



## Estudos Magnetotéluricos na Bacia do Iguatu (CE): Primeiros Resultados

Adriano J. A. Marçal, Sergio L. Fontes, Jean Marie Flexor, Carlos R. Germano, Observatório Nacional, Brasil.

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

**A multidisciplinary geophysical and geochemical project has been proposed to study the set of Iguatu basins, Ceará state, aiming at contributing to the evaluation of the groundwater resources in this semiarid region of Brazil. In this paper we report the preliminary results from thirty magnetotelluric (MT) soundings covering 200Hz – 0.01 Hz frequency range displaced on a 70 Km long profile SW – NE directed along the main axis of the roughly elliptical main basin. Two-dimensional model result evidenced very low resistivity sediments filling the entire basin, probably due to the presence of shales rich in organic materials and saline fluids. Estimates of the depth to the basement reach a maximum of 1800 m - 2000 m, values slightly higher than previous results from gravimetric models.**

### Introdução

As Bacias do Iguatu (Ceará), inseridas na bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe, são caracterizadas pela ocorrência de três domínios hidrogeológicos: formações sedimentares, embasamento cristalino e depósitos aluvionares.

As Bacias do Iguatu foram objeto de levantamentos gravimétricos de detalhe e de levantamentos aerogeofísicos (aeromagnetometria e aerogamaespectrometria). Para obter o conhecimento científico necessário às ações que poderão permitir avaliar o potencial hidrogeológico dessas Bacias, este trabalho amplia os estudos geofísicos na região, com a utilização conjunta dos métodos magnetotélurico (MT) e transiente eletromagnético (TEM) ao longo de perfis cobrindo transversal e longitudinalmente o conjunto de Bacias. O mapeamento da condutividade em sub-superfície produzido por estes métodos contribui para delimitação lateral e em profundidade de aquíferos da região. Os dados MT/TEM permitem obter a geoeletostratigrafia dos sedimentos das Bacia, a partir de modelos 2D da condutividade elétrica em sub-superfície.

### Contexto Geológico e Recursos Hídricos

O complexo sedimentar das Bacias do Iguatu compreende um conjunto de quatro bacias localizadas na região sudeste do Estado do Ceará, entre os paralelos 6° 06'36" S e 6° 28'06" S e os meridianos 39°27'06" W e 38°

39'18" W (Fig. 1). O conjunto de bacias constitui uma área de cerca de 1318 Km<sup>2</sup>. São denominadas Iguatu, Malhada Vermelha, Lima Campos e Icó, todas com eixo principal na direção NE-SW. A bacia do Iguatu, a maior delas e onde os primeiros estudos magnetotéluricos foram conduzidos, possui um formato aproximadamente elíptico, apresentando cerca de 57 Km de comprimento no eixo maior e 23 Km de eixo menor. Sua área, de 921 km<sup>2</sup>, corresponde a cerca de 70% da área total do complexo sedimentar. Parte desta bacia é coberta pelas águas do açude Orós.

As bacias do Iguatu representam parte das coberturas sedimentares mesozóicas inseridas na Região de Dobramentos Nordeste ou Província Borborema, tal como as bacias do Araripe e Rio do Peixe, além de outras menores (Pontes Filho, 1996). A Província Borborema tem cerca de 400.000km<sup>2</sup> cobrindo a região nordeste oriental do Brasil, desde o norte da Bahia até o noroeste do Ceará. É limitada regionalmente pelos crátons de São Francisco, ao sul e de São Luis, à noroeste. Estruturalmente, a Província Borborema caracteriza-se por um complexo conjunto de lineamentos de direções variadas, que a cortam dividindo-a em zonas de geofaturas de direção predominantemente NE-SW.

