

# PERFILAGEM GEOFÍSICA DE POÇO E SEV APLICADOS A DELIMITAÇÃO DE AQUÍFEROS

Ronaldo Lopes Rodrigues Mendes<sup>1</sup> & OM Prakash Verma<sup>2</sup>

**Resumo** - Cerca de 46% da água potável consumida na região de Belém, provém de fontes subterrâneas. Contribui para isso, a existência de uma enorme quantidade desses recursos nos sedimentos Barreiras e na Formação Pirabas. Os primeiros foram depositados em ambiente fluvial e estuarino, enquanto que a Formação Pirabas possui fácies de origem estuarina, de mangue e marinha.

No contexto apresentado, mostra-se então a necessidade de investigar tais recursos com o intuito de melhor conhecer o que se tem e assim fazer ótimo proveito deste. Para tanto, foram usadas duas metodologias geofísicas: a Perfilagem Geofísica de Poço, usando raios gama, potencial espontâneo e resistência elétrica, e a Sondagem Elétrica Vertical (SEV).

Ao final do processamento de todas as informações obtidas, pode-se discernir dois ambientes aquíferos. O primeiro até cerca de 160 m de profundidade, em que prevalecem corpos arenosos entrecortados com argila. O segundo, a partir de 160 m, é caracterizado por pacotes arenosos bastante extensos, com lentes de argila. Tais pacotes têm continuidade lateral por quilômetros e espessuras variáveis até a aproximadamente 285 m de profundidade, onde findam os dados, e por isso seria a zona mais adequada a exploração com fim ao abastecimento público.

**Palavras-chave** - geofísica, água subterrânea, BELÉM.

---

<sup>1</sup> CPGF/CG/UFPA. RUA NOVA 401. CEP: 66083-450 – PEDREIRA. BELÉM/PA. TELEFONE (91) 9112-7009. e-mail: rmendes@ufpa.br

<sup>2</sup> DGf/CG/UFPA. RUA AUGUSTO CORRÊA, S/N<sup>o</sup>. CEP: 66075-110. CAMPUS DO GUAMÁ. BELÉM/PA. TELEFONE: (0XX91) 211-1473. FAX: (0XX91) 211-1693. e-mail: verma@ufpa.br

## **INTRODUÇÃO**

A partir de 1999, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (SAAEB) vem fazendo um estudo com o intuito de municipalizar os sistemas de abastecimento e de esgoto do município. Este estudo produziu um relatório preliminar, o qual serviu de base para o texto seguinte.

Considera-se que cerca de 23% da população do município não é abastecida por água potável.

O município de Belém possui um Plano Diretor (PD), elaborado pela Companhia de Saneamento do Estado do Pará (COSANPA), que estabelece diretrizes quanto ao abastecimento de água potável da população. No entanto o planejamento feito não foi executado, além disso a população de Belém quase duplicou em uma década. Bolsões de pobreza foram se avolumando nas periferias da cidade. Isso leva a população destas áreas a servirem-se de águas superficiais e poços dos aquíferos freáticos, implicando em grandes riscos a sua saúde.

Como o PD não foi cumprido, o poder público passou então a medidas paliativas, utilizando sobretudo os mananciais subterrâneos. Unidades de captação (poços profundos) foram se multiplicando pela cidade.

Apesar disso, ainda há problemas de abastecimento no município. Principalmente nas áreas de ocupação desordenada mencionadas anteriormente. A solução deste problema pode ser de duas formas: seguir o PD, que prevê o uso de água superficial, ou então usar os mananciais subterrâneos. Sabendo que a escassez de recursos é premente, esta última alternativa, por ser menos onerosa e de mais simples execução, deve nortear as tomadas de decisão.

## **OBJETIVO**

Através do uso das técnicas de perfilagem geofísica de poço e sondagem elétrica vertical, identificar e delimitar os aquíferos da região, de forma a contribuir no melhor aproveitamento destes.

## **ESTRATIGRAFIA E HIDROGEOLOGIA**

### **ESTRATIGRAFIA DOS DEPÓSITOS CENOZÓICOS DO NE DO PARÁ**

O Cenozóico da região Bragantina (NE do estado do Pará) é composto pela Formação Pirabas e pelos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras (Rossetti *et al.* 1989).

## FORMAÇÃO PIRABAS

Esta unidade é constituída por três fácies: fácies Castelo, constituída por calcários duros diversificados gerado em mar aberto; fácies Capanema, composta por calcários argilosos (margas), micritos e bioclastos, folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos, de ambiente lagunar em borda de bacia ou estuarino; e fácies Baunilha Grande, formada por argilas negras ou vegetais piritizados e nódulos de calcários escuros incrustados de crustáceos, depositada em ambiente redutor, tipicamente de mangue (Petri 1957 e Ferreira 1966, 1977 e 1980 *apud* Ferreira 1982).

Na região de Belém é composta por areias, argilas, conglomerados e calcários, tendo espessura e composições variadas.

O topo da Formação Pirabas ocorre a partir de 100 m de profundidade (Pará 1995) e prolonga-se pelo menos até 270 m.

