

# APLICAÇÃO DE SONDAGENS ELÉTRICAS DE RESISTIVIDADE NO ESTUDO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DA LOCALIDADE DE MARABAIXO III - MACAPÁ / AP

Roberto J. Vega Sacasa<sup>1</sup>; Helyelson, P. Moura<sup>2</sup>; Marcelo J. Oliveira<sup>1</sup>;  
José Maria L. do Rosário<sup>1</sup> & Flávio Augusto. F. Souto<sup>1</sup>

**Resumo** - Sondagens elétricas verticais (SEV) de resistividade, usando a configuração Schlumberger, foram executadas na localidade de Marabaixo III, área periférica da cidade de Macapá, AP, tendo como objetivo estudar as características dos recursos hídricos subterrâneos, destacando-se que o aquífero livre é a principal fonte de abastecimento dos moradores desse loteamento. Os resultados preliminares permitiram obter um modelo geoeletrico de 5 camadas até a profundidade de 50 metros, que é correlacionado a uma seqüência sedimentar, composta por litotipos predominantemente argilosos a argilo-silte-arenosos com concreções lateríticas. O mapa potenciométrico elaborado com as medidas diretas do nível estático (NE) e com as interpretações das SEVs, permitiu delinear a conformação do nível do lençol freático e o sentido do fluxo subterrâneo predominantemente para sul.

**Abstract** - Vertical electrical sounding (VES) of resistivity using Schlumberger configuration were carried out in the outlying neighborhood area of Macapá city, denominated Marabaixo III, in the State Amapá. The main objective is to study groundwater resources characteristics of shallow aquiferous layer, which serves as main water consumption source of this locality residents. The preliminary results allowed to obtain a geoelectrical model of 5 layers to the depth of 50 meters that is correlated to a sedimentary sequence composed predominantly by clay and clay-silt-sand litology with lateritic concrecionary bodies. The potentiometric map elaborated with the direct measures of the static level and with the interpretations of VES's, it made possible to delineate the water table level and the sense of the underground flow which it's predominantly to south direction.