Não existe consenso a respeito da estratigrafia das bacias do Iguatu. Mabesoone e Campanha (1974) optaram pela denominação Grupo Iguatu, subdivido em três formações: Quixoá (inferior), Malhada Vermelha (intermediária) e Lima Campos (superior). Esses autores sugeriram uma idade entre o Jurássico Superior e o Cretáceo inferior para o Grupo Iguatu. Outros autores (Campos et al., 1979; Gomes et al., 1981) agruparam as várias bacias interiores como sendo pertencentes ao Grupo Rio Peixe, interpretando-as como representantes de uma área de sedimentação contínua em tempos passados com extraordinária identidade estratigráfica e paleogeográfica, além de características lito-faciológicas e evolução tectônica semelhante. O trabalho mais recente (Srivastava, 1990) subdivide a bacia do Iguatu em três unidades estratigráficas informais (I, II e III), sendo a unidade I (basal) constituída de arenitos médios a muitos grossos, com níveis conglomeráticos a conglomerados, apresentando espessura estimada da ordem de 200 m. A unidade II é a de maior predominância na bacia, possuindo espessura inferida da ordem de 1000m. Sua constituição inclui arenitos finos, intercalados por siltitos e folhelhos, arenitos grossos a conglomeráticos associados e interdigitados, com pequena presença de siltitos e folhelhos; arenitos bimodais e finos; folhelhos e calcários, intercalados. A unidade III apresenta espessura mínima de 150 m, sendo constituída por arenitos grossos e níveis siltico-argilosos. Sobrepondo a estas unidades da Bacia do Iguatu ocorrem sedimentos terciários e quaternários da Formação Moura.

## Metodologia

O método MT é uma técnica eletromagnética no domínio da frequência que, a partir das medidas das variações dos campos magnéticos e elétricos naturais, obtém estimativas da distribuição da condutividade elétrica no interior da terra.

O método magnetotelúrico (MT), uma técnica eletromagnética no domínio da frequência, baseia-se na medida de campos eletromagnéticos naturais para investigar a estrutura da condutividade elétrica da terra. A amplitude, fase e relações direcionais entre os campos elétrico e magnético medidos na superfície dependem da distribuição da condutividade elétrica em sub-superfície. Através da modelagem inversa a duas e três dimensões, é possível delimitar regiões em profundidades que vão de algumas dezenas de metros ao manto superior, função dos períodos característicos das sondagens MT.

## Resultados preliminares

A primeira campanha de campo na Bacia do Iguatu foi concluída recentemente e resultou na aquisição de 30 sondagens MT na faixa de frequência 200 Hz - 0,01 Hz, cortando longitudinalmente a Bacia (Fig.1).

O modelo geoeletrico foi estimado a partir da inversão 2D empregando o método de inversão que se baseia na minimização da norma Euclídea da primeira derivada do vetor de parâmetros (método de regularização de primeira ordem de Tikhonov). Este método impõe variações suaves para a distribuição da resistividade (Rodi e Mackie, 2001). Como os sistemas não lineares envolvidos neste problema são de grande porte, eles foram resolvidos através da técnica do gradiente conjugado. O resultado aqui apresentado foi obtido a partir da inversão conjunta dos modos TE e TM.

O modelo geoeletrico preliminar obtido para a Bacia do Iguatu é mostrado na Fig. 2. Este modelo é considerado preliminar por duas razões principais. As curvas de resistividade elétrica e fase observadas foram obtidas a partir do uso da técnica de mínimos quadrados convencionais, mais sujeitas a distorções causadas por ruído que as técnicas robustas, que serão posteriormente empregadas. Da mesma forma, técnicas de decomposição espectral do tensor de impedância (Groom and Bailey, 1989), que atenuam distorções superficiais e permitem estimar o *strike* geoeletrico regional não foram ainda utilizadas nos dados MT.

