

# APLICAÇÃO DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA PARA A LOCAÇÃO DE POÇOS NOS AQUÍFEROS CRISTALINOS E SEDIMENTARES DA REGIÃO DE SALGUEIRO (PE), NORDESTE DO BRASIL

**Manoel Júlio da Trindade Gomes Galvão<sup>1</sup>; Roberto Gusmão de Oliveira<sup>1</sup> & Almir Gomes Freire<sup>1</sup>**

**Resumo** - A cidade de Salgueiro (PE) está localizada no semi-árido nordestino, em uma região caracterizada por baixa pluviosidade e graves problemas de abastecimento de água potável na zona rural. No município afloram rochas cristalinas, ígneas, metaígneas e metassedimentares, além da porção sul da Bacia Sedimentar do Cedro. Com o objetivo de efetuar locações de poços tubulares nos aquíferos cristalinos e sedimentares, foram realizados levantamentos de resistividade elétrica. O método utilizado foi o de caminhamento elétrico para a construção de pseudo-seções de resistividade aparente com seis níveis de investigação. O arranjo empregado foi do tipo dipolo-dipolo, coplanar, com eletrodos espaçados de 20, 25 e 30 m, de acordo com a situação geológica. Os dados de campo foram modelados por meio do *software RESIX2DI* da *Interpex Ltd*. Na área sedimentar foram definidas 5 diferentes zonas hidrogeológicas, cada uma com características e graus de favorabilidades distintas. Nas áreas do embasamento cristalino, as melhores favorabilidades estão associadas com uma boa anomalia de resistividade em terrenos de rochas graníticas, somadas com a existência de fortes gradientes topográficos, fraturas abertas e depósitos de aluviões.

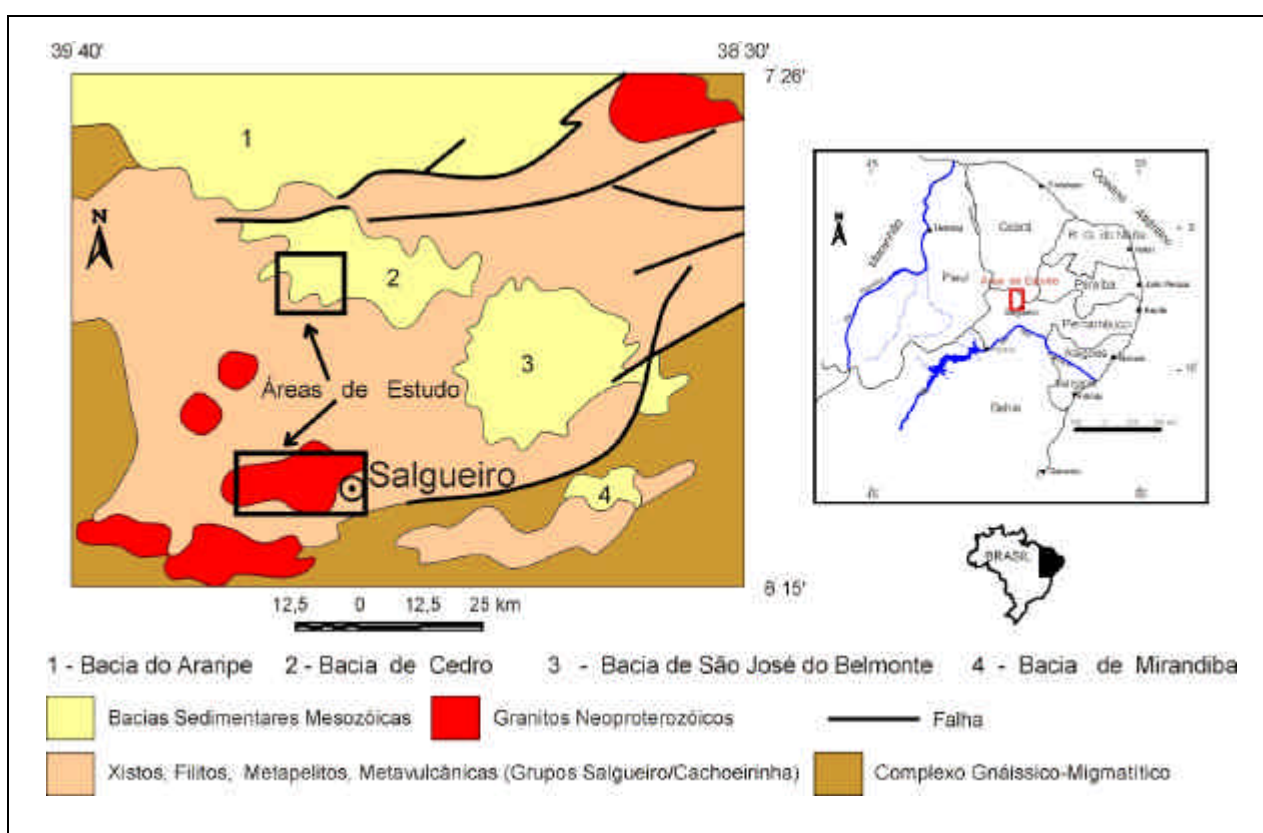
**Palavras-chave** - hidrogeologia, resistividade elétrica, Salgueiro.

## 1. INTRODUÇÃO

---

<sup>1</sup> CPRM - Serviço Geológico do Brasil. End. : Rua das Pernambucanas, 297, Graças, 52.011-010, Recife, Pernambuco, Brasil. Fone: 0xx81.221.7456, Fax.: 0xx81.221.7645, E-mail :cprm@fisepe.pe.gov.br

O levantamento geofísico foi realizado com o objetivo de pesquisar pelo método de resistividade elétrica, as características do manancial hídrico subterrâneo da região sul da Bacia Sedimentar do Cedro e do embasamento cristalino em torno da cidade de Salgueiro (PE) (Figura 1). Os trabalhos de campo foram executados em uma única etapa de 22 dias no período de 09/09 a 30/09/99. O tratamento dos dados envolveu a aplicação de técnicas de modelagens numéricas aos dados de resistividades, visando definir modelos de profundidades e resistividades, a partir dos quais foram construídas seções geolétricas e definidas áreas de favorabilidade.



**Figura 1.** Contexto geológico e geográfico da área de estudo (mapa geológico modificado de Schobbenhaus 1984).

## 2. GEOGRAFIA FÍSICA

O clima na região é semi-árido com temperatura média anual de 30°C e precipitação pluviométrica de 630 mm/ano. O período de chuva ocorre entre os meses de fevereiro e abril. A rede de drenagem desenvolve um padrão do tipo paralela, a partir do divisor de água principal que limita os estados de Pernambuco e Ceará. Em alguns locais, formam uma drenagem do tipo dendrítica, com zonas em treliça e retangular refletindo o padrão

estrutural do embasamento cristalino. O relevo varia desde áreas planas com pequenos gradientes topográficos até regiões com gradientes positivos acentuados e leitos de riachos longos e encaixados.

### **3. GEOLOGIA**

O embasamento cristalino é composto predominantemente de xistos, filitos, metapelitos e metavulcâncias dos Grupos Salgueiro e Cachoeirinha (Schobbenhaus 1984) (Figura 1). Intrusivo nessas rochas ocorrem *stocks* e batólitos compostos por hornblenda quartzo monzonitos finos, hornblenda monzodioritos porfiríticos e biotitita granitos (Silva Filho 1989). Nos locais dos levantamentos afloram predominantemente granitos finos fraturados, sem manto de alteração. Ocorrem fraturas abertas de mergulhos verticais e direções  $50^{\circ}$  Az,  $300^{\circ}$  Az e  $350^{\circ}$  Az. Esse padrão de fraturamento sugere um par cisalhante nas direções  $50^{\circ}$  Az e  $300^{\circ}$  Az, com uma componente de extensão na direção  $350^{\circ}$  Az.

A área sedimentar corresponde a porção sul da Bacia de Cedro (Figura 2). A bacia é preenchida por duas seqüências sedimentares. A inferior, sobreposta ao embasamento, denominada de Formação Mauriti, corresponde a Seqüência Gama de idade siluro-devoniano, sendo composta por arenitos médios a grosseiros de origem fluvial e arenitos finos de origem eólica (Ponte 1992). A superior, denominada Formação Brejo Santo, de idade neo-jurássica, corresponde a Seqüência Pré-Rifte, sendo composta por siltitos, folhelhos, calcários e margas (Ponte 1992).

