

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

**SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DO MEIO AMBIENTE,
RECURSOS HÍDRICOS E MINERAIS DO ESTADO DA PARAÍBA**

**COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS MINERAIS
DO ESTADO DA PARAÍBA**



**ESTUDO GEOELÉTRICO NA ÁREA DO PRESÍDIO
DA CIDADE DE PATOS - PB**

**Recife
Dezembro/1998**

ESTUDO GEOELÉTRICO NA ÁREA DO PRESÍDIO
DA CIDADE DE PATOS - PB

*ROBERTO GUSMÃO DE OLIVEIRA
MANOEL JÚLIO DA TRINDADE G. GALVÃO
SEVERIANO NUNES LOPES*

Recife
Dezembro/1998

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

CARLOS OITÍ BERBERT
Diretor-Presidente

AUGUSTO WAGNER PADILHA MARTINS
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

MARCELO SOARES BEZERRA
Superintendente Regional do Recife

ENJÔLRAS DE A. MEDEIROS LIMA
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

JOSÉ CARLOS DA SILVA
Supervisor de Hidrogeologia

**SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DO MEIO AMBIENTE, RECURSOS
HÍDRICOS E MINERAIS DO ESTADO DA PARAÍBA**

GILBERTO MORAES VIEIRA
Secretário

**COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS
MINERAIS DO ESTADO DA PARAÍBA**

MANOEL VALFREDO PAIVA
Diretor Presidente

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	01
2 - ANTECEDENTES	01
3 - ASPECTOS GEOLÓGICOS - ESTRUTURAIS	01
4 - CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS	03
4.1 - Clima e Vegetação	03
4.2 - Hidrografia	03
4.3 - Geomorfologia	04
4.4 - Tipos de Aquíferos	04
4.5 - Aspectos Relacionados à Poluição da Água Subterrânea	05
5 - ESTUDO GEOFÍSICO	05
5.1 - O Problema	05
5.2 - O Método de Levantamento	07
5.3 - Equipamento	07
5.4 - Tratamento dos Dados	08
5.5 - Modelagem dos Dados	08
5.6 - Seções Geométricas	09
5.6.1 - Seção 1	09
5.6.2 - Seções 2 e 3 (Pátio da COCEPA)	09
5.6.3 - Seção 4 (Pátio da Universidade)	12
5.6.4 - Seção 5 (Pátio da Universidade)	13
5.6.5 - Seção 6 (Rua Dom Pedro II)	13
5.6.6 - Seções 7 e 8 (Linha do Trem)	13
5.6.7 - Representação dos Resultados em Mapa para Profundidades de 7 e 15 m	18
5.6.8 - Seção 9 (Bairro Salgadinho)	21
6 - CONCLUSÕES	25
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1 - INTRODUÇÃO

Este estudo foi executado a partir de convênio entre a **Secretaria de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba** e a **CPRM - Serviço Geológico do Brasil** (Superintendência Regional do Recife), com o objetivo de pesquisar pelo método geofísico de eletrorresistividade as condições formas e estruturas que caracterizam o manancial subterrâneo da região do Presídio da cidade de Patos - PB. O trabalho contou com a participação da **CDRM - Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais do Estado da Paraíba**.

2 - ANTECEDENTES

A cidade de Patos com mais de 80.000 habitantes, situada no sertão do Estado da Paraíba (**Figura 1**), está passando por graves problemas de falta d'água, motivado pela estiagem que afetou todo o sertão nordestino nos dois últimos anos. Com o objetivo de minorar o sofrimento da população, a Secretaria de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (SRH) e a CDRM, vem desenvolvendo um programa de perfuração de poços. Em meados de novembro/1998 foi executada uma

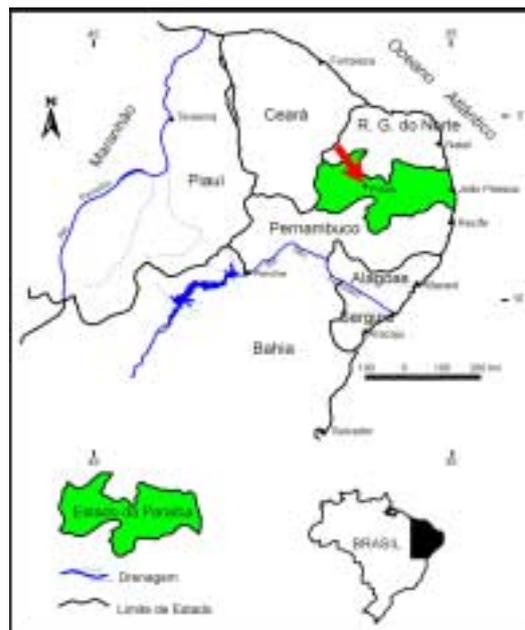


Figura 1 - Localização da cidade de Patos no contexto do Estado da Paraíba e do Nordeste.

perfuração no interior do Presídio, e para e para surpresa geral, o poço com 25 m de profundidade apresentou vazões excepcionais para um aquífero fraturado (40.000 litros/h). A partir desses fatos a SRH entrou em contato com a CPRM para a execução dos trabalhos de levantamento geofísico.

3 - ASPECTOS GEOLÓGICOS - ESTRUTURAIS

Segundo Scheid & Ferreira (1991), na região da cidade de Patos afloram rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico (**Figura 2**), constituindo uma seqüência migmatizada, deformada, subdividida em dois

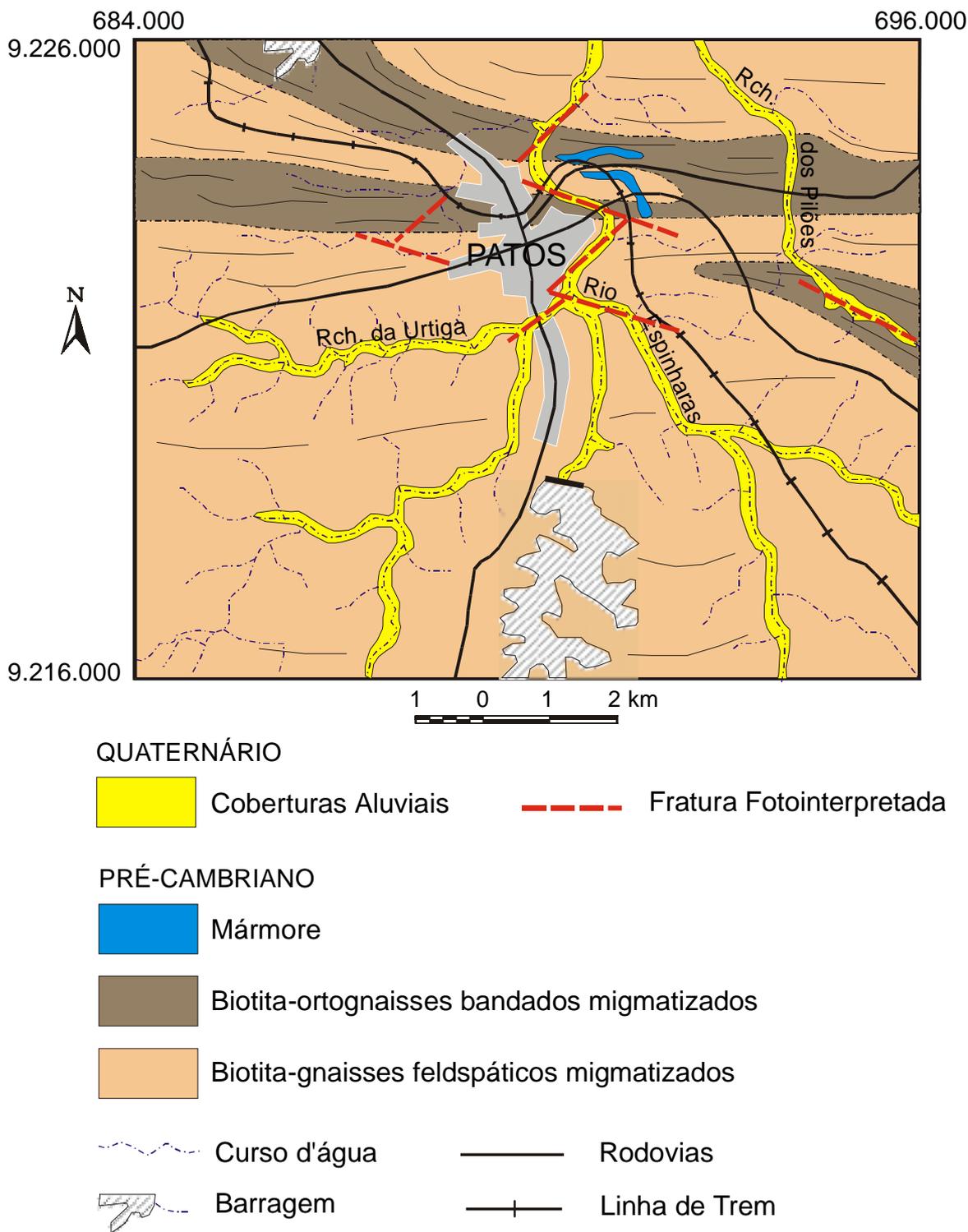


Figura 2 - Aspectos geológicos da região da cidade de Patos (PB). Modificado de Scheid & Ferreira (1991) e CDRM (1982).

domínios principais: biotita - gnaisses migmatizados e ortognaisses granito-granodioríticos. Dentro desse contexto afloram lentes de mármore dolomítico, esbranquiçado a cinza claro, textura grosseira, com direções variando de N80⁰W a E-W (Gonzaga & Oliveira, 1998). Preenchendo as calhas do rio Espinharas e dos seus riachos tributários ocorrem depósitos aluviais constituídos basicamente por areias argilosas.

Dentro do contexto do padrão de deformação frágil foram definidos nos mármores quatro sistemas principais de fraturas abertas: 70⁰/200⁰Az, 75⁰/250⁰Az, Sub/0⁰Az *Direção e Sub/230⁰Az*Direção, conforme pode ser observado no **Quadro 1**.

Nos gnaisses, as fraturas refletindo a tendência regional, seguem também esse padrão estrutural, porém apresentam-se fechadas.

É bastante perceptível o condicionamento estrutural do rio Espinharas, que no trecho da cidade de Patos está encaixado em sistemas fraturados bem definidos, sugerindo um sistema com conexão em formato romboédrico, característico de ambiente de distensão (**Figura 2**).

4 - CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS

4.1 - Clima e Vegetação

A região possui um clima semi-árido quente de baixa pluviosidade, com uma vegetação típica da caatinga xerófila dos sertões nordestinos. Em função da ação humana, na região próxima da cidade a vegetação está rarefeita, destruída ou substituída por espécies adaptadas.

4.2 - Hidrografia

A principal bacia hidrográfica que ocorre no município é a do rio Espinharas, tendo como principais tributários os rios da Farinha, riacho da Cruz, riacho Santana e riacho da Cachoeira. Todos desenvolveram uma drenagem dendrítica, convergente em escala regional em direção ao rio Espinharas, que localmente, nas proximidades de Patos, já apresenta uma drenagem do tipo treliça, com os tributários fortemente condicionados ao padrão estrutural local (**Figura 2**).