**Palavras-Chave** – sondagem elétrica vertical, aquífero livre, eletroresistividade.

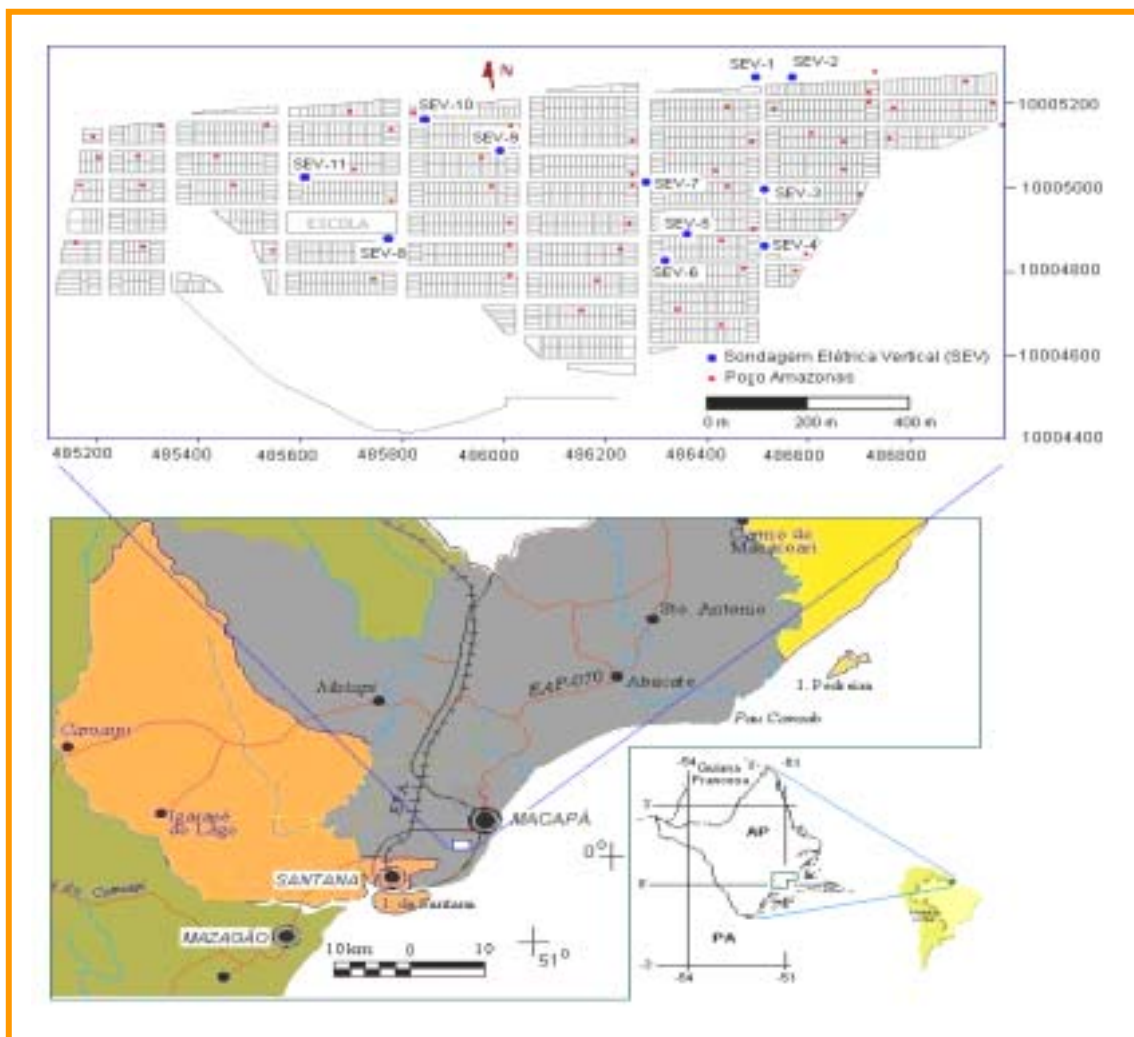
---

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA) / Divisão de Geologia e Recursos Hídricos(DGRH); Rodovia JK, Km 10–Distrito de Fazendinha–Macapá/AP. Fone (96) 212-5357/244. e-mail: roberto.sacasa@iepa.ap.gov.br; marcelo.oliveira@iepa.ap.gov.br; flavio.souto@iepa.ap.gov.br; jmlrosario@bol.com.br  
<sup>2</sup> Universidade Federal do Amapá (UNIFAP); Colegiado de Física; Rodovia JK, Km 2 – Universidade – Macapá/AP. e-mail: helyelson@unifap.br.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho teve como objetivo obter a caracterização geolétrica da área do loteamento de Marabaixo III, localizada na periferia do município de Macapá (Figura 1). As informações geolétricas (resistividade elétrica e espessuras dos horizontes) correlacionadas com as litologias cenozóicas presentes na área foram utilizadas para o entendimento do quadro hidrogeológico local.

Atualmente, o abastecimento de água potável é feito pela maioria dos moradores, diretamente dos poços amazonas, com extração manual ou com bomba elétrica. No verão, a situação torna-se difícil, já que diminui consideravelmente o volume de água, por causa da variação sazonal que leva ao rebaixamento do nível estático no período da estiagem. Neste período a maioria dos poços secam, assim periodicamente tem que ser escavados entre 0.5 m a 1 m para obter a surgência da água. O material sedimentar retirado do fundo do poço a profundidade média de 9m a 11m na maioria dos casos, é predominantemente argiloso mosqueado e/ou argilo-silte-areno, com presença de óxido de ferro na composição.



**Figura 1** - Mapa de localização com o posicionamento das SEVs e poços amazonas da área estudada.

Dentro desse contexto que este trabalho apresenta os primeiros resultados da aplicação do método geofísico de eletroresistividade no conhecimento dos aspectos de natureza geológica e hidrogeológica da área do loteamento de Marabaixo III.

## **ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS**

O potencial de recursos hídricos subterrâneos de uma região é condicionado por fatores climáticos e geológicos. Os fatores climáticos relacionam-se a alimentação da água subterrânea, enquanto que os fatores geológicos indicam o modo de ocorrência e disponibilidade dos recursos hídricos. No que diz respeito aos fatores climáticos, o estado do Amapá está inserido no domínio de clima equatorial, com alta precipitação anual, e boa disponibilidade de água para alimentação dos aquíferos (Tancredi, 1996). Em relação aos fatores geológicos, pouco se conhece sobre as características físicas dos aquíferos da região de Macapá.

