



## Procedimentos informatizados na modelagem, representação e interpretação no método da eletroresistividade

Eduardo Naomitsu Agapito Urasaki e Hédison Kiuity Sato CPGG/IGEO/UFBA

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

The graphic implementation of the computer program SCHL, of the model of layers homogeneous, plane parallel, regarding the method of the electro-resistivity, through the technique of the vertical electrical sounding (VES) with Schlumberger and Wenner array, was accomplished from way to turn it more interactive, contributing so that the modeling, representation and interpretation of the observed data are more efficient, including automatic inversion using Gauss-Newton linearized inversion. The restructuring of the program use the new programming techniques, including the Fortran 90/95 programming language associated to the OpenGL package of graphic libraries. Being a program with a friendly graphical interface, free distribution, executed in the operational system Linux, it is useful as a didactic material for the geophysics disciplines for modeling, visualization and inversion of data in the execution of research works.

### Introdução

Devido à grande capacidade computacional, a informática é utilizada para diversas finalidades, dentre elas, a de auxiliar na resolução de problemas de cunho técnico-científico, além de contribuir sobremaneira para otimizar as soluções encontradas.

Os programas de computador comerciais, no caso da geofísica, sobretudo o relacionado ao método elétrico, são dispendiosos dada a pouca demanda de mercado, fazendo com que nos ambientes de pesquisa das universidades, particularmente as brasileiras, sejam produzidos seus próprios aplicativos. Estes, na maioria dos casos, são soluções que satisfazem às exigências dos trabalhos a que estão vinculados, tendo, por conta disso, caráter particular, não se prestando para aplicações em outros tipos de dados, problemas ou situações.

É neste contexto que se verificou a importância de se aproveitar o acervo de programas já desenvolvidos no Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia (CPGG/UFBA), relacionados aos Cursos de Graduação e de Pós-graduação em Geofísica da UFBA, em particular o aplicativo SCHL, referente ao método da eletroresistividade com arranjo Schlumberger e Wenner,

no qual foram incorporadas novas técnicas de programação, sobretudo visual, para ambiente Unix/Linux, tornando-o mais amplo, interativo e eficiente, com vistas a servir de material didático para as disciplinas correlatas de geofísica, assim como de ferramenta de modelagem, visualização e inversão de dados na execução de trabalhos de pesquisa.

### Metodologia

Os cálculos das resistividades aparentes com os arranjos Wenner  $\rho_{a,W}$  e Schlumberger  $\rho_{a,S}$  são feitos com expressões bastante conhecidas na literatura (Telford et al., 1978; Keller e Frischknecht, 1970). Neste trabalho, considerando o modelo de  $n$  camadas paralelas, usamos:

$$\rho_{a,W} = \rho_1 \left\{ 1 + 2a \int_0^\infty \left[ \frac{1 - G_1 e^{-2\lambda h_1}}{1 + G_1 e^{-2\lambda h_1}} - 1 \right] [J_0(\lambda a) - J_0(\lambda 2a)] d\lambda \right\}$$
$$\rho_{a,S} = \rho_1 \left\{ 1 + a^2 \int_0^\infty \left[ \frac{1 - G_1 e^{-2\lambda h_1}}{1 + G_1 e^{-2\lambda h_1}} - 1 \right] \lambda J_1(\lambda a) d\lambda \right\}$$

onde

$$G_i = \frac{1 - (\rho_{i+1} / \rho_i) F_i}{1 + (\rho_{i+1} / \rho_i) F_i}; \text{ com } F_i = \frac{1 - G_{i+1} e^{-2\lambda h_{i+1}}}{1 + G_{i+1} e^{-2\lambda h_{i+1}}}, K,$$
$$F_{n-1} = 1, G_n = 0,$$

sendo  $h_1, h_2, K$  as espessuras das camadas,  $\rho_1, \rho_2, K$ , as resistividades elétricas,  $a = AM = MN = NB$ , as distâncias entre os eletrodos subseqüentes no arranjo Wenner, e  $a = AB/2$ , a semi-distância entre os eletrodos de corrente no arranjo Schlumberger.

A integração numérica propriamente dita foi feita usando o método da filtragem (Anderson, 1975). Mais recentemente, incorporou-se a opção da inversão automática pelo método de escopo local Gauss-Newton (Inversão Linearizada), utilizando-se do método iterativo conjugado gradiente.