Localização – GPS	Litologia	Foliação Medida ou <i>Trend</i> Estrutural	Fraturas (A-Abertas, F-Fechadas)
691256 / 9223046 (Salgadinho)	Mármore	-	75 ⁰ /250 ⁰ Az - (A) Sub/0 ⁰ Az*Direção - (A) Sub/230 ⁰ Az*Direção - (A)
692153/9223943 (Trevo-Girador)	Gn-Mig	320 ⁰ Az (Strike)	Zona de Falha
690250/9224635 Rio Espinharas - BR230	Gn-Mig	M/170 ⁰ Az-Direção	-
690666/923549 (Coreto II)	Gn-Mig	330 ⁰ Az – (Strike)	-
689885/9223186 Rua Francisco Branco	Gn-Mig	320 ⁰ Az – (Strike)	-
6941353/9223209 (Salgadinho)	Mármore	-	70 ⁰ /200 ⁰ Az (A) Sub/210 ⁰ /Az - Direção
691292/9223130 rio Espinharas	Gn-Mig	150 ⁰ Az - Strike	Sub/40 ⁰ - Direção
690201/9221708 (Rua Irineu Jofily)	Mig	120 ⁰ Az - Strike	Sub/60 ⁰ – (F) 60 ⁰ /90 ⁰ Az – Direção – (F)
691492/9224185 (Linha de Trem)	Contato Mármore /Gn-Mig	290 ⁰ – Strike	75 ⁰ /100 ⁰ Az (Calcário)
690085/9224034	Gn-Mig	290 ⁰ – Strike	Sub/290 ⁰ Az- Direção (F)
689955/9223976	Gn-Mig	280 ⁰ Az	Sub/0 ⁰ Az – Direção (F)

Quadro 1 - Parâmetros Geológicos – Estruturais

4.3 - Geomorfologia

A área está inserida na Depressão Interplanáltica Central (Prates, M. *et al.* 1981 *in* Scheid & Ferreira, 1991), que constitui uma depressão semi-árida que contorna o planalto da Borborema. Destacam-se também a presença de cristas e escarpas, formando relevos residuais, refletindo os aspectos

erosivos diferenciais que atingiu os diversos tipos litológicos na região.

4.4 - Tipos de Aquíferos

Na região são encontrados dois tipos de aquíferos, cada um deles com características hidrogeológicas semelhantes:

- a) Aquífero Fraturado;
- b) Aquífero Poroso Sedimentar.

O aquífero fraturado caracteriza-se pelo fato da água estar armazenada e circular nos espaços abertos das rochas (fraturas, fendas e diáclases). Além de ser um meio totalmente heterogêneo e anisotrópico, ocorre uma interdependência entre a qualidade e quantidade de suas águas com fatores externos como o clima, relevo, etc. Na região estão condicionados às rochas cristalinas do Complexo Gnaíssico-Migmatítico. Os melhores aquíferos estão correlacionados com a presença de mármore fraturados.

Os aquíferos porosos são constituídos por aluviões, que ocupam principalmente o vale do rio Espinharas, formando lentes isoladas devido as irregularidades da superfície do substrato cristalino. Nessas lentes estão localizados diversos poços amazonas, de grande diâmetro, que são explorados em pequenas irrigações. Esse aluviões podem representar importante fonte de alimentação e recarga para o sistema aquífero fraturado.

4.5 - Aspectos Relacionados à Poluição da Água Subterrânea

Tomando como base a metodologia adotada por Foster *et al.* (1988) para a definição diversas classes de vulnerabilidade, considerando o tipo e forma de ocorrência dos aquíferos (se livres, fraturados ou confinados), profundidade do nível d'água ou teto do aquífero confinado, litologias existentes acima da zona não saturada, grau de permeabilidade, grau de fraturamento e conteúdo de argila, a área de estudo pode ser classificada como de elevada vulnerabilidade e de alta potencialidade de risco de contaminação.

5 - ESTUDO GEOFÍSICO

5.1 - O Problema

O problema principal a ser resolvido foi identificar faixas de rochas fraturadas preenchidas por água, em lentes de mármore localizadas dentro da área urbana edificada (**Figura 3**). 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. As edificações, esgotos subterrâneos, ruas muito transitadas e rede elétrica foram os principais obstáculos para a execução do trabalho, que foi realizado nas áreas

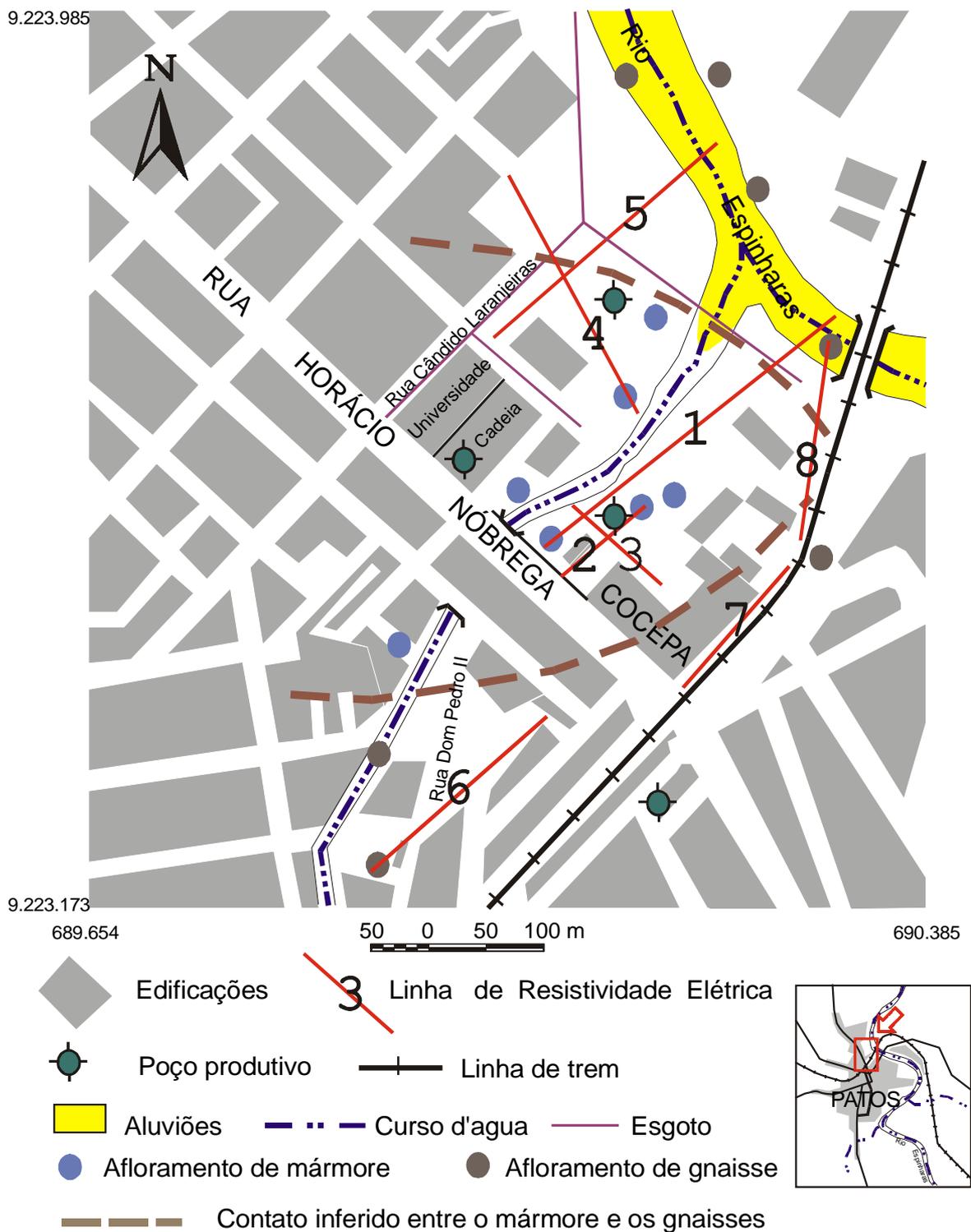


Figura 3 - Detalhe da área urbana da cidade de Patos, com localizações das linhas de resistividade elétrica, dos poços produtivos e dos afloramentos de mármore e gnaisses migmatizados. Modificado de Gonzaga & Oliveira (1998) e de carta do IBGE.

abertas disponíveis em torno do Presídio. Portanto, as condições da área de estudo impediram um levantamento ideal, restringindo-se ao que foi possível quanto às localizações das seções e a um espaçamento que permitiu uma investigação limitada à profundidade máxima de 20 m.

5.2 - O Método de Levantamento

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 de 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.

Neste levantamento foram realizadas pseudo-seções (**Figura 3**) com arranjo dipolo-dipolo, eletrodos em arranjo geométrico coplanar, espaçados de 10 m, com 6 níveis de investigação em profundidade, com distâncias de 20, 30, 40, 50 e 60 e 70 m de afastamentos entre os centros dos dipolos, correspondendo respectivamente aos níveis 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

Na área do Presídio foram realizados 1.500 m lineares de perfis, separados em 8 pseudo-seções (**Figura 3**) entre os dias 26/10 e 04/12/98.

5.3 - Equipamento

Foi utilizado um eletrorresistímetro marca B&B, modelo GES 1/72, de corrente contínua, alimentação 24 volts, com eletrodos de aço inoxidável; e um receptor marca Protek, modelo 505, 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) em um computador Pentium, 200 Mhz, com 32 Mb de memória RAM. Esse programa calcula a resposta direta de um semi-espaço 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. Como 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.

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. As pseudo-seções com os valores de resistividade aparente coletados no campo, os modelos de resistividade aparente (sintético) e os modelos de resistividade e profundidade são apresentados em conjunto com as figuras.

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 geoelétricas que serão apresentadas a seguir.

5.6 - Seções Geoelétricas

As interpretações das seções foram realizadas com base nos dados de resistividade elétrica, geológicos e estruturais. A introdução de informações geológicas permite reduzir a ambigüidade inerente aos métodos geofísicos.

A definição do padrão geoelétrico para interpretação dos tipos litológicos seguiu o seguinte critério:

- a) Fraturas - faixas de resistividade inferiores a 50 Ohm.m;
- b) Falhas - forte contraste de resistividade ou deslocamentos entre níveis fraturados;
- c) Mármore - resistividades superiores a 2.000 Ohm.m. Presença de intenso fraturamento;
- d) Mármore alterado - resistividades na faixa entre 100 e 500 Ohm.m, com fraturamento pouco desenvolvido;
- e) Gnaisses - resistividades superiores a 2.000 Ohm.m. Fraturas rasas e pouco desenvolvidas.

