulo máximo de inclinação para as camadas foi de 0,5%, o que lhe dá um caráter de horizontalidade;
- A sequência de sedimentos se comporta de maneira homogênea sob o ponto de vista de velocidades sísmicas;
- O 1º horizonte apresentou uma média de velocidade 507 m/s e espessura entre 3,5 e 8 metros. Foi interpretado como a camada não saturada. O segundo horizonte com média de velocidade 1.650m/s e espessura não definida por este método, foi interpretado como camada saturada de água. Estas interpretações estão baseadas nos poços encontrados ao longo do perfil e estão dentro da faixa apresentada por Clark (1966), e em diversas outras literaturas.



DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados das interpretações de SEVs estão apresentados em mapas com curvas de contorno e uma seção geoeletrica. A Fig. 8 mostra a profundidade da base do aquífero resp. horizonte H_1 . Estas curvas mostram que as maiores profundidades deste horizonte, da ordem de 50m, são encontradas na parte central e norte da área. Estes dados concordam com parâmetros de alguns poços perfurados e com o trabalho de Piucci (1978), exceto numa pequena área, embora este autor tenha feito o estudo a profundidades mais rasas do que a alcançada por este trabalho.

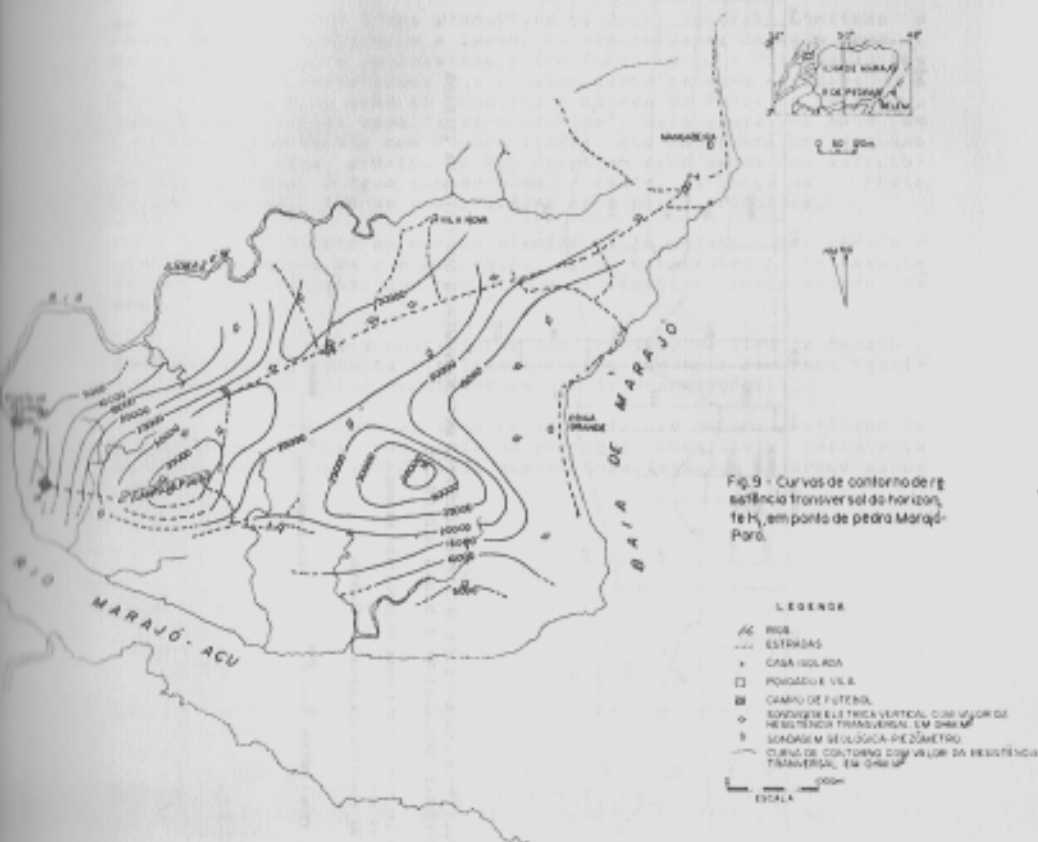


Fig. 9 - Curvas de contorno de resistência transversal do horizonte H_1 em ponto de pedra Marajó-Para.