Contudo, sabe-se que a maior potencialidade hidrogeológica desta área está condicionada à Formação Barreiras e aos sedimentos quaternários. A Formação Barreiras é constituída por uma grande variedade de litologias, desde sedimentos argilosos, siltosos, arenosos até conglomerados. Sua origem está relacionada a sistema de leques aluviais e planícies fluviais e lacustres. No Amapá, essa formação está restrita a porção oriental do estado, distribuída numa faixa com direção N-S e largura variável. Especificamente, nas cidades de Macapá e Santana, estes sedimentos Terciários encontram-se dispostos discordantemente sobre as rochas do Complexo Guianense, estando por vezes recobertos por sedimentos quaternários (Lima et al. 1991).

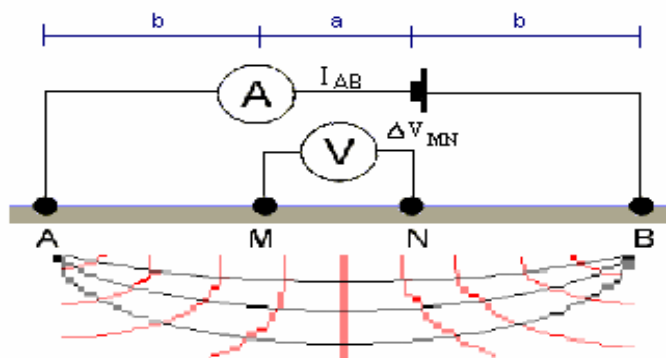
Tendo em vista toda a contribuição sedimentar Cenozóica, cabe destacar aqui a presença de linhas de pedra “stone lines” (reconhecidas no campo), como produto dos processos de lateritização acontecidos na Amazônia, as quais fazem parte notoriamente da composição do modelo geoeletrico interpretado. As linhas de pedra são corpos lenticulares, constituídos de fragmentos de lateritos em matriz argilo-arenosa e espalhados por toda Amazônia. Estão intimamente relacionadas com a dissecação do relevo regional durante o Terciário e o Quaternário. As linhas de pedra são, assim, resultantes da erosão de corpos lateríticos - comuns e aflorantes à época de formação delas - submetidos inicialmente ao intemperismo químico e seguido de erosão. A deposição dos fragmentos ocorre junto à área-fonte, na forma de avalanches, escorregamentos, erosão diferencial (eluviação) e transporte aquoso (Costa, 1991).

## **METODOLOGIA GEOFÍSICA**

No presente trabalho foi empregado o método geofísico de eletroresistividade, o qual se baseia no fato de que as rochas, em função de suas composições mineralógicas, texturais e

disposições, apresentam a propriedade elétrica da resistividade. A resistividade elétrica é a resistência que o material oferece à passagem da corrente elétrica. Em meios porosos como no caso de rochas não consolidadas, o fluxo de corrente elétrica faz-se essencialmente ao nível do fluido intersticial e na camada limite entre a matriz sólida e o meio líquido; em meios não porosos tipo rochas fraturadas, a corrente elétrica é obrigada a atravessar o material constituinte da rocha antes de atingir as fraturas, sendo portanto sujeita a maior resistência. Os minerais de argila, por seu lado, conduzem a corrente elétrica tanto eletronicamente (no fluido), como através da dupla camada na interface mineral/electrólito. Assim, a presença de argilo-minerais altera significativamente a resposta dos ensaios geofísicos, normalmente por diminuição do valor da resistividade elétrica (Braga, 2001).

O método de resistividade elétrica foi aplicado através da técnica de sondagem elétrica vertical (SEV) utilizando o arranjo Schlumberger, com abertura máxima dos eletrodos de corrente  $AB/2$  variando entre 80m e 200m e embreagens com afastamento dos eletrodos MN de 0.6 m, 2 m, 5 m, 10 m até 20 m. Essa técnica requer que uma corrente contínua seja injetada no solo por meio de um par de eletrodos **AB** fixados à superfície do terreno. A diferença de potencial que se forma no solo é medida utilizando-se um segundo par de eletrodos **MN** (Figura 2).



