



## Respostas geofísicas da Fonte Ouro Fino – Campo Largo

Marcio J. Silva<sup>1</sup>, Augustinho Rigoti<sup>2</sup>, Fernando S. Corrêa<sup>3</sup>. <sup>1</sup>mestrando UFPR, Brasil, <sup>2</sup>Depto. Geologia, UFPR, Brasil, <sup>3</sup>Lebac – IGCE-Unesp, Brasil.

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of The 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does 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.

### Abstract

The area of Ouro Fino Spring was studied with multiple geophysical methods, to characterize the geophysical signature of the aquifer, which is supposed to be karst-fractured, explored by Empresa de Águas Ouro Fino, located in Bateias, Campo Largo (PR). The geophysical data, together with the available geological information, supply subsoil information that propitiates a better understanding of the aquifer and help enlarging the possible reserve, without compromising the current springs. Resistivity variations are correlated with different rock types, with well defined contacts between phyllite, quartzite and meta-calcareous rocks, which present karst features in general. Magnetism was important in the mapping of diabase dikes, that compartmentalize the karst aquifer. The gamma-ray spectrometry also contributed, differentiating the phyllites of the other rock types, with a counting gamma a little higher on the fine metasediments. Geophysics guided the location of a well which produced in excess of 80 m<sup>3</sup>/h of water, without disturbing the spring system.

### Introdução

A água mineral natural Ouro Fino é conhecida e explorada desde o final do século 19. Na década de 40, Maack e Fonseca (*apud* Pereira e Oliveira, 2000) fizeram os primeiros levantamentos topográficos e geológicos. Comprovaram a existência de uma jazida de grande potencial e qualidade, o que resultou nos primeiros projetos de engarrafamento mecanizado e ampliação da produção de água mineral, que consolidou a região como principal fonte de águas minerais no Estado do Paraná.

Com a crescente demanda de mercado, a empresa decidiu ampliar suas reservas. Com base nas informações geológicas e hidrogeológicas disponíveis, foram executados ensaios geofísicos de resistividade elétrica, magnetometria e espectrometria de raios gama (Rigoti, 1999). Os dados geofísicos foram agora reanalisados, com auxílio de novas ferramentas de modelagem numérica hoje disponíveis. Através da eletrorresistividade, procurou-se identificar as condições do aquífero cárstico-fraturado em subsuperfície, caracterizando as principais feições geológicas locais. Os ensaios de resistividade foram realizados com caminhamentos elétricos, com arranjo dipolo-dipolo e posterior inversão 2-D dos dados de resistividade. Estes

mostram um panorama interessante na caracterização do aquífero.

A magnetometria em conjunto com os métodos elétricos permitiu o mapeamento de diques de diabásio. Este mapeamento dos diques nas áreas cársticas configurou-se essencial, pois eles contribuem para o processo de alteração dos calcários, facilitam a dissolução e percolação por água no contato com as rochas carbonáticas e constituem barreiras que compartimentam os carbonatos em células estruturais com comportamentos hidrogeológicos distintos. A gamaespectrometria auxiliou no mapeamento geológico, complementando os primeiros dois métodos.

Os resultados positivos da geofísica permitiram definir os locais para perfuração de poços tubulares profundos com posterior perfuração em um dos alvos selecionados, o qual mostrou um grande potencial de produção com uma vazão superior a 80 m<sup>3</sup>/h sem comprometimento das outras fontes existentes, confirmando a eficiência da pesquisa geofísica proposta.

### Geologia da região

O perímetro de Ouro Fino situa-se sobre rochas metamórficas de idade Proterozóico Superior, inclusas na Formação Capiru do Grupo Açungui. São rochas de baixo grau metamórfico constituídas predominantemente por metassiltitos, quartzitos e sericita-filitos. Intercalados aos metassiltitos e quartzitos afloram mármores dolomíticos. De acordo com Salgado (1999, *apud* Pereira, 2000) nos metadolomitos são observadas inúmeras evidências de dissolução cárstica. Cortando as rochas metamórficas, com direção noroeste ocorrem diques de diabásio e microdiorito. A Figura 01 mostra o mapa geológico da região proposto por Salamuni (1994), que constituiu o mapa base para a campanha geofísica prospectiva. Este conjunto litológico encontra-se intensamente afetado por uma zona de cisalhamento, denominada Zona de Cisalhamento da Lancinha (Fiori, 1994), e bastante alterado, com desenvolvimento de um intenso manto de intemperismo. O aquífero presente é denominado tipo cárstico fraturado. É caracterizado pela infiltração, circulação e armazenamento transitório da água subterrânea em fraturamentos e falhamentos, com mineralização proveniente de elementos alcalino-terrosos resultantes principalmente da dissolução das rochas dolomíticas (Salamuni, 1994).