## SEDIMENTOS BARREIRAS

Esta unidade é constituída por sedimentos continentais argilosos, arenosos variando até conglomeráticos, pouco consolidados, estratificados, de coloração preferencialmente amarelada e alaranjada e com níveis de arenito ferruginoso. Possui ainda fósseis vegetais e animal. Na região de Belém, estes sedimentos foram depositados em ambiente estuarino. Neste contexto foram gerados os sub-ambientes de planície de maré (Farias *et al* 1992).

## SEDIMENTOS PÓS-BARREIRAS

São constituídos por sedimentos inconsolidados, basicamente arenosos com granulometria variando de fina a média, de coloração creme-alaranjada e creme-amarelada a branca, com porções argilosas e geralmente sem estruturas (Sá 1969 *apud* Farias *et al.* 1992). Possuem grânulos de quartzo leitoso e concreções ferruginosas. Localmente há estruturas de dissipação de dunas. Há, ainda, arenitos ferruginosos de tamanho bloco cuja matriz é areno-argilosa incoesa (Farias *et al* op cit).

## SEDIMENTOS ATUAIS

São os sedimentos dispostos ao longo do litoral e vales dos rios e igarapés. São constituídos por areias, siltes e argilas, onde, por vezes, estes aparecem intercalados.

## HIDROGEOLOGIA

A contribuição ao abastecimento da Região Metropolitana de Belém é feito da seguinte forma: cerca de 54% através de águas superficiais e aproximadamente 46% através de águas subterrâneas (ver tabela 1). Isto mostra a grande importância atual da água subterrânea para a área em estudo.

ÓRGÃO	LOCALIZAÇÃO	CAPTAÇÃO		VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)
		Quantidade	Origem	
COSANPA	UTINGA	01	Superficial	18.000
	FCAP	01	Subterrânea	450
	RODEIO	02	"	400
	SIDERAL	02	"	400
	COQUEIRO	02	"	420
	SATÉLITE	02	"	500
	JADERLÂNDIA	01	"	430
	CIDADE NOVA	03	"	900
	PAAR	01	"	300
	MOSQUEIRO	03	"	400
	SUB-TOTAL	17		4.200
SAAEB	S. ROQUE – ICOARACI	01	Subterrânea	300
	ESCRITÓRIO – ICOAR.	02	"	400
	OUTEIRO	01	"	60
	MOSQUEIRO	02	"	350
	COTIJUBA	02		120
		SUB-TOTAL	09	Subterrânea
OUTROS ÓRGÃO	PETROBRAS	01	"	300
	CERPASA	03	"	900
	UFPA	02	"	250
	MPEG	02	"	100
	CIABA	03	"	300
	DIVERSOS*		"	1.100
		SUB-TOTAL		
POÇOS PARALIZADOS		06		1.800
POÇOS RASOS*		5000		5.000
TOTAL				33.180

**Tabela 1.** Demonstração do abastecimento da Região Metropolitana de Belém.  
- Fonte: CPRM – Geólogo Josafá Ribeiro de Oliveira – 1997. Inédito (*apud* Mutó 1997).

\*Valores estimados.

As tabelas seguintes apresentam duas classificações para os aquíferos da região:

<b>Aquíferos</b>	Relacionados ao Quaternário	Relacionados aos sedimentos Barreiras	Relacionados a Formação Pirabas
<b>Profundidade</b>	Até 20 m	Máxima de 100 m	Pelo menos até 300 m
<b>Constituição</b>	Níveis arenosos de granulometria fina a média, quartzosos, de origem continental	Areias de granulometria variando de fina a média, por vezes grossas, conglomeráticas, Quartzosas, de origem continental	Areias de granulometria fina, média e grossa e por seixos arredondados e subarredondados de quartzo. Estão intercalados a calcários fossilíferos, argilas, folhelhos, margas e argilitos
<b>Vazão</b>	Menores que 20 m <sup>3</sup> /h	Em torno de 80 m <sup>3</sup> /h	Até 300 m <sup>3</sup> /h
<b>Observação</b>	Estão sujeitos a contaminação por serem livres. Possuem pequena continuidade lateral	São os mais explotados das região. Suas águas possuem elevado teor de ferro com distribuição irregular, cuja origem se dá pela migração da superfície. Isto implica na necessidade de tratamento por aeração e filtragem.	Em geral são usados para abastecimento público ou por indústrias. Possuem grande extensão lateral e boas espessuras pH e os teores de ferro estão dentro dos padrões permissíveis ao consumo humano.

PARÁ (1995)

<b>Profundidade</b>	Até 50 m	Entre 50 e 80 m	Entre 100 e 110 m	Entre 135 e 195 m e a partir de 205 m
<b>Continuidade lateral</b>	Sem continuidade lateral	Boa continuidade lateral	-----	Boa continuidade lateral
<b>Vazão</b>	Máxima de 20 m <sup>3</sup> /h	80 a 90 m <sup>3</sup> /h	-----	Maiores que 200 m <sup>3</sup> /h
<b>Observação</b>	Teor de ferro menor que 0,2 mg/l e pH entre 4,4 e 6,5 (ácido)	Teor de ferro elevado (maior que 1 mg/l) e pH dentro do padrões	Sem informações adicionais	Teor de ferro e pH dentro dos padrões

Souza & Luiz (1994)

## PERFILAGEM GEOFÍSICA DE POÇO PARA ÁGUA

Foram usadas as seguintes ferramentas:

### - Ferramenta de Raios Gama - RG

Esta ferramenta tem por finalidade identificar litologias a partir de seu conteúdo de minerais radioativos. O potássio é o principal responsável pela radioatividade em rochas sedimentares. Em geral, este elemento é mais abundante nas argilas. Por isso pode-se diferenciar areias/arenitos de argilas/argilitos/folhelhos. Nos primeiros o RG é baixo, enquanto que nos demais, é elevado.