No mapa elaborado por Silva Filho (1983) observa-se que o preenchimento sedimentar foi condicionado por falhas de extensão de direção NE-SW, provavelmente resultantes da reativação de zonas de fraquezas preexistentes. No mapa Bouguer confeccionado por Silva Jr. (1997) é possível interpretar a estruturação da borda sudoeste da bacia em horstes e grábens, com indícios de abatimento de blocos e aumento da espessura sedimentar. Essas estruturas foram utilizadas como guias de planejamento e foram testadas pelo levantamento de resistividade elétrica.

### **4. HIDROGEOLOGIA**

Os locais estudados podem ser enquadrados em três distintos domínios hidrogeológicos, cada um deles com características próprias: o embasamento cristalino, a Bacia do Cedro e os depósitos quaternários.

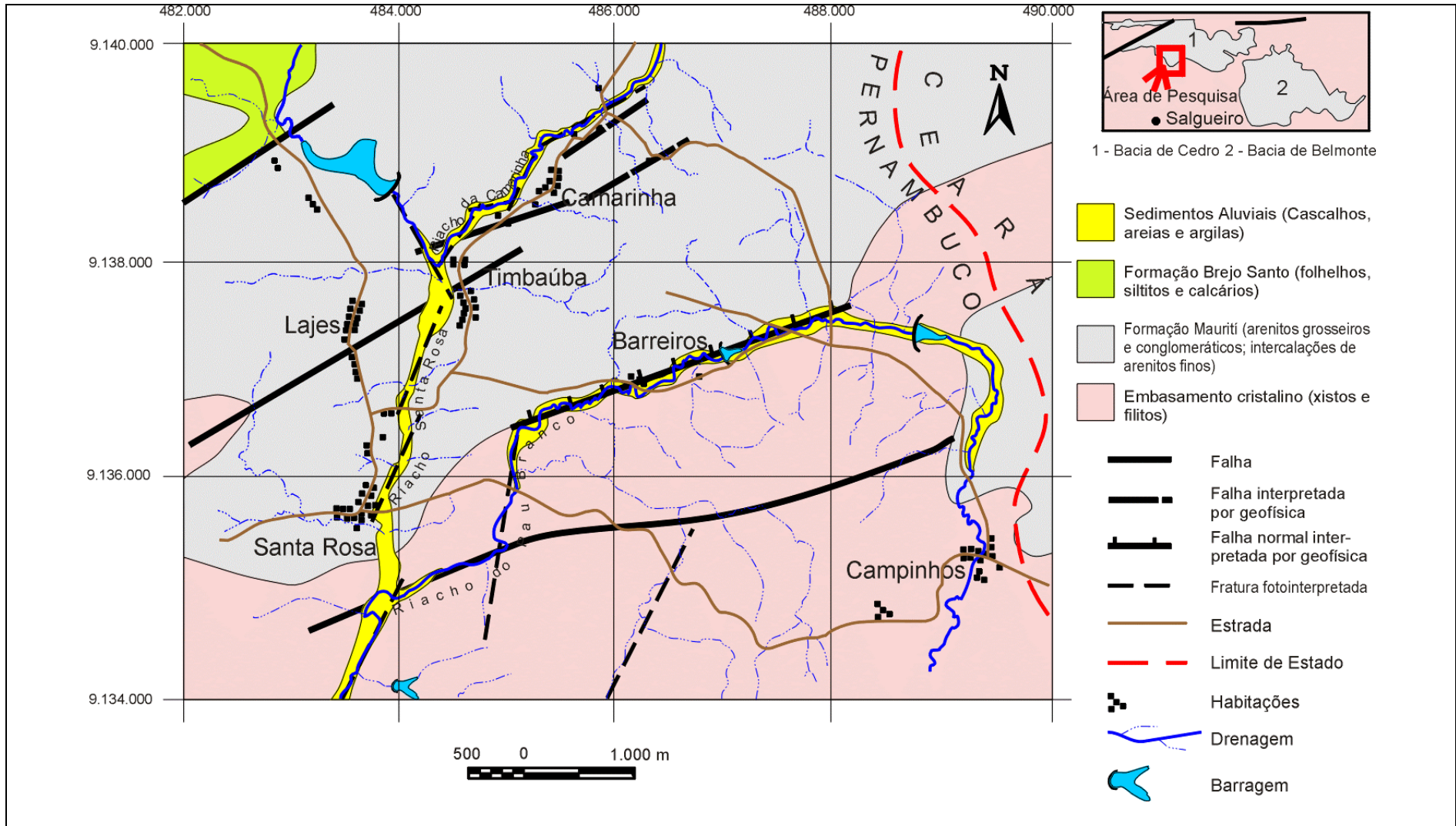


Figura 2. Mapa geológico da área de estudo. Modificado de Silva Filho (1983)

#### 4.1. EMBASAMENTO CRISTALINO

Constitui aquíferos extensos, descontínuos associados a zonas fraturadas, de baixa vazão. Na região estão associados aos filitos do Grupo Cachoeirinha, aos xistos migmatizados do Grupo Salgueiro e aos granitos que ocorrem próximos da cidade de Salgueiro. Os poços perfurados nestas rochas em geral apresentam baixa vazão (média de  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) e suas águas não são de boa qualidade.

#### 4.2 - BACIA DO CEDRO

##### Aquífero Mauriti

São aquíferos intergranulares extensos ou descontínuos, livres ou confinados. Constitui o principal aquífero na região estudada, estando associado aos arenitos conglomeráticos da Formação Mauriti. São aquíferos porosos, que apresentam também alguma permeabilidade fissural, e que na Bacia de Cedro podem constituir aquíferos livres nas suas área de afloramento, ou confinados a semi-confinados quando estas rochas estão recobertas pelos folhelhos da Formação Brejo Santo, considerados aquícludes (Mont'Alverde *et al.* 1996). Os arenitos da Formação Mauriti apresentam uma boa área de recarga na borda sul e no quadrante NE da bacia do Cedro. Essa recarga pode ser efetuada diretamente através das chuvas e secundariamente por meio da drenagem. Os poços cadastrados que captam água destas rochas, apresentam vazões que variam de  $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$  a  $28,0 \text{ m}^3/\text{h}$ . A sua potencialidade depende em grande parte dos condicionantes estruturais responsáveis pelo arcabouço da bacia. Na Bacia do Araripe esses arenitos apresentam os seguintes padrões hidrogeológicos (Mont'Alverde *et al.* 1996):

- a) taxa de infiltração da ordem de 2%;
- b) vazão de escoamento natural (VEN) variando de 0,28 a  $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- c) Coeficiente de transmissividade (T) =  $3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ;
- d) Condutividade Hidráulica (K) =  $4 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ ;
- e) Coeficiente de Armazenamento (S) =  $10^{-5}$ ;
- f) Porosidade efetiva ( $m_e$ ) = 0,02.

#### 4.3. DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS

São representados pelas aluviões que ocorrem nas calhas dos principais rios. São aquíferos de baixa potencialidade, pouco explorados na região.



## **5. LEVANTAMENTO DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA**

### **5.1. O PROBLEMA**

O problema principal foi identificar estruturas geológicas, nível saturado e zonas de acumulação de água no contexto dos arenitos da Bacia Sedimentar do Cedro; e faixas de rochas fraturadas preenchidas por água no embasamento cristalino. Nesse tipo de situação hidrogeológica o método mais recomendável é o do caminhamento elétrico, com a construção de pseudo - seções, visando a investigação do substrato em profundidade, complementado com sondagens elétricas verticais para a definição local da estratigrafia geoelétrica e profundidade do embasamento.

### **5.2 - O MÉTODO**

Foi utilizada a técnica de caminhamento elétrico, que consiste na execução de perfis, onde um transmissor injeta corrente no terreno mediante um par de eletrodos (A e B) fincados na superfície. Simultaneamente um receptor mede a variação do potencial elétrico em um outro par de eletrodos (M e N). O quociente entre a diferença de potencial e a intensidade da corrente, multiplicado por uma constante que depende do afastamento entre os eletrodos, fornece o valor da resistividade aparente. Para cada distância de afastamento entre AB e MN obtém-se uma profundidade de investigação. Utilizando-se mais de uma distância, a estrutura do terreno é investigada por meio de pseudo-seções de resistividade aparente; assim denominadas, porque sua escala vertical não representa a verdadeira profundidade de investigação, e o valores das resistividades refletem a somatória dos efeitos das diferentes resistividades das várias litologias do subsolo.