### Perfis magnéticos e de raios gama

A Figura 02 mostra os perfis magnéticos levantados na área e sua interpretação em termos de domínios litológicos e diques de diabásio. A magnetometria se aplicou muito bem na área, salientando as respostas dos diques básicos em meio aos metassedimentos e

metadolomitos de menor susceptibilidade magnética. Evidenciou falhamentos que colocam em contato rochas de susceptibilidades contrastantes. A escolha da espectrometria de raios gama teve por finalidade mapear os metassedimentos de granulação mais fina ao longo das linhas onde foram realizados os perfis magnetométricos e os caminhamentos elétricos. Os dados radiométricos embora tenham sido tratados na forma usual de mapas de contorno da contagem total e dos elementos equivalentes de potássio, urânio e tório, não são aqui apresentados.

### Aquisição e inversão dos dados de resistividade

A malha implantada no campo teve três linhas longitudinais (L1N, L2N e L3N) e cinco linhas transversais (1E a 5E). As duas direções objetivaram cobrir as possibilidades de cruzar convenientemente os diques de diabásio, falhamentos e contatos litológicos. A distância entre linhas foi de 200m para as linhas longitudinais e 150m para as linhas transversais, com espaçamento entre estacas de 25m (Fig. 01). Nestas linhas realizaram-se caminhamentos elétricos, com arranjo eletródico dipolo-dipolo com oito níveis de investigação, com posterior confecção de seções de resistividade aparente e mapas de contorno de resistividade.

Numa segunda etapa de análise, os dados de resistividade aparente foram submetidos a processo de inversão 2D (Loke, 1999) para determinar as seções "reais" de resistividade. Na verdade, as seções assim obtidas não são reais, mas aproximam-se bastante das distribuições reais de resistividade.

### Resultados

Os dados magnetométricos e de eletrorresistividade revelaram respostas que condizem com a expectativa. Nos locais em que era conhecida a ocorrência de diques básicos, a magnetometria apresentou a anomalia esperada e em locais como o das fontes, onde deveriam ser observados baixos de resistividade elétrica, isto foi verificado. A espectrometria de raios gama, apesar de pouco contribuir, também teve suas respostas dentro do esperado, diferenciando os filitos das demais litologias da área. As anomalias magnéticas (Fig. 02) foram explicadas por corpos tabulares em forma de diques, porque estes são os únicos corpos básicos, mais magnéticos, mapeados na área. O dique principal é indicado em traço verde duplo na Figura 02. A anomalia magnética ali observada é como esperada para uma polaridade normal do campo geomagnético indutor: um dipolo com baixo para sul e alto para norte. Este comportamento foi observado tanto na linha 3N como na transversal 4E. Nas porções oeste e noroeste da área notou-se um padrão magnético muito perturbado, em que são necessários vários diques para explicar as anomalias observadas. A porção sudeste da área, incluindo a linha 1N em quase toda extensão, e as partes sul das linhas transversais 1E a 4E, apresentaram um padrão magnético extremamente calmo, indicando ausência de rochas magnéticas. Os diques mapeados são importantes tanto no aspecto de confinamento, compartimentação dos aquíferos, como na própria

constituição de aquífero, uma vez que, as vizinhanças imediatas dos diques são zonas de fraqueza e de porosidade que podem constituir aquíferos.

### Resultados dos métodos geoeletricos

Com a interpretação dos dados de eletrorresistividade foram traçados os eixos condutores, os quais são as feições que melhor se correlacionam ao aquífero procurado. Contudo, eixos condutores neste ambiente geológico podem também ser provocados por pacotes litológicos mais condutores, intercalados em pacotes mais resistentes. Isto ocorre na área com os filitos intercalados em quartzitos e metadolomitos. Tanto os falhamentos maiores como a direção destas unidades litológicas são nordeste o que dificulta a distinção entre as duas respostas.

