



# Interfaces Instrumental e de Programação para Aquisição Automática de Dados Geométricos Usando Múltiplos Eletrodos

Luciano Regis Pereira Lisboa e Olivar Antônio Lima de Lima – Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia

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.

## Abstract

In this paper we describe a hardware and software developed to perform the automatic acquisition of geoelectrical data using multiple electrodes. The hardware consists of an electronic switching unit controlled by a personal computer through a RS-232 line, which contains a digital microcontroller that performs the switching from the resistivity-IP measuring equipment inputs and outputs to one of 64 electrodes of an electrode set. Software part consists of a PC-based application designed to control the electrode switching and to record incoming data from equipment. These interfaces were used at field to perform (i) normal and lateral logs of different depth of investigations using multiple electrode rings specially built for environmental monitoring purposes and (ii) superficial multi-profiling using semi-schlumberger to outline lateral resistivity variation within ground geoelectrical structures.

## Introdução

Os desenvolvimentos recentes na instrumentação geofísica têm estimulado a elaboração de procedimentos de aquisição de dados geofísicos usando arranjos múltiplos de fontes e detectores. Tais procedimentos são úteis não só para aumentar a densidade de informação geofísica obtida mas também para efetuar um controle de qualidade sobre os dados através do emprego do princípio da reciprocidade (Onsager, 1931).

Na área ambiental, problemas relacionados com o delineamento de plumas de contaminação do subsolo, com o controle de sua expansão no tempo ou a recuperação da qualidade dos reservatórios podem ser equacionados e resolvidos com o apoio dos equipamentos elétricos ou eletromagnéticos. Há numerosos exemplos na literatura da geofísica aplicada sobre o emprego bem-sucedido dessas duas metodologias. Por outro lado é difícil avaliar registros de insucessos. Todavia, o sucesso de qualquer trabalho experimental está no controle da qualidade e na confiabilidade dos dados utilizados.

Barker (1991) sugere um sistema de aquisição de dados baseado em interface com um computador (onde o operador manipula os dados) e um sistema de relés.

Vitarello e Trivedi (1991) sugerem uma estreita correlação entre variações temporais na resistividade aparente e certas estruturas geológicas próprias de aquíferos, com base na medição repetitiva da resistividade aparente durante eventos climáticos.

Neste trabalho descrevemos as características de uma interface instrumental com sua interface-programa desenvolvida no CPGG/UFBA para realizar uma aquisição de dados geométricos com múltiplos eletrodos sob o controle de um micro-computador, e de forma automática, dispensando o serviço do operador. Essas interfaces foram usadas para realizar perfisagens múltiplas de IP-resistividade, tanto em poços quanto na superfície do terreno. Alguns resultados práticos são apresentados para demonstrar o desempenho do sistema desenvolvido.

Será demonstrado que a operação dos instrumentos de medição por meio de computador digital em substituição ao trabalho do operador humano amplia as possibilidades de investigação da dinâmica dos processos e melhora a produtividade do trabalho de campo, reduzindo os custos com mão-de-obra e indisponibilidade dos equipamentos. Traçando um paralelo com a atividade de laboratório, serão propostos arranjos simples, de baixo custo e grande eficiência que atendem a demanda da geofísica por dados e investigações contínuas sem a necessidade da presença constante do operador.

## Caracterização das interfaces

Basicamente, a interface instrumental consiste de uma matriz de chaveamento eletrônico que seleciona, de acordo com uma programação previamente estabelecida, de quatro eletrodos ao equipamento SYSCAL, dentre as várias combinações possíveis de obter com o conjunto de eletrodos externos ligados a ela, hoje fixado a um máximo de 64 terminais.

Nesse módulo de controle entrada-saída são utilizados microcontroladores integrados, cada um contendo um pequeno processador, memórias de programa (FLASH) e de acesso randômico (RAM), além de terminais de entrada e saída. Entre os periféricos, existem conversores analógico-digitais (A-D) e portas seriais (USART).

Uma porta serial conectada ao SYSCAL adquire e transfere ao PC (através de outra porta serial) os dados obtidos em cada medição. O firmware gravado na memória FLASH efetua, sob o comando do PC, a seleção dos quatro eletrodos ativos dentro do conjunto básico de eletrodos utilizados.