**Figura 2** - Dispositivo de medida das sondagens elétricas através do arranjo Schlumberger.

Por conseguinte, a resistividade subsuperficial, conhecida como resistividade aparente  $\rho_a$ , pode ser calculada conhecendo-se a geometria da disposição dos eletrodos ( $K$ ), a corrente elétrica injetada ( $I_{AB}$ ) e a voltagem medida ( $\Delta V_{MN}$ ) entre os eletrodos M e N, pela Equação 1.

$$\rho_a = K \frac{\Delta V_{MN}}{I_{AB}}, \text{ (}\Omega\cdot\text{m)} \quad (1)$$

Onde  $K$  é o coeficiente geométrico definido por:

$$K = 2\pi \cdot \left[ \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right]^{-1}, \text{ (m)} \quad (2)$$

Ou ainda

$$K = \pi \cdot \left[ \frac{AM \cdot AN}{MN} \right], \text{ (m)} \quad (3)$$

Assim,

$$\Delta V_{MN} = \frac{I\rho}{2\pi} \cdot \left[ \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right] \quad (4)$$

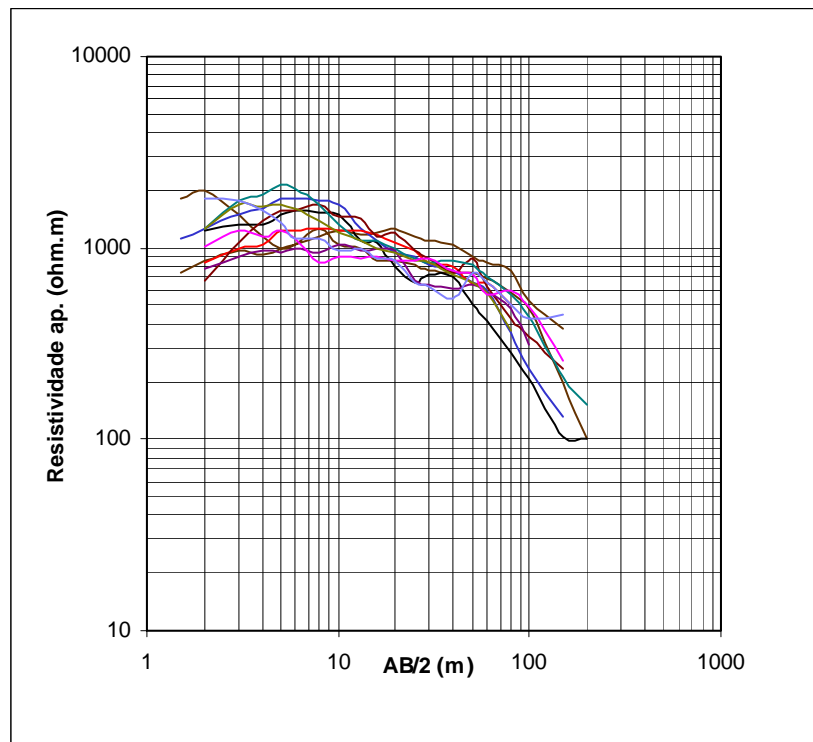
Na execução das sondagens elétricas, o afastamento dos eletrodos AB deve ser muito maior que o dos potenciais MN, mantendo sempre a relação  $MN \leq AB/5$  durante todo o levantamento de campo. Na medida que o espaçamento (b) ou abertura de AB é crescente (Figura 2), aumenta a profundidade de investigação. Portanto, as deduções acima seguem a formulação e a geometria correspondente deste dispositivo tetraeletródico, resumidamente conforme Orellana (1972) e Koefoed, (1979).

Os trabalhos de campo foram desenvolvidos utilizando-se dois modelos de resistivímetro de fabricação nacional: DER-500P e TECTROL. A interpretação dos dados consistiu na modelagem numérica, utilizando os métodos direto e inverso. No processamento e interpretação dos dados foram utilizados, respectivamente, os programas computacionais IPI2Win e Surfer6.0. Informações de tipo litológico de solos e das posições do nível freático em poços do tipo amazonas corroboraram com as interpretações dos modelos geoelétricos.

## APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

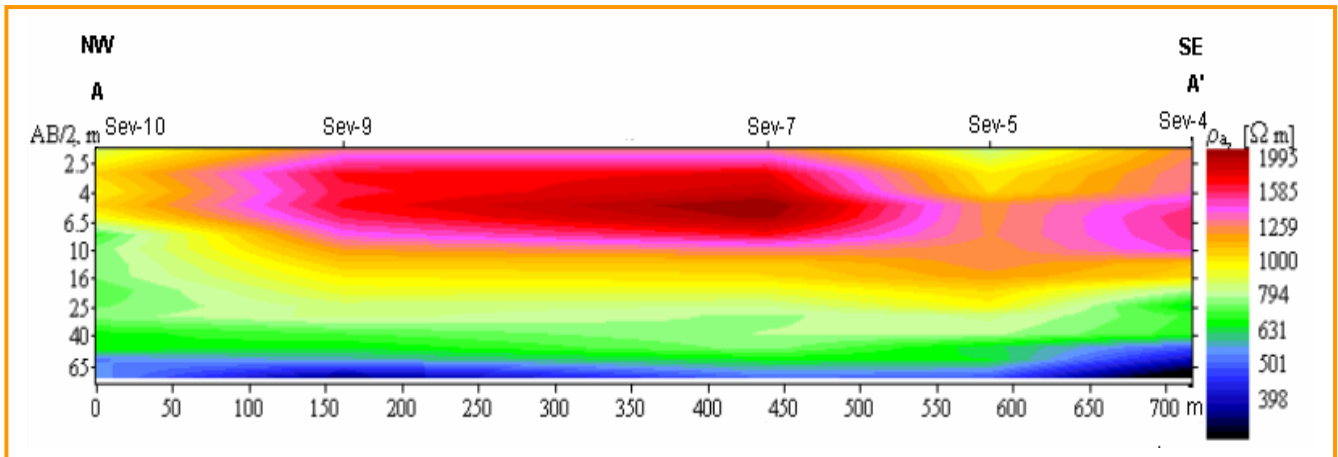
Na área do loteamento de Marabaixo III, entre abril e maio de 2004, foram realizadas onze (11) SEVs, com a localização desses ensaios mostrados nas Figuras 1 e 7 respectivamente. A profundidade média de investigação foi de aproximadamente 50 m, muito embora tenham sido utilizados distâncias AB de até 400 m, porém foram obtidos valores muito baixos, pouco confiáveis, o que limitou a investigação geofísica com os equipamentos disponíveis.

Na Figura 3 é mostrada a família das curvas de campo (SEVs), onde se observa que as mesmas pertencem ao tipo morfológico KQQ, com uma seqüência de resistividade de cada camada,  $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 > \rho_4 > \rho_5$ . Este grupo de curvas representa a assinatura geoelétrica da área estudada com limites aproximados de resistividade aparente entre 100  $\Omega$ .m e 2100  $\Omega$ .m.