As fontes conhecidas e explotadas pela Ouro Fino, encontram-se entre as linhas transversais 3E e 4E. Estas linhas foram, quanto possível, centradas na zona de ocorrência das fontes, para determinar o padrão de resposta geoeletrica das mesmas e utilizá-lo para comparação e busca de outras respostas semelhantes. No centro destas linhas, linhas 3E e 4E, além de um forte gradiente de resistividade que indica o contato dos quartzitos e metadolomitos com os filitos, observam-se fortes condutores como se espera de corpos tabulares como uma faixa de falha. A passagem brusca de um meio resistente (milhares de ohms.m) para um condutor ( $\rho < 100\Omega m$ ) é bem evidente nas seções, como pode ser visto na Figura 03. O padrão de resposta observado na zona das fontes descrito acima pode ser estendido para as linhas 5E e 2E, ao longo do eixo condutor principal.

Além do eixo condutor principal com direção nordeste semelhante à que tem sido apontada para as camadas de metassedimentos na área, ocorrem outros eixos condutores menores, com direção noroeste. Estes foram interpretados a partir das seções de resistividade aparente das linhas longitudinais. As fontes, entre as linhas 3E e 4E, estão próximas de um destes eixos e também do eixo condutor principal.

A inversão dos dados de resistividade aparente destas linhas confirmou as respostas de contatos litológicos entre os quartzitos e filitos e metadolomitos, além de evidenciar um padrão geométrico para o lineamento proposto. Como pode ser visto na Figura 03, os modelos propostos de resistividade com as pseudo-seções realizadas tiveram boa correlação. E mostram que a zona condutiva apontada pelo lineamento principal encontra-se em uma faixa de 20 a 40 metros de profundidade. A geometria apontada pela inversão 2D em conjunto com os dados do poço tubular profundo para captação indicam a presença de condutos subterrâneos cársticos, que se aprofundam nos locais de cruzamentos de lineamentos (Fig. 04).

As ocorrências das fontes puderam ser explicadas pelo cruzamento destes lineamentos. Considerando ainda como favorável a proximidade de diques de diabásio, e naturalmente, a qualidade das anomalias de resistividade, foram selecionados três pontos como mais favoráveis à ocorrência de aquífero e sugeridos para poços de captação de água apresentados na Figura 01.

**Conclusões**

Estudos geofísicos pioneiros foram executados na região das fontes Ouro Fino. A magnetometria e o caminhamento elétrico revelaram respostas que enriqueceram o conhecimento geológico da área e contribuíram para a locação de poços de captação de água, com sucesso de produção no poço perfurado. O levantamento magnetométrico permitiu mapear uma série de possíveis diques de diabásio. Eles são importantes tanto no tocante ao confinamento e compartimentação de aquíferos, como na própria constituição de aquífero, uma vez que suas vizinhanças imediatas devem constituir zonas de fraqueza e de maior porosidade.

Através do caminhamento elétrico foram mapeados eixos condutores possivelmente associados a falhamentos que podem constituir aquíferos. A proximidade das fontes Ouro Fino a alguns destes eixos sugere que elas sejam alimentadas pela água que circula nos falhamentos que por sua vez respondem como condutores. A semelhança com o padrão de resposta geoeletrica das fontes em conjunto com os dados magnetométricos levaram à seleção de três pontos como mais favoráveis para poços de captação de água. No alvo proposto como o mais favorável foi perfurado um poço tubular profundo, que gerou uma vazão em torno de 120m<sup>3</sup>/h e, por decisão da diretoria industrial, a exploração é de 80m/h, por 14 horas/dia. Os outros pontos selecionados continuam com possibilidades de novos poços de perfuração com igual sucesso de captação.

**Referências bibliográficas**

Fiori, A. P. 1994. *Evolução geológica da Bacia Açungui*. Bol. Par. Geoc., **42**: 7-27.  
 Loke, M. H. 1999. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies, a practical guide to 2-D and 3-D surveys. [www.agiusa.com](http://www.agiusa.com).  
 Pereira, R. C. R. 2000. *Relatório de reavaliação de reservas – Estudo de proteção da fonte – Fonte Dona Dedé*. Campo Largo, TERRA Engenharia em Mineração, 50 p.  
 Pereira, R. C. R.; Oliveira, P. C. C. 2000. *Estudo de área de proteção – Fonte Ouro Fino*. Campo Largo, TERRA Engenharia em Mineração, 28 p.  
 Rigoti, A. 1999. *Estudo geofísico na região da Fonte Ouro Fino*. Curitiba, Relatório Interno FUNPAR/UFPR, 18 p.  
 Salamuni, R. 1994. *Geologia, geomorfologia, origem e outras características da Fonte Ouro Fino - Campo Largo - PR*. Curitiba, Hidrotec, relatório final. 17 p.