Associado à interface de aquisição-comutação foi desenvolvido aplicativo de computador na linguagem

PASCAL que promove a comunicação entre os microcontroladores e um PC notebook através das portas seriais RS-232. Este aplicativo foi adaptado para interagir especificamente com um sistema SYSCAL R2 fabricado pela IRIS Instruments.

As operações programadas são idênticas aquelas da operação manual do SYSCAL. Isto inclui informar o modo de operação (apenas resistividade ou IP-resistividade), a geometria do arranjo de eletrodos (Wenner, Schlumberger, dipolo-dipolo, etc), as distâncias características desse arranjo em cada seleção e as configurações básicas de aquisição tais como janelas de tempo selecionadas para leitura, o número de empilhamentos, etc. O conjunto de eletrodos distribuídos no terreno ou no revestimento de um poço é conectado à caixa de comutação e esta ao SYSCAL conforme mostrado na Figura 5. O programa comanda o início das leituras e ao término de cada uma delas salva os dados no disco rígido do PC.

### Testes de laboratório e no campo

Os equipamentos desenvolvidos foram testados em dois ambientes distintos. No primeiro, a interface-programa que é o aplicativo rodando no PC foi testado em conexão ao SYSCAL R2 para caracterização da cargabilidade de um sistema análogo constituído de um resistor e um capacitor ligados em série, conforme a Figura 1.

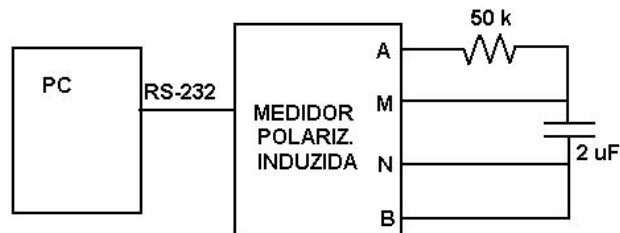


Figura 1 – Sistema análogo utilizando resistor e capacitor para simular um modelo geológico, no intuito de testar a capacidade de aquisição do programa aplicativo desenvolvido para controlar o equipamento de aquisição de dados geofísicos.

O segundo teste foi feito em campo quando a matriz de comutação automática foi usada em conjunto com o SYSCAL R2 para realização da perfilagem geofísica de um poço com eletrodos enterrados, levantando um perfil geométrico do subsolo lateral ao poço.

### Resultados obtidos

Na Figura 6 tem-se um registro da variação da carga elétrica do capacitor em várias leituras de IP realizadas com janelas de tempo diferentes. Nota-se a riqueza de pontos da curva adquirida em cerca de 10 minutos de leitura, em contraste com a realidade do campo que obriga uma semelhante medida a ser feita frequentemente com cerca de 05 janelas de tempo apenas devido a limitações de natureza operacional relacionadas ao tempo gasto no trabalho.

Os resultados obtidos no primeiro teste de campo do protótipo da matriz de comutação podem ser parcialmente visualizados na Figura 2 onde estão reproduzidos os perfis de resistividade e polarização induzida medidos a partir dos eletrodos equiespaçados fixados no revestimento de um poço. Estes dados foram obtidos durante trabalho que pode ser apreciado em relatório apresentado na 40. reunião de rede do PROSAB, o qual trata justamente de poços adaptados com sistema de multi-eletrodos.