5.6.1 - Seção 1

Esta seção (**Figuras 4 e 5**) foi localizada 20 m a nordeste do poço da COCEPA. No seu início, próximo a Rua Horácio Nóbrega, ocorrem afloramentos de mármore, e o seu final, no leito do rio

Espinharas, afloram gnaisses migmatizados. O contato entre a zona de domínio dos mármore e com a zona de domínio dos gnaisses está claramente marcada por forte contraste de resistividade nas proximidades do barranco do rio. No trecho centro-nordeste da seção foram definidos mármore alterado e poucos fraturados. É possível inferir para essa região um solo autóctone mais espesso. As resistividades não muito altas (< 500 Ohm.m) podem indicar a presença de argilas ou rochas impregnadas com água, refletindo o comportamento de coberturas cristalinas alteradas. Os sistemas fraturados, identificados a partir do padrão retilíneo e interligado das faixas de baixa resistividade, ocorrem principalmente na metade sudoeste da seção. Uma dessas zonas (65 m) coincide com a posição do poço da COCEPA. As fraturas posicionadas nos gnaisses são rasas e estão relacionadas com pequenos vales e um córrego poluído no leito seco do rio.

5.6.2 - Seções 2 e 3

(Pátio da COCEPA)

Estas seções foram levantadas no pátio da COCEPA, em posição adjacente ao poço. Ao longo das duas seções domina um sistema de

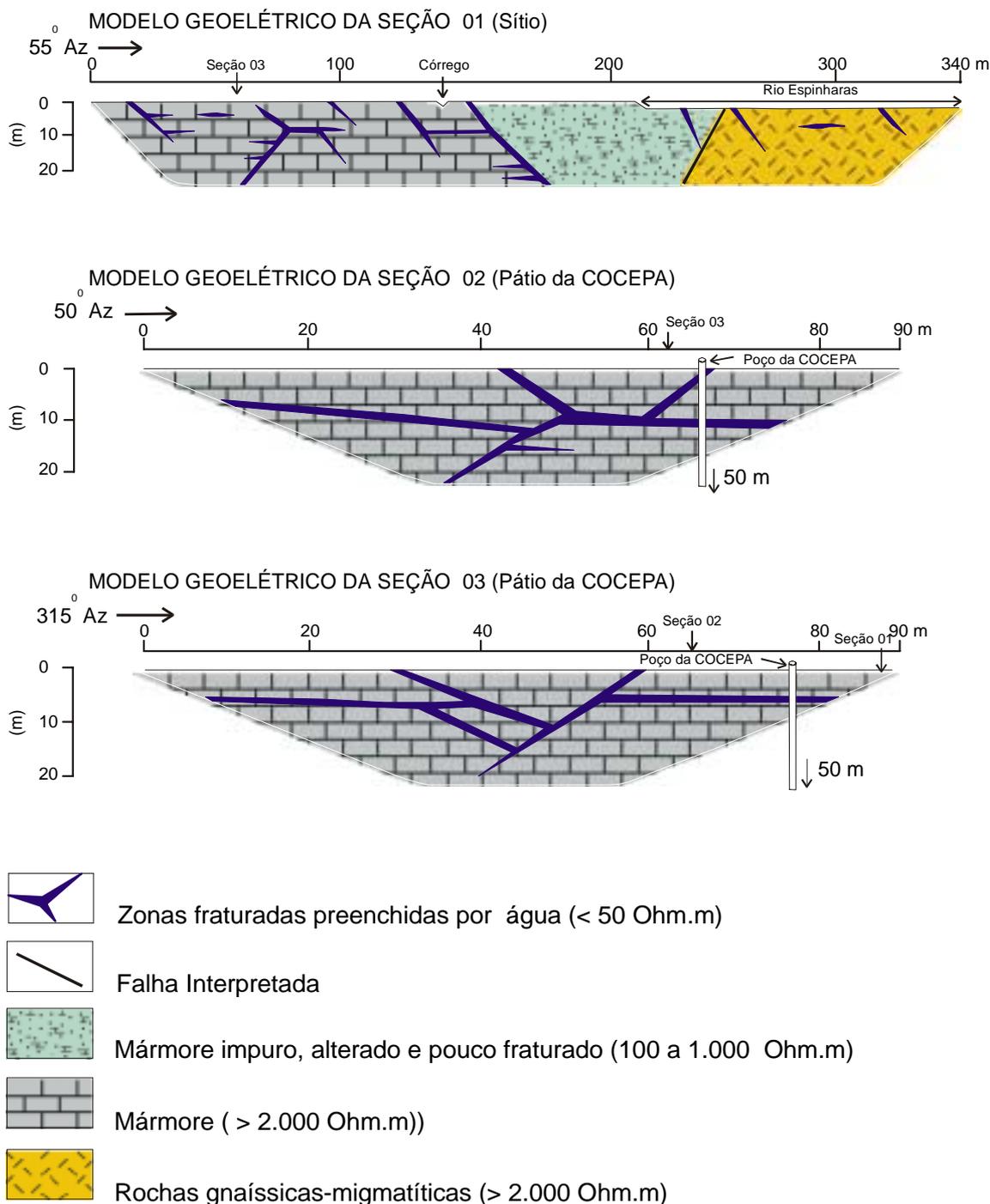


Figura 4 - Modelos geoelétricos qualitativos, construídos a partir dos modelos de resistividades obtidos por inversão dos dados de resistividades aparentes das pseudo-seções medidas em campo. Eles integram informações geofísicas, geológicas e hidrogeológicas.

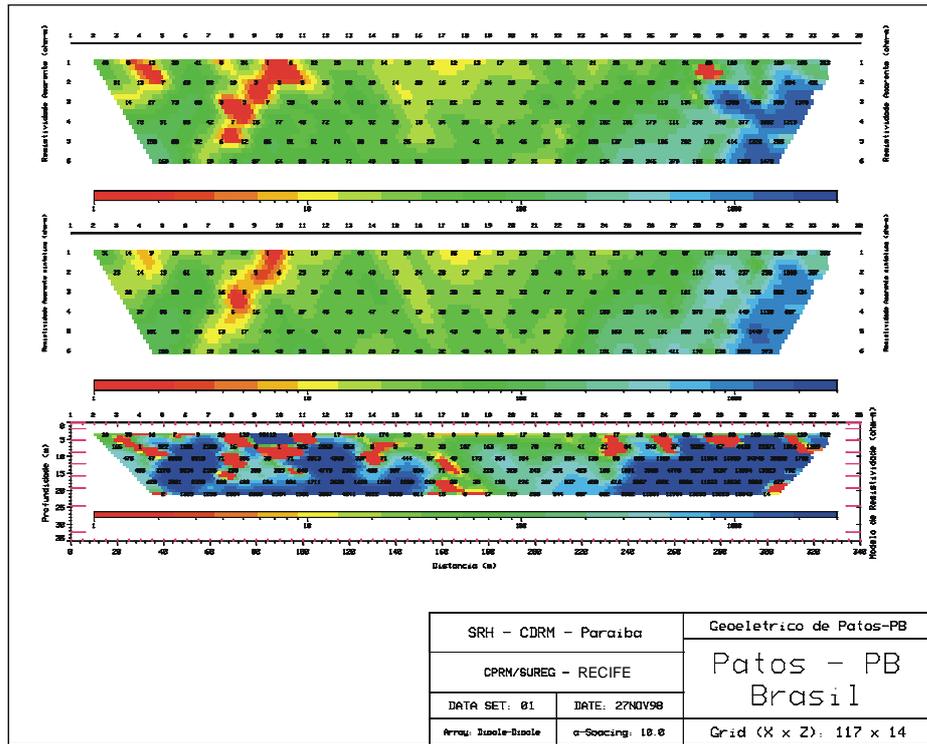


Figura 5 - Pseudo-seção da linha 1 e modelo de resistividades e profundidades obtido por inversão das resistividades aparentes

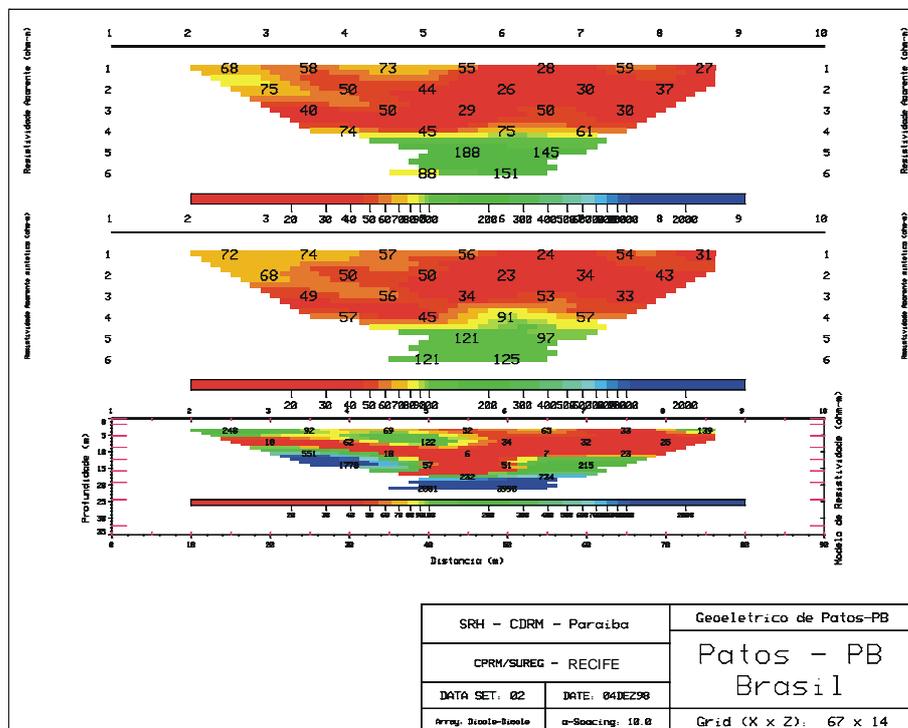


Figura 6 - Pseudo-seção da linha 2 e modelo de resistividades e profundidades obtido por inversão das resistividades aparentes.

