

## INTEGRAÇÃO DE PERFILAGENS ÓTICA, ACÚSTICA E ELÉTRICA PARA FINS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE AQUIFÉROS

Carlos Alberto Birelli<sup>1</sup>; Márcio Anselmo Duarte Ferrari<sup>2</sup>; Carlos Alberto Ciantelli<sup>3</sup>; Carlos Eduardo Motta<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT; <sup>2</sup>CSD-Geoklock Geologia e Engenharia Ambiental Ltda;

<sup>3</sup>Acquajet Consultoria Comercio e Perfuração de Poços Tubulares Ltda

Copyright 2004, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no I Simpósio de Geofísica da Sociedade Brasileira de Geofísica, São Paulo, 26-28 de setembro de 2004. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Tecno-científica do I SR-SBGf mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

### Resumo

Este artigo apresenta os resultados das perfilações geofísicas (ótica, acústica e elétrica) realizadas em poço tubular localizado na região da grande São Paulo, cujo objetivo foi a caracterização das principais feições estruturais, principalmente a presença de fraturas, com entrada de água no maciço rochoso. A definição exata dessas feições subsidiou a programação da amostragem multinível em baixa vazão para a análise da qualidade da água subterrânea no poço.

### Introdução

A perfilação geofísica constitui-se no registro contínuo das variações de determinadas propriedades físicas ao longo de um furo de sondagem. Dentre as inúmeras aplicações dos perfis geofísicos de poços podemos destacar: correlação estratigráfica/estrutural entre poços; definição de aquíferos; indicação de litologias; indicação de zonas permeáveis e/ou fraturadas; cálculo da porosidade; e definição da coluna de revestimento (tubos e filtros) de poços para captação de água subterrânea. Na maioria das vezes as interpretações são efetuadas através da análise conjunta de diferentes tipos de perfis. As várias técnicas de perfilação utilizadas neste trabalho tiveram por objetivo definir a presença de fraturas com entrada de água para a amostragem multinível à baixa vazão. Desse modo, foram efetuadas as perfilações ótica, acústica (bhtv-borehole televiewer) e elétrica.

### Considerações sobre as técnicas de perfilação utilizadas

#### Perfilação elétrica

O requisito básico para a execução da perfilação elétrica é de que o fluido de perfuração (lama) seja eletricamente condutor, de modo a propiciar um bom contato elétrico entre a ferramenta (sonda) e as formações atravessadas pela sondagem. À semelhança dos métodos de superfície o que se determina é a resistividade aparente em função da geometria dos eletrodos. Os arranjos eletródicos utilizados nesse trabalho são descritos a seguir.

### Arranjos bieletródicos

São freqüentemente denominados de perfis normais e o arranjo de eletrodos é mostrado na figura 1.

Uma corrente de valor constante flui entre os eletrodos A e B. A diferença de potencial é medida entre os eletrodos M e N.

O perfil normal é bastante indicativo da resistividade da formação, uma vez que o uso de dois eletrodos permite medir a resistividade da formação nas proximidades da sonda.

A profundidade de investigação é diretamente proporcional ao espaçamento entre eletrodos.

Com a finalidade de se obter duas diferentes profundidades de investigação, foram padronizadas duas medidas: 16 polegadas (normal curta) e 64 polegadas (normal longa). Elas fornecem informações sobre os limites e espessuras das camadas, como também informações qualitativas relacionadas a porosidade e permeabilidade das formações.

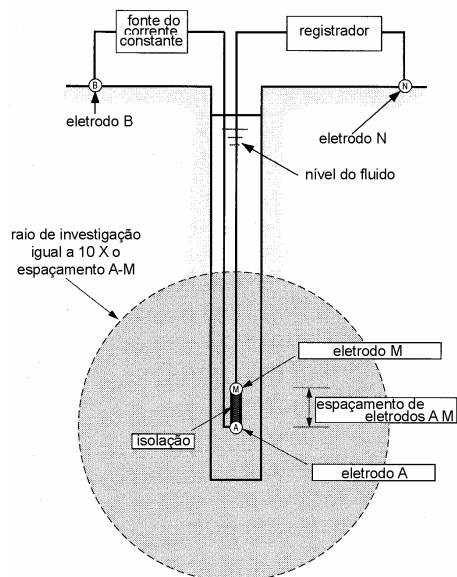


Figura 1 – arranjo bieletródico (Roscoe, 1990)

### Arranjo trieletródico

O arranjo trieletródico, conhecido como curva lateral ou *laterolog* é ilustrado na figura 2.