Foram realizadas pseudo-seções com arranjo dipolo-dipolo, eletrodos em arranjo geométrico coplanar, espaçados de 20, 25 e 30 m (de acordo com a situação geológica), com 6 níveis de investigação em profundidade. Foi levantado um total de 7600 m lineares.

### **5.3. O EQUIPAMENTO**

Foi utilizado um eletroresistivímetro fabricado no Laboratório de Eletrônica da Divisão de Geofísica (DIGEOF) da CPRM no Rio de Janeiro. O modelo TD-3 de corrente contínua, alimentação 12 Volts, com eletrodos de aço inoxidável; e um receptor com eletrodos não polarizáveis. O sistema foi acoplado com carretéis e fios nº 10.

### **5.4. TRATAMENTO DOS DADOS**

Os valores de resistividade aparente foram calculados e interpolados manualmente, ao mesmo tempo em que o levantamento era executado. Isso permitiu uma avaliação em tempo real da qualidade dos dados que estavam sendo gerados. Em concordância com a análise preliminar dos dados foi possível replanejar o trabalho a cada momento. Após a execução de todo o levantamento, os dados foram tratados por meio de técnicas computacionais, que serão descritas a seguir.

## **5.5. MODELAGEM DOS DADOS**

Os dados de campo foram modelado por meio do *software RESIX2DI* da Interpex Ltd. (Interpex 1997). Esse programa calcula a resposta direta de um semi-espaco homogêneo usando uma rotina de elementos finitos desenvolvida por Rijo (1977). Ele emprega um método rápido de inversão por mínimos quadrados de dados de resistividade aparente, usando uma técnica de otimização não-linear, que está descrita em detalhes em Loke & Barker (1995), e uma técnica quasi-Newton que evita o consumo de tempo no cálculo das derivadas parciais (Loke & Barker 1996). O método de regularização escolhido para estabilizar a inversão foi baseado em *Occam's Razor*, o qual otimiza suavemente. Quando o alvo da pesquisa foram as fraturas, foi dada preferência para ênfase aos limites verticais, uma vez que a maioria delas aflora com atitude subvertical. Quando o levantamento foi realizado no contexto da bacia sedimentar foi dada ênfase igual às estruturas verticais e horizontais.

A rotina de trabalho consistiu em gerar, a partir dos dados observados, um modelo de resistividade e profundidade, que foi comparado matematicamente e visualmente com os dados observados, a partir de um modelo sintético de resistividade aparente. Após o tratamento computacional dos dados, os modelos de resistividade e profundidade foram integrados com informações geológicas e hidrogeológicas. Essa integração de dados permitiu a construção de seções geoeletricas.

## **6- RESULTADOS**

### **6.1. LEVANTAMENTOS NOS SEDIMENTOS DA PORÇÃO SUL DA BACIA DO CEDRO**

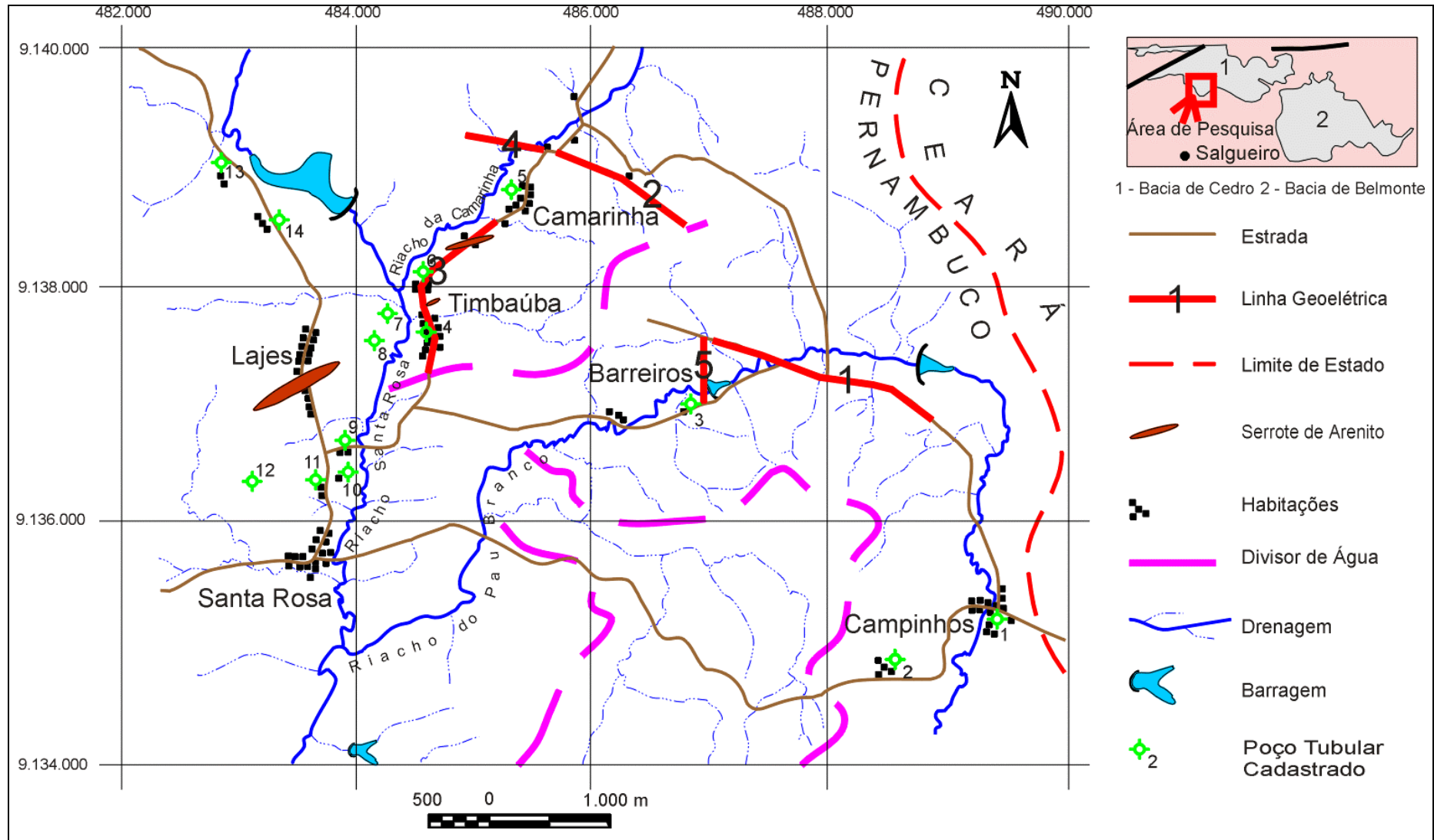
Na área sedimentar e no contato com as rochas cristalinas foram levantadas 5 linhas de caminhamento elétrico. A posição das linhas, dos poços cadastrados e de algumas feições geográficas, estão apresentadas na Figura 3.

Na borda da bacia o modelo de resistividade e profundidade apresenta uma seção geoeletrica típica de interface entre rocha do embasamento cristalino e depósitos