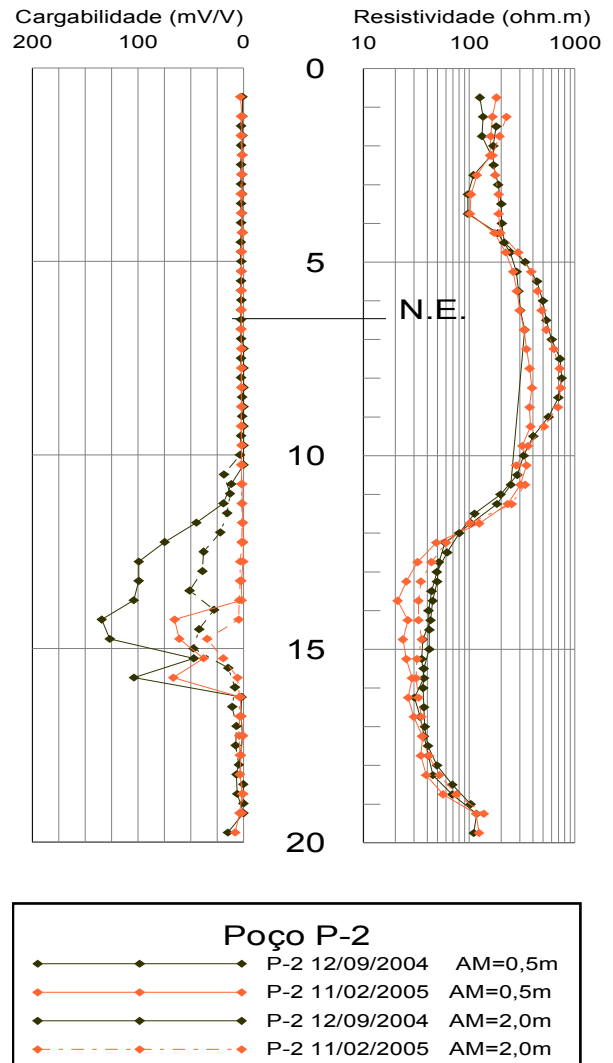


Figura 2 – Dados de resistividade aparente e polarização induzida obtidos no campo em teste com o protótipo da matriz de comutação de eletrodos.

A matriz de comutação foi posta em operação no campo durante cerca de 07:10 horas, realizando 732 leituras com o medidor em diferentes configurações. Foram escolhidos 12 entre os 61 eletrodos enterrados do poço, e para cada um desses foi feita uma perfilagem correspondente, selecionando a cada medida um eletrodo do sistema. Ao final, as 12 perfilagens, cada uma contendo 61 medições diferentes, foram armazenadas no PC em formato de texto que pode ser

importado por diversos programas de tratamento de sinais.

### Conclusões

Um sistema de aquisição automático como o aqui apresentado traz as seguintes vantagens operacionais: (i) agilidade nas aquisições tanto pelo intercâmbio automático das estações de leitura quanto porque todos os parâmetros necessários para a aquisição estão previamente embutidos no programa, sendo carregados para o SYSCAL sem necessidade da intervenção do operador. (ii) controle da qualidade dos dados pelo intercâmbio de papel entre os eletrodos de corrente e de potencial.

A título de comparação informamos que uma multi-perfilagem usando seis arranjos normais de eletrodos num poço com 40 eletrodos montados e equiespaçados de 0,5 m foi executada manualmente e teve duração de 6h, enquanto a operação automática demanda cerca de uma hora, e não necessita de trabalho humano, exceto pela montagem do sistema com suas conexões.

A experiência do trabalho no campo utilizando o sistema provou que o uso do mesmo facilita a operação, pois o operador necessita intervir apenas para comandar o início da sequência de aquisições. Com isto, não apenas as aquisições são mais rápidas como o operador fica liberado para realizar outras atividades.

Associado a este resultado pode-se ainda utilizar o sistema em laboratório, criando uma estrutura capaz de adquirir dados continuamente para caracterizar propriedades dinâmicas de deslocamento de fluidos no interior de amostras ou realizar simulações diretamente em modelos de dimensões reduzidas.

Em ambos os casos, tanto no campo quanto no laboratório, o uso da eletrônica e do software embarcado permitem uma redução na necessidade de trabalho humano, trazendo um aumento significativo na produtividade do serviço de aquisição de dados.

### Exemplos de aplicação – modelamento de propriedades físicas de rochas

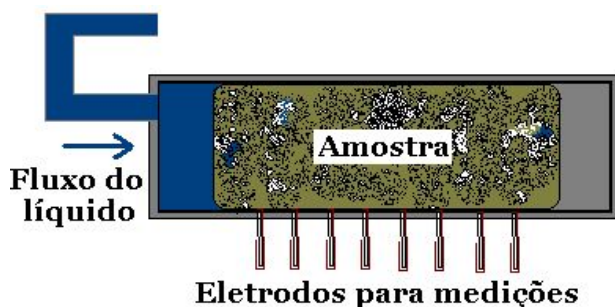


Figura 3 – Proposta de um arranjo de laboratório para avaliação de propriedades físicas de amostras de rochas com passagem de fluido e monitoramento da propagação do mesmo pela amostra.

