



# AQUISIÇÃO CONTÍNUA DE DADOS DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA EM AMBIENTE DE ÁGUA DOCE

Andresa Oliva e Chang Hung Kiang - Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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.

## Resumo

Nesse trabalho é descrita a técnica de aquisição contínua de dados de resistividade em ambiente aquático. Essa técnica, conhecida como CRP (*Continuous Resistivity Profiling*), amostra continuamente os valores de resistividade por meio de um cabo multieletrodo, utilizando arranjo dipolo-dipolo com 8 níveis de investigação, o que possibilita a aquisição de uma linha com mais de 30 km por dia. Esse sistema foi instalado a bordo de uma embarcação de porte médio e a aquisição foi realizada em um curto espaço de tempo. O posicionamento das aquisições foi obtido por meio de um GPS marítimo acoplado a um sonar. Os dados de posicionamento e da batimetria foram gravados automaticamente no resistivímetro. Em um pré-processamento, os dados de resistividade foram integrados às posições obtidas com o GPS. O passo final para a obtenção de imagens de alta resolução foi a inversão dos dados utilizando o 2D *smooth model*. A profundidade de investigação máxima obtida com o espaçamento de 10 m entre os dipolos foi de 24 m. Os ensaios foram executados na represa Salto Grande, localizada no município de Americana-SP.

## Introdução

A obtenção de dados de resistividade ou de condutividade elétrica de subsuperfície tem sido de grande importância aos geólogos e geofísicos que trabalham com investigações ambientais. Essa propriedade física é diretamente afetada não somente pelas condições físicas macroscópicas e microscópicas do substrato, mas também pela solução de água e sais nele distribuída. Dessa forma, a resistividade dependerá da quantidade de eletrólito presente (água + sais), da salinidade e da maneira como esses eletrólitos se distribuem nos poros.

Na maioria dos diagnósticos ambientais, o método da eletrorresistividade é utilizado para identificar a presença de contaminantes e, por conseguinte, delimitar a pluma de contaminação. Além disso, em muitos desses diagnósticos constatou-se que a contaminação migrou até atingir o lençol d'água subterrânea e, conseqüentemente, tornou-se uma fonte de contaminação para as áreas de descarga dessa água, tais como rios, lagos e estuários. Sendo assim, as medidas de resistividade podem ser valiosas na investigação de aquíferos, não somente em ambiente terrestre, mas também em ambiente aquático. Considerando tal aspecto, o principal objetivo desse estudo é apresentar uma ferramenta inovadora para investigações hidrogeológicas e ambientais em ambiente aquático.

Neste estudo foi utilizado o Método da Eletrorresistividade, por meio da Técnica CRP (*Continuous Resistivity Profiling*). O sistema para aquisição dos dados foi desenvolvido pela empresa AGI (*Advanced Geoscience Inc.*).

O levantamento geofísico foi executado na represa Salto Grande. Essa represa está inserida na bacia hidrográfica do rio Atibaia, entre os municípios de Americana, Nova Odessa e Paulínia, e localiza-se em um dos pontos de maior concentração populacional e desenvolvimento econômico do Estado de São Paulo, a Região Metropolitana de Campinas (RMC). O município que conta com a maior área de influência do reservatório é o de Americana, cortado pelos rios Jaguari, Atibaia, Piracicaba e Ribeirão Quilombo (Figura 1).

Na margem direita da represa predomina a cultura de cana de açúcar e, na margem esquerda, chácaras de lazer e bairros residenciais.

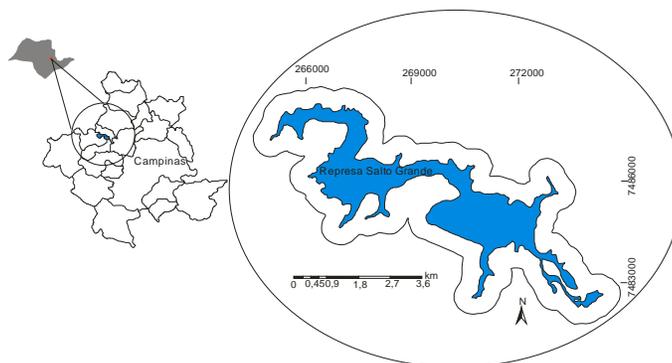


Figura 1 – Localização da área de estudo.