A Fig. 9 mostra as curvas de contorno da resistância transversal T , calculada pelo produto dos valores da resistividade pela espessura da camada correspondente ao horizonte H_1 . Os dados foram os obtidos pela interpretação numérica. Este mapa é importante por minimizar a ambigüidade inerente à interpretação numérica, e também, por ser indicativo para distinguir horizontes que são bons aquíferos, pois valores altos de resistância transversal, indicam camadas de grandes espessuras ou valores altos de resistividade ou a combinação dos dois fatores. E, geralmente, os valores altos de resistividade em material inconsolidado, corresponde aos sedimentos com grãos grosseiros saturados ou sub-saturados com água doce. Deste modo, este mapa é básico na interpretação da hidrogeologia para o geofísico.

Utilizando-se dados geofísicos e resultados de análise da água, obtiveram-se para a porosidade do aquífero raso, os valores 40% e 29%, calculados pela Lei de Archie. Esta diferença nos valores da porosidade se deve a diferentes valores de condutividade da água encontrados no mesmo aquífero. Pucci (1978), estimou a porosidade em 40% a 45% através de análise granulométricas dos sedimentos do mesmo sistema aquífero. Schoeller (1962), estimou em 33,1% e 35,3%, estudando as areias continentais. Portanto, o cálculo da porosidade através de informações geofísicas é perfeitamente viável nesta área.

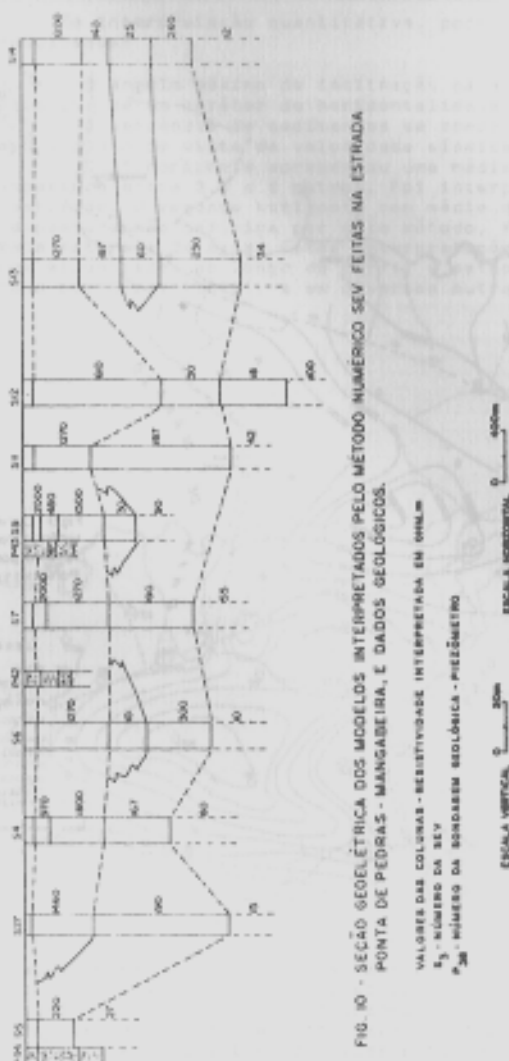


FIG. 10 - SEÇÃO GEOELÉTRICA DOS MODELOS INTERPRETADOS PELO MÉTODO NUMÉRICO SEV FEITAS NA ESTRADA PONTA DE PEDRAS - MANGABEIRA, E DADOS GEOLÓGICOS.