### - Ferramenta de Resistência Elétrica - RE

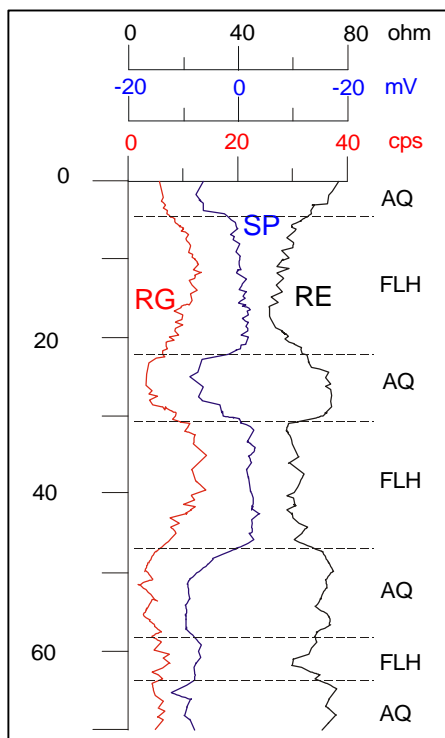
A resistência elétrica frente aos arenitos/areias é elevada por serem compostas por minerais resistivos. Frente a argilas/argilitos/folhelhos é baixa porque são compostos por minerais condutivos. Desta forma esta ferramenta contribui na localização e determinação de espessuras de aquíferos, variações litológicas, correlações entre poços.

### - Ferramenta de Potencial Espontâneo - SP

Mede a diferença de potencial entre a água da formação e a lama de perfuração. Frente a camadas impermeáveis não há diferença de potencial. Frente a camadas permeáveis existe diferença de potencial.

A identificação dos aquíferos e camadas impermeáveis é feita levando em conta as três ferramentas (ver exemplo na figura 1).

**Figura 1.** Exemplo dos perfis de RG, SP e RE e a interpretação destes. AQ: aquífero; FLH: folhelho



## **SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL - SEV**

Este método é baseado na injeção de corrente elétrica em dois pontos do terreno e medida da diferença de potencial entre dois outros diferentes pontos. De posse desses dois parâmetros, calcula-se a resistividade usando:

$$r = K \left( \frac{\Delta V}{I} \right).$$

Onde:

$\Delta V$ : diferença de potencial entre os pontos;

I: corrente elétrica injetada no terreno;

K: constante geométrica devido ao arranjo dos eletrodos.

A resistividade medida é dita aparente em virtude das variações na composição dos materiais em subsuperfície. E é dada por:

$$r_a = K \frac{\Delta V}{I} \text{ (em } \Omega \cdot \text{m)}.$$

Isto permite que identifiquemos os horizontes aquíferos tendo em vistas que estes possuem valores característicos de resistividade aparente.

## **AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS**

### **SEV's**

A aquisição das sondagens elétricas verticais foi feita em meio urbano, o que fez com que a malha fosse irregular (ver figura 2). Foram realizadas 25 SEVs com abertura de AB/2 mínima de 130 m e máxima de 500 m. As curvas das sondagens já processadas são mostradas nas figuras de 3 a 12.