Uma possível aplicação para o sistema de aquisição automatizado é o levantamento de propriedades físicas de rochas, tais como as condutividades elétrica e térmica, porosidade, permeabilidade, etc. Amostras de rochas porosas podem ser avaliadas em um sistema de confinamento, proporcionando um fluxo de líquido pelo interior da mesma, enquanto suas propriedades elétricas são medidas e registradas continuamente através de diversos eletrodos conectados à amostra. Desse ensaio pode-se obter um modelo para a dinâmica do fluido no interior da rocha.

### Exemplo de aplicação: monitoramento da saturação variável do subsolo com o tempo

mais uma possibilidade real é a expansão das funcionalidades do software para implementação de controle realimentado atuando diretamente sobre as variáveis do processo. Pode-se por exemplo, usar a perfilagem geoeletrica de um poço fazendo registro ao longo do tempo com uso do sistema proposto, e a partir das pseudo-seções distintas criar um modelo para o nível da água em diferentes pontos do subsolo com base na vazão do líquido sugado por uma bomba, e daí fazer o controle da vazão da bomba no intuito de situar a zona saturada da subsuperfície na região desejada, seja para otimizar a filtragem do líquido aproveitando a porosidade característica da geologia do terreno ou evitar contaminação por algum agente poluidor próximo. Modelos para controle realimentado usando controladores digitais são largamente utilizados na indústria. A vantagem do uso de sistema de microcontrolador e programação embarcada para o controle de vazão, neste caso, seria minimizar as oscilações no nível do reservatório devido a variações sazonais na umidade do solo na ocorrência de chuvas.

Pode-se programar o microcontrolador com algoritmos Proporcional + Integrativo + Derivativo (PID) para manter o nível da saturação no subsolo, sintonizado com as características de resposta temporal de um modelo matemático do terreno onde o sistema esteja instalado.

### Exemplo de aplicação: caracterização geológica e monitoramento ambiental através do estudo da propagação de uma pluma fluida

Com um sistema capaz de registrar repetidamente um perfil de resistividade de um poço com multi-eletrodos, é possível acompanhar as variações na resistividade do solo enquanto a saturação do mesmo é modificada por um evento, como uma precipitação ou mesmo bombeamento artificial. O sistema automatizado pode operar durante dias sem necessidade da intervenção humana, e assim pode-se acompanhar todo um ciclo de eventos climáticos, guardando suas influências no comportamento eletroresistivo da subsuperfície. Com esses dados pode-se gerar imagens de pseudoseções em instantes diferenciados, determinando-se velocidades de deslocamento da pluma em pontos distintos da área sob monitoramento que podem ser associadas a características próprias da geologia do terreno, como sugere o trabalho de Vitorello e Trivedi (1991) e ser usados para caracterização geológica, ou servir de base para o monitoramento ambiental de contaminação de áreas de aquíferos.



### Agradecimentos

Agradecemos ao CPGG pelo apoio através do fornecimento de todos os componentes eletrônicos e demais materiais necessários à montagem do primeiro protótipo da matriz de comutação, bem como no levantamento de teste realizado em campo.

Também registramos nossos agradecimentos ao PROSAB pelo custeio do trabalho no campo, na ocasião do primeiro teste operacional do protótipo.

### Referências

Barker, R. B. - Computer controlled Resistivity Sounding and Electrical Imaging – Anais do 2o. Congresso da SBGF, 1991 250-256

Vitello, A. P., Trivedi, N. B. – Earth Imaging using resistivity data - Anais do 2o. Congresso da SBGF, 1991 244 - 249

Franklin, G. F.; Powell, J. D.; Emami-Naini, A. – Feedback Control of Dynamic Systems – Addison-Wesley, 1995, 51-60

Relatório da 40. reunião do PROSAB - Universidade Federal da Bahia – UFBA - Departamento de Engenharia Ambiental - Instituto de Geociências

Onsager, L., 1931, Reciprocal relations in irreversible processes. *Physical Review* 37, 405-425.