**Agradecimentos**

O estudo foi financiado pela Empresa de Águas Ouro

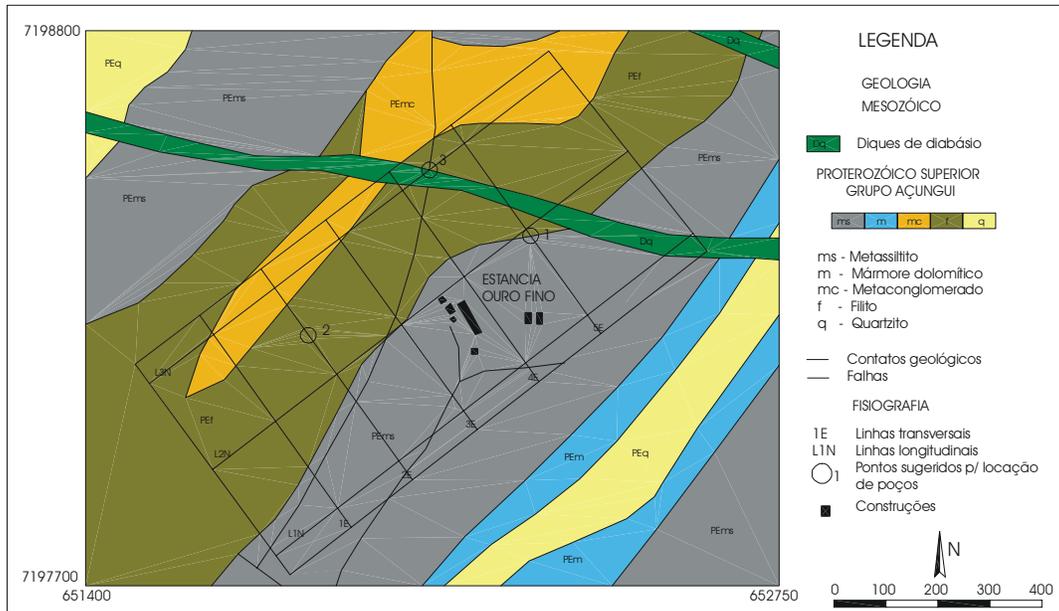


Figura 01 – Mapa de localização dos ensaios de prospecção geofísica na região de Ouro Fino adaptado a partir do mapa geológico proposto por Salamuni (1994).

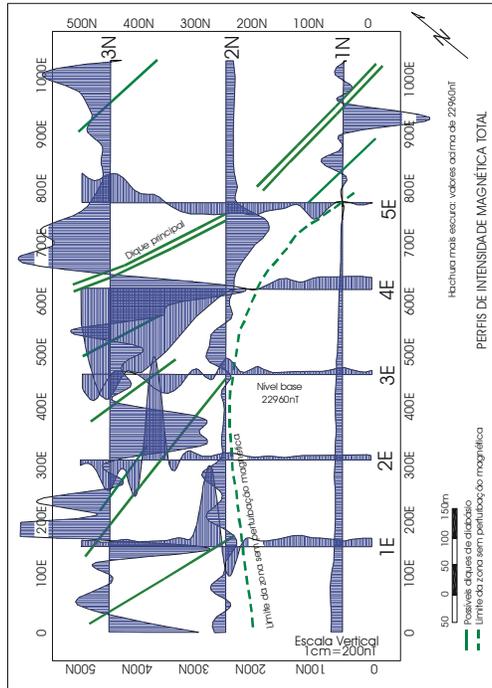


Figura 02 – Perfis de intensidade magnética total levantados ao longo das linhas longitudinais e transversais, com a indicação em verde dos diques de diabásio e da zona sem perturbação magnética (linha tracejada em verde).