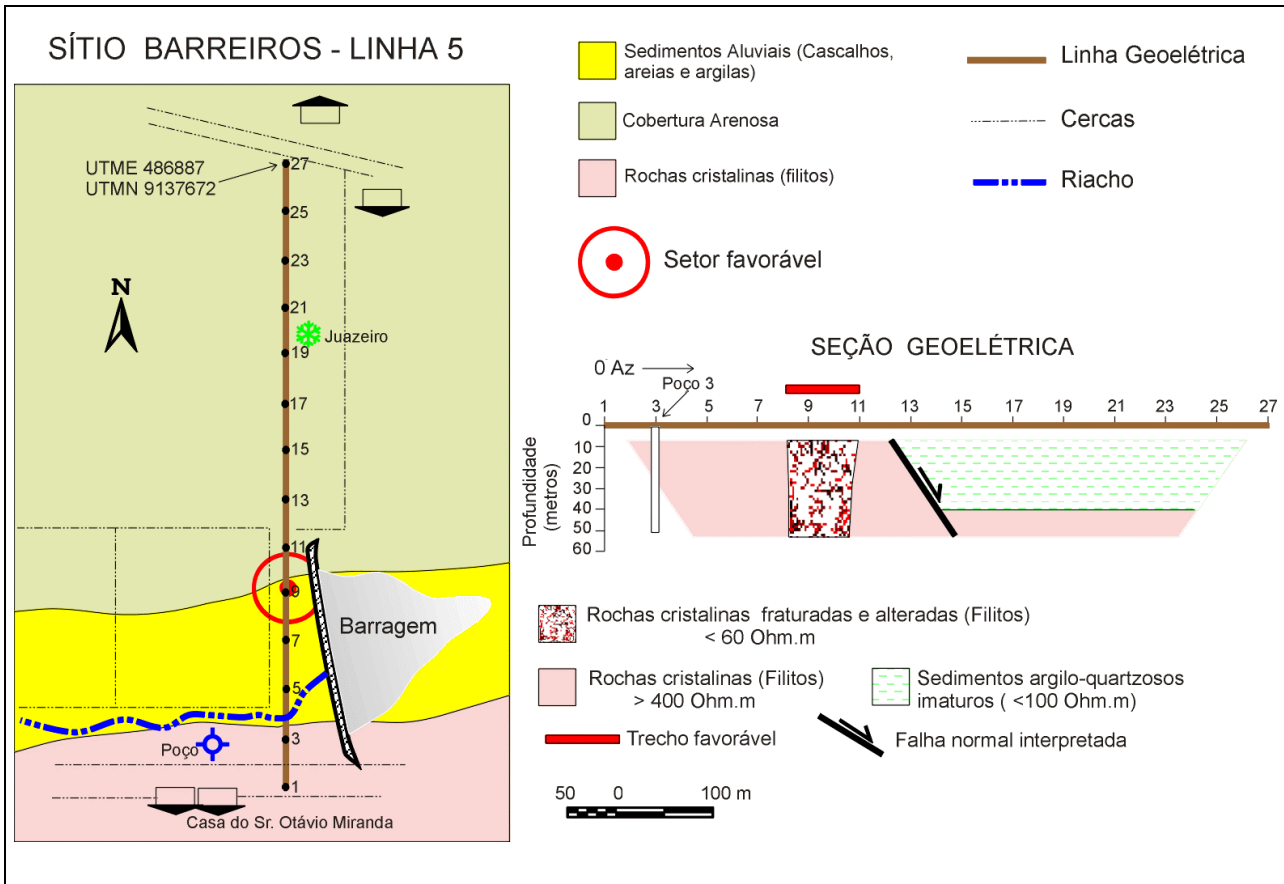
sedimentares. As rochas filíticas do embasamento apresentam resistividades superiores a 1.000 Ohm.m, em contraste com o preenchimento sedimentar argilo-arenoso, onde dominam valores inferiores a 50 Ohm.m. A partir do modelo foi possível interpretar uma falha de borda, com um progressivo aumento da profundidade do embasamento (máximo de 40 m). Essa falha controla a calha do riacho Pau Branco, aonde ocorrem depósitos aluviais. As rochas cristalinas próximas da borda apresentam faixas de baixa resistividade (<50 Ohm.m) possivelmente relacionadas com fraturamentos e manto de alteração sob os sedimentos aluviais do riacho do Pau Branco. A natureza da sedimentação da borda da bacia (argilas arenosas e conglomerados) não permite prever bons aquíferos. Destacam-se porém, as faixas de baixas resistividades do embasamento cristalino fraturado, como áreas favoráveis à locação de poços. Na figura 4 é apresentada a interpretação da linha 5; e na Figura 5 são apresentados os dados de campo e o resultado da modelagem.

No interior da bacia, sobretudo nos vales dos riachos afloram arenitos amarelados, de origem fluvial, grosseiros a conglomeráticos, com grãos angulosos e estratificações cruzadas de grande porte. Localmente ocorrem camadas de arenitos finos e avermelhados. Os arenitos, freqüentemente, estão superficialmente cobertos por areias resultantes da sua decomposição mecânica. Nos afloramentos ocorrem fraturas abertas com mergulhos subverticais, orientadas nas direções 70<sup>0</sup> Az, 10<sup>0</sup> Az, 330<sup>0</sup> Az e 275<sup>0</sup> Az. Na interpretação dos modelos de resistividade e profundidade foram discriminados três diferentes unidades hidrogeológicas: arenitos com água (< 100 Ohm.m), arenitos sem água e arenitos silicificados e pouco permeáveis (> 100 Ohm.m). Os arenitos sem água

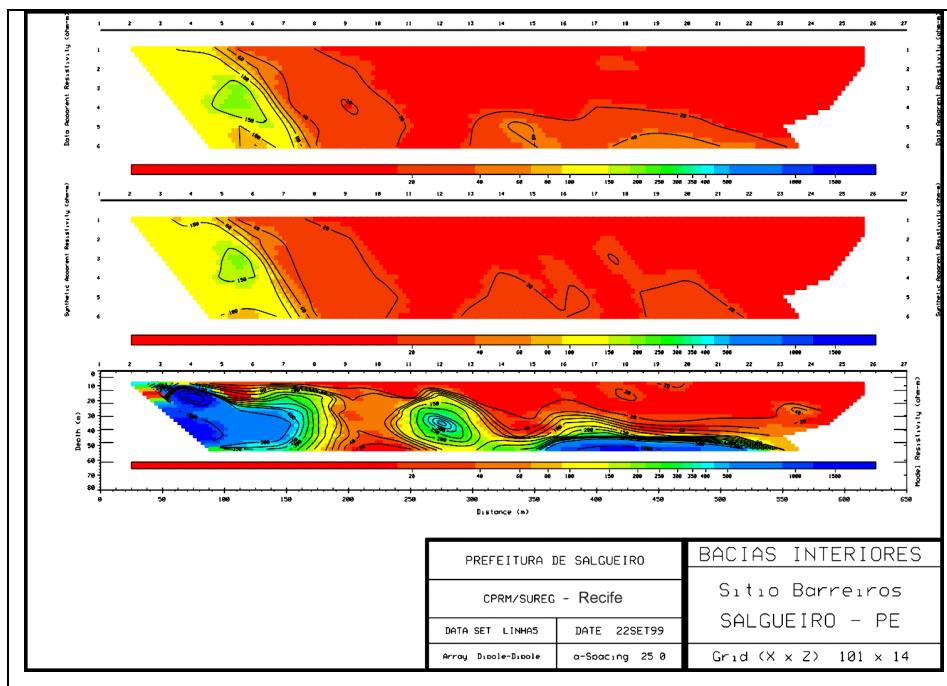




**Figura 3.** Posição das linhas de caminhamento elétrico, dos poços cadastrados e de algumas feições geográficas.



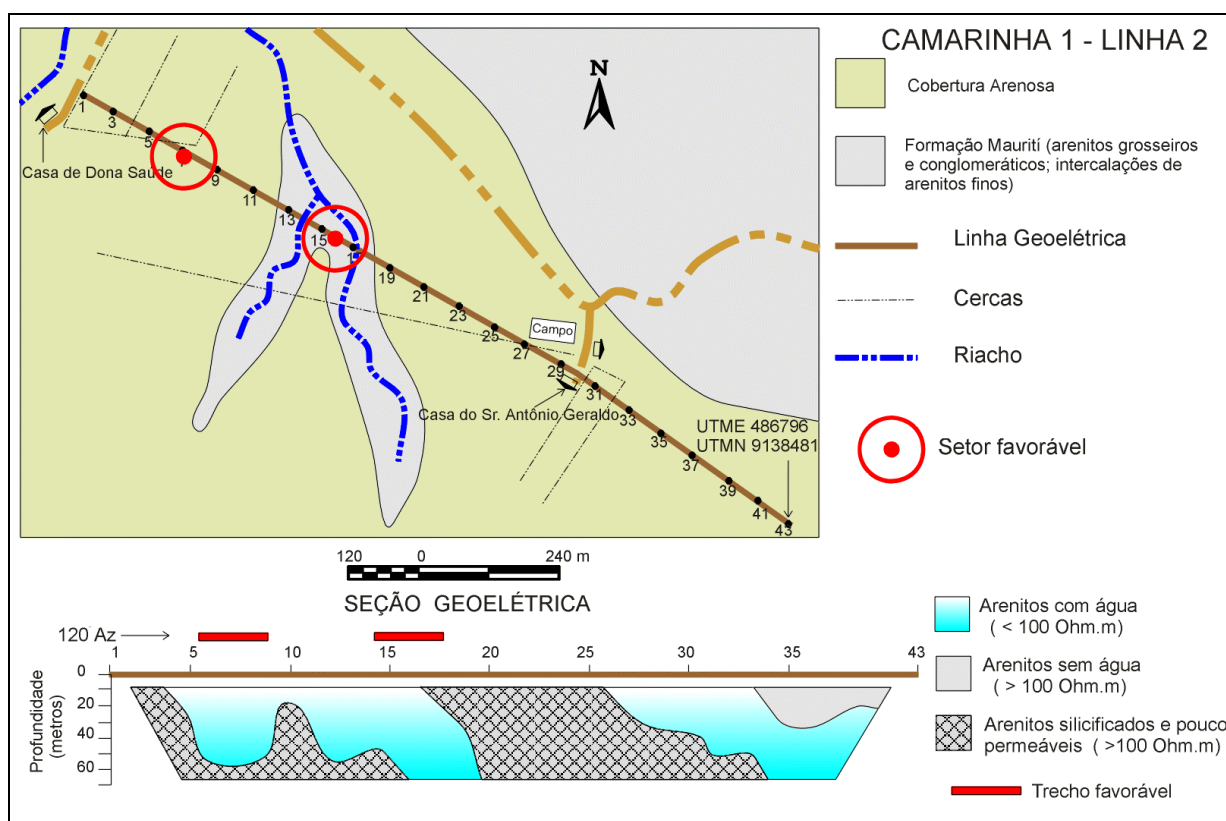
**Figura 4.** Modelo geolétrico qualitativo da linha 5 construído a partir do modelo de resistividades e profundidades. Esse modelo é o resultado da integração das informações geofísicas, geológicas e hidrogeológicas.