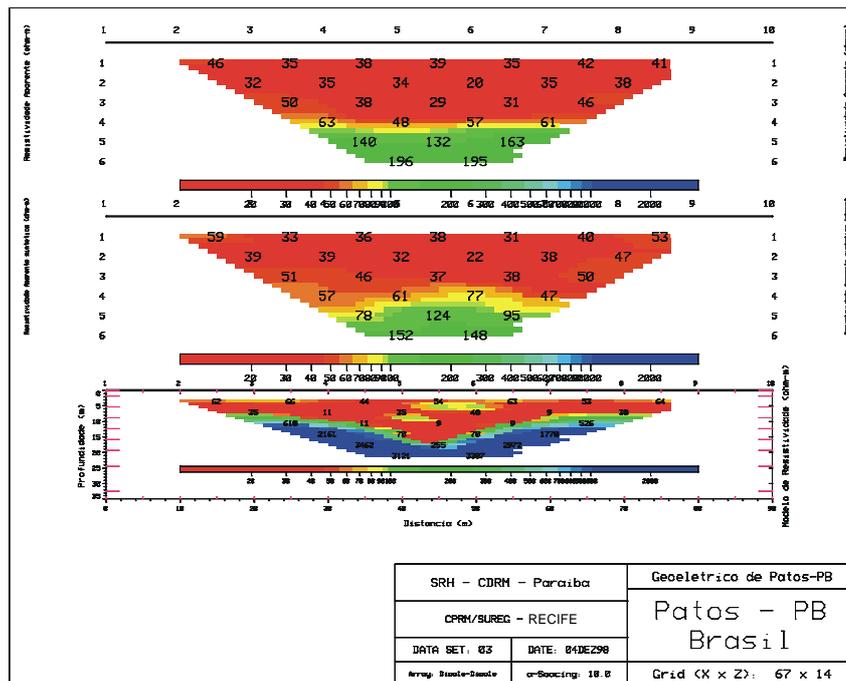


Figura 7 - Pseudo-seção da linha 3 e modelo de resistividades e profundidades obtido por inversão das resistividades aparentes.

fraturamento intenso e interligado (Figuras 4, 6 e 7) Os baixos valores de fraturas estão restritas aos primeiros 15 m de profundidade; a partir daí o padrão de resistividade demonstra o predomínio de rochas compactas.

5.6.3 - Seção 4 (Pátio da Universidade)

Esta seção foi levantada no pátio da universidade, ao lado do ginásio em construção. Observa-se que o padrão de baixa resistividade relacionado com zonas fraturadas ocorre na extremidade noroeste da seção (Figuras 8 e 10), em um terreno baldio localizado adjacente à extremidade da rua Cândido

Laranjeiras. É possível interpretar a presença de uma falha, cujo padrão de resistividade atinge profundidade superiores a 20m, e a partir do qual ramificam-se fraturas horizontais. Nesse local ocorre uma pequena quebra de relevo, com um pequeno vale que interliga-se com a calha do rio. Na parte central da seção dominam rochas compactas (resistividades altas) com fraturas rasas. Na extremidade sudeste, a parte rasa da seção apresentada baixas resistividades que podem indicar infiltração a partir do córrego poluído que ocorre nas proximidades. Em profundidade estão localizadas zonas de baixa resistividade que podem representar fraturas relacionadas à alimentação do poço localizado em

posição lateral a esse trecho do perfil.

5.6.4 - Seção 5 (Pátio da Universidade)

Essa seção foi realizada em posição perpendicular a seção 4. Destacam-se dois sistemas principais de fraturas, possivelmente relacionados com falhas e com o contato mármore/migmatítico (**Figuras 8 e 11**). Observa-se que o sistema de fraturas com mergulho, interliga-se com o sistema horizontalizado. Com exceção das zonas fraturadas, todo o resto da seção é constituído por rochas compactas de alta resistividade (>2.000 Ohm.m). Os sistema fraturados aparentemente prosseguem além da profundidade de 20 m, exceto as fraturas interpretadas no Complexo Gnáissico.

5.6.5 - Seção 6 (Rua Dom Pedro II)

Essa seção foi realizada em um área descampada que ocorre em torno da rua Dom Pedro II. Observa-se que os fraturas interpretadas são discretas e sem interligações (**Figuras 8 e 12**). Esse aspecto levou a interpretação na parte mediana da seção, onde dominam resistividades inferiores a 500 Ohm.m, de um corpo litológico com alterações parciais para argila. É possível esperar para essa região um solo autóctone

mais espesso, ou presença de material alóctone, talvez um aterro. É possível que o local tenha sido em épocas anteriores um baixo topográfico com presença de corpo d'água, o que teria causado uma alteração mais profunda do substrato, seja ele mármore ou gnaisse.

5.6.6 - Seções 7 e 8 (Linha do Trem)

Essa seções foram realizadas ao longo da rua lateral à linha de trem, onde está localizada a garagem da empresa de transporte Guanabara. A subdivisão em duas foi causada pela presença do bueiro de um riacho no trecho mediano da rua. O final da seção 8 ocorre no leito do rio Espinharas, onde afloram gnaisses. As duas seções apresentam um intenso padrão de fraturamentos (**Figuras 9, 13 e 14**) que afetam gnaisses e mármore. Na maioria dos casos as fraturas apresentam profundidades inferiores a 15 m.

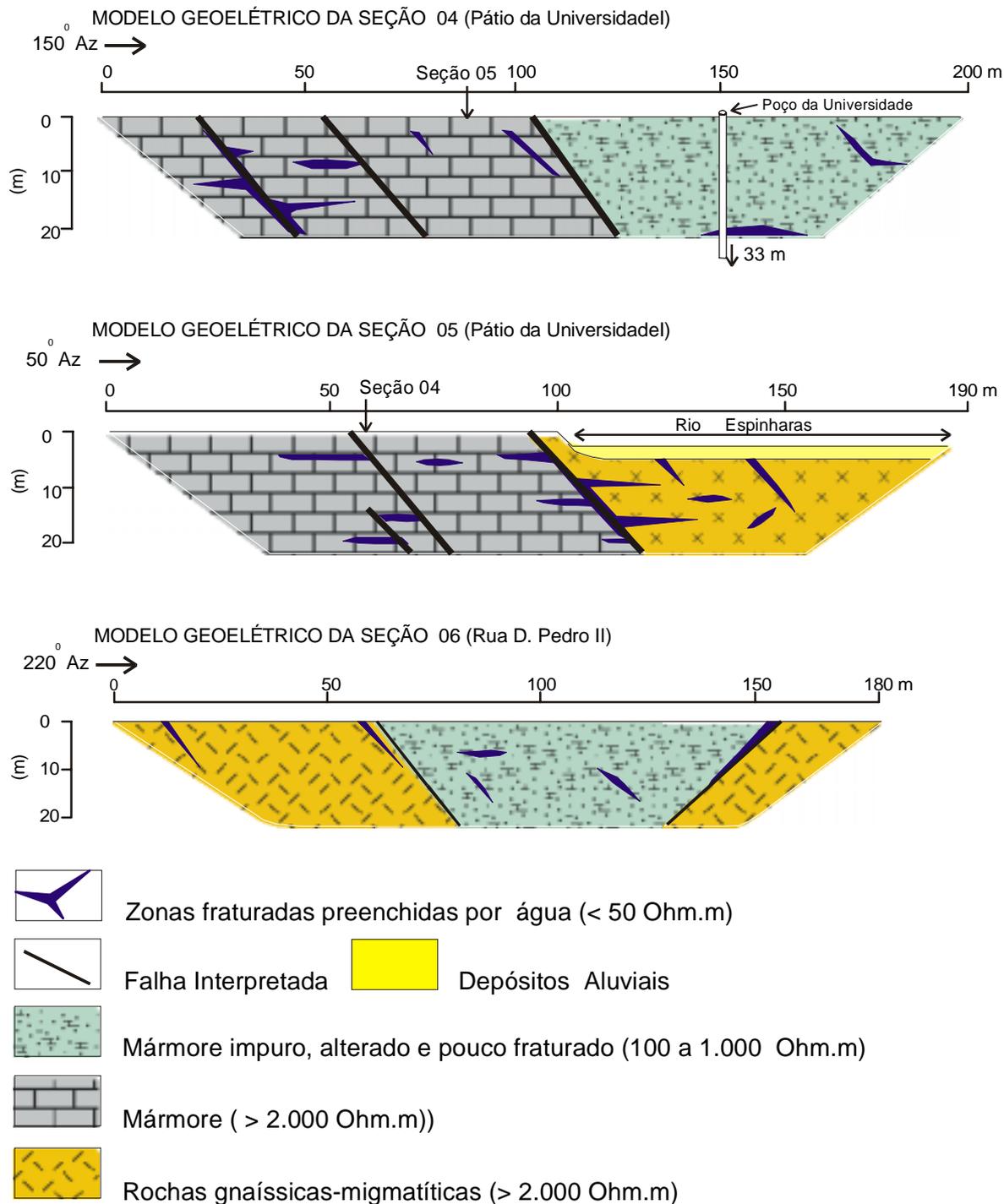


Figura 8 - Modelos geoeletricos qualitativos, construídos a partir dos modelos de resistividades obtidos por inversão dos dados de resistividades aparentes das pseudo-seções medidas em campo. Eles integram informações geofísicas, geológicas e hidrogeológicas.

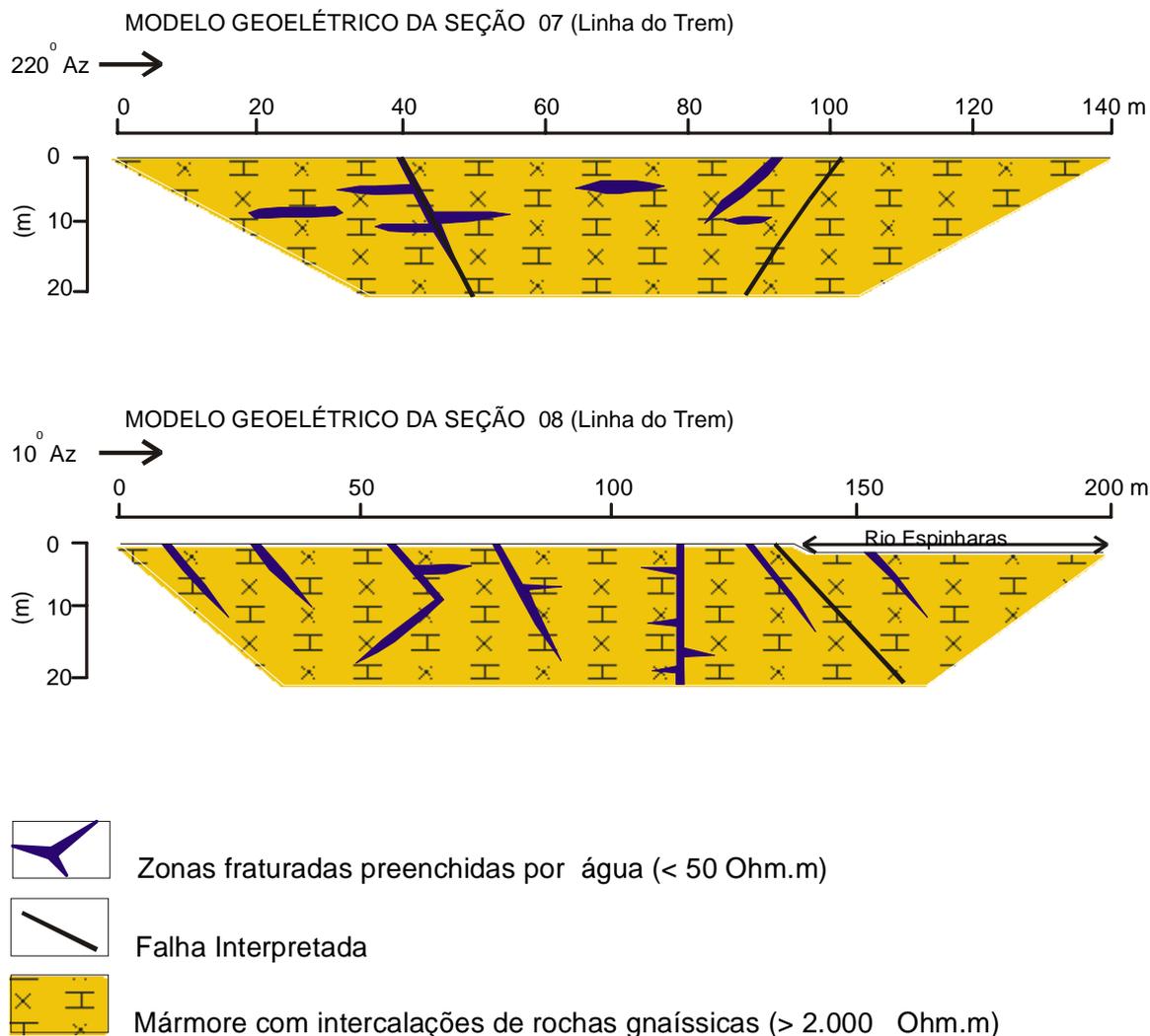


Figura 9 - Modelos geoelétricos qualitativos, construídos a partir dos modelos de resistividades obtidos por inversão dos dados de resistividades aparentes das pseudo-seções medidas em campo. Eles integram informações geofísicas, geológicas e hidrogeológicas.