Figura 4 – Protótipo da matriz de comutação de eletrodos e suas conexões aos diversos eletrodos do poço e também ao medidor de resistividade e IP SYSCAL R2. No detalhe, o cabo RS-232 de comunicação com o PC

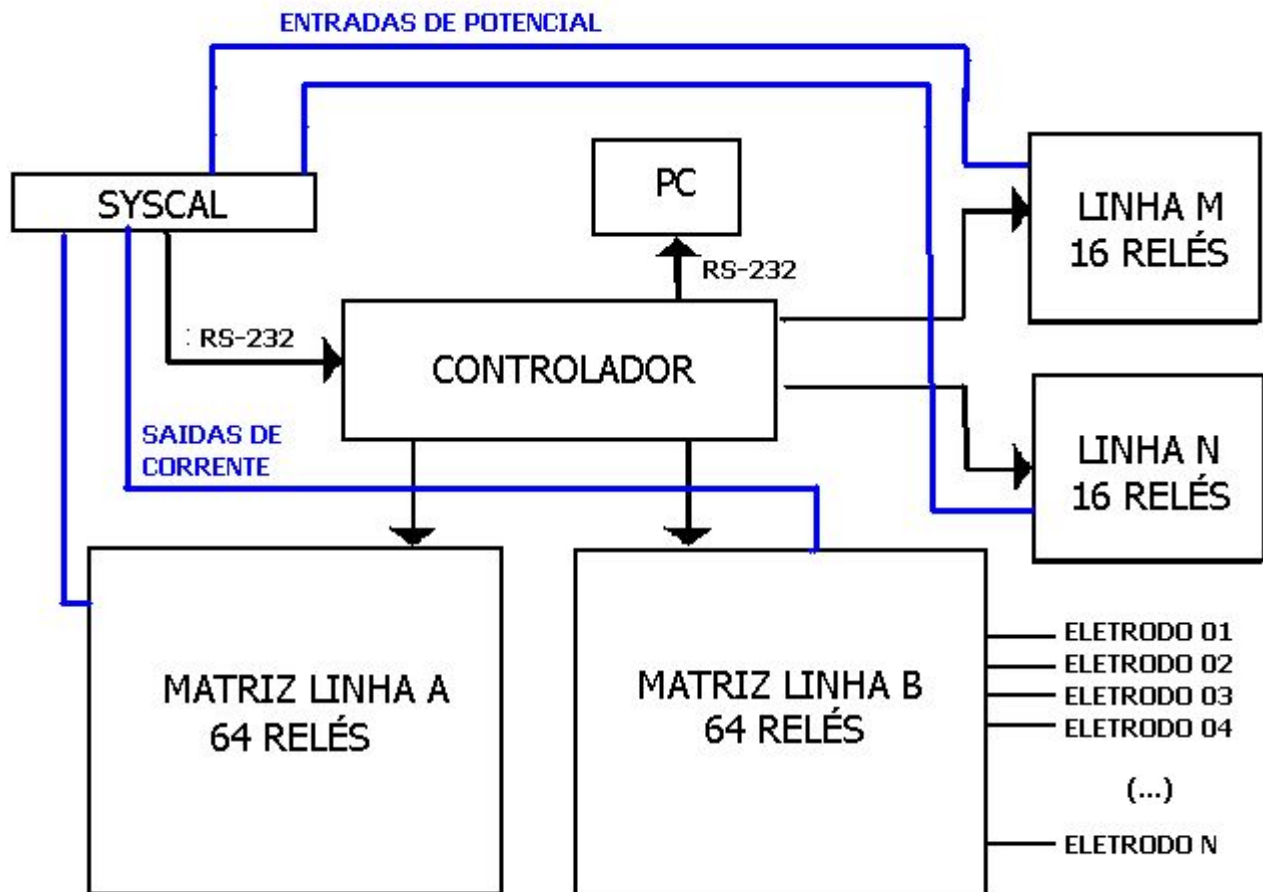


Figura 5 – Esquema simplificado da matriz de comutação de eletrodos com seus módulos controlados por um micro-processador e software embarcado.