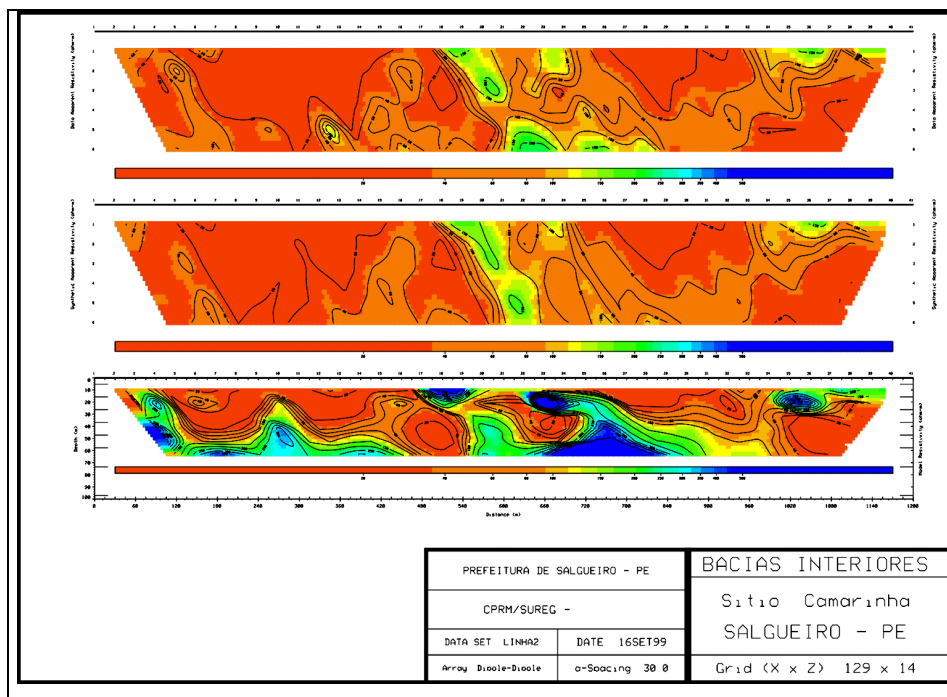
**Figura 5.** Pseudo-seção da linha 5 e modelo de resistividades e profundidades obtido por inversão das resistividades aparentes.

representam a parte mais superior, ocorrendo geralmente na região topográfica mais elevada. O nível inferior dessa faixa de resistividades pode ser interpretado como o nível superior do arenito saturado. Faixas de resistividades mais altas correlacionam-se com arenitos silicificados e duros que afloram em serrotes de direção NE-SW. É possível que o aumento de resistividade observado na profundidade em torno de 60 m corresponda à zona de transição entre a cobertura sedimentar e o embasamento rochoso. Nas Figuras 6 e 8 são apresentadas as interpretações das linhas 2 e 4; e nas Figuras 7 e 9 são apresentados os dados de campo e os resultados das modelagens.

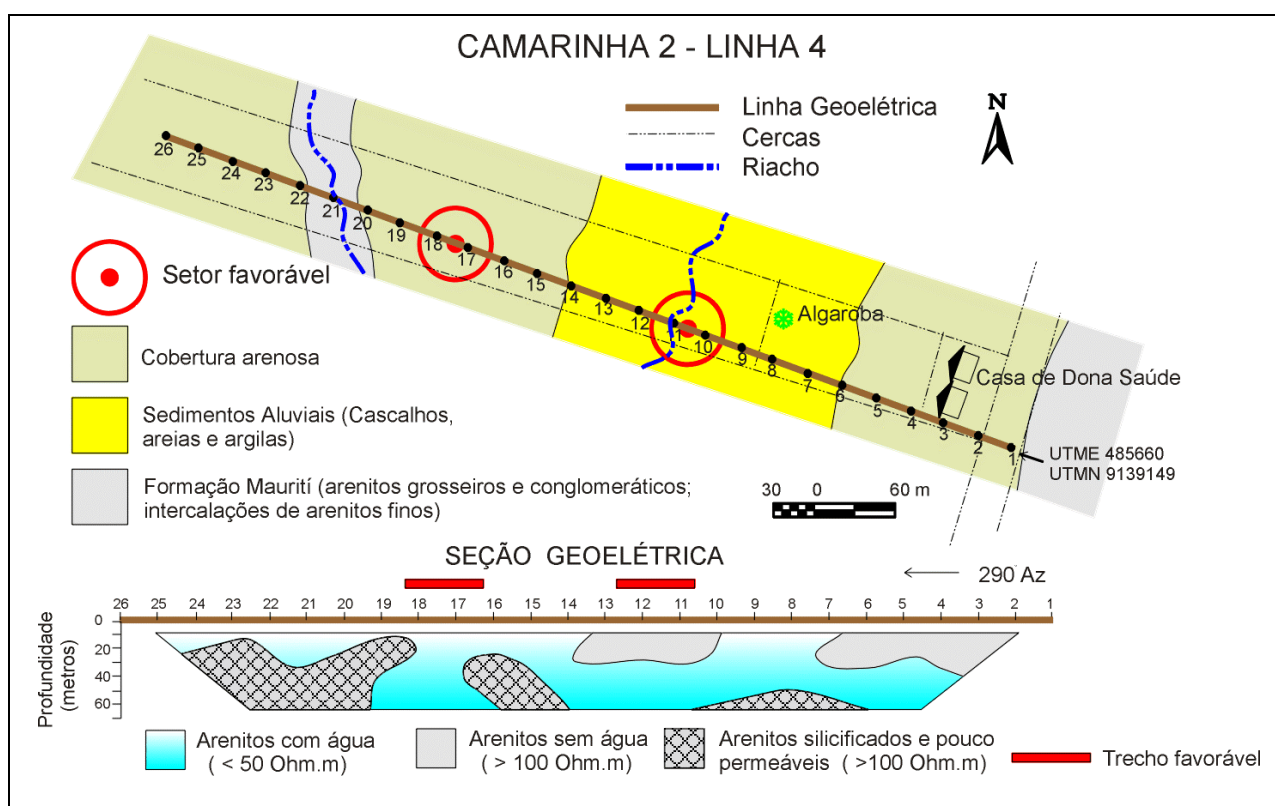
A análise e integração de todas as informações obtidas durante os estudos de campo e das interpretações realizadas no escritório permitiu esboçar um zoneamento hidrogeológico preliminar e definir áreas de favorabilidades para a perfuração de poços tubulares. Foram definidas 7 (sete) diferentes zonas aquíferas, cada uma com características e graus de favorabilidades distintas (Figura 10). Os dados de vazões são estimados a partir das informações obtidas no cadastramento dos poços. É importante ficar claro que esses dados foram obtidos mediante informações verbais dos proprietários e moradores dos locais onde os poços foram perfurados.