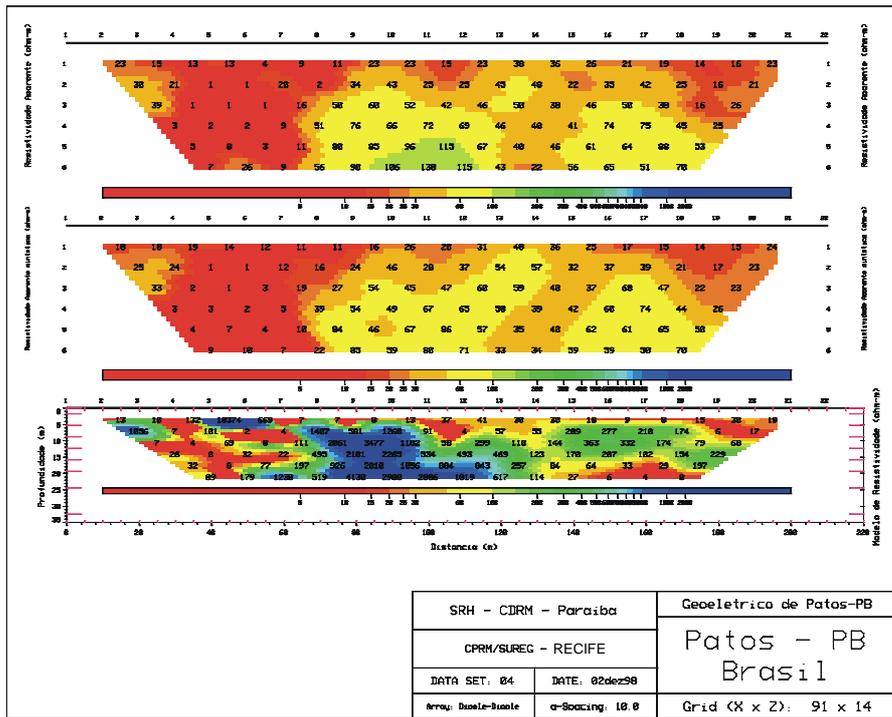


Figura 10 - Pseudo-seção da linha 4 e modelo de resistividades e profundidades obtido por inversão das resistividades aparentes.

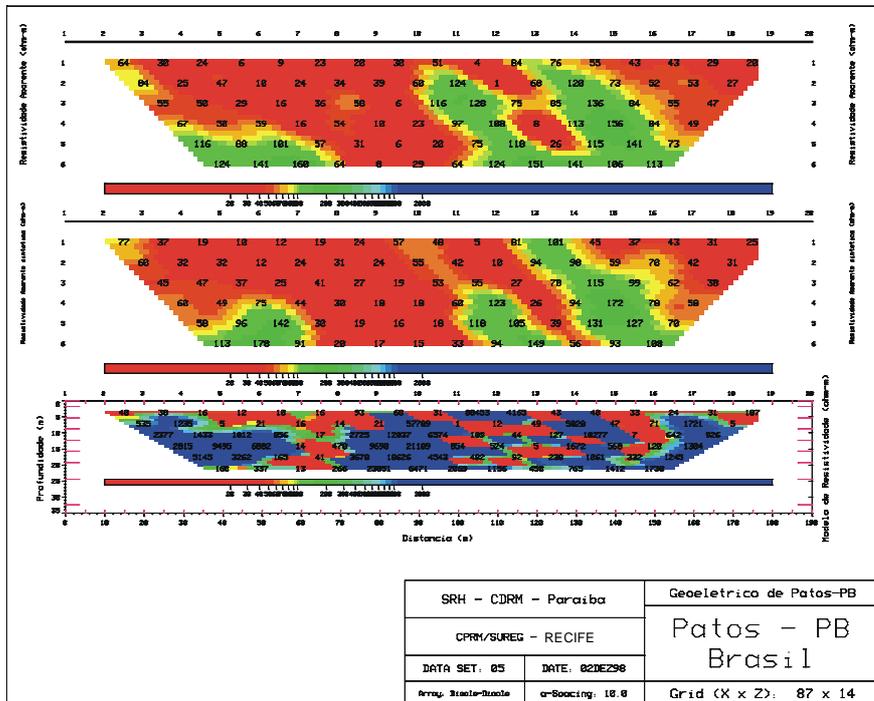


Figura 11 - Pseudo-seção da linha 5 e modelo de resistividades e profundidades obtido por inversão das resistividades aparentes.

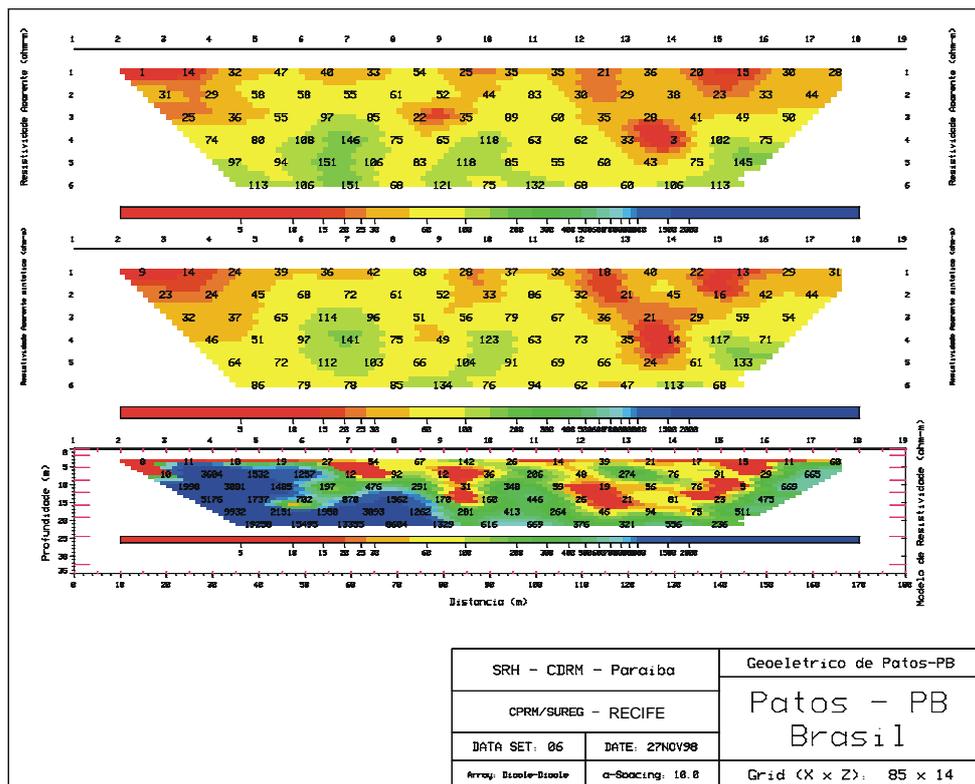


Figura 12 - Pseudo-seção da linha 6 e modelo de resistividades e profundidades obtido por inversão das resistividades aparentes.

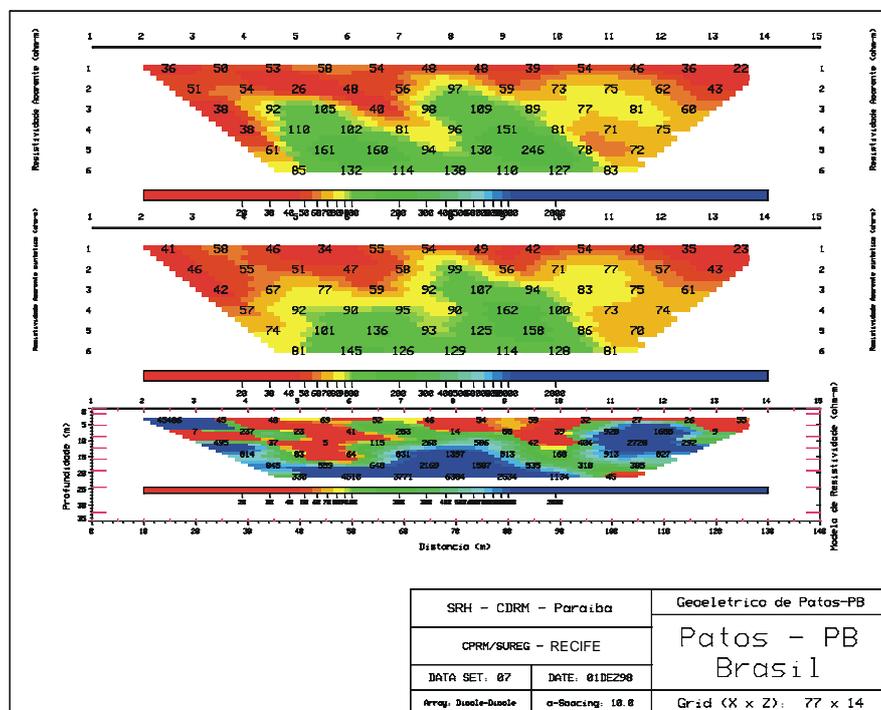


Figura 13 - Pseudo-seção da linha 7 e modelo de resistividades e profundidades obtido por inversão das resistividades aparentes.