Buscou-se produzir um programa que pudesse ser facilmente reproduzido em outros ambientes universitário, com custos baixos. Desta forma, o trabalho foi desenvolvido no seguinte ambiente:

1. Sistema operacional Red Hat Linux<sup>®</sup> v. 9.0
2. Compilador Intel Fortran Compiler, que obrigou o uso de um micromputador com processador Intel<sup>®</sup> e
3. O pacote OpenGL f90gl<sup>®</sup> v. 1.2.7

### Resultados

Com a utilização da linguagem de programação Fortran 90/95 (Marshall, 1997), associada ao pacote de bibliotecas gráficas OpenGL (Shreiner, 2000; Woo et al., 1999), obteve-se, a partir da reestruturação do código fonte antigo, o programa Visual Schlumwenger v. 1.00 (Fig. 1), que tem como principais elementos:

a) A tela principal

Refere-se à tela de trabalho, a qual pode ser dividida em dois blocos, o primeiro, à esquerda, contém os dados observados (pontos em vermelho), a curva de eletrorresistividade (curva em azul) e a grade bi-logarítmica. Já o segundo, à direita, os parâmetros a serem modificados pelo usuário: número de camadas e resistividade aparente e espessura de cada camada, pela inserção dos seus respectivos valores ou progressivamente através dos fatores "P.A." (progressão aritmética) e "P.G." (progressão geométrica).

b) A grade bi-logarítmica

Ajusta-se automaticamente às observações, além de poder ser alterada pelo usuário. Para tanto, dois requisitos devem ser obedecidos: 1) o da grade ter entre uma e vinte décadas, e 2) o valor mínimo ser de até  $10^{-10}$  e o máximo de  $10^{10}$ , tanto no eixo das abcissas, correspondente ao espaçamento AB/2 (m), quanto no eixo das ordenadas, relacionado à resistividade aparente  $\rho_a$  (ohm.m).

Além disso, como a curva de eletrorresistividade e os dados observados são plotados sobre a grade bi-log, se esta sofrer alguma modificação, seja na quantidade de décadas, seja na origem do sistema de coordenadas, tanto a curva como os dados também acompanharão essas alterações.

c) A modificação nos valores dos parâmetros

Ocorre com a inserção direta do valor desejado ou através dos incrementos (positivos ou negativos) a partir dos valores de referência "P.A." ou "P.G.".

Temos também que mantendo-se pressionada a tecla Ctrl, Shift (que no OpenGL é equivalente à tecla Caps Lock ativada) ou Ctrl+Shift, o incremento se torna igual a 0,01, 0,10 e 10,00, respectivamente.

Há ainda a opção da inversão automática pelo método de escopo local Gauss-Newton (Inversão Linearizada), utilizando-se do método iterativo conjugado gradiente.

d) A abertura e salvamento de arquivo

O programa permite três formas de inserção de dados: (i) digitando as observações; (ii) através de um arquivo que contenha somente as observações; e (iii) que é semelhante à segunda, diferenciando-se apenas no arquivo, que contém outras informações para o programa, sendo que é este o arquivo gerado quando o usuário salva o seu trabalho.

## Conclusão

A reestruturação de um antigo programa de modelagem para o arranjo Schlumberger e Wenner no Visual Schlumwenger v. 1.00, o tornou flexível e interativo, possibilitando sua adaptação a diferentes tipos de dados, o que, somando-se ao fato de ser um programa com interface gráfica, de fácil manuseamento e livre distribuição, reduziu significativamente o tempo necessário para a modelagem e inversão de dados, com reflexos diretos em sua visualização e interpretação.

Desta forma, possibilita sua utilização tanto como ferramenta nos trabalhos de pesquisa, como também, material didático nas disciplinas de geofísica correlatas.

## Referências Bibliográficas

- ANDERSON, W. (1975) Improved digital filters for evaluating Fourier and Hankel transform integrals, U.S. Geol. Survey Technical Report PB 242 800.
- KELLER, G.V. e FRISCHKNECHT, F.C., 1970, Electrical methods in geophysical prospecting. Pergamon Press, Oxford, 517pp.
- MARSHALL, A. C., MORGAN, J. S. e SCHONFELDER, J. L., 1997. Fortran 90 Course Notes. University of Liverpool, 266p.
- SHREINER, D., 2000. OpenGL reference manual: the official reference document to OpenGL, version 1.2 / OpenGL Architecture Review Board. 3rd ed. United States of America: Addison-Wesley, 692p.
- TELFORD, W. M., GELDART, L. P., SHERIFF, R. E. E KEYS, D. A., 1978, Applied geophysics. Cambridge University Press.
- WOO, M., NEIDER, J., DAVIS, T. e SHREINER, D., 1999. OpenGL programming guide: the official guide to learning OpenGL, version 1.2 / OpenGL Architecture Review Board. 3rd ed. United States of America: Addison-Wesley, 730p.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao prof. Milton Porsani pela sugestões sobre a inversão. Eduardo Urasaki agradece ao PIBIC-CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