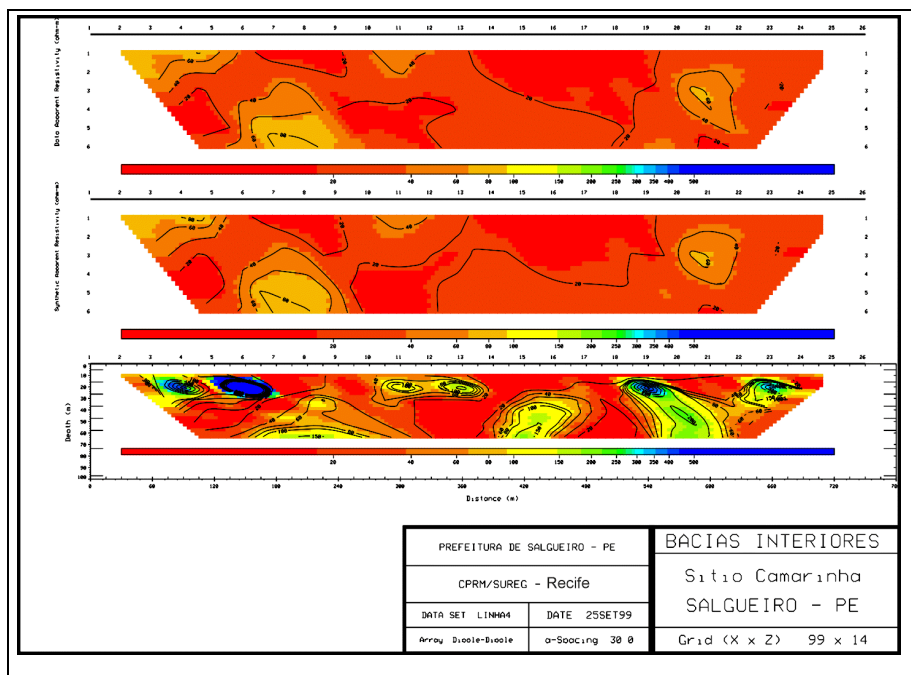
**Figura 6.** Modelo geoeletrico qualitativo da linha 2 construído a partir do modelo de resistividades e profundidades. Esse modelo é o resultado da integração das informações geofísicas, geológicas e hidrogeológicas.



**Figura 7.** Pseudo-seção da linha 2 e modelo de resistividades e profundidades obtido por inversão das resistividades aparentes.



**Figura 8.** Modelo geoeletrico qualitativo da linha 4 construído a partir do modelo de resistividades e profundidades. Esse modelo é o resultado da integração das informações geofísicas, geológicas e hidrogeológicas.



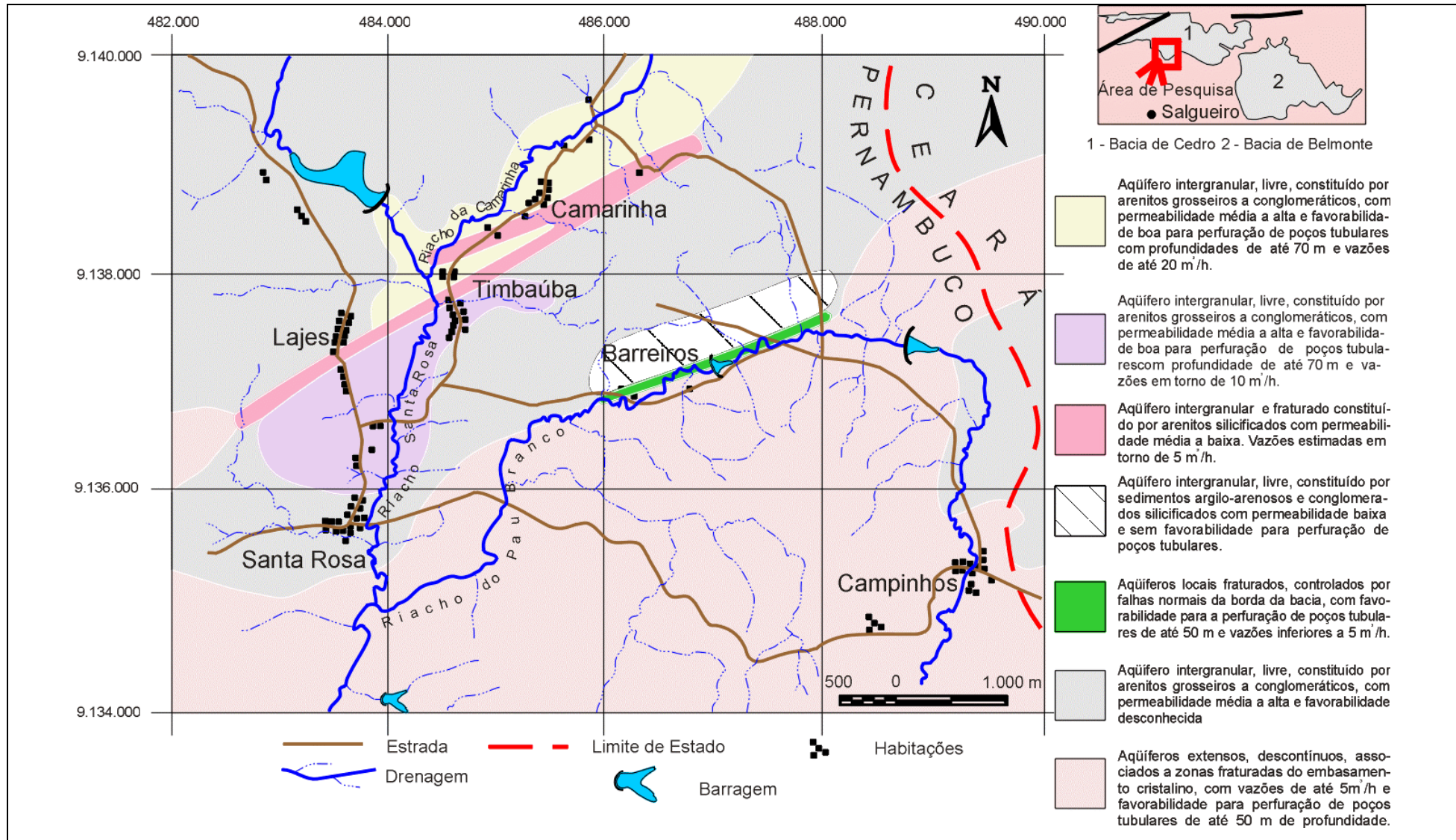
**Figura 9.** Pseudo-seção da linha 4 e modelo de resistividades e profundidades obtido por inversão das resistividades aparentes.

## 6.2. LEVANTAMENTOS NO EMBASAMENTO CRISTALINO

Foram levantadas 5 linhas de resistividade elétrica em áreas estratégicas do embasamento cristalino, visando o abastecimento de pequenas comunidades com carência de água (Figura 11). Nesses locais afloram predominantemente granitos finos fraturados sem manto de alteração. As coberturas aluviais são pouco expressivas ou inexistentes. Os locais de levantamento foram preferencialmente escolhidos nas confluências de riachos.

Os modelos de resistividades e profundidades, resultantes da modelagem dos dados de resistividades aparentes, apresentam seções na quais dominam resistividades superiores a 1000 Ohm.m, que representam o sinal geoeletrico de rochas cristalinas compactas. Nesse contexto, destacam-se faixas de resistividades baixas (<200 Ohm.m) possivelmente relacionadas com rochas fraturadas e provavelmente preenchidas por água. Essas faixas de resistividades baixas geralmente estão conectadas e às vezes atingem profundidades superiores a 40 m.