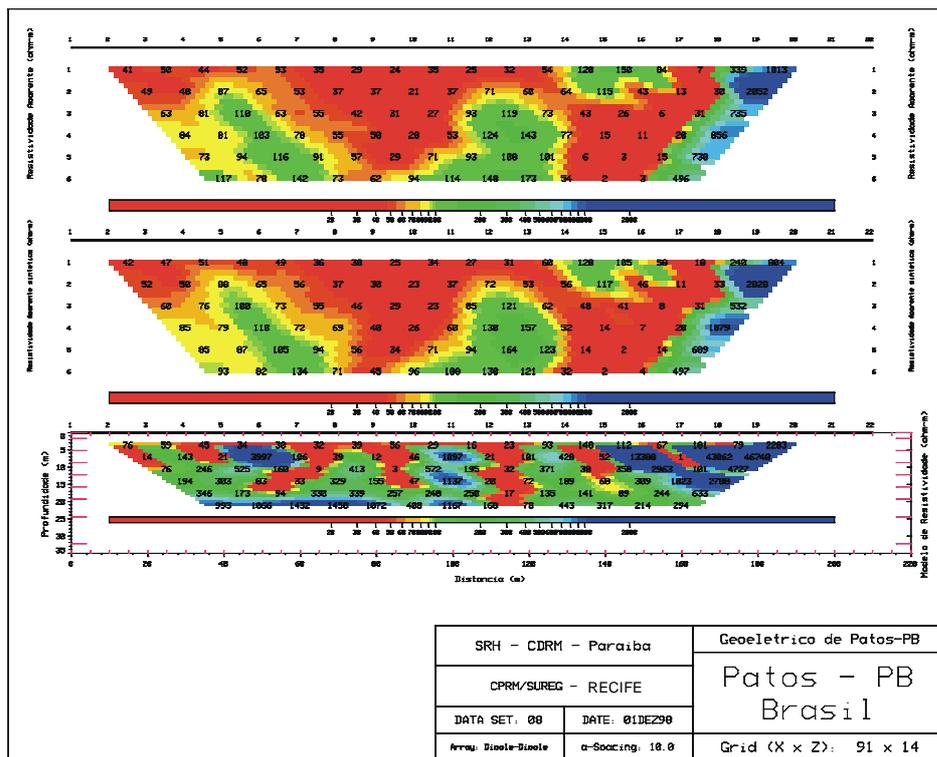


Figura 14 - Pseudo-seção da linha 8 e modelo de resistividades e profundidades obtido por inversão das resistividades aparentes.

5.6.7 - Representação dos resultados em Mapa para Profundidades de 7 e 15 m

Os dados do modelo de resistividades e profundidades foram interpolados por mínima curvatura considerando as profundidades de 7 e 15 m. O objetivo desse procedimento foi a visualização da variação do comportamento do sistema fraturado com a profundidade e a identificação da distribuição em mapa desse sistema. Os resultados estão apresentados nas **Figuras 15 e 16**. Os tons mais avermelhados correspondem as zonas

de baixa resistividades, que são interpretadas como faixas de rochas fraturadas preenchidas por água. Observa-se claramente que a intensidade do fraturamento diminui com a profundidade, sendo mais intenso na profundidade de 7 m (**Figura 15**) do que na de 15 m (**Figura 16**). O mergulho das fraturas causa deslocamentos em mapa para um mesmo sistema visualizado nas duas profundidades. É também possível identificar que os sistemas fraturados articulam-se em duas direções principais: NE-SW e NW-SE. Em função da pequena cobertura do levantamento,

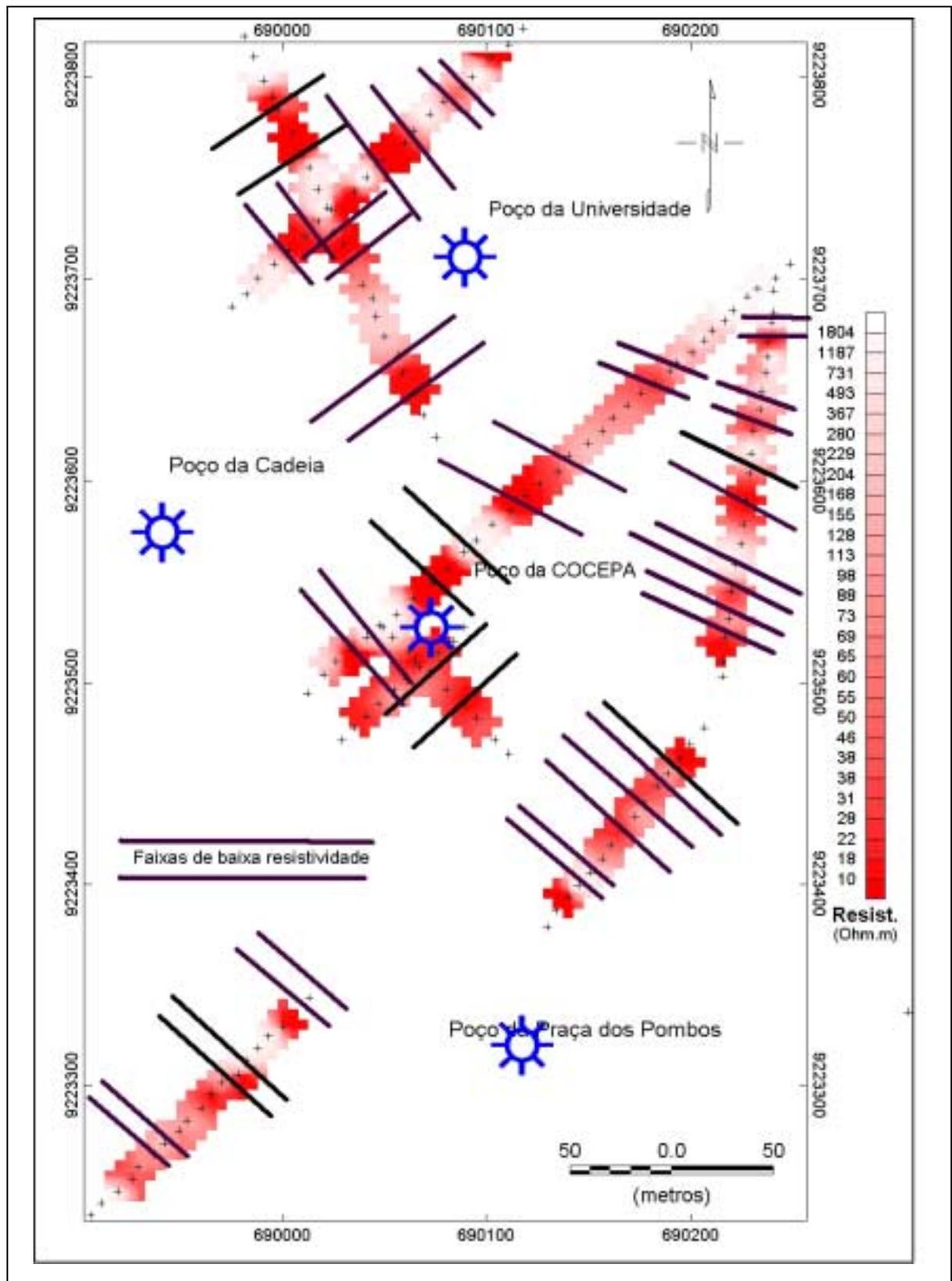


Figura 15 - Interpolação dos dados do modelo de resistividade para a profundidade de 7 m. Os tons mais avermelhados representam faixas de baixa resistividade, provavelmente relacionadas com rochas fraturas preenchidas com água.

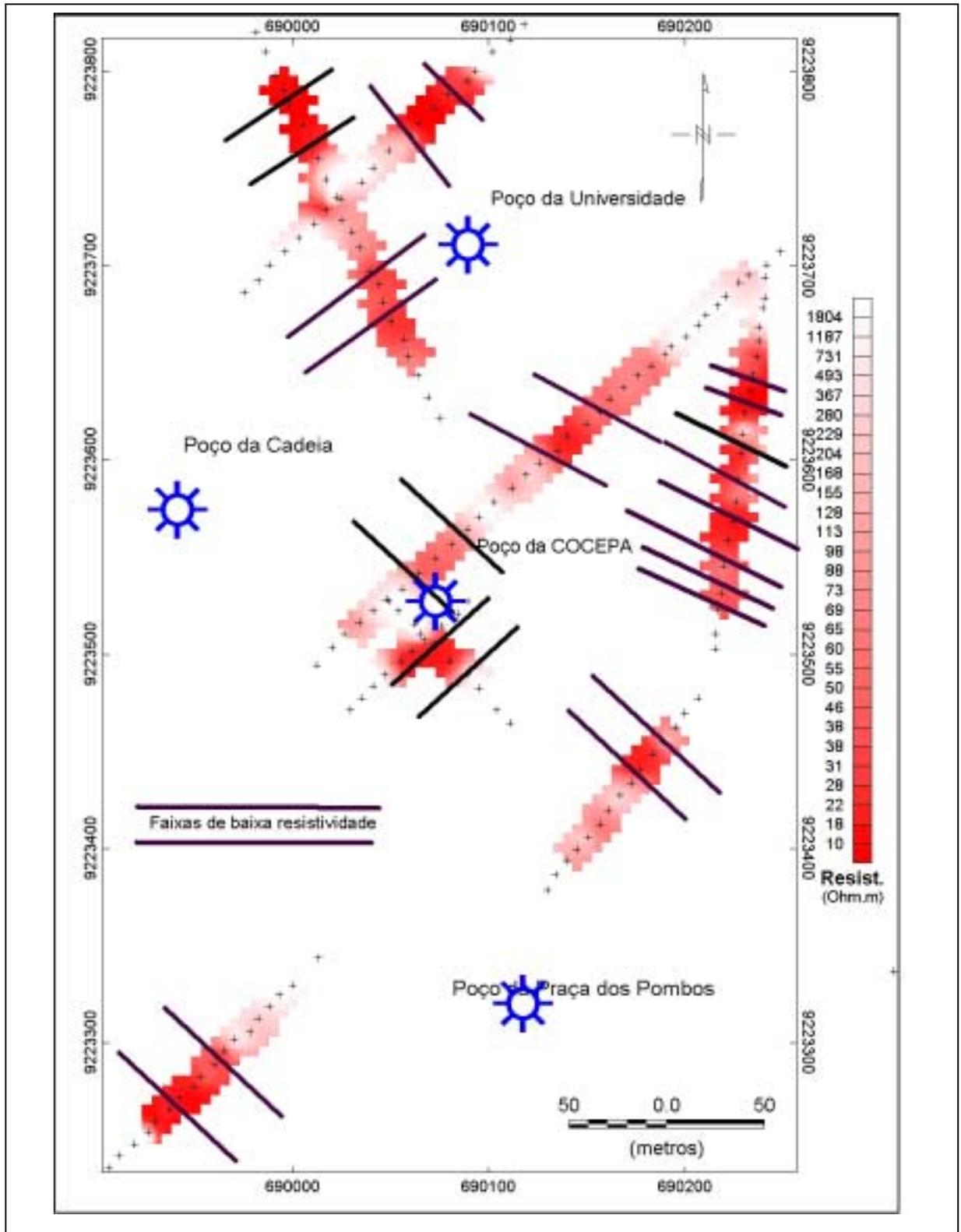


Figura 16 -Interpolação dos dados do modelo de resistividade para a profundidade de 15 m. Os tons mais avermelhados representam faixas de baixa resistividade, provavelmente relacionadas com rochas fraturas preenchidas com água.

não é possível afirmar a direção exata, porém é possível verificar a concordância dessas direções com aquelas das fraturas abertas identificadas em campo (**Quadro 1**).