### Aquisição e Processamento dos Dados

O levantamento geofísico utilizou a técnica CRP do Método da Eletrorresistividade.

Na técnica CRP, os princípios básicos de emissão de corrente e de leitura de diferença de potencial são os mesmos das técnicas de aquisição em terra, apenas com algumas modificações. Nesta técnica, o cabo é “arrastado” sobre a água, por meio de um bote, para a aquisição dos dados (Figura 2).

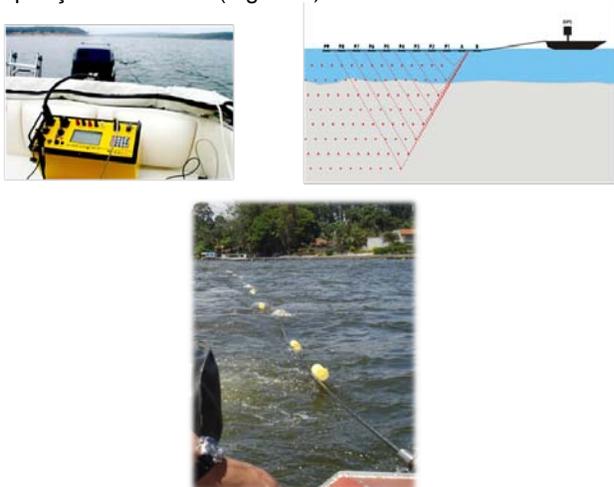


Figura 2 – Técnica de aquisição CRP.

Para a execução da técnica CRP foi utilizado o sistema e o equipamento (**SuperSting R8/IP**), desenvolvido pela AGI (USA). Esse sistema propicia a aquisição e o armazenamento de dados de resistividade, de coordenadas e de profundidade da lâmina d’água, de maneira contínua, utilizando um resistivímetro multi-canal, um GPS e um sonar, respectivamente (Figura 3).

O GPS e o sonar utilizados são da marca **Lowrance** e modelo HDS-5. A frequência do sensor adotado nesse levantamento foi de 200 kHz, adequada para ambiente de água doce.



Figura 3 – Resistivímetro (**Super Sting R8/IP**), GPS (**Lowrance**), antena do GPS e sensor de profundidade e temperatura.

O cabo multieletrodo acoplado ao aparelho possui 100 m de comprimento, contendo um par de eletrodos de grafite para a emissão de corrente e nove eletrodos de aço inoxidável, responsáveis pela leitura de potencial. Esse cabo foi configurado para a utilização do arranjo dipolo-dipolo, com 10 m de espaçamento entre os eletrodos.

Na técnica CRP costumeiramente é utilizado o arranjo dipolo-dipolo por necessitar apenas de quatro eletrodos, sendo que nenhum deles deverá ser posicionado a uma distância “infinita” (por exemplo, arranjo polo-dipolo), facilitando assim a sua implementação em um cabo aquático. Além disso, o arranjo dipolo-dipolo propicia a utilização de vários dipolos receptores (sistema multicanal), ou seja, dipolos a diferentes espaçamentos (n) executando medidas simultaneamente, o que permite a combinação entre as seções. Esse último aspecto faz com que o arranjo dipolo-dipolo tenha preferência nos ensaios que utilizam a Técnica CRP.

A cada três segundos é feita uma aquisição, de forma que é recomendável que o cabo seja “arrastado” pela embarcação em uma velocidade entre 2 e 3 km/h.

Após aquisição de campo, as medidas de resistência são reduzidas a valores de resistividade aparente. Praticamente todos os sistemas comerciais multieletrodo são acompanhados por um *software* para realizar a conversão e a inversão dos dados de resistividade aparente, gerando seções 2D ou blocos 3D que serão utilizados em interpretações geológicas.

O programa aqui utilizado para inversão dos dados foi o **EarthImager 2D**, produzido pela AGI (USA).