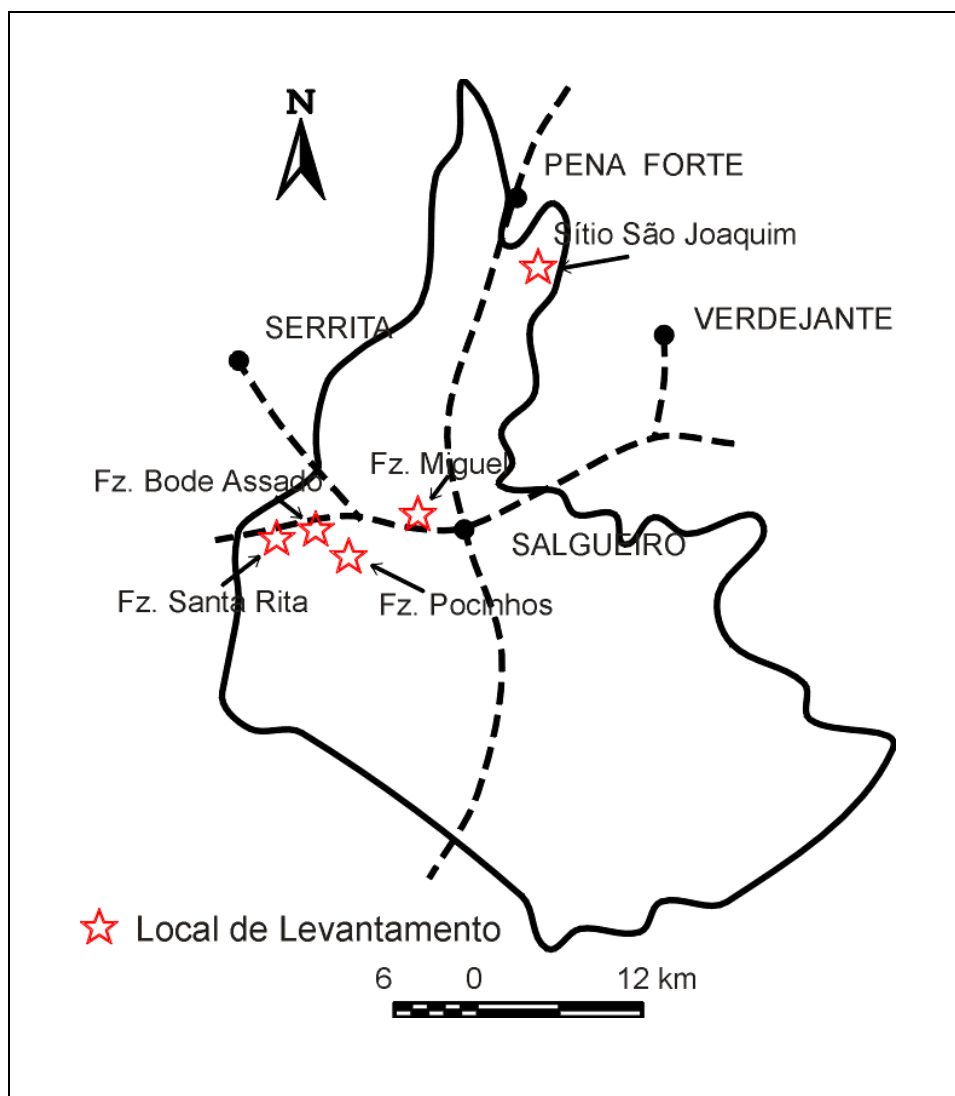




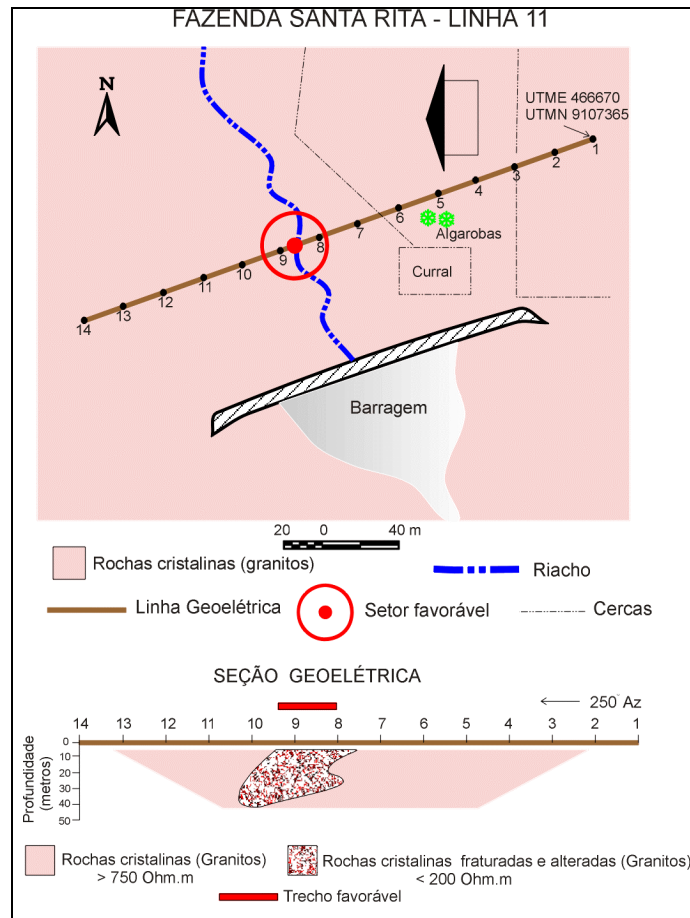
**Figura 10.** Mapa hidrogeológico e do zoneamento de favorabilidades.



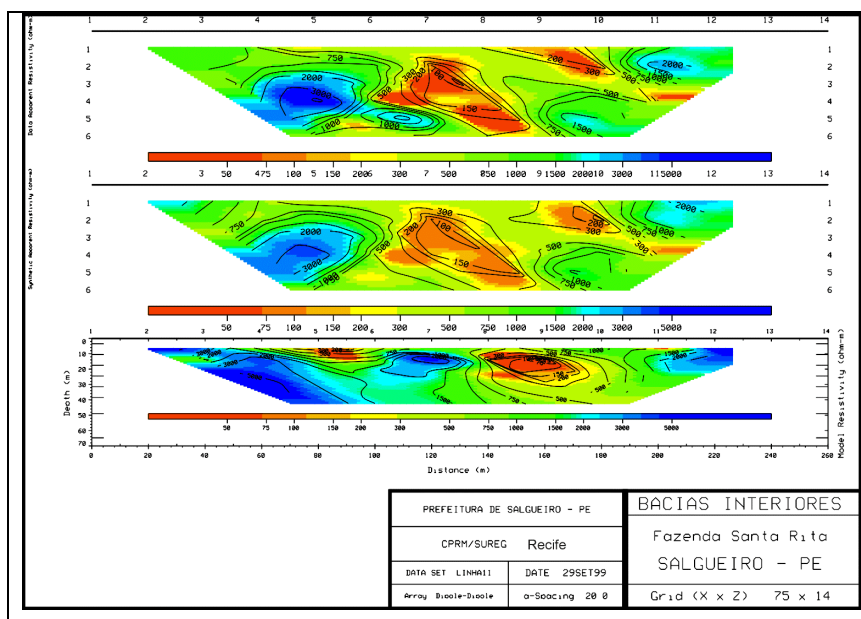
Às áreas com favorabilidade foram definidas nas faixas de baixa resistividade, sobretudo nos locais de encontro dessas zonas. Em alguns locais apesar da boa anomalia geofísica e do bom padrão de fraturamento, a ausência de gradientes topográficos e de áreas de recarga constituem aspectos hidrogeológicos negativos para a locação de poços com vazões acima da média do embasamento cristalino. Nas Figuras 12 e 14 são apresentadas as interpretações das linhas localizadas nas Fazendas Santa Rita e no Sítio São Joaquim; e nas Figuras 13 e 15 são apresentados os dados de campo e os resultados da modelagem.



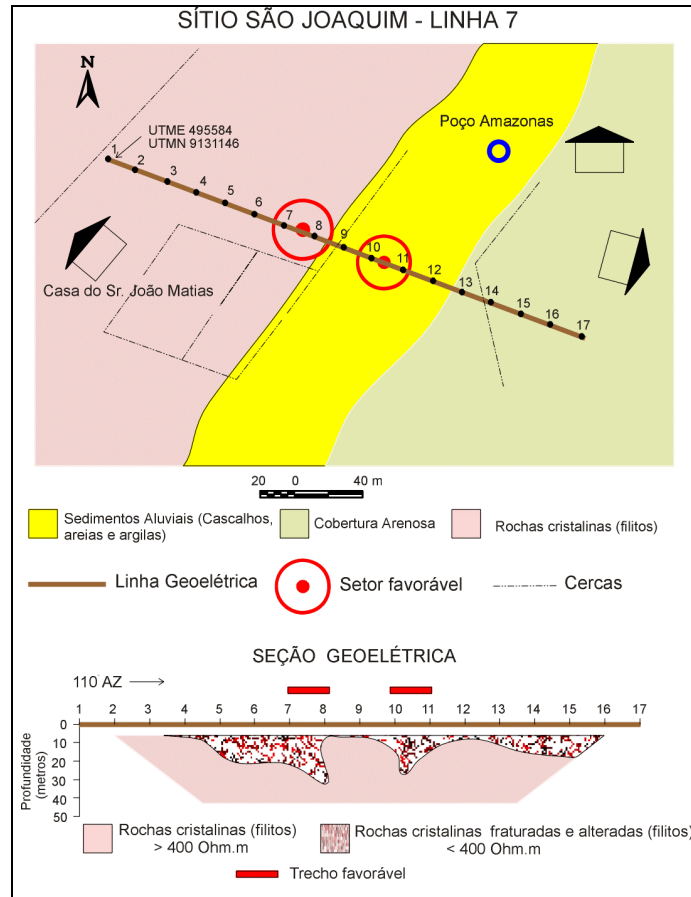
**Figura 11.** Limite do município de Salgueiro e a localização das áreas onde foram realizados levantamentos geolétricos no embasamento cristalino.