A **Figura 17** é também uma representação em mapa dos resultados do levantamento. Verifica-se que o poço da COCEPA (40.000 litros/h) está posicionado no encontro de sistemas de fraturamento muito intenso. O prolongamento desse sistema coincide com a posição do poço do Presídio. Destaca-se também uma área muito favorável no terreno baldio ao lado da rua Cândido Laranjeiras, vizinho ao pátio da Universidade. É importante também verificar a correlação de zonas fraturadas com o contato nordeste inferido entre os mármores e os gnaisses.

5.6.8 - Seção 9 (Bairro Salgadinho)

Esta seção foi executada fora do contexto da área do Presídio, com o objetivo de auxiliar os trabalhos de locação de poços no bairro Salgadinho. Em função da ausência de obstáculos a seção levantada teve 600 m de comprimentos e uma abertura de 20 m, permitindo investigar profundidades em torno de 50 m (**Figuras 18 e 19**). Em

simultaneidade ao levantamento foi efetuada uma sugestão de favorabilidade (360 m, piquete 18) a partir da análise qualitativa dos dados. O poço foi perfurado, porém apesar de conter água, o resultado não foi muito animador. Após o tratamento dos dados verificou-se que as áreas mais favoráveis estão em dois trechos de baixa resistividade (possíveis fraturas), deslocados 60 m (entre o piquete 15 e 16) e 100 m (entre os piquetes 12 e 13) para norte do local onde o poço foi perfurado. Outras áreas favoráveis ocorrem na extremidade sul da seção. Nessa seção observa-se que as zonas de baixa resistividade relacionadas com fraturas atingem profundidades de até 50 m e são predominantemente verticais.

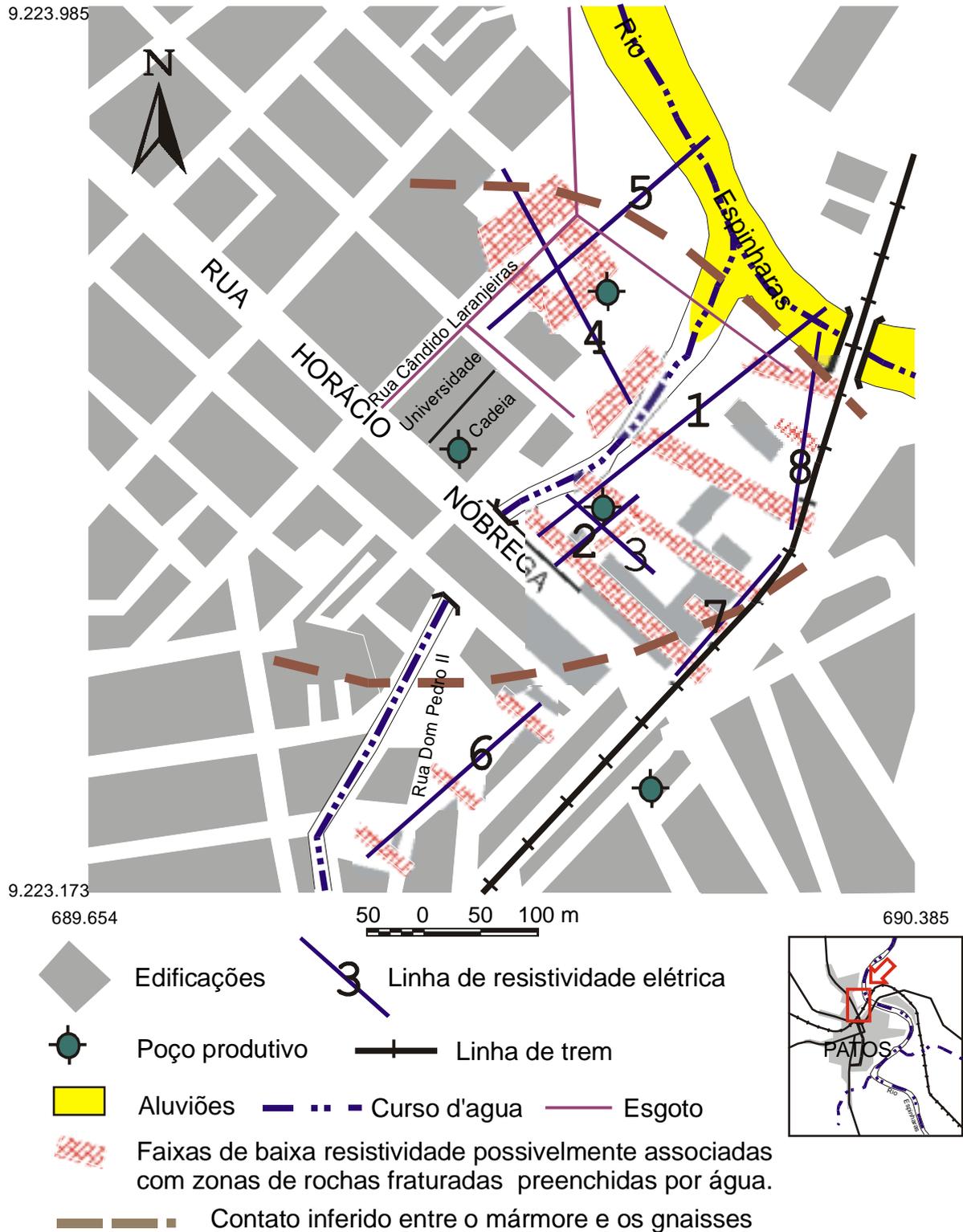


Figura 17 - Detalhe da área urbana da cidade de Patos, com localizações das seções de resistividade elétrica, dos poços produtivos e das faixas de baixa resistividade possivelmente associados com zonas de rochas fraturadas preenchidas com água.

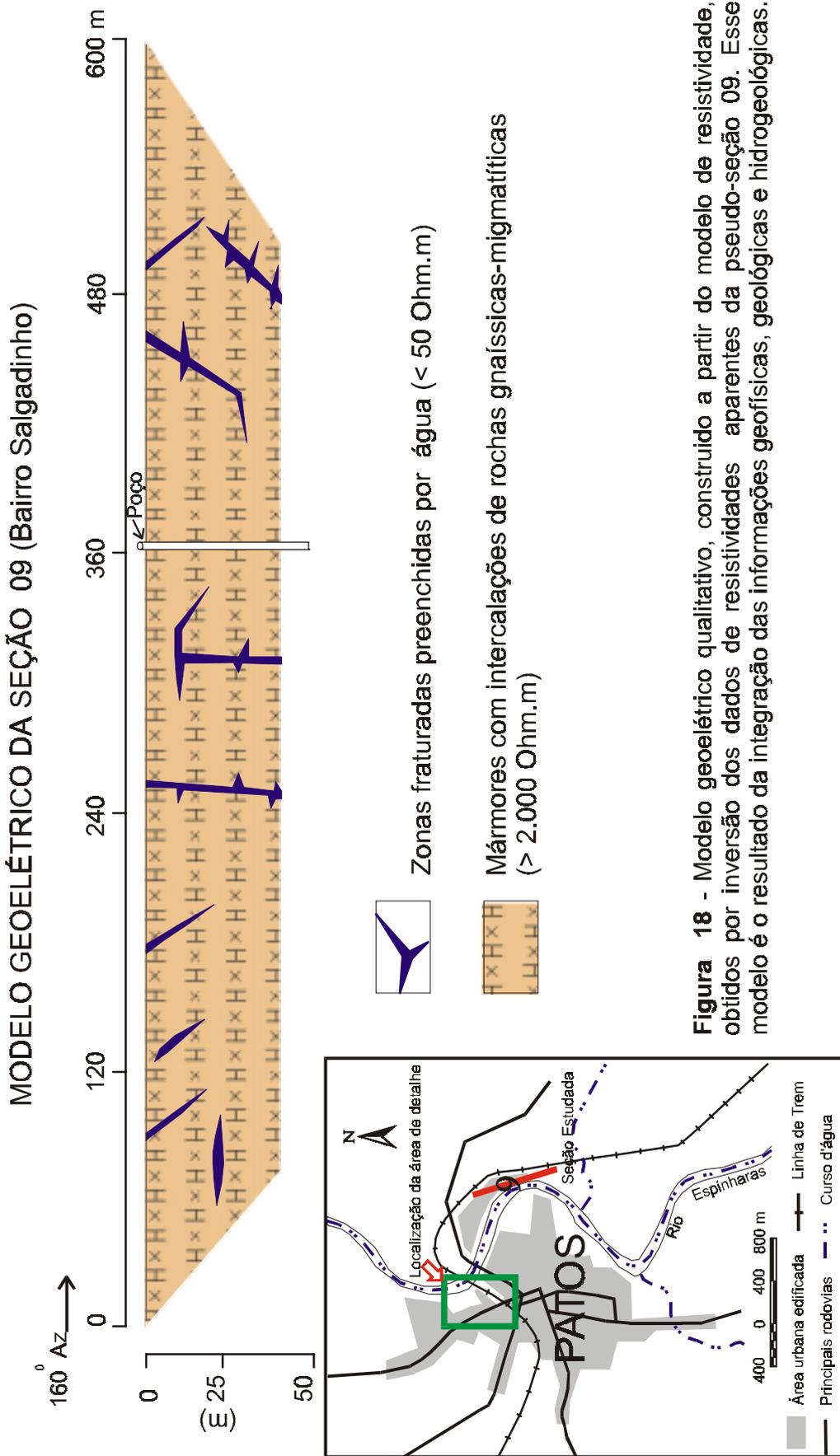


Figura 18 - Modelo geoelétrico qualitativo, construído a partir do modelo de resistividade, obtidos por inversão dos dados de resistividades aparentes da pseudo-seção 09. Esse modelo é o resultado da integração das informações geofísicas, geológicas, geológicas e hidrogeológicas.