O modelo geoeletrico 2-D do perfil cortando longitudinalmente a Bacia do Iguatu é mostrado na Fig. 2. Este modelo apresenta pequenos erros de ajustamento, evidenciado pela boa concordância entre as curvas de resistividade e fase medidas e calculadas nos modos TE e TM (Figs. 3 a-b). Observa-se neste modelo 2-D que a resistividade elétrica no interior da bacia é muito baixa (inferior a 4 ohm.m - representada pela cor vermelha), provavelmente por conta da predominância e espessura das unidades II e III proposta por Srivastava (1990), que contém folhelhos e siltitos - geralmente condutivos, por serem ricos em material orgânico e fluidos salinizados percolando os sedimentos. O arcabouço estrutural da bacia encontra-se bem delineado e a espessura do pacote sedimentar encontra-se definida especialmente na

porção centro-sudoeste da Bacia, a despeito da blindagem dos campos eletromagnéticos exercida pela baixa resistividade da estrutura sedimentar. Essa mesma blindagem não permitiu a espessura máxima nessa região alcançar valores da ordem de 1800- 2000 m, valores ligeiramente superiores aos resultados obtidos por Bedregal (1991), que propõe espessuras da ordem de 1700 m, estimada a partir de modelagem gravimétrica 2D. Os limites extremos da Bacia, conforme mostrados no mapa geológico da Fig.1, são bem definidos no modelo geoeletrico. Observa-se ainda a intercalação de uma camada relativamente menos resistiva ao longo do perfil, em profundidades entre 400 m a 600 m. O potencial hidrogeológico dessas estruturas ainda é desconhecido, tendo em vista que todos os poços tubulares atualmente existentes na Bacia têm profundidade inferior a 150 m (Fig. 4).

## Conclusões

Os resultados preliminares permitiram obter uma estimativa para a profundidade da bacia do Iguatu, entre 1800m e 2000m, em razoável concordância com outros estudos geofísicos. Novas medidas MT, incluindo-se medidas de período longo para ultrapassar os sedimentos altamente condutivos observados, deverão ser conduzidas este ano para cobrir todas as Bacias do Iguatu. Dados geofísicos (MT, aeromagnéticos, aerogamaespectrométricos), geoquímicos e localização das zonas de recarga integrados deverão permitir uma avaliação adequada do potencial hidrogeológico desta região semiárida do Brasil.

## Agradecimentos

Este trabalho é financiado com recursos do Edital Universal (CNPq). O autor A.J.A.M é bolsista de doutorado da CAPES. Os autores J.M.F. e S.L.F. agradecem o apoio financeiro recebido do CNPq via bolsas de Pesquisa. Os autores agradecem Manoel M. Maciel pela geração dos mapas geológico e de distribuição de poços.

## Referências

- Bedregal, R.P., 1991. Estudo gravimétrico e estrutural da bacia do Iguatu, CE. Dissertação de mestrado da UFOP, 220p.
- Campos, M.de, Braga, A.P.G., Souza, E.M. de, Silva, F.A.F. da, França, J.B. de, 1979. Projeto Rio Jaguaribe. Relatório final de Geologia. Brasília. DNPM p149. Serv. Geol. No. 4. Seção geolo. Bas. n 1.
- Gomes, J. R.C., Gatto, C.M.P.P., Souza, G.M., Luz, D.S. da, Pires, J. De L., Teixeira, W., 1981. Geologia: mapeamento regional "in: Projeto Radambrasil - Levantamento de Recursos Minerais. Rio de Janeiro, MME/Secretaria Geral, v. 23, cap 1, p9-300.
- Groom R.W & Bailey R.C., 1989. Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in the presence of local three-dimensional galvanic distortion. J. Geophys. Res., 94, 1913-1925.

Mabesoone, J.M. e Campanha, V. A. ,1974. Caracterização dos grupos Rio do Peixe e Iguatu. Estudos Sedimentológicos, Natal, 3/4: 22-41.

Malhada Vermelha (Ceará). In: Atas do Simpósio Sobre a Bacia do Araripe e Bacias interiores do Nordeste, 1, Crato, SBG/NE, 209-222.

Rodi, W. e Mackie, R.L., 2001. Non linear conjugate gradients algorithms for 2-D magnetotelluric inversion. Geophysics, 66, 174-187.