Em essência, todos os métodos de inversão tentam reproduzir, ao máximo, a realidade de subsuperfície de onde os dados foram adquiridos; neste estudo foi utilizado um método eficiente e bem conhecido de inversão, o *smoothness constrained* (GROOT-HEDLIN e CONTABLE, 1990).

### Discussão dos Resultados

Foram executadas duas linhas na represa Salto Grande. O levantamento 1 foi executado nas proximidades da margem direita da represa, onde predomina a cultura de cana de açúcar, e o 2 foi executado nas proximidades da margem esquerda, onde estão localizadas chácaras de lazer e bairros residenciais (Figura 4). As seções modeladas estão ilustradas na Figura 5.

A seção modelada no levantamento 1 mostra camadas relativamente planas, com os valores de resistividade variando de 20 ohm.m a 42 ohm.m. Entre 325 m e 690 m de distância, observa a ocorrência de valores de resistividade inferiores a 30 ohm.m. Abaixo do leito sedimentar da represa, aproximadamente a 12 m de profundidade, os valores de resistividade variam de 31 ohm.m a 42 ohm.m.

A seção modelada do levantamento 2 também mostra camadas relativamente planas, com valores de resistividade variando de 20 ohm.m a 50 ohm.m. Os valores de resistividade inferiores a 30 ohm.m ocorrem ao longo de toda a seção, mas de maneira descontínua. Abaixo do leito sedimentar da represa, aproximadamente a 10 m de profundidade, os valores de resistividade variam de 33 ohm.m a 50 ohm.m.

Os valores de resistividade inferiores a 30 ohm.m provavelmente estão associados à entrada de água enriquecida por sais provenientes da fertirrigação da cana de açúcar na represa. A entrada dessa água na represa pode ocorrer por escoamento superficial e infiltração.

A fertirrigação normalmente é feita com subproduto da fabricação de álcool, conhecido como vinhaça. O constituinte principal da vinhaça é basicamente matéria orgânica, sob a forma de ácidos orgânicos. Para os estudos geofísicos que utilizam o método da eletrorresistividade, tais ácidos conferem respostas geoeletricas de baixa resistividade, ou seja, alta condutividade.

Portanto, na seção modelada do levantamento 1, executado próximo ao cultivo de cana de açúcar, os valores de resistividade inferiores a 30 ohm.m apresentam uma distribuição maior que na seção modelada do levantamento 2. Da mesma forma, a vinhaça afetou os valores de resistividade mapeados abaixo do leito sedimentar da represa, ou seja, os valores de resistividade mapeados abaixo do leito na seção modelada do levantamento 1 são inferiores aos valores mapeados na seção modelada do levantamento 2.

## **Conclusão**

Esses resultados mostram que o levantamento realizado por meio da técnica CRP foi conclusivo na identificação de áreas impactadas devido à fertirrigação da cana de açúcar.

A utilização desse sistema inovador de aquisição mostrou-se eficiente neste tipo de estudo, de forma que recomenda-se sua utilização na aquisição de dados ao longo da linha de costa, lagos e rios.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Petrobras por disponibilizar o barco-escola para execução dos ensaios.

## **Referências**

GROOT-HEDLIN, C.; CONSTABLE, S. Occam's inversion to generate smooth two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, n. 55, p. 1613-1624, 1990.

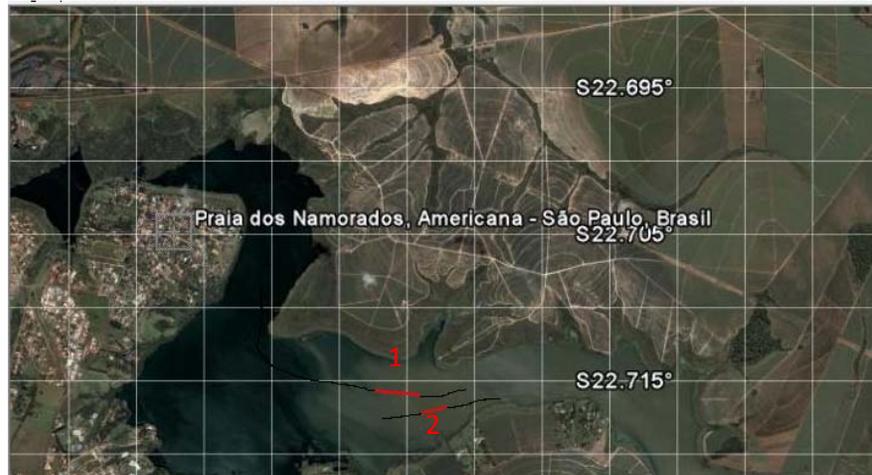


Figura 4 – Localização dos dois levantamentos geofísicos executados na represa de Salto Grande.