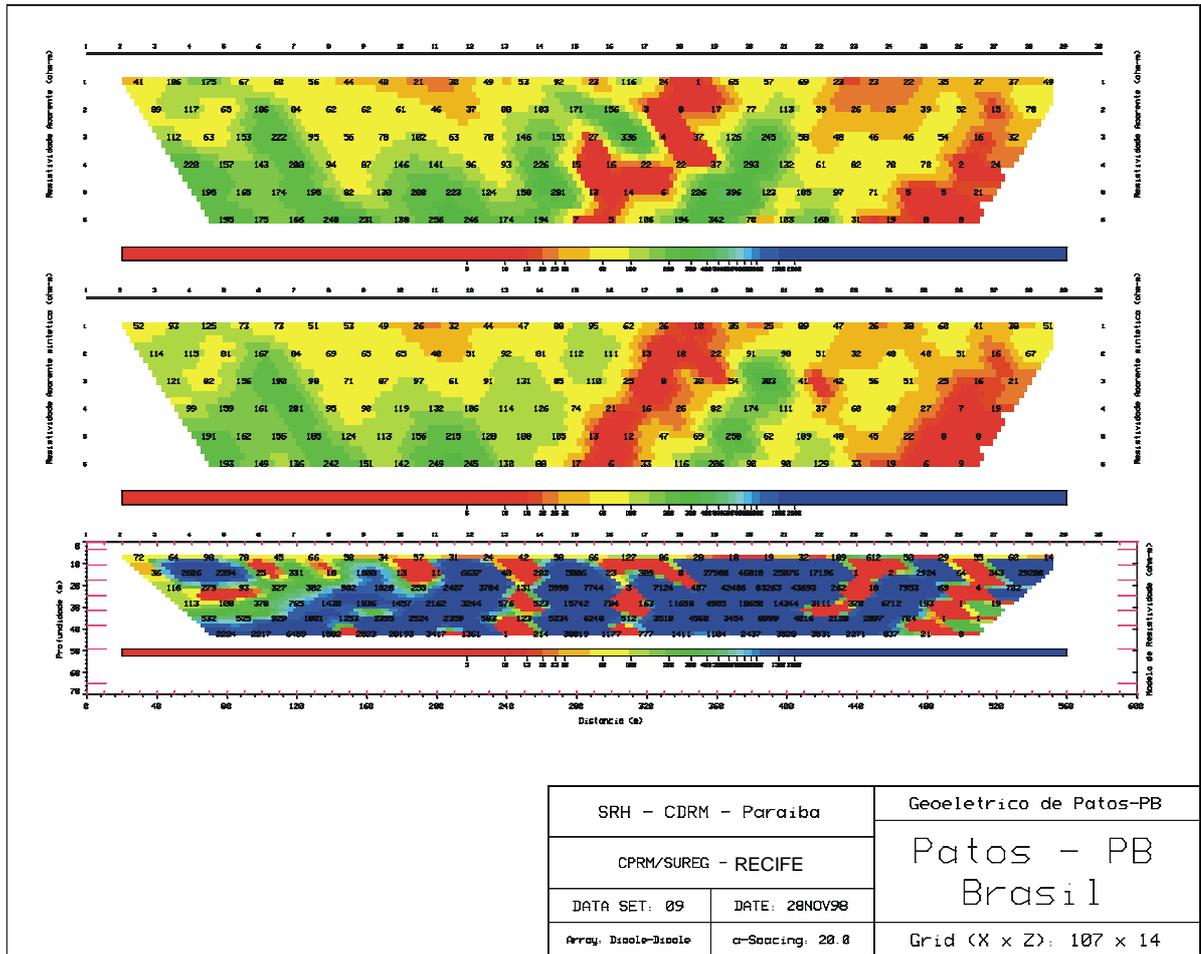


Figura 19 - Pseudo-seção da linha 9 e modelo de resistividades e profundidades obtido por inversão das resistividades aparentes.

6 - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos a partir do levantamento de eletrorresistividade e da sua integração com os dados geológicos/estruturais podem ser resumidos nos seguintes tópicos:

- a) O padrão de deformação frágil é definido nos mármores por quatro sistemas principais de fraturas abertas: $70^{\circ}/200^{\circ}\text{Az}$, $75^{\circ}/250^{\circ}\text{Az}$, $\text{Sub}/0^{\circ}\text{Az}^*\text{Direção}$ e $\text{Sub}/230^{\circ}\text{Az}$ Direção. O rio Espinharas na região da cidade de Patos está encaixado em fraturas bem definidas, sugerindo um sistema em formato romboédrico, característico de ambiente de distensão;
- b) A análise e a correlação dos dados de resistividade com informações geológicas conhecidas permitiu identificar três tipos de padrões geoelétricos (fraturas, falhas, mármores, mármores alterados e gnaisses);
- c) A acumulação de água no aquífero fraturado da região do Presídio ocorre em sistemas de fraturas abertas localizadas, preferencialmente em mármores, em parte conectadas e correlacionadas com faixas de baixa resistividade ($< 10 \text{ Ohm.m}$);
- d) O contato entre a zona de domínio dos mármores e com a zona de domínio dos gnaisses está claramente marcada por forte contraste de resistividade, que pode indicar a existência de estruturas favoráveis a presença de água;
- e) Os sistemas fraturados ocorrem de forma regular e espaçada, com os sistemas individuais apresentando conexões entre fraturas com mergulho forte e fraturas horizontalizadas (em corte);
- f) Os sistemas fraturados articulam-se em duas direções principais: NE-SW e NW-SE, em concordância com as direções das fraturas abertas identificadas em campo;
- g) Nas proximidades do poço da COCEPA ocorre um padrão de fraturamento intenso e interligado, porém observa-se que as fraturas estão restritas aos primeiros 15 m de profundidade; a partir desta profundidade os valores de resistividade demonstram o predomínio de rochas compactas:

- h) O prolongamento do sistema de fraturamento observado na área do poço da COCEPA coincide com a posição do poço do Presídio;
- i) É possível verificar para toda a região levantada em torno do Presídio que a intensidade do fraturamento é maior na profundidade de 7 m (**Figura 07**) do que na de 15 m. Esse fato indica que o aquífero é raso e possui fortes conexões com a água dos níveis superficiais do substrato;
- j) Devido a alta vulnerabilidade do aquífero e a presença de cargas contaminantes de diversas naturezas (esgotos sanitários, resíduos sólidos, etc), que ocorrem ao longo de todo o rio Espinharas e principalmente nas proximidades dos poços do Presídio e da COCEPA, é necessário que haja um contínuo monitoramento da qualidade das suas águas.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CDRM. 1982. *Mapa Geológico do Estado da Paraíba, escala 1:500.000*. CDRM/DNPM.
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C.; ROCHA, G. A. 1988. Riscos de poluição de águas subterrâneas. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 5*, São Paulo, Anais, ABAS, p. 175-185.
- GONZAGA, F. A. S.; OLIVEIRA, J. J. C. 1998. *Estudo geológico preliminar da área do Presídio Regional de Patos*. CDRM, Divisão de Hidrogeologia e Sondagem, Campina Grande, PB. 3 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).
- INTERPEX LTD. 1997. RESIX2DI, 2D Resistivity and induced polarization smooth inversion. User's Manual, V1. 185 p.
- RIJO, L. 1977. *Modelling of Electric and Electromagnetic Data*. Ph.D Thesis, University of Utah, Michigan.
- SCHEID, C ; FERREIRA, C. A. 1991. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: carta geológica, carta metalogenético-previsional (folha SB.24-Z-D-I Patos)*. Escala 1:100.000, Estados de Pernambuco e Paraíba. Brasília, DNPM/CPRM.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

Sede

SGAN Quadra 603 - Conjunto "J" - Parte A - 1º andar
CEP: 70830-030 - Brasília - DF
Telefones: (61)312-5252 - (61)223-5253 (PABX)
Fax: (61)225-3985

Escritório Rio de Janeiro

Av. Pasteur, 404 - Urca - CEP: 22292.040
Rio de Janeiro - RJ
Telefones: (21)295-5337 - (21)295-0032 (PABX)
Fax: (21)295-6347

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial

Telefone: (21)295-5804
Fax: (21)295-5804
E-Mail: thales@crystal.cprm.gov.br

Departamento de Hidrologia

Telefone: (21)295-4546
Fax: (21)295-6347
E-Mail: peixinho@crystal.cprm.gov.br

Diretoria de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Telefone: (21)295-5837
Fax: (21)295-5947
E-mail: pdias@crystal.cprm.gov.br

Divisão de Documentação Técnica

Telefones: (21)295-5997
Fax: (21)295-5897
E-Mail: seus@crystal.cprm.gov.br

Superintendência Regional de Belém

Av. Dr. Freitas, 3645 – Marco
CEP: 66095-110 - Belém - PA
Telefones: (91)226-0016 - (91)246-8577 (PABX)
Fax: (91)246-4020
E-Mail: cprmbel@cprmbel.gov.br

Superintendência Regional de Belo Horizonte

Av. Brasil, 1731 – Funcionários
CEP: 30140-002 - Belo Horizonte - MG
Telefones: (331)261-3037 - (331)261-5977 (PABX)
Fax: (331)261-5585
E-Mail: cprmbh@estaminas.com.br

Superintendência Regional de Goiânia

Rua 148, 485 - Setor Marista
CEP: 74170-110 - Goiânia - GO
Telefones: (62)281-1342 - (62)281-1522 (PABX)
Fax: (62)281-1709
E-mail: cprngo@zaz.com.br

Superintendência Regional de Manaus

Av. André Araújo, 2160 - Aleixo
CEP: 69065-001 - Manaus - AM
Telefones: (92)663-5533 - (92)663-5640 (PABX)
Fax: (92)663-5531
E-Mail: suregma@internext.com.br

Superintendência Regional de Porto Alegre

Rua Banco da Província, 105 - Santa Teresa
CEP: 90840-030 - Porto Alegre - RS
Telefones: (51)233-4643 - (51)233-7311(PABX)
Fax: (51)233-7772
E-Mail: cprm_pa@portoweb.com.br

Superintendência Regional do Recife

Rua das Pernambucanas, 297 – Graças
CEP: 52011-010 - Recife - PE
Telefone: (81)3221-7456 (PABX)
Fax: (81)3221-7645
E-Mail: cprm@fisepe.pe.gov.br

Superintendência Regional de Salvador

Av. Ulisses Guimarães, 2862
Centro Administrativo da Bahia
CEP: 41213.000 - Salvador - BA
Telefones: (71)230-0025 - (71)230-9977 (PABX)
Fax: (71)371-4005
E-Mail: cprmsa@bahianet.com.br

Superintendência Regional de São Paulo

Rua Barata Ribeiro, 357 - Bela Vista
CEP: 01308-000 - São Paulo - SP
Telefone: (11)3333-4721 - (11)3333-4712
E-Mail: cprmsp@uninet.com.br

Residência de Fortaleza

Av. Santos Dumont, 7700 - 4º andar - Papicu
CEP: 60150-163 - Fortaleza - CE
Telefones: (85)265-1726 - (85)265-1288 (PABX)
Fax: (85)265-2212
E-Mail: refort@secrel.com.br

Residência de Porto Velho

Av. Lauro Sodré, 2561 - Bairro Tanques-
CEP: 78904-300 - Porto Velho - RO
Telefones: (69)223-3165 - (69)223-3544 (PABX)
Fax: (69)221-5435
E-Mail: cprmrepo@enter-net.com.br

Residência de Teresina

Rua Goiás, 312 - Sul - CEP: 64001-570 - Teresina - PI
Telefones: (86)222-6963 - (86)222-4153 (PABX)
Fax: (86)222-6651
E-Mail: cprmrest@enter-net.com.br