A Fig. 10 mostra uma seção geoeletrica obtida a partir dos resultados da interpretação numerica dos SEVs. Observa-se entre as sondagens, uma boa correlação das mesmas horizontes geoeletricos, já referenciados na interpretação. A correlação destas horizontes, com os dados de poços e trabalhos de Piucci (1978), sugere que os horizontes H_1 e H_2 constituem estruturas favoráveis a água subterrânea, sendo H_1 melhor do que H_2 . Um trabalho em Souza Maranhá, de Kobayashi (1980) reforça estas sugestões.

CONCLUSÕES

Com o suporte nas sondagens elétricas e geológicas, tornou-se possível a demarcação de "zonas que foi denominada de zonas "produtivas", semi-produtivas" e pouco produtivas", relacionadas a estruturas favoráveis ou não a água subterrânea rasa. As Fl-

guras 5 e 9 sugerem áreas produtivas na parte central, limitada a oeste pelo Rio Arapim e a leste, às proximidades de Vila Nova. Ao norte, essa zona se localiza entre Santo Lenço e Vila Nova. Neste estudo ficou caracterizado que a maior parte da área estudada é produtiva. Na área onde se localiza a cidade de Ponta de Pedras, tem-se uma provável zona "semi-produtiva". Esta suposição está em parte em discordância com Piucci (1978), que considera um pequeno trecho desta zona, próximo ao Rio Arapim como sendo uma estrutura bem favorável à água subterrânea. A oeste, ao longo da Praia Grande e ao sul, tem-se uma provável zona pouco produtiva.

Quanto ao método sísmico, cujo objetivo era verificar a viabilidade de sua aplicação, ficou constatado pelos resultados da interpretação, que não atende os objetivos deste estudo na área.

Estudos posteriores semelhantes, na Ilha de Marajó, em áreas geologicamente similares, feitos com mais recursos técnicos, vieram dar maior consistência nas interpretações.

Finalmente, pode-se concluir que método geofísico de eletroresistividade, com apoio da geologia, constituiu ferramenta satisfatória no estudo de água subterrânea, em seus diversos aspectos.

BIBLIOGRAFIA

- CLARK, JR. S.P. - (1966) - Handbook of Physical Constants, the Geological Society of America Inc, New York.
- IDESP - Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Pará - (1970) - Estudos Integrados de Ilha de Marajó, Gov. do Estado do Pará.
- KELLER AND FRISCHNECHT - (1966) - Electrical Methods in Geophysical Prospecting, Pergamon Press.
- KOBAYASHI, C.N. e RUIO, L. - (1978) - Eletroresistividade Aplicada à Prospeção de Águas Subterrâneas no Município de Soure.
- LUDWIG, G. - (1988) - Die Geologische Entwicklung des Marajó-Beckens in Nord-brasilien, Geol. Jb., 68, 8845878, 3Abb., 8Tab., 10Taf Hannover.
- PIUCCI, J. - (1978) - Microgeologia de Área Piloto Ponta de Pedras Ilha de Marajó-Pará. Congresso Brasileiro de Geologia, 30. Recife.
- PROJETO RADAM-RADAR AMAZÔNIA - (1974) - Levantamento de Recursos Naturais, V. 5, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasil.
- RELATÓRIO INTERNO DO NÚCLEO DE CIÊNCIAS GEOFÍSICAS E GEOLÓGICAS - NCGG - (1975) - Projeto Avaliação e Utilização dos Recursos Hídricos da Ilha de Marajó-Pará, para Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP.
- RUIO, L., PELTON, W.M., FEITOSA, E.G., WARD, S.M. - (1977) - Interpretation of Apparent resistivity data from Apodi Valley Rio Grande do Norte, Brazil, Geophysic., V. 42, nº 4, p. 811.
- SHALLER, V.C. e; - (1971) - Estratigrafia Preliminar da Bacia Sedimentar da foz do Rio Amazonas. Anais do 25º Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo, SGB.
- SHOELLER, H. - (1962) - Les Eaux Souterraines, Paris Masson.