A sonda é constituída por dois eletrodos de potencial (M,N) e um eletrodo de corrente (A). O ponto de medida é atribuído ao centro (O) dos eletrodos M e N. O espaçamento nominal do arranjo (AO) é a distância do ponto médio O ao eletrodo de corrente A. O espaçamento padrão utilizado é de 6 pés.

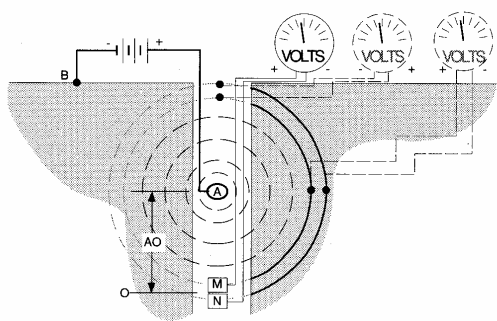


Figura 2 – arranjo trielétrico (Roscoe, 1990)

**Imageamento acústico**

O sistema trabalha com uma sonda (figura 3) que obtém uma imagem acústica digital das paredes do furo. O diâmetro mínimo do furo é de 67 mm, não pode estar revestido e deve estar com água.

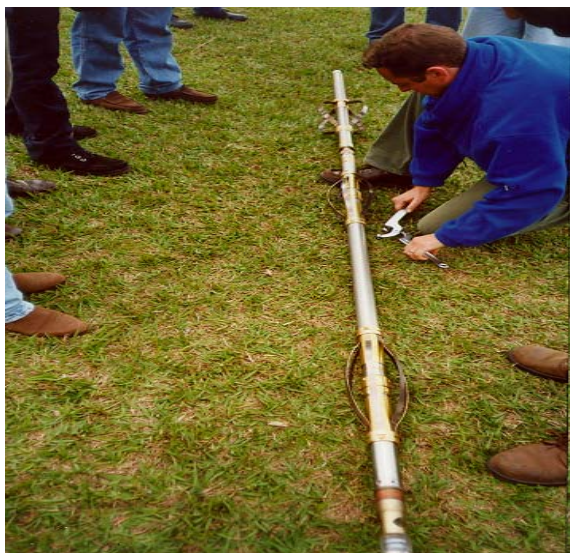


Figura 3 – sonda BHTV (bore hole televiewer)

Um transdutor gira continuamente ao redor do eixo da sonda, enviando e recebendo um pulso sônico. O pulso é emitido a partir da superfície do transdutor e viaja através do fluido do furo, atingindo a parede e retornando ao transdutor. Nesse processo, são registradas as amplitudes e o tempo de propagação do pulso (figura 4).

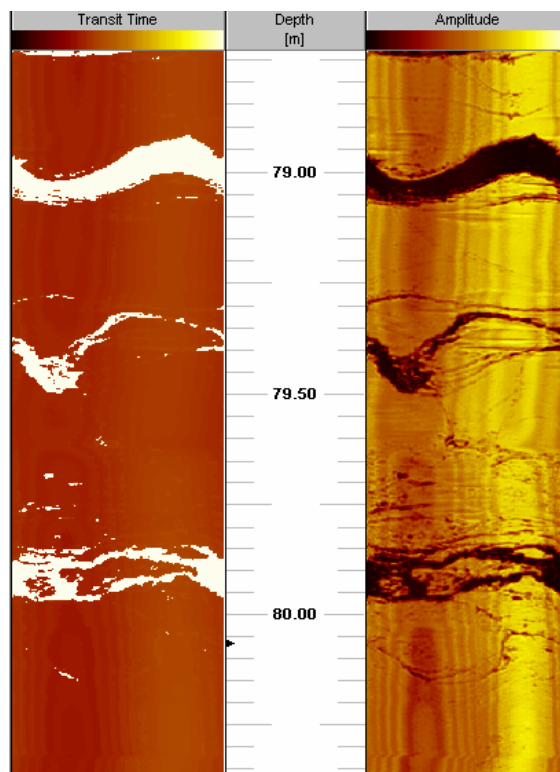


Figura 4 – exemplos de imagens obtidas (Robertson Geologging, 1999)