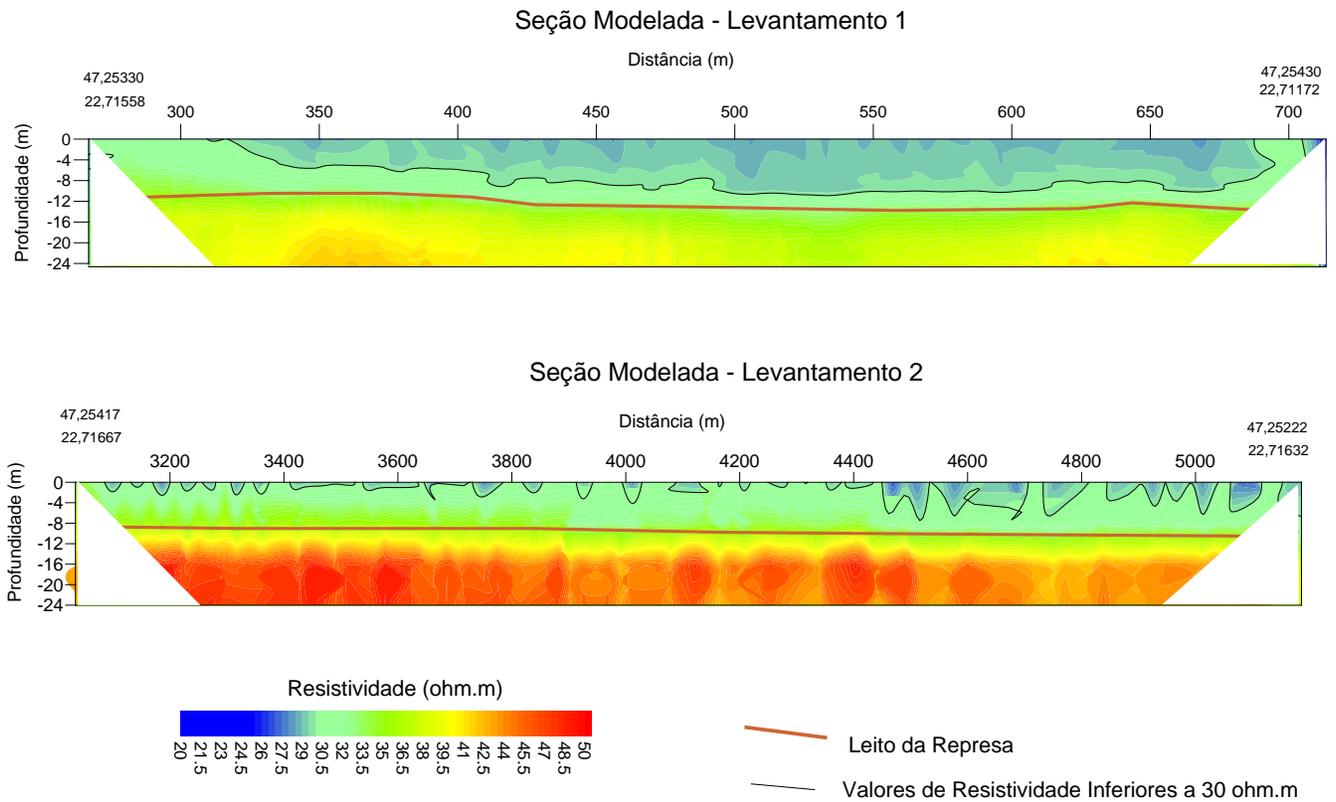


Figura 5 – Resultados das seções modeladas do levantamento 1 e 2.