



O método MT marinho aplicado às situações pré-sal na Bacia de Santos.

Vinicius R. Pinto^{1*}, Jean M. Flexor¹, Emanuele F. La Terra¹, Sérgio L. Fontes¹, 1 – Observatório Nacional/ MCT

Copyright 2008, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no III Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém, 26 a 28 de novembro de 2008. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do III SimBGf, 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.

Abstract

Magnetotellurics (MT) is a natural-source, electromagnetic geophysical method of imaging structures below the earth's surface. It is used to map the subsurface Earth's resistivity by measuring the naturally occurring electric and magnetic fields at the Earth's surface. The marine magnetotelluric method (MMT), which is the application of MT method to estimate the sea-floor subsurface resistivity's distribution, has been applied with success to determine the base of salt structures in the Gulf of Mexico. In this study we show the results of a collocated 148 km long MMT profile at Santos Basin in Brazil. The profile cut across salt as well as conglomerate structures with poor seismic image. As a first approach, we used a geological model based on seismic, gravity and well data as a starting model for our regularized inversion procedure. The resulting preliminary 2-D geoelectrical model is able to map the salt as well as the conglomerate structures, estimating the base of the salt at varying depths and reaching a depth of about 8 km at the centre of the profile.

Introdução

O método magnetotelúrico (MT) é um método passivo de exploração geofísica, pois é baseado nos sinais eletromagnéticos naturalmente existentes. Proposto por Tikhonov e posteriormente por Cagniard, ambos na década de 50, a teoria do método baseia-se na resolução das equações de Maxwell para uma distribuição de resistividade uni, bi ou tridimensional. Recentemente, com as aplicações no Golfo do México para o imageamento dos corpos de sal, o MMT vem ganhando destaque na exploração *off shore* de petróleo. No Brasil, foram realizados três perfis MMT na Bacia de Santos (Figura 1), um central e dois laterais (leste e oeste). Os dados utilizados neste trabalho pertencem às 56 sondagens MMT presentes no perfil central que possui orientação NW-SE. As medições foram feitas sob uma

lâmina d'água se estendendo desde 70 m a 1500 m. A sísmica de reflexão, principal método geofísico de exploração, apresenta problemas em resolver estruturas verticais como os domos de sal.

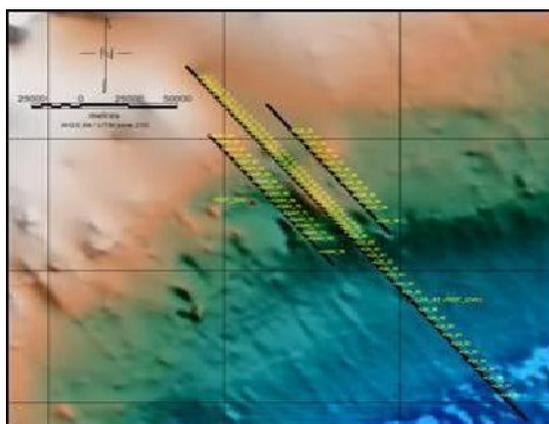


Figura 1: Perfis e estações MMT na Bacia de Santos.

Na tentativa de melhorar a imagem sísmica, principalmente quanto à base do sal, o método magnetotelúrico marinho aparece como uma promissora alternativa. Os altos contrastes de resistividade entre os corpos de sal e os sedimentos circundantes tornam essas estruturas alvos adequados para o imageamento por meios eletromagnéticos. Um modelo inicial do perfil central obtido através de dados sísmicos, gravimétricos e de perfuração foi utilizado com o objetivo de corroborar com o modelo de resistividade MMT. Este foi o primeiro levantamento magnetotelúrico marinho realizado no Brasil e resultados preliminares do processamento das estações pertencentes ao perfil central são apresentados.

