



Pseudo-seções de dados eletromagnéticos multi-freqüência

Joelson da Conceição Batista e Hédison Kiuity Sato CPGG/IGEO/UFBA

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th 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 9th 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 interpretation scheme developed by Sato (1979), to construct pseudo-sections of resistivity versus depth, is analyzed using theoretical EM response due to layered earth. Some pseudo-sections of apparent resistivity were constructed for models using two and three horizontal layers, with alternating sequences of high and low resistivity values. The pseudo-sections had shown that the scheme developed by Sato (1979) produces an image that, geometrically, departs away from the corresponding model of layers, meaning that the iso-resistivity contours diverges from the expected parallel and horizontal forms, which is desirable when the model is formed by horizontal layers. Subsequently, a new empiric function governing the depth location of the point associated to the apparent resistivity is suggested and new pseudo-sections are constructed, which we interpret more accurate.

Introdução

A representação na forma de pseudo-seções, de dados eletromagnéticos multi-freqüência obtidos com sistemas de fonte próxima, tem sido feita atribuindo-se o valor invertido da propriedade física, geralmente a resistividade aparente, a um ponto cuja localização é proporcional ao logaritmo da freqüência, de forma que as maiores "profundidades" ficam atribuídas às freqüências mais baixas, porém independem da distância do local da medida em relação à posição do transmissor.

Sato (1979) e Dias e Sato (1981) investigaram essa questão e criaram um novo método de representação de dados dessa natureza. Nos dois casos, a propriedade representada foi a resistividade aparente, obtida segundo um modelo de semi-espaço homogêneo, isotrópico, porém com condutividade complexa, conforme apresentado por Dias (1968). Posteriormente, uma investigação similar foi feita por Brito (1994), usando uma linha de corrente como fonte.

Ainda no trabalho de Sato (1979), notou-se que as pseudo-seções apresentavam distorções na forma e na localização dos contornos de isoresistividade, considerando os modelos teóricos usados para a modelagem eletromagnética: esfera condutora num substrato infinitamente resistivo e um modelo de camadas horizontais.

Na época, as limitações computacionais impuseram fortes restrições quanto ao estudo de grande variedade das propriedades físicas e geométricas dos modelos.

Neste trabalho, investigamos a resposta EM no domínio da freqüência de um dipolo magnético transmissor na superfície de um semi-espaço formado por camadas horizontais, na configuração de acoplamento mínimo, Tz-Rx. A análise dos diversos estudos culmina na proposição de um novo esquema de representação reduzindo as distorções observadas.

Modelagem e inversão para a resistividade aparente

A modelagem foi feita usando a expressão abaixo (Ward e Hohmann, 1987) para o campo magnético radial H_r , devido a um dipolo magnético vertical m sobre um semi-espaço formado por camadas horizontais, homogêneas e isotrópicas:

$$H_r = \frac{m}{4\pi} \int_0^{\infty} (1 - r_{TE}) \lambda^2 J_1(\lambda r) d\lambda$$

onde

$$\begin{aligned} r_{TE} &= \frac{\lambda - \hat{u}_1}{\lambda + \hat{u}_1}, \\ \hat{u}_n &= u_n \frac{1 + \frac{\hat{u}_{n+1} - u_n}{\hat{u}_{n+1} + u_n} e^{-2u_n h_n}}{1 - \frac{\hat{u}_{n+1} - u_n}{\hat{u}_{n+1} + u_n} e^{-2u_n h_n}}, \\ \hat{u}_N &= u_N, \end{aligned}$$

e os detalhes sobre u_n e \hat{u}_n estão na referência citada. A integração numérica propriamente dita foi feita usando o método da filtragem (Anderson, 1975).

De forma sucinta, Dias et al. (2001) mostraram o processo de inversão que permite a obtenção da resistividade elétrica complexa aparente a partir da impedância mútua complexa que se obtém dividindo-se o campo H_r secundário, descrito anteriormente, pelo campo primário $H_{p,z}$ na mesma posição. Assim, nos dados EM obtidos para os modelos teóricos, usamos aquela metodologia que permite obter a condutividade complexa aparente σ_a e o número de indução aparente

$$\theta_a = r \sqrt{\omega \mu_0 |\sigma_a|} / 2.$$

Pseudo-seções usando o esquema de Sato (1979) e análise

As figuras 3.b, 4.b, 5.b e 6.b mostram as pseudo-seções segundo o esquema de Sato (1979). Acima de cada

pseudo-seção, o modelo de camadas horizontais está esquematizado. Usamos modelos de duas e três camadas com alternância das zonas resistivas e condutivas para eventualmente mostrar alguma característica que viesse a interessar. Em todas elas, percebe-se que as curvas de isorresistividade apresentam-se encurvadas para baixo nas partes mais centrais das pseudo-seções, com evidente distanciamento dos seus respectivos modelos geradores.