Srivastava, N.L., 1990, Aspectos geológicos e sedimentológicos das bacias do Iguatu, Lima Campos e

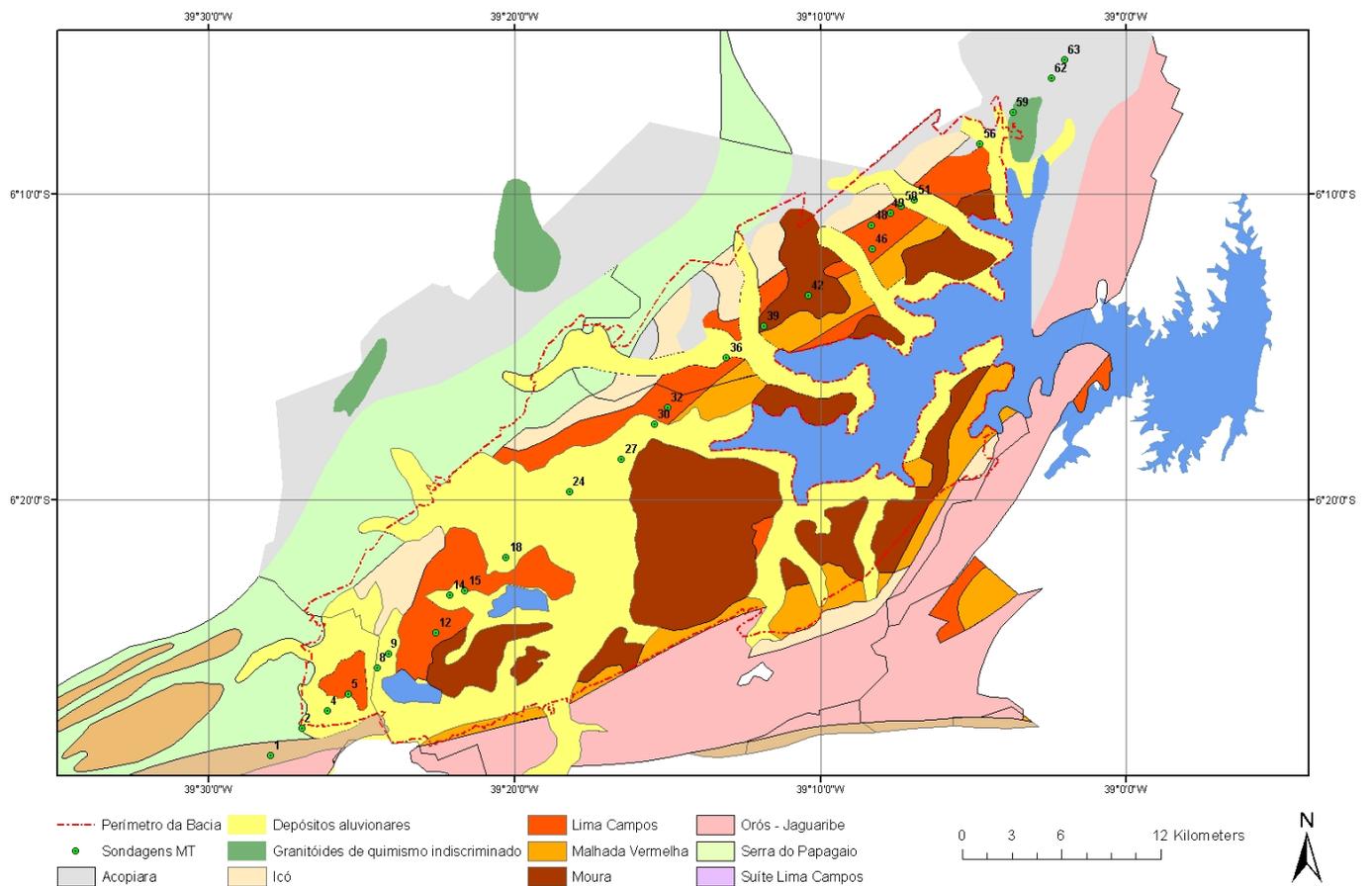


Figura 1. Mapa geológico da Bacia do Iguatu (CPRM). Os círculos verdes indicam a localização das sondagens MT.