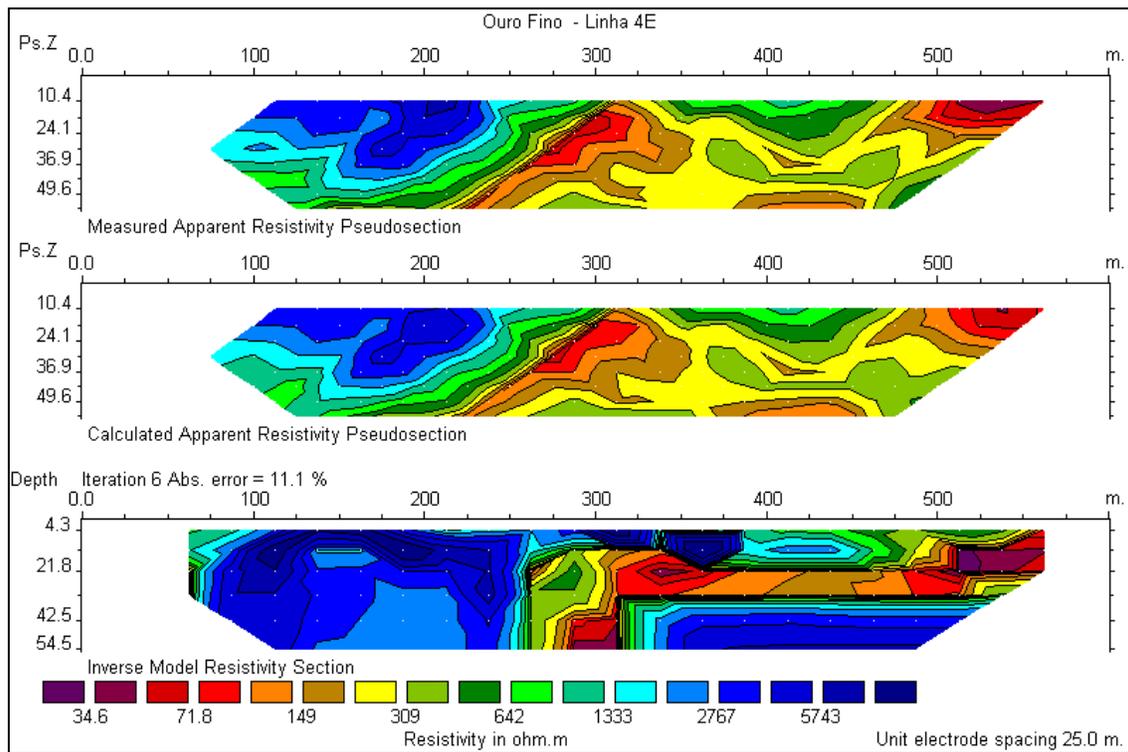


Figura 03 – Seção de resistividade da linha 4E calculada através do programa de inversão 2D partir da pseudoseção realizada.

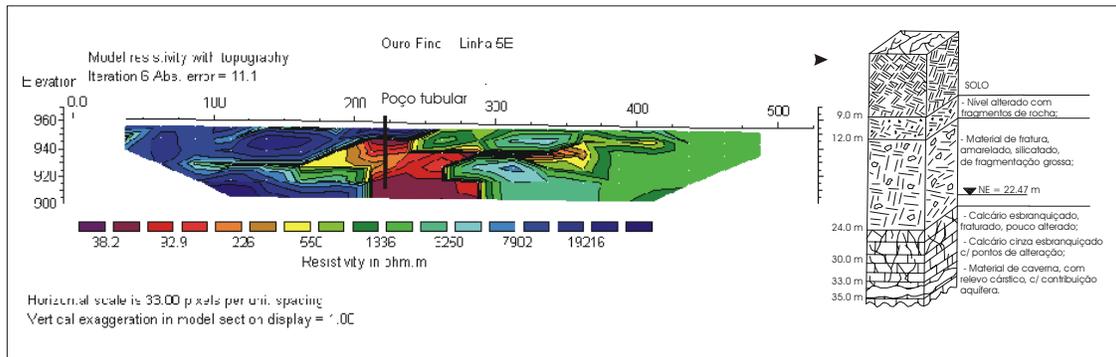


Figura 04 – Seção de resistividade ao longo da linha transversal 5E, na qual foi indicado um dos alvos para a implantação do poço tubular. O perfil ao lado refere-se ao poço de captação perfurado, correlacionando muito bem com a seção de resistividade.