A figura 1 mostra três curvas relacionando a razão entre distância T-R e o "skin-depth", e o número de indução.

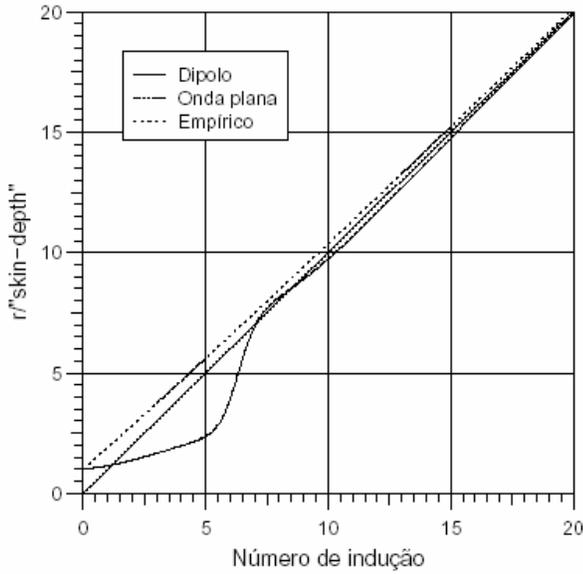


Figura 1 – Razão do espaçamento (r) para o "skin depth" do dipolo magnético vertical em função do número de indução (θ), para semi-espaço isotrópico.

Na curva denominada "dipolo" (Sato, 1979), o "skin-depth" é um conceito emprestado do caso da onda plana para a onda devido a uma fonte magnética vertical dipolar sobre um semi-espaço homogêneo. Ela é a profundidade abaixo do ponto, distante r da fonte, onde o campo elétrico cai para o valor 1/e do valor da superfície.

Ela é assintótica em relação à curva "onda plana", o que é razoável para valores elevados do número de onda. Para os valores menores, ela tende para o valor unitário, do qual pode-se interpretar-se que, mesmo para baixíssimas frequências, a profundidade de exploração é limitada pela separação T-R (Sato, 1979).

Conjeturando que as deformações mencionadas nas curvas de isorresistividade deviam-se ao trecho bastante afastado entre as curvas "dipolo" e "onda plana" da Figura 1, que ocorre no intervalo 0 a 6 do número de indução, procuramos uma função empírica que fosse assintótica em relação à curva "onda plana" para grandes valores do número de onda, mas que valesse 1 em θ_a = 0.

Escolhemos a função

$$r/\delta = 1 + \exp(-k\theta)$$

onde k é uma constante. Dos testes efetuados, escolhemos o valor 0,1 para esta constante. A Figura 1 também mostra a curva "empírica" escolhida.

Também, mantivemos o esquema de definição do ponto de associação representado pelo ponto P na Figura 2.

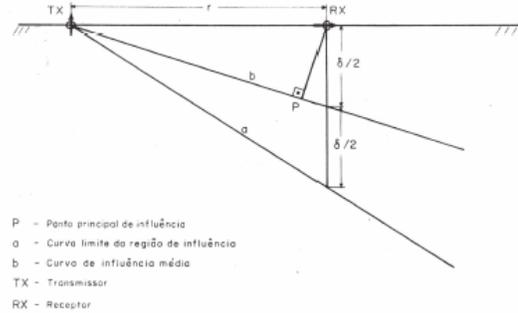


Figura 2 – Esquema para localização do ponto principal de influência (Sato, 1979).