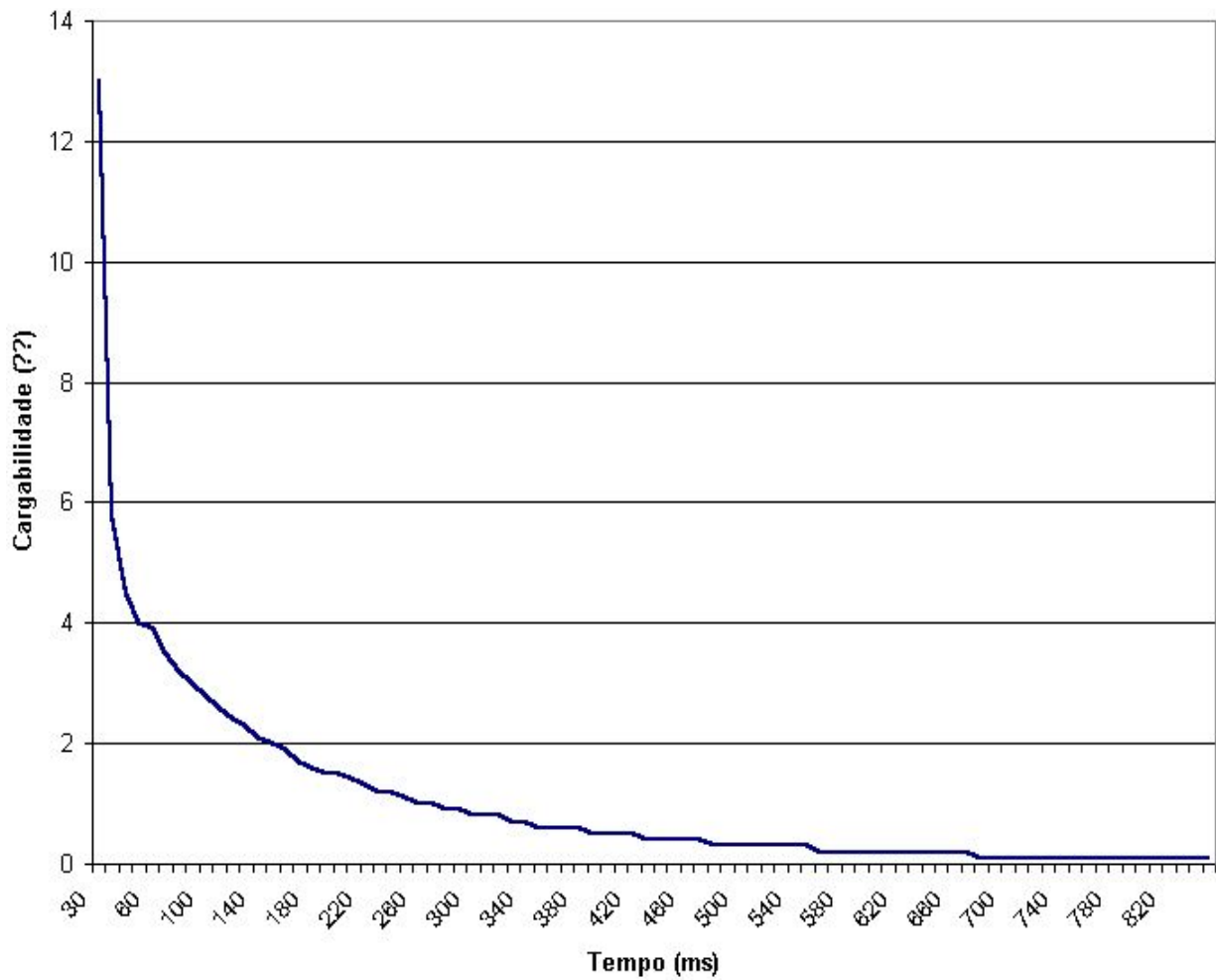


Figura 6 – Curva de decaimento exponencial da tensão do capacitor medida pelo SYSCAL R2 comandado pela interface programa para várias aquisições de polarização induzida