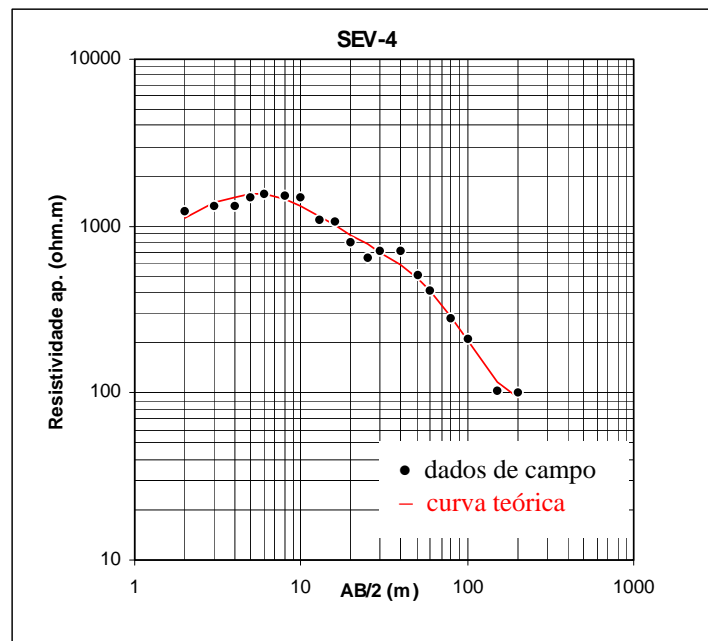


**Figura 3** - Família das curvas de campo das SEVs realizadas no Marabaixo III.

Na Figura 4, é apresentada a pseudo-seção de resistividade aparente A-A', composta pelas SEVs 10, 9, 7, 5 e 4, alinhadas na direção NW-SE conforme mostra a Figura 7. Esta seção forneceu uma interpretação qualitativa preliminar dos dados (modelo geológico inicial), servindo como ponto de partida para a interpretação quantitativa mais refinada. Observa-se nessa figura, pelo contraste de resistividade aparente, cinco horizontes geológicos refletindo as características litológicas presentes na área de estudo. Ressalta-se nessa figura, um horizonte resistivo (resistividade aparente acima de 1700 ohm.m) refletindo a presença do horizonte concrecionário laterítico, melhor visualizado entre as SEVs 9 e 7, nos intervalos de AB/2 de 2,5m e 6,5m. As interpretações das sondagens elétricas forneceram dados a respeito das posições da zona saturada e dos diversos materiais em subsuperfície, como os sedimentos predominantemente argilosos, argilo-silte-arenosos e concreções lateríticas, conforme se observa nas Figuras 5 e 6, com os modelos interpretados das SEVs 4 e 9, que melhor representam a família de SEVs. No processo de modelagem, obteve-se erro de ajuste dos dados coletados entre 5 % a 8 %.



**Figura 4** - Pseudo-seção de resistividade aparente A-A' confeccionada a partir das SEVs 10,9,7,5,4.

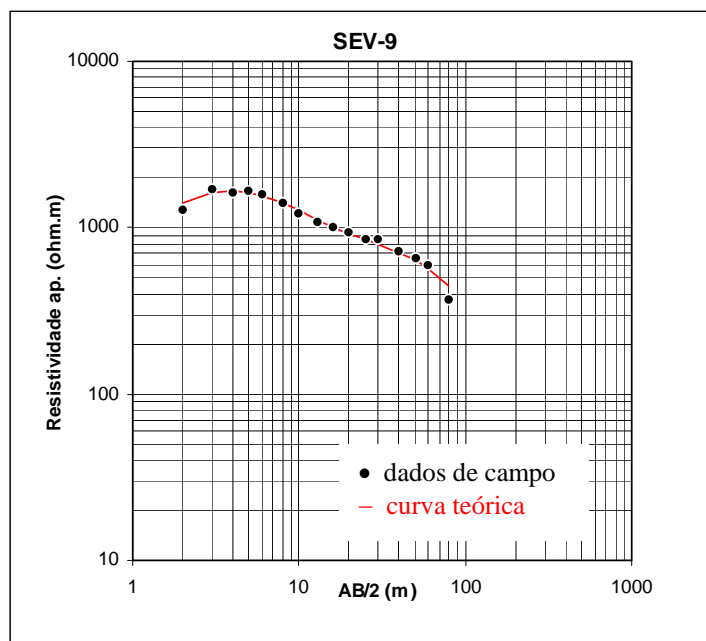


Horizonte	Espessura (m)	Prof. do topo (m)	Resist.(ohm.m)	Interpretação
1	1,1	1,1	753	Material superficial / sed. argilo-silte-arenosos
2	0,8	1,9	6012	Concreções lateríticas
3	7,2	9,1	922	Sedimentos argilosos e argilo-silte-arenosos com concreções lateríticas
4	27,5	36,6	614	Sedimentos saturados argilosos e argilo-silte-arenosos com concreções lateríticas (N.A)
5	-	-	81,5	Sedimentos predominantemente argilosos

**Figura 5** - Interpretação da sondagem geolétrica (SEV-4).

Com base nos resultados dos ensaios realizados anteriormente descritos, tem-se que:

(i) O primeiro, segundo e o terceiro horizonte (Figuras 5 e 6), em função das zonas de distribuição de águas nos solos, são relacionados a zona não-saturada. Essa zona apresentou resistividades variando entre 278  $\Omega$ .m a 7728  $\Omega$ .m associada aos sedimentos argilo-silto-arenosos. Ressalta-se que os valores acima de 1123  $\Omega$ .m até 7728  $\Omega$ .m refere-se ao segundo horizonte associado às concreções ferruginosas aferidas pelas descrições dos poços amazonas e cavas abertas pela população.