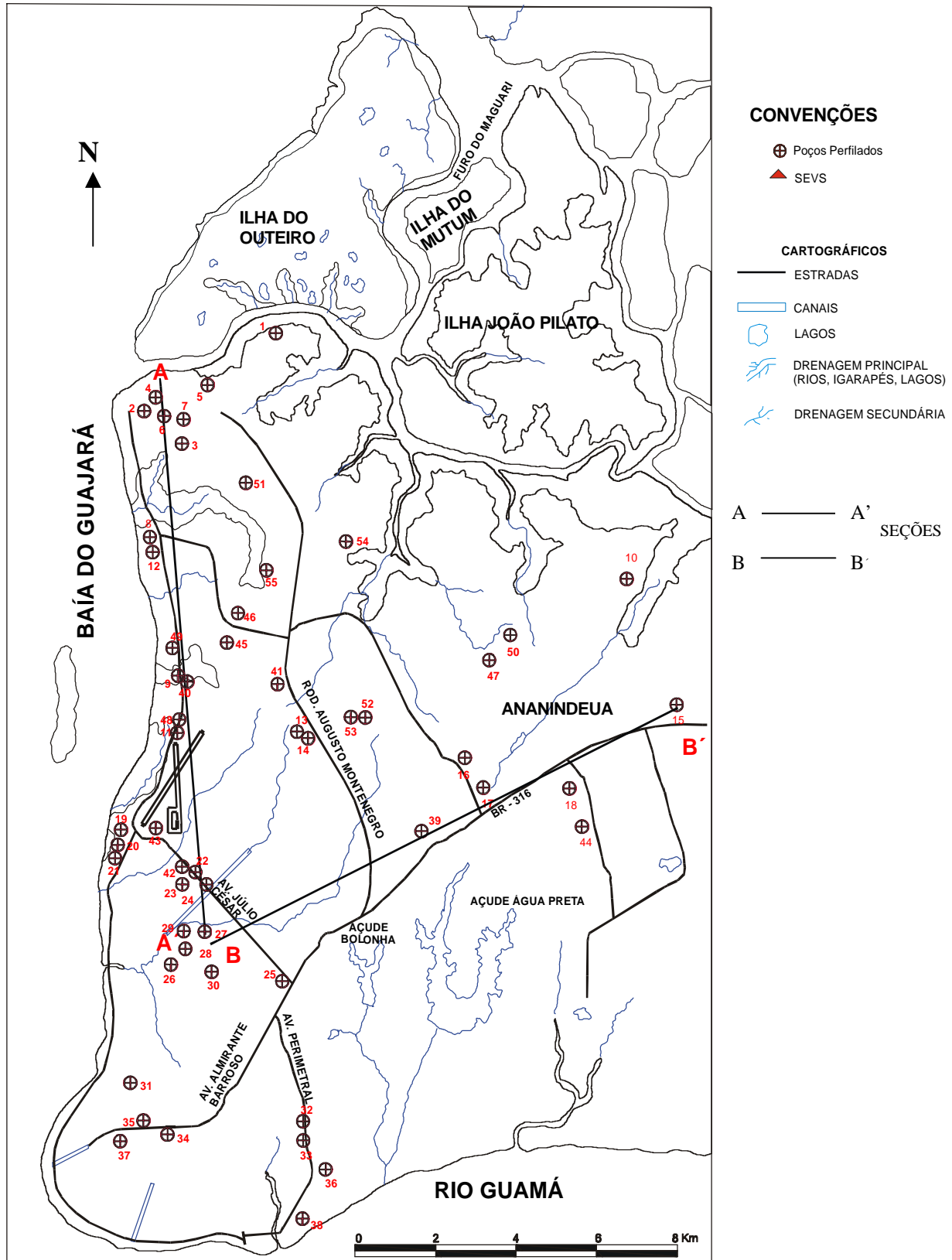


Figura 2. Mapa de localização dos pontos levantados por Perfilagem e SEV.