Pseudo-seções usando novo esquema

As figuras 3.c, 4.c, 5.c e 6.c mostram as pseudo-seções segundo o novo esquema. Nelas, claramente, comparadas com as respectivas pseudo-seções construídas com o esquema anterior, observa-se uma maior horizontalidade das curvas de isorresistividade, de forma que podemos dizer que as pseudo-seções criadas com a função empírica, conquanto reproduzissem as variações de resistividade nas mesmas ordens de grandeza das pseudo-seções construídas pelo esquema de Sato (1979), produziram uma melhoria nas representações do topo e base das camadas dos modelos adotados, mesmo que com uma margem de erro de 100 m, além de apresentarem curvas de isorresistividade aparente mais paralelas e horizontais.

O fechamento das curvas observadas principalmente nas figuras 5.b, 5.c, 6.b e 6.c nada têm a ver com o esquema de construção das pseudo-seções. Tal fato deve estar relacionado com o próprio processo de definição do conceito de resistividade complexa aparente de Dias (1968).

Conclusão

Ainda persistiram deformações nas pseudo-seções construídas com o novo esquema. Além de sugerirem que a curva empírica deve ser aperfeiçoada, também o processo de locação do ponto de maior influência deve ser revisto frente aos deslocamentos verticais observados entre as localizações das anomalias e a profundidade da camada anômala para os casos de três camadas.

Referências

ANDERSON, W. (1975) Improved digital filters for evaluating Fourier and Hankel transform integrals, U.S. Geol. Survey Technical Report PB 242 800.
BRITO, L. P. (1994) Região do espaço que mais influencia em medidas eletromagnéticas no domínio da

freqüência: caso de uma linha de corrente sobre um semi-espaço condutor, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil.

- DIAS, C. A. (1968) A non-grounded method for measuring induced electrical polarization and conductivity, Ph. D. Thesis, University of California, Berkeley.
- DIAS, C. A. e SATO, H. K. (1981) A multifrequency electromagnetic method for interpretation of ip and resistivity: theory and experimental work using a system operating in the range 21 to 43,008 hz, In: Resumos Expandidos, SEG.
- Dias, C. A., Sato, H. K., Yamashita, M., Carrasquilla, A., Sampaio, E. E. S., Lima, O. A. L., Loures, L. G. (2001) A multi-frequency inductive 5th generation EM system for geophysical exploration. Resumo Expandido (CDROM), 56-59, 7o. Congr. Intern. da SBGf, 28-31/out, Salvador.
- SATO, H. K. (1979) Método eletromagnético para interpretação de polarização induzida e resistividade, usando o protótipo de um sistema a multi-freqüência, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- WARD, S. H. e HOHMANN, G. W. (1987) Electromagnetic theory for geophysical applications. In Nabighian, M. N., Electromagnetic methods in applied geophysics-Theory Vol. 1, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma, 131-311.

Agradecimentos

Joelson Batista agradece ao PRH08, convênio entre a UFBA e a ANP (Agência Nacional de Petróleo), pela bolsa de estudos e taxa de bancada.

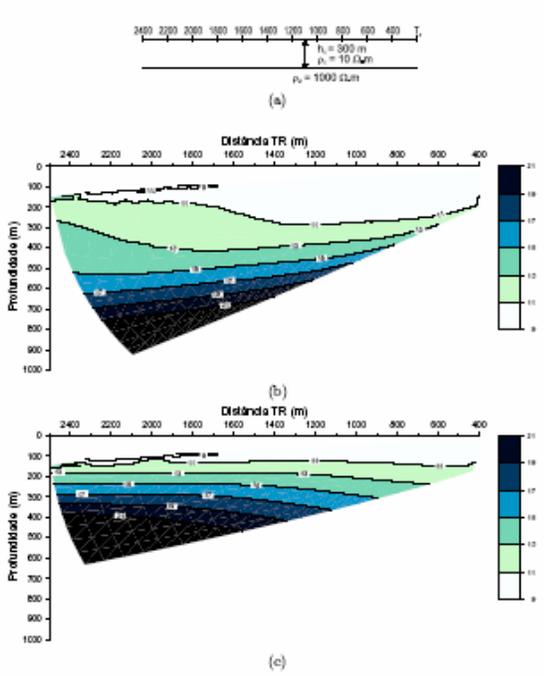


Figura 3 – Pseudo-seção de resistividade aparente: (a) modelo teórico, (b) pseudo-seção com o esquema de Sato (1979) e (c) pseudo-seção gerada com a função empírica