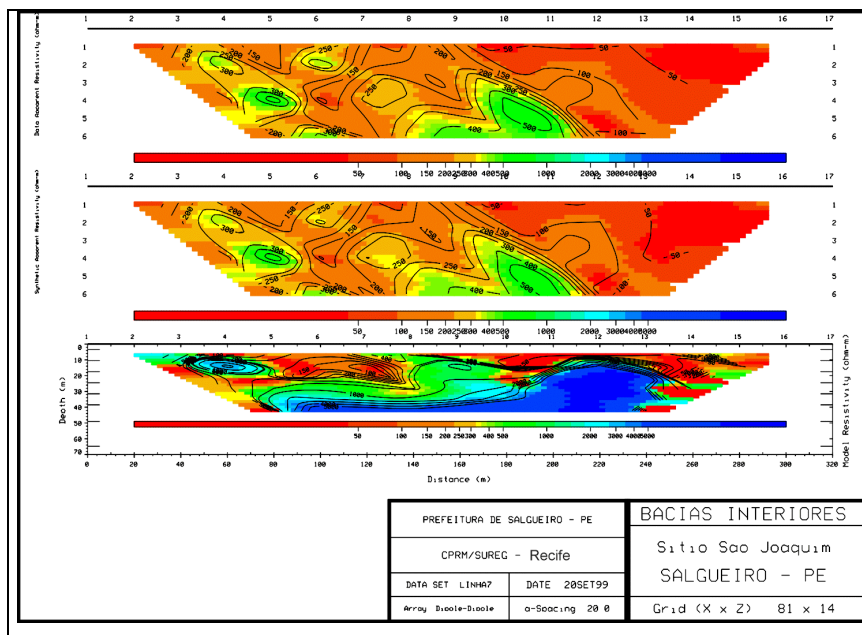
**Figura 12 -** Modelo geolétrico qualitativo da linha da Fazenda Santa Rita construído a partir do modelo de resistividades e profundidades. Esse modelo é o resultado da integração das informações geofísicas, geológicas e hidrogeológicas.



**Figura 13.** Pseudo-seção da linha da Fazenda Santa Rita e modelo de resistividades e profundidades obtido por inversão das resistividades aparentes.



**Figura 14.** Modelo geoeletrico qualitativo da linha do Sítio São Joaquim construído a partir do modelo de resistividades e profundidades. Esse modelo é o resultado da integração das informações geofísicas, geológicas e hidrogeológicas.



**Figura 15.** Pseudo-seção da linha do Sítio São Joaquim e modelo de resistividades e profundidades obtido por inversão das resistividades aparentes.

## **7 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Os aquíferos intergranulares, livres, constituídos por arenitos grosseiros a conglomeráticos, com permeabilidade média a alta e favorabilidade boa para perfuração de poços tubulares com profundidade de até 70 m e vazões variando de 10 a 20 m<sup>3</sup>/h, correspondem ao afloramento dos arenitos da Formação Mauriti. Esses aquíferos ocorrem sobretudo ao longo dos riachos Santa Rosa e da Camarinha, que encaixam-se em fraturas de direção N-S e NE-SW. São os melhores aquíferos da região, e sua recarga é favorecida pelo controle estrutural e pela presença das coberturas aluviais que preenchem a calha dos riachos.

O aquífero intergranular e fraturado, constituído por arenitos silicificados com permeabilidade média a baixa e vazões inferiores a 5 m<sup>3</sup>/h, corresponde a uma estreita faixa de direção NE-SW, segundo falhamentos que estão representados na topografia por serrotes alongados. Essas estruturas silicificaram o arenito ao longo da sua zona de movimentação, causando a diminuição da porosidade e funcionando como uma barreira hidrogeológica que impede o fluxo ou o redireciona. Os fraturamentos associados devem constituir o principal conduto para o fluxo de água.

O aquífero intergranular, livre, constituído por sedimentos argilo-arenosos e conglomerados silicificados da borda da bacia, não apresenta favorabilidade para a perfuração de poços tubulares em função da composição argilosa dos sedimentos e da silicificação dos conglomerados.

No caso dos aquíferos locais fraturados, observam-se melhores favorabilidades nos locais controlados por falhas normais da borda da bacia. Nesse caso, a recarga do aquífero fissural é favorecida pela presença de sedimentos aluviais na calha dos riachos encaixados na falha. Em outros locais, o bom encaixe do riacho em fraturas, o afloramento de rochas graníticas e a existência de fortes gradientes topográficos, aliados com a presença de aluviões, são fatores que favorecem uma boa recarga do aquífero fraturado. Outro aspecto importante é a existência de fraturas abertas com mergulhos verticais sugerindo um par cisalhante nas direções 55<sup>0</sup> Az e 350<sup>0</sup> Az, com uma componente de extensão na direção 15<sup>0</sup> Az.

## **8. CONCLUSÕES**

Os principais aquíferos encontrados na região estão representados pelos arenitos grosseiros a conglomeráticos da Formação Mauriti, porém a potencialidade dos mesmos, depende em grande parte do posicionamento estratigráfico e das estruturas geológicas a eles associadas. Na área deste estudo, a bacia está estruturalmente condicionada por falhamentos de direção NE-SW. Poços perfurados diretamente sobre essas zonas de falha podem apresentar vazões baixas.

Nas áreas do embasamento cristalino, as localidades onde afloram os filitos são as que apresentam menores potencialidades e favorabilidades para a captação de água subterrânea. As melhores favorabilidades estão localizadas em áreas com uma boa anomalia de resistividade em terrenos de rochas graníticas, associadas com a existência de fortes gradientes topográficos, fraturas abertas e depósitos de aluviões.

## 9 - REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- INTERPEX LTD. 1997. RESIX2DI, 2D Resistivity and induced polarization smooth inversion. User's Manual, V1. 185 p.
- LOKE, M.H.; BARKER, R.D. 1995. Least-square deconvolution of apparent resistivity pseudosection. *Geophysics*, **60**:6(1682-1690).
- LOKE, M.H.; BARKER, R.D. 1996. Rapid least-square inversion of apparent resistivity pseudosection by a quasi Newton method. *Geophysical Prospecting*, **44** (131-152).
- MONT'ALVERDE, A.A.F. (Coord.) et al. 1996. *Projeto Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe. Fase I* Programa Nacional de Estudo dos Distritos Mineiros. MMN, DNPM, 4<sup>o</sup> Distrito-PE, 10<sup>o</sup>-Distrito-CE, Seção de Geologia e Exploração Mineral. 101 p.
- PONTE, F.C. 1992. Sistemas Depositionais na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. 2<sup>o</sup> Simpósio Sobre Bacias Cretácicas Brasileiras. Rio Claro (SP). UNESP, p.81-83.
- RIJO, L. 1977. *Modelling of Electric and Electromagnetic Data*. Ph.D Thesis, University of Utah, Michigan.
- SCHOBENHAUS, C. 1984. *Geologia do Brasil; texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000*. Brasília, DNPM. 501 p.
- SILVA FILHO, A.F. 1989. *Soshonitic and ultrapotassic intruse suites in the Piancó-Alto Brígida belt, Pernambuco state, Brazil*. Imperial College of Science Technology and Medicine, London, PH.D. Thesis.

SILVA FILHO, M. 1983. *Projeto Cachoeirinha, Folha Jardim*. Mapas e Nota Explicativa. DNPM/CPRM, Recife.

SILVA JÚNIOR, J.M.F. 1997. *Um regime rúptil, pós-Siluriano-Devoniano no Domínio da Zona Transversal, Província Borborema - Nordeste do Brasil*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 137 p.