Horizonte	Espessura (m)	Prof. do topo (m)	Resist.(ohm.m)	Interpretação
1	0,8	0,8	722	Material superficial / seds. argilo-silte-arenosos
2	0,6	1,4	5337	Concreções lateríticas
3	6,1	7,5	1048	Sedimentos argilosos e argilo-silte-arenosos com concreções lateríticas
4	38,9	47,4	733	Sedimentos saturados argilosos e argilo-silte-arenosos com concreções lateríticas (N.A)
5	-	-	57,2	Sedimentos predominantemente argilosos

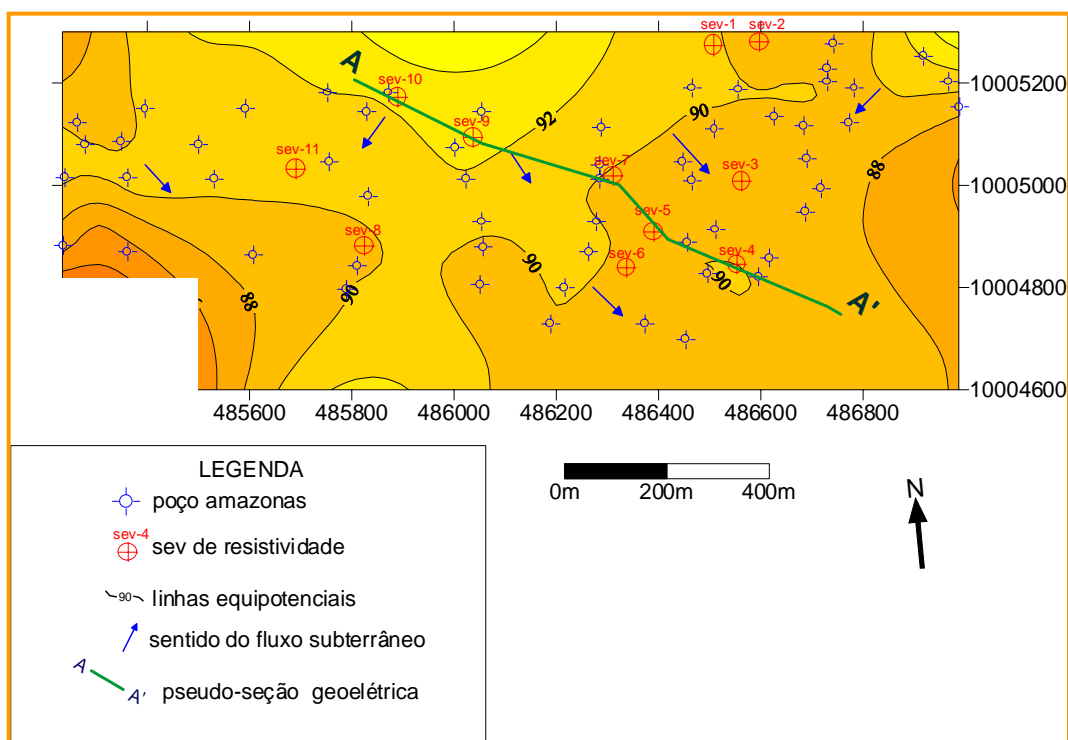
**Figura 6** - Interpretação da sondagem geolétrica (SEV-9).

Em estudos mais completos em regiões tropicais, utilizando imageamento elétrico 2D, o reconhecimento de zonas com concreções ferruginosas, são reconhecidas como altamente resistivas (Ritz, et al.1999; Morales et al. 2001). No terceiro horizonte tem-se uma variação de resistividade entre 1000  $\Omega$ .m e 1200  $\Omega$ .m, mantendo a mesma caracterização litológica.



ii) Os horizontes compostos de materiais predominantemente argilosos com intercalações silte-arenosas com concreções lateríticas e propriamente argilosos (quarto e quinto horizonte) são relacionados a zona saturada. No quarto horizonte a resistividade variou de 530  $\Omega.m$  a 722  $\Omega.m$ , enquanto o quinto horizonte o intervalo de resistividade elétrica foi menor do que o do horizonte anterior, variando de 24,3  $\Omega.m$  a 81,5  $\Omega.m$ , refletindo a presença de uma camada com características de maior argilosidade.

iii) De posse das cotas de cada SEV, de poços de cacimba (amazonas), e a profundidade do nível d'água (N.A), determinou-se a cota do lençol freático no ponto. Posteriormente foram traçadas as isolinhas do N.A, e a direção principal do fluxo subterrâneo gerando o mapa potenciométrico (Figura 7). O sentido do fluxo subterrâneo na área do loteamento é predominantemente para sul, indicado pelas direções preferenciais da circulação subterrânea d'água conforme mostrado no mapa potenciométrico. Observam-se tendências locais NE-SW na porção oeste e NW-SE na parte leste da área.