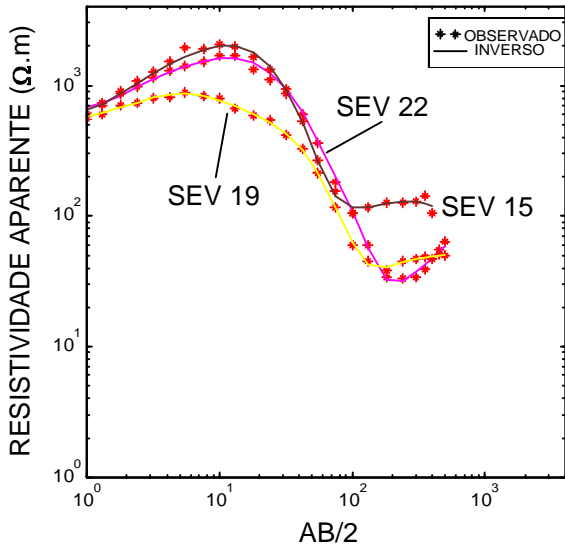


Fig. 3

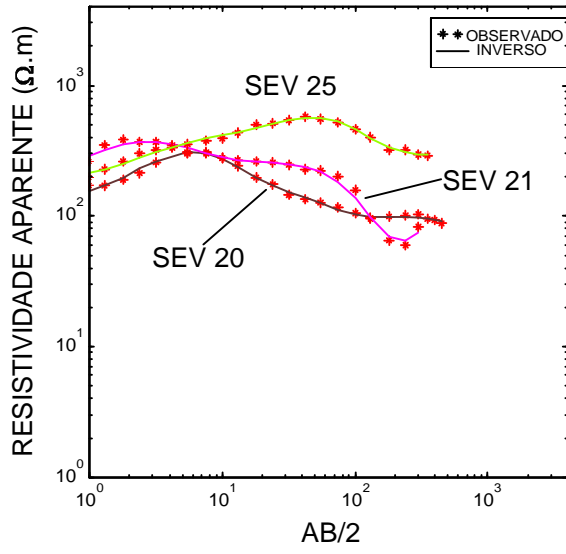


Fig. 4

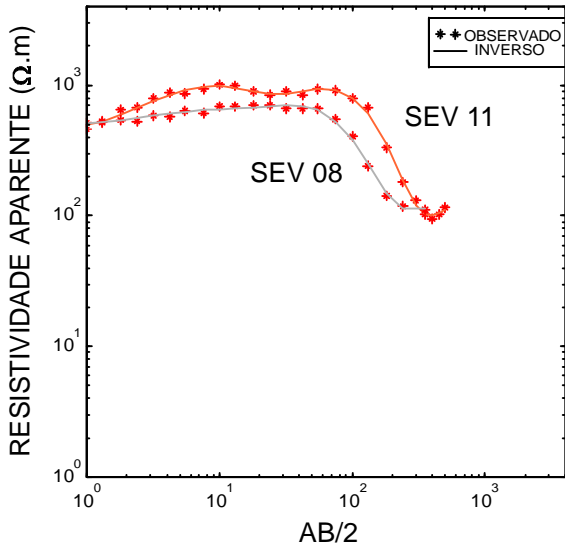


Fig. 5

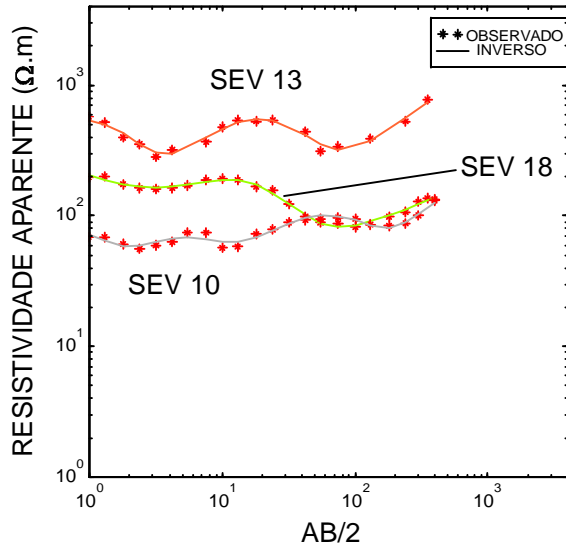


Fig. 6

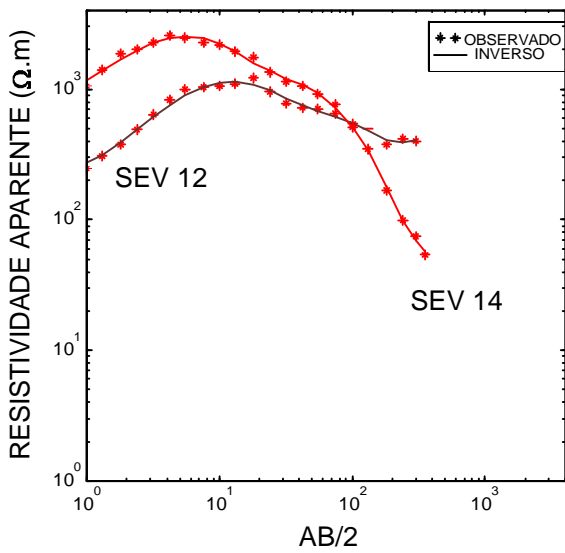


Fig. 7

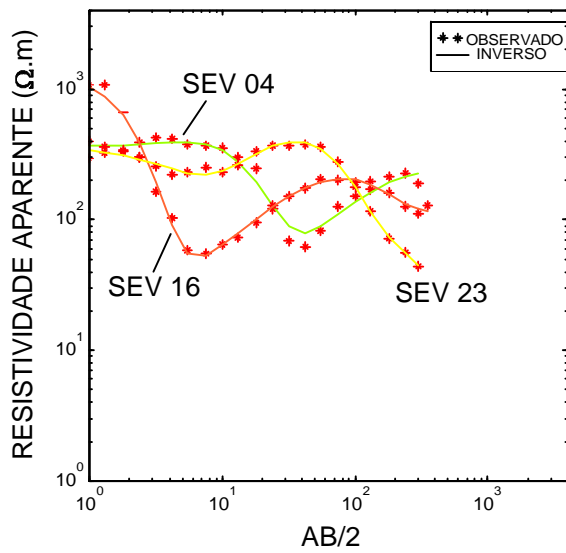


Fig. 8

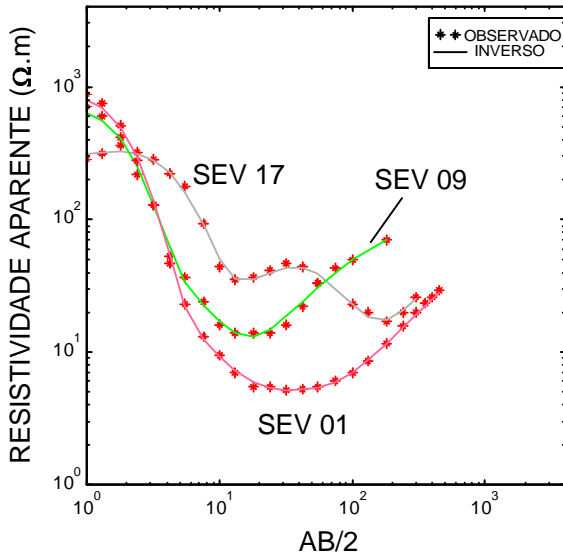


Fig. 9

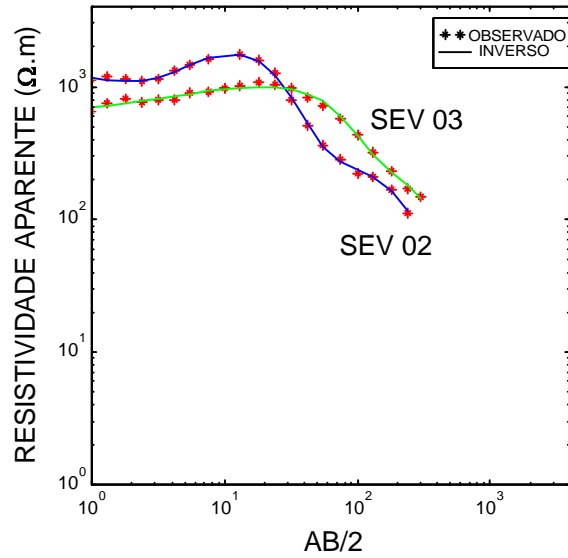


Fig. 10

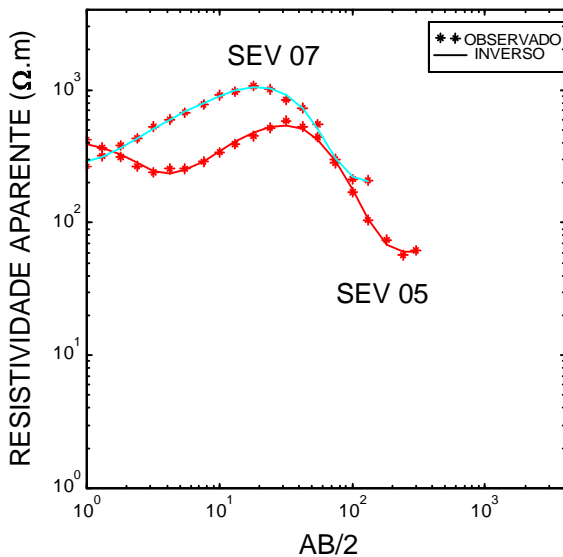


Fig. 11

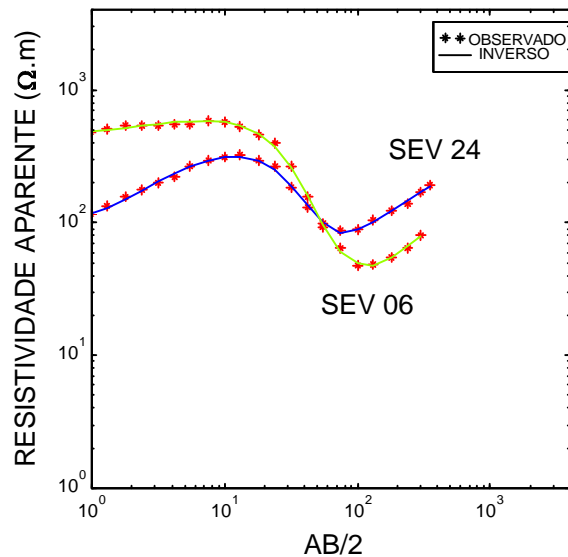


Fig. 12

## PERFILAGENS DOS POÇOS

Foram levantadas 55 perfilagens geofísicas de poços com profundidades variadas (mínima de 30 e máxima de 295 m) na região de Belém, realizadas pelo Departamento de Geofísica (DGf) da Universidade Federal do Pará como prestação de serviços. Isso também leva a confecção de uma malha bastante irregular (ver figura 2). As perfilagens são mostradas nas seções AA' e BB' (figuras 13 e 14, respectivamente).

## APRESENTAÇÃO DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A seção **AA'** (figura 13) atravessa a área na direção N-S paralelamente à margem da baía do Guajará e próximo a esta. É composto pelas SEVs 23, 08, 18, 17, 07, 10 e as perfilagens dos poços 06, 03, 12, 49, 9, 48, 11, 42 e 27. A seção **BB'** (figura 14) é composto pelas SEVs 02, 20, 04 e 03 e pelas perfilagens dos poços 27, 25, 39, 17 e 15. Esta seção está posicionada no centro-sul da área, com direção NE-SW.

Percebe-se que a correlação lateral das unidades geolétricas é pouco freqüente. Isso demonstra descontinuidade lateral dos materiais investigados. A sucessão de unidades geolétricas com baixa e alta resistividade é uma característica geral. Tal variação se dá inclusive em ordem de grandeza. Assim, em termos gerais, foram classificados dois tipos litológicos: argila/argilito/folhelho de baixa resistividade aparente e areia/arenito de alta resistividade aparente. Do ponto de vista hidrogeológico, essas unidades correspondem, respectivamente, a camadas impermeáveis e a camadas permo-porosas, sendo estas últimas os aquíferos. Nesta região, as sondagens definiram horizontes geolétricos em geral bastante espessos, visto seu baixo poder de resolução. Já as perfilagens definiram camadas mais finas dentro de tais horizontes.

Na seção **AA'**, até cerca de 160 m de profundidade, um pouco mais do que as SEVs conseguem investigar, as perfilagens também mostram grande descontinuidade das camadas, mesmas características composicional e hidrogeológica. A partir de 160 m é observada a continuidade ao longo de todo o perfil. Nesta porção, a composição é predominantemente arenosa com intercalações argilosas.