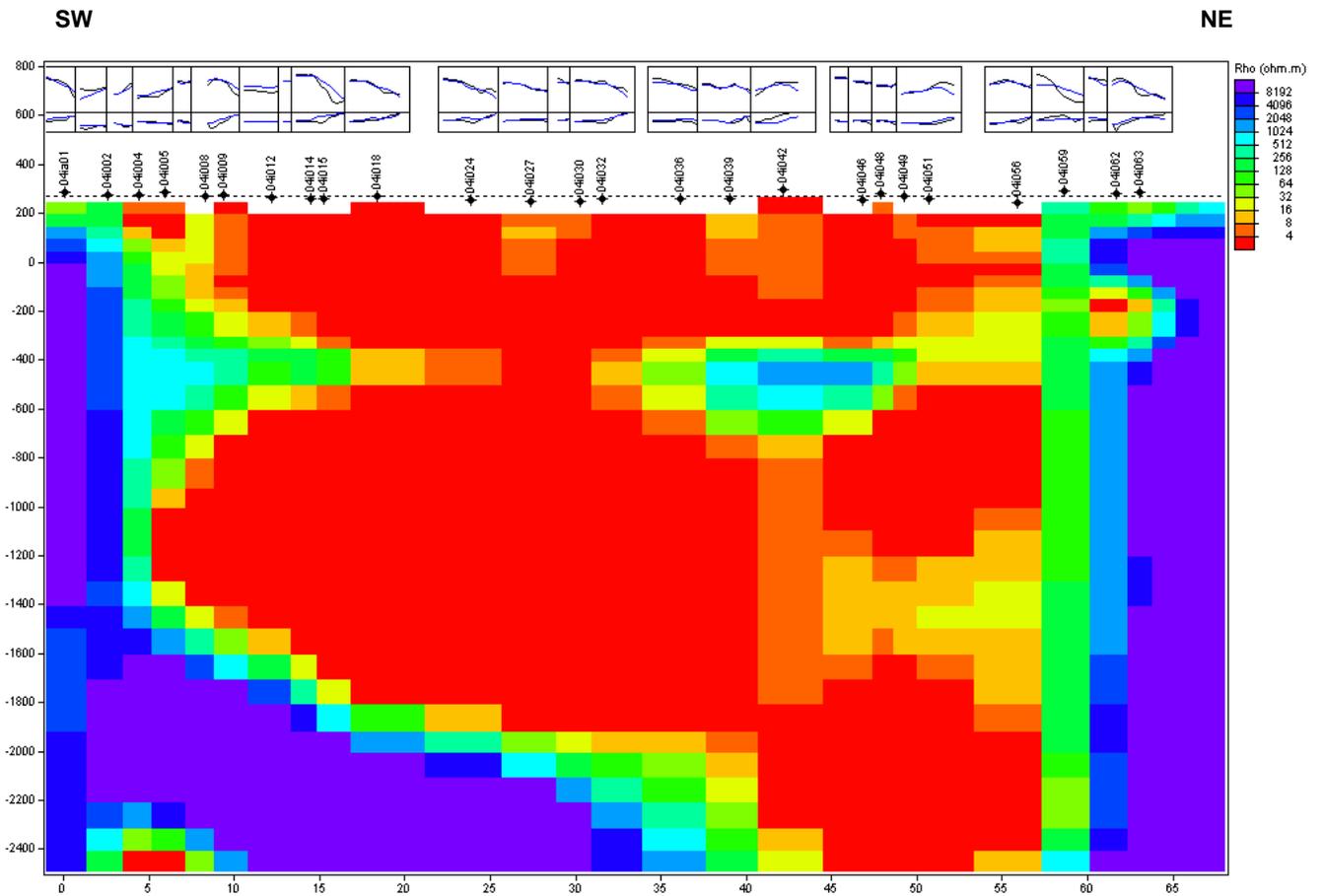


Figura 2. Modelo geoeétrico 2D do perfil na Bacia do Iguatu.