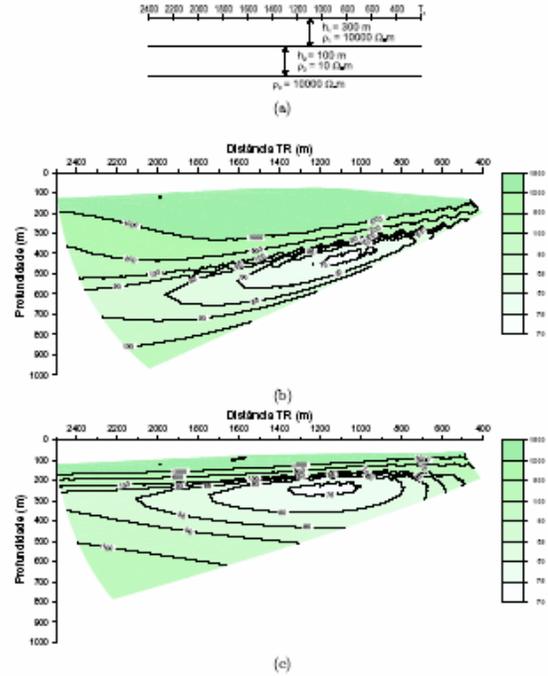


Figura 5 – Pseudo-seção de resistividade aparente: (a) modelo teórico, (b) pseudo-seção com o esquema de Sato (1979) e (c) pseudo-seção gerada com a função empírica

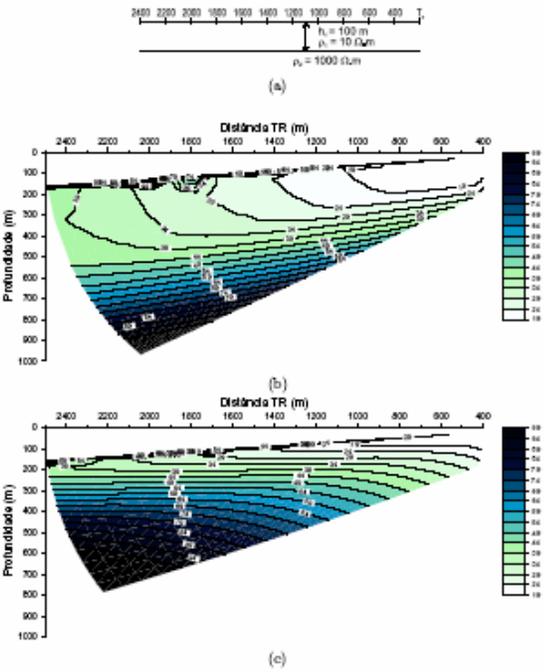


Figura 4 – Pseudo-seção de resistividade aparente: (a) modelo teórico, (b) pseudo-seção com o esquema de Sato (1979) e (c) pseudo-seção gerada com a função empírica

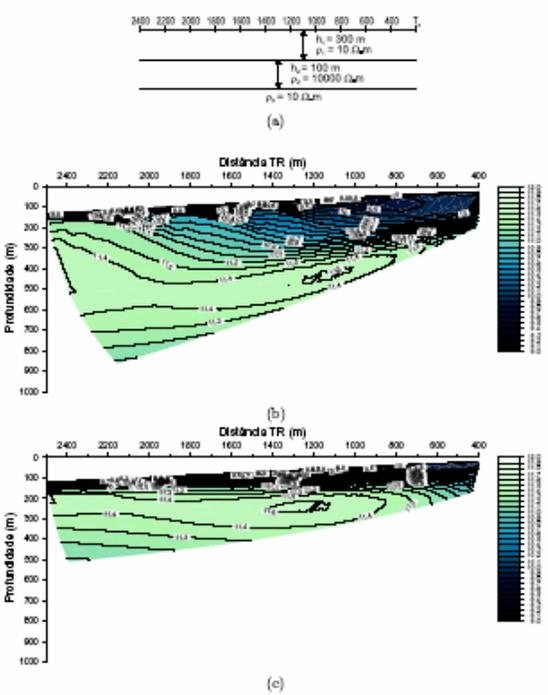


Figura 6 – Pseudo-seção de resistividade aparente: (a) modelo teórico, (b) pseudo-seção com o esquema de Sato (1979) e (c) pseudo-seção gerada com a função empírica