O transdutor se desloca ao longo do furo obedecendo uma trajetória em espiral, onde a velocidade de subida é definida pelo operador. Para cada rotação do transdutor são obtidas 128 medidas de amplitude e tempo de propagação do pulso. Um sistema de orientação constituído de um acelerômetro e de um magnetômetro triaxial garante a orientação da imagem.

O *imageamento* das paredes do furo ocorre ao longo dos 360º, permitindo a identificação de feições em relação ao eixo do furo e do *breakout*.

Os produtos obtidos com o sistema são as medidas de orientação de fraturas e mergulhos estratigráficos e estruturais representados na forma de estereograma, como também dados referente a aspectos construtivos, como desvio do poço.

**Perfilagem ótica**

A perfilagem ótica compreende filmagem multidirecional do poço, com auxílio de uma sonda filmadora de visada conjugada colorida (fundo e lateral), cujas imagens obtidas durante a filmagem são gravadas em CD-Room. Através dessas imagens observam-se as condições do tubo de revestimento do poço, e possíveis entradas de água acima do nível estático. Também é possível observar características do maciço rochoso, como trechos de maior fraturamento que permitiriam um maior fluxo de água para o interior do poço.

**Equipamentos utilizados**

Os ensaios foram executados com a utilização dos seguintes sistemas de perfilagem:

- a) perfilagem elétrica – sistema Wellmac, fabricado pela Mala Geoscience, pertencente ao Laboratório de Geofísica Aplicada do IPT;
- b) perfilagem acústica – sistema de perfilagem desenvolvido pela Robertson Geologging Ltd, com a utilização da sonda **BHTV**, pertencente ao Laboratório de Geofísica Aplicada do IPT, e
- c) perfilagem ótica – sistema de perfilagem pertencente à empresa Acquajet Ltda, desenvolvido pela própria empresa.

**Perfilagem dos Poços - Resultados**

A figura 5, mostra de maneira integrada os resultados obtidos com as ferramentas BHTV e Elétrica e uma síntese das principais feições obtidas é apresentada na tabela 1. Na Figura 6 apresenta-se o estereograma considerando todas as feições (tipo “fractures”) identificadas no poço PP 01.

Identifica-se neste estereograma uma família principal de juntas que apresenta plano médio igual a 52/19 NW. Além dessa, observa-se duas outras famílias subordinadas, cujos planos médios são 330/32 SW e 69/28 SE. A família principal reflete as fraturas abertas, como pode ser verificado na Figura 7 que apresenta o estereograma considerando apenas os planos de fraturas abertas identificadas através da integração da perfilagem ótica com o borehole televiewer e a perfilagem elétrica. Nesse estereograma (Figura 7) destaca-se uma família de plano médio 50/20 NW. Nota-se que outras juntas também mergulham para NW, porém com mergulhos maiores.