**Figura 7** - Mapa potenciométrico da área estudada, Marabaixo III, Macapá-AP.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compilação de todas as informações apresentadas neste trabalho, permitiram avaliar preliminarmente as condições hidrogeológicas até aproximadamente 50m na localidade de Marabaixo III. Através dos dados geoeletricos (SEVs), e das medidas do nível d'água nos poços amazonas, conseguiu-se definir um modelo de 5 camadas geoeletricas correlacionadas a um pacote sedimentar com as litologias dos materiais pertencentes a Formação Barreiras e aos sedimentos quaternários.

Foi identificada a litologia dos materiais de sub-superfície, predominantemente argilosos a argilo-silte-arenoso com concreções lateríticas a estimativa da profundidade do lençol freático e o sentido do fluxo d'água subterrânea. Concluiu-se que esse sentido é concordante com o gradiente topográfico da área estudada, isto é, predominantemente para sul.

Tendo em vista que a rede de distribuição pública da companhia de água e esgoto estadual fica muito distante da localidade de Marabaixo, a exploração de recursos hídricos subterrâneos torna-se mais viável através de um sistema isolado de abastecimento por meio de poços tubulares. Todavia estudos de até 50 m não revelaram condições hidrogeológicas favoráveis para grandes vazões.

Portanto, novos aprimoramentos geofísicos, principalmente com o aumento da profundidade de investigação, com uso de equipamentos de maior potência, e a utilização do método de IP, na redução da ambiguidade da interpretação geofísica, poderão dar maiores subsídios e melhor confiabilidade para a delimitação de zonas favoráveis para a locação e perfuração de poços tubulares que possam ser aproveitados para o abastecimento de água potável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **Braga, A.C.O, 2001.** Métodos Geométricos Aplicados: Módulo: Hidrogeologia. Universidade Estadual Paulista UNESP/IGCE/DGA. Rio Claro SP. 91p.
- [2] **Costa, M.L. 1991.** Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. Revista Brasileira de Geociências, Junho, Vol. 21(2) p. 146-160. SBG.
- [3] **IPI2Win.** Resistivity Sounding Interpretation. Moscow State University 2003, (User's manual).
- [4] **Koefoed, O. 1979.** Geosounding Principles 1, Resistivity Sounding Measurements. Elsevier, Amsterdam, 276 pp.
- [5] **Lima, M. I. C.; Bezerra, P. E. L.; Araújo, H. J. T. 1991.** Sistematização da geologia do estado do Amapá. Anais do III Simp. de Geol. da Amazônia. Belém. SBG, p. 322-335.
- [6] **Morales, G.P; Gouvea, J.L; Mendes. L.R.M; Barradas, J.A .2001.** Delimitação da pluma de contaminação dos resíduos sólidos do Lixão do Aurá (Ananindeua/PA) por Imageamento Elétrico. In VII CISBGf, 2001.
- [7] **Orellana, E. 1972.** Prospección Geométrica en Corriente Continua. 2 ed. Paraninfo. Madrid 523p.
- [8] **Ritz, M ; Parisot, J.C, Diouf, S ; Beauvais, A; Dione, F , e Niang, M. 1999.** Electrical imaging of lateritic weathering mantles over granitic and metamorphic basement of eastern Senegal, West Africa. \_ . Journal of Applied Geophysics, 41, 1999 335–344 p.
- [9] **Surfer (Win32) v. 6.01.** Surface Mapping System. 1995. Golden software, Inc. (User's manual).
- [10] **Tancredi, A. C. F. N. S. - 1996.** Recursos hídricos subterrâneos de Santarém. Belém. UFPA. (Tese de doutorado). 156p. 1996.