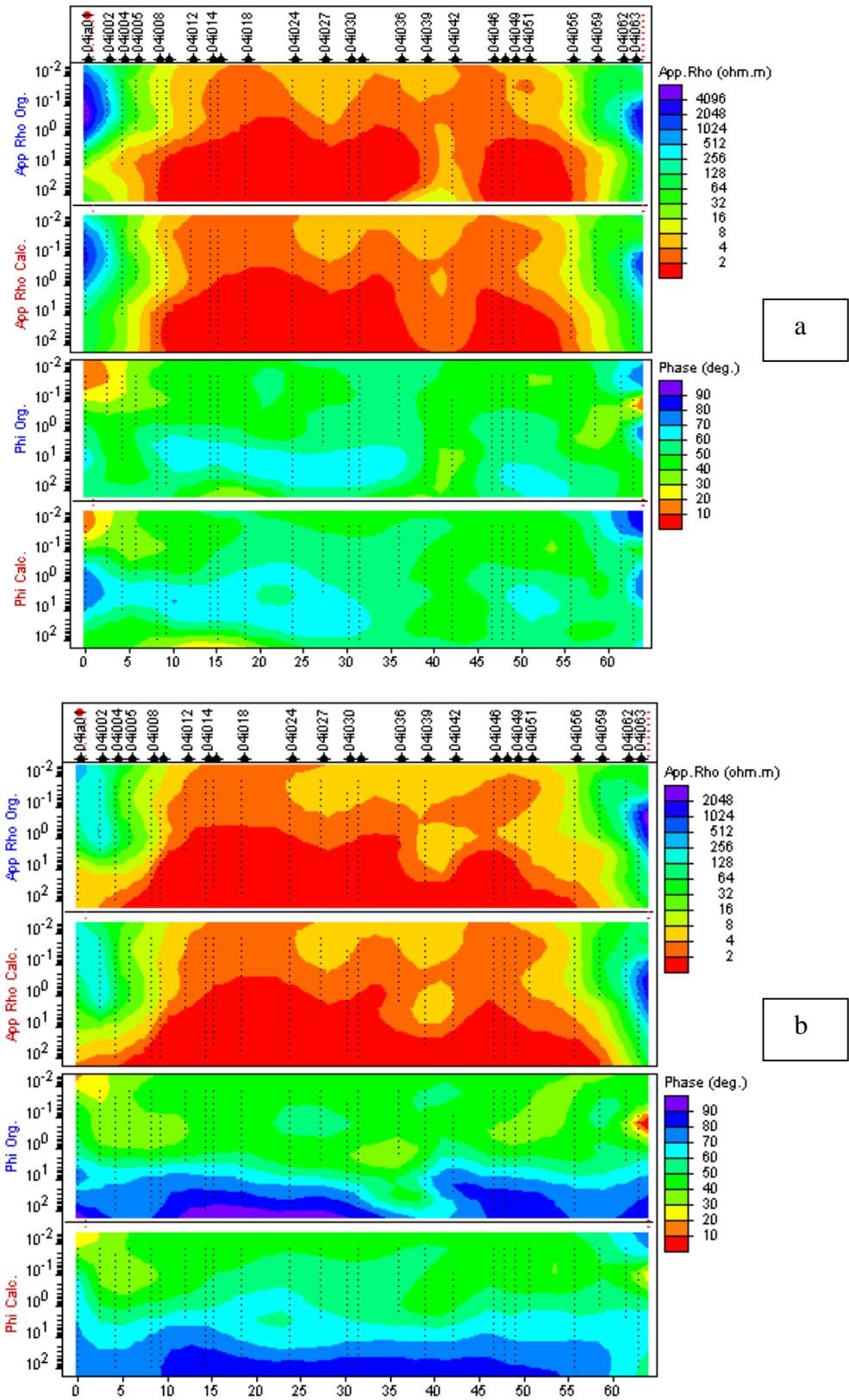


Figura 3. Seções de resistividade e fase observadas e calculadas do modelo da Figura 2. (a) modo TE, (b) modo TM