A seção **BB'** possui apenas 3 poços profundos (27, 39 e 17, com 265 m, 285 m e 200 m, respectivamente), separados por vários quilômetros e assim mesmo apresentam continuidade lateral a partir de 170 m de profundidade, onde prevalece a composição arenosa com níveis argilosos. Na zona superior, também repetem-se as descontinuidades da seção **AA'**.

Na seção **AA'** os estratos acima de 160 m são correlacionáveis, mas apenas localmente, como entre os poços 42 e 27, de 50 a 80 m de profundidade, aproximadamente. Na seção **BB'** entre os poços 27 e 25, de 23 a 65 m também tem correlação lateral. Nota-se que tais casos ocorrem geralmente entre poços contíguos, o que mostra que nesta porção a correlação lateral é limitada.



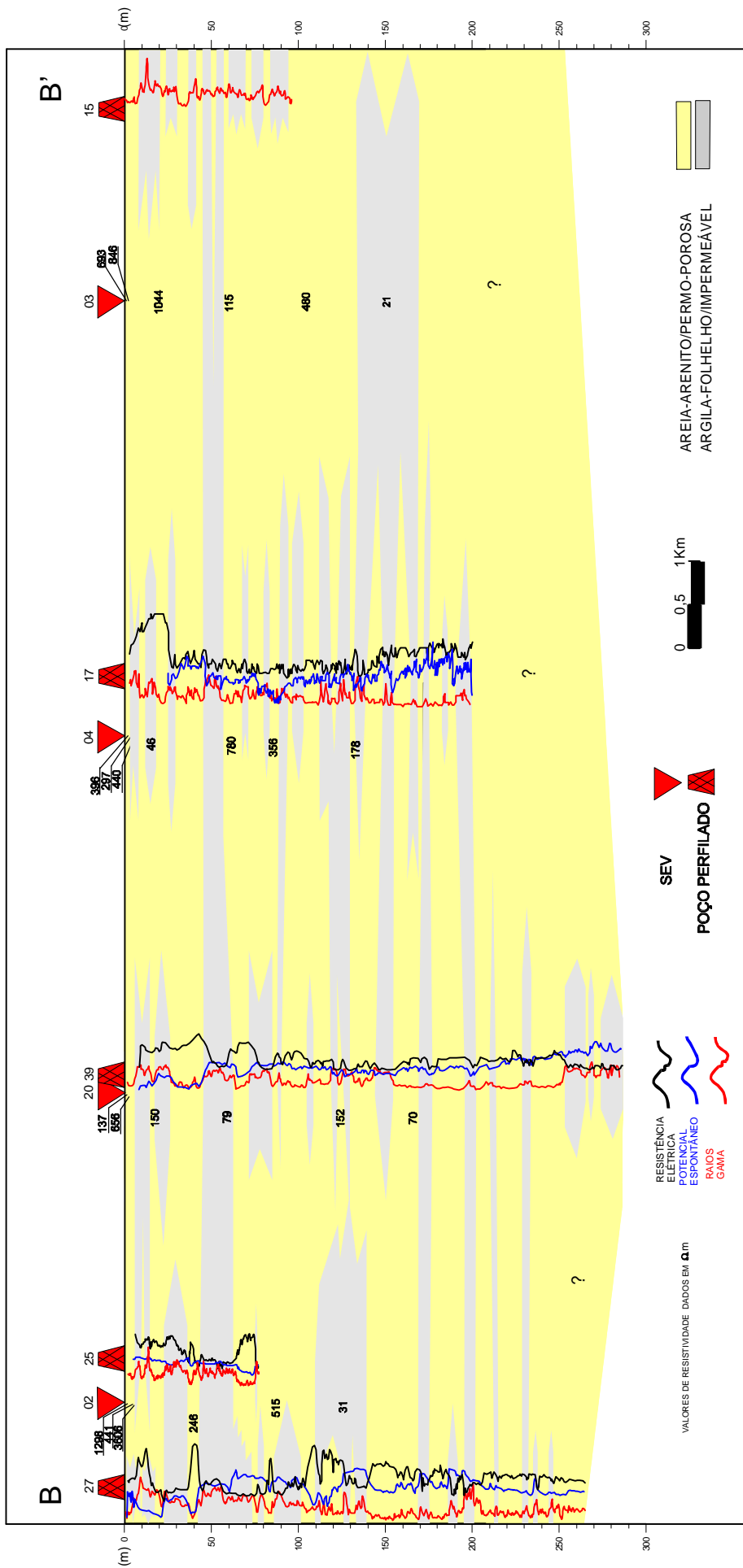


Figura 14

Em termos gerais, considera-se que materiais pelíticos (argila/argilito ou folhelho), compostos por argilominerais, possuem resistividade aparente até 50  $\Omega$ .m. Valores superiores a este referem-se a areia, grânulo, seixo, em geral de quartzo, sendo tais valores tão maiores quanto seu tamanho. Por vezes, valores intermediários podem corresponder a seqüências compostas por variações entre pelitos e areias.