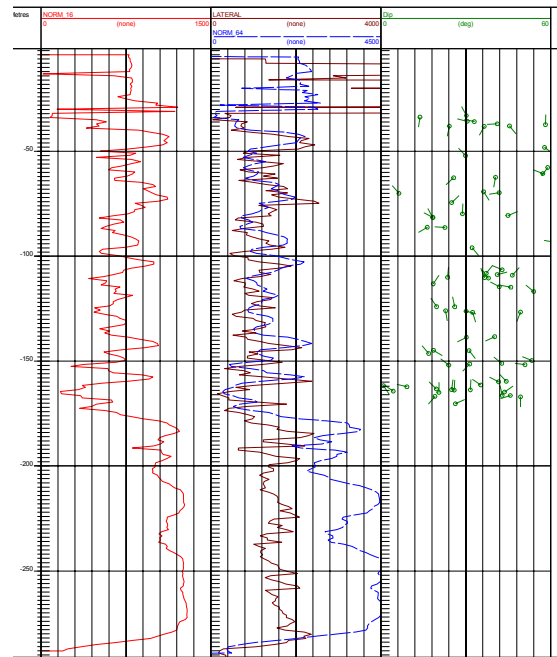


Figura 5 – Resultados do poço PP 01

Tabela 1 - Principais Fraturas Observadas nas Perfilagens Ótica e Acústica		
Fraturas Abertas		
Profundidade (m)	Direção	Mergulho
48,9	N67E	68NW
77,2	N70E	76NW
80,6	N12W	69SW
85,4	N30W	16SW
86,3	N04E	22NW
110,3	N69E	22NW
123,8	N56E	19NW
159,0	N47E	19NW
161,0	N34E	44NW
162,8	N44E	35NW

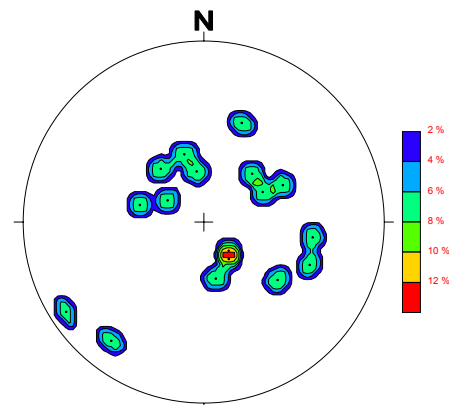


Figura 6 – projeção polar (hemisfério inferior) dos planos do tipo “fracture”

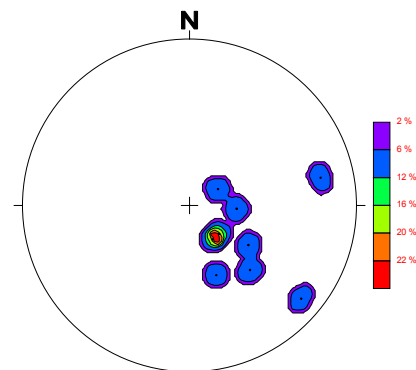


Figura 7 – Projeção polar (hemisfério inferior) dos planos de fraturas abertas



**Discussão e Conclusões**

As perfilagens acústica, ótica e geofísica são ferramentas importantes atualmente, para a avaliação de áreas contaminadas, principalmente tratando-se de contaminação da água subterrânea em aquíferos cristalinos e sedimentares. A partir dos resultados integrados da perfilagem ótica, acústica (*borehole televiewer*) e perfilagem geofísica (elétrica) em poços de produção, neste estudo de caso é possível observar as zonas mais permeáveis e/ou fraturadas. Além de indicar o grau de fraturamento, pôde-se determinar também a direção e sentido de mergulho das principais famílias de fraturas

Os resultados da perfilagem elétrica (perfil normal e *laterolog*) juntamente com os dados óticos, também permitiram identificar porções maciças da rocha granítica possuindo baixo grau de fraturamento. Essas características são observadas pela maior resistividade, e ocorrem principalmente entre os intervalos de 50,0 e 80,0 m e entre 195,0 e 285,0 m. O perfil construtivo do poço de produção, incluindo resultados das perfilagens ótica, acústica e elétrica são apresentados na figura 8. A correlação dos diferentes perfis geofísicos com a perfilagem ótica permitiu a definição dos principais níveis com a presença de fraturas abertas. Pela perfilagem ótica no poço nota-se que o revestimento encontra-se parcialmente oxidado, causando problemas de turbidez e formação de ferro bactérias nas águas subterrâneas. Através dessa filmagem observou-se também que o tubo de revestimento foi cravado a uma profundidade de 29,38 m. Aos 30,50 m ocorre intenso fluxo de água sob pressão através de fraturas para o interior do poço, sendo o nível d'água estático encontrado a uma profundidade de 34,84 m.

**Referências**

Moss Jr,R & Moss, G.E., 1990. Handbook of Ground Water Development, p 55-65.

Robertson Geologging Ltd, 1999. Documentation Set. Operating and technical manual.

Figura 8 – perfil construtivo de poço e integração das perfilagens executadas.