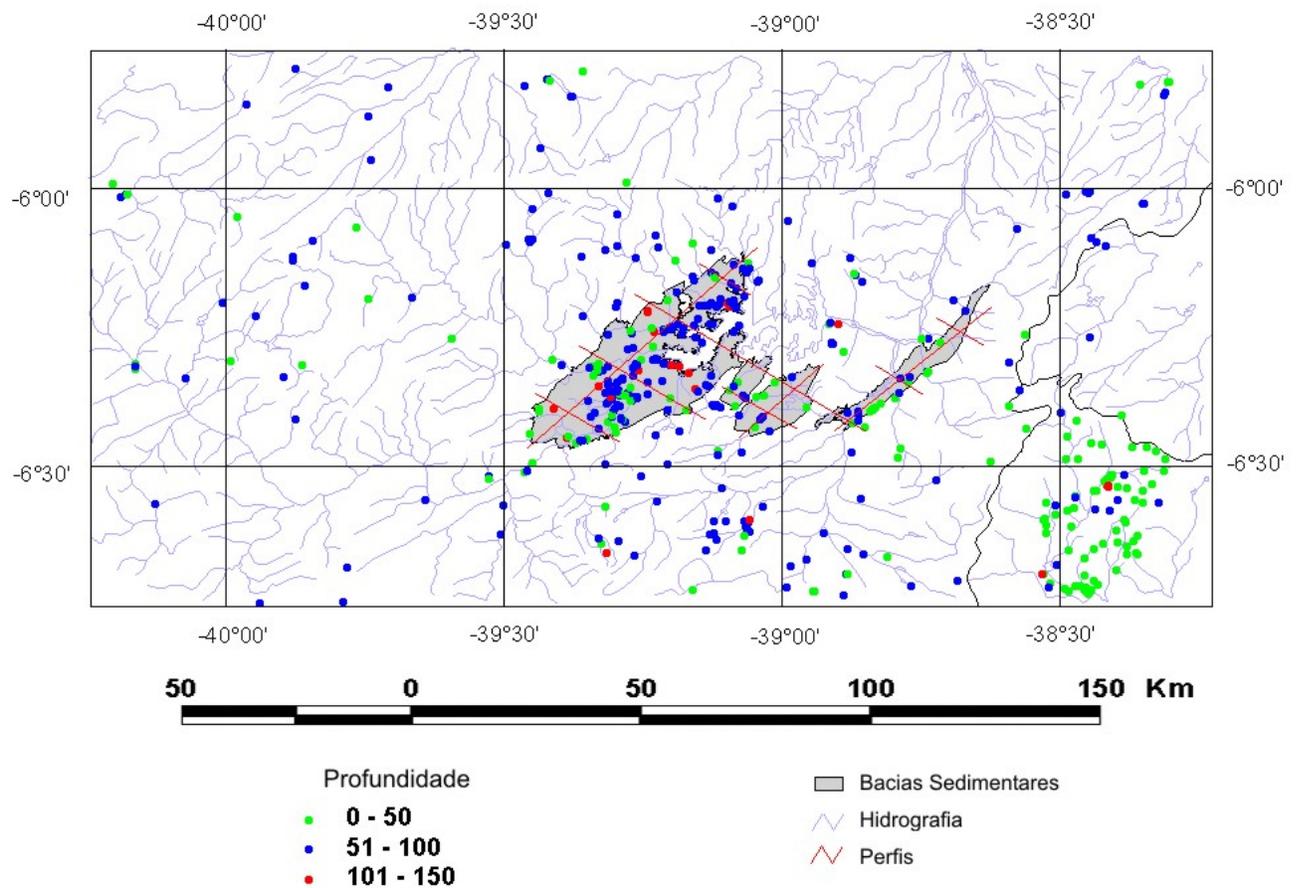


Figura 4 Distribuição de poços nas bacias do Iguatu e arredores, com suas profundidades (CPRM, 1998). As linhas em vermelho mostra o perfil MT já medido e os propostos no projeto.