A zona superior possui seqüências arenosas e pelíticas, muitas vezes interdigitados. A forma de lente também é muito freqüente, com dimensões nada uniformes. As espessuras variam entre dezenas de metros.

Em geral, o topo das seções é composto por um conjunto de resistividades bastante variadas em função da lixiviação, produto do forte intemperismo da região, que descaracteriza as unidades superficiais e gera um solo de espessura bastante variada. Por isso foram agrupadas em apenas uma unidade geoeétrica.

As seções (figuras 13 e 14) mostram perfis rebatidos, ou seja, vários elementos foram deslocados lateralmente em até quilômetros para uma única linha. Por isso, alguns valores de resistividade aparente, como 246  $\Omega$ .m na SEV 02 (figura 14), são muito elevados para uma porção tão argilosa da seção.

De acordo com as características mostradas pela geologia, entende-se que a zona aquífera superior faria parte dos sedimentos Barreiras, de ambiente estuarino pela descontinuidade dos corpos sedimentares, e a inferior da Formação Pirabas, de ambiente marinho, em função da elevada continuidade lateral.

Os métodos geofísicos aqui empregados tiveram como principal objetivo reconhecer propriedades que pudessem ser associadas a padrões litológicos e posteriormente correlacionar, tais padrões, lateralmente, com vistas a identificação de aquíferos contínuos o suficiente, que possibilitasse sua exploração com maior vazão possível. Admitindo que o sistema deposicional dos sedimentos Barreiras seria estuarino e o da Formação Pirabas, de mar raso, presume-se que a continuidade lateral do segundo seja maior. É possível que a porção superior (até cerca de 100 m) faça parte da Formação Pirabas, como considera Pará (1995). Seria uma ou as duas fácies não marinhas desta formação: fácies a Capanema, de ambiente lagunar de borda de bacia ou estuarino, também composta por calcários e contendo fósseis, ou então a Baunilha Grande, bastante argilosa, formada em mangue e, portanto, ambas sem continuidade lateral significativa.

## CONCLUSÕES

Aplicando os métodos geofísicos de perfilagem de poço e sondagem elétrica vertical e levando em conta o conhecimento geológico na interpretação de dados, podemos concluir que a região é composta de duas zonas aquíferas bastante distintas.

A primeira se estende até a profundidade em torno de 160 m com corpos arenosos das mais variadas dimensões, interdigitados a pelitos. Seriam corpos arenosos em meio a planícies de lama de um estuário e gradações laterais também neste sistema. Possivelmente os sedimentos Barreiras e possivelmente a porção superior da Formação Pirabas, constituída pela fácies Capanema, de ambiente lagunar ou estuarino e/ou a fácies Baunilha Grande, de ambiente de mangue mangue. O teor elevado de ferro a partir dos 30 ou 40 m de profundidade, inviabiliza enquanto fonte de água potável, a não ser que algum tratamento seja empregado. Sua produção seria razoável, no entanto para abastecimento público pode não ser favorável visto que a os corpos arenosos têm continuidade lateral limitada.

A segunda zona aquífera se estende a partir de 160 m até em torno de 300 m pelo menos. É constituída predominantemente por areias com níveis argilosos. Sua característica principal, a continuidade de seus depósitos por grandes distâncias, induz a interpretar um possível ambiente deposicional marinho. Seria a fácies da Formação Pirabas, gerada em mar aberto. Esta seria a melhor ocorrência de água potável da região, com grande volume de armazenagem e livre de estorvos antrópicos superficiais, servindo ao abastecimento público.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FARIAS, E. S.; NASCIMENTO, F. S. & FERREIRA, M. A. A. 1992. Estágio de Campo III. Relatório Final. Área Belém/Outeiro. UFPA. 247 p.
- FERREIRA, C. S. 1982. Notas Estratigráficas sobre o Cenozóico Marinho do Estado do Pará. Simp. Geol. Amaz. 1. 1982. Anais... Belém. V. 1. p. 84-88.
- MUTÓ, J. 1997. Caracterização geométrica das camadas aquíferas da região metropolitana de Belém (PA) – Bairro de Nazaré. Belém. UFPA. CG, 42 p. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- PARÁ. Secretaria de Estado de Indústria, Comércio e Mineração; Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1995. Plano Diretor de Mineração em Áreas Urbanas. Região de Belém e adjacências: projeto estudo do meio ambiente em sítios de material de construção na região de Belém – Benevides, Estado do Pará,

relatório final. Belém. 157 p.

- ROSSETTI, D. F. de; TRUCKENBRODT, W.; GOES, A. M. 1989. Estudo paleoambiental e estratigráficos dos sedimentos Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. Bol. M. P. E. G., Ciências da Terra, Belém, 1 (1): 25-74. Jul.
- SAEAB. 1999. Sistema de abastecimento de água e esgoto sanitário de Belém – Pará. Relatório preliminar para análise da municipalização dos sistemas de abastecimento de água e esgoto de Belém – PA. 80 p. Belém.
- SOUZA, C. W. M & LUIZ, J. G. 1994. Aquíferos na região de Belém: um estudo com base em perfuração de poços. Bol. M. P. E. G., Ciências da Terra, Belém, 6 : 31-52.