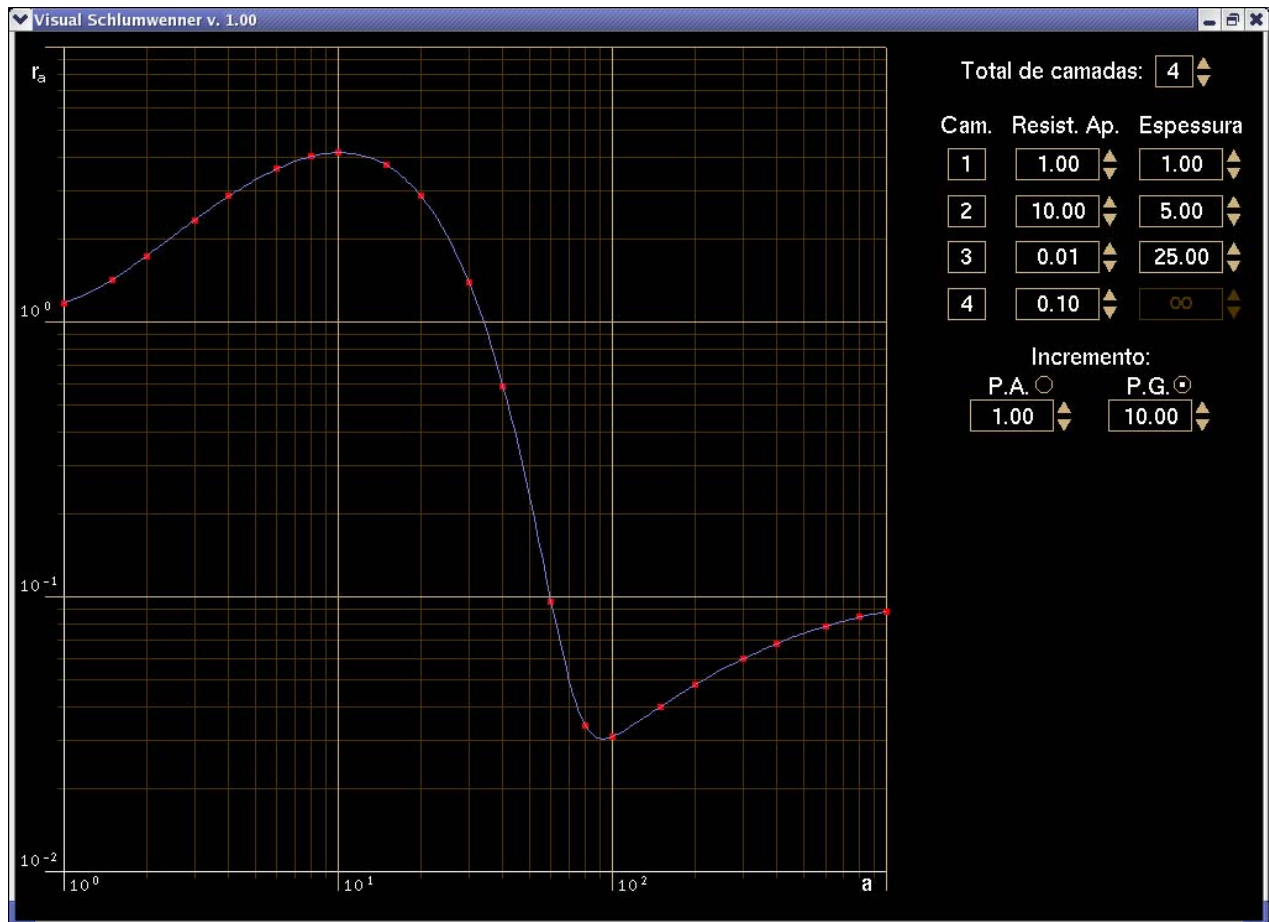


Figura 1 - Tela principal do Visual Schlumberger v. 1.00. Os pontos vermelhos correspondem aos dados observados e a curva em azul, a curva de eletrorresistividade ajustada para um modelo sintético do tipo KH.