O método MMT

O método MMT consiste basicamente na medição das componentes ortogonais do campo eletromagnético em um ponto da superfície do fundo oceânico onde se deseja obter informações sobre a resistividade da sub-superfície. A faixa de frequência utilizada pelo método varia de cerca de 10^{-3} a 1 Hz. A água do mar, bastante condutiva, gera atenuação nos campos elétricos e magnéticos fazendo

Modelo Inicial

Foi utilizado um modelo 2D inicial para o perfil central obtido através de interpretações de dados sísmicos, gravimétricos e de perfilagem. O modelo (Figura 4) mostra as principais estruturas existentes na região. A base dos corpos de sal é estimada estar a profundidades variando de 3 km a aproximadamente 9 km ao longo do perfil e tanto as camadas sedimentares como o embasamento (granito e gnaisses) foram mapeadas com clareza. A estrutura salina está presente sob quase todo o perfil, com uma extensão aproximada de 120 km. A utilização de informações a priori na inversão MMT é uma alternativa que pode aumentar bastante a eficiência do método.

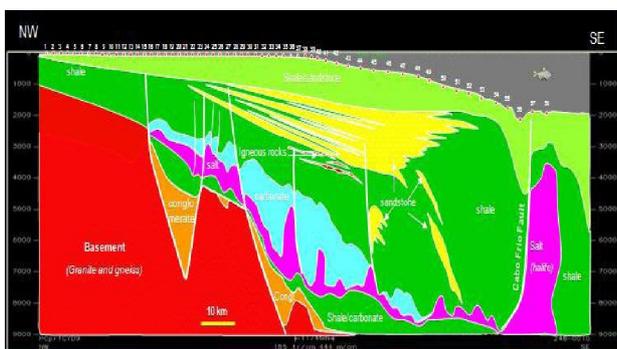


Figura 4: Interpretação geológica baseada em sísmica gravimetria e perfilagem. (A. Zerilli, Com. Pessoal)

Análise dos Resultados

Um primeiro modelo geoeletrico foi obtido através de inversões 2D realizadas utilizando a técnica dos gradientes conjugados não-lineares (NLCG) proposta por Rodi & Mackie (2001). O algoritmo é baseado na regularização de Tikhonov, que busca encontrar modelos suaves para a estrutura de resistividade. A camada de água do mar foi modelada utilizando valores de 0.1 a 0.3 $\Omega.m$.

Os dados apresentaram um tipo de ruído na faixa de 10^{-1} Hz a 1 Hz. Determinadas estações passaram por edições para a eliminação de alguns outliers e remoção de efeitos galvânicos (correção de static shift).

Para a inversão 2D, foram utilizados os modos TE (Transverse Electric) e TM (Transverse Magnetic), sendo que em alguns casos, a curva foi suavizada utilizando a função $D+$. Foram admitidos erros máximos de 6% para a resistividade e fase. A Figura 5 apresenta o modelo geoeletrico obtido através da inversão 2D realizada.

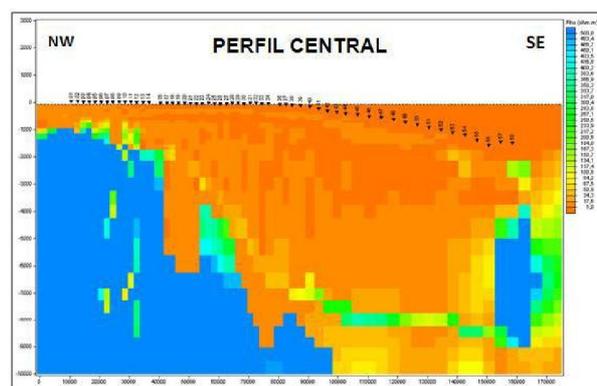


Figura 5: Modelo suave de resistividade gerado pela inversão magnetotelúrica 2D.

A malha utilizada na inversão foi construída por diferenças finitas e cada célula foi admitida possuir um único valor de resistividade. Foram testados meios-espacos iniciais de 100 e 1000 $\Omega.m$ e ambos apresentaram convergência para o mesmo modelo final. O valor de RMS alcançou um mínimo aproximado de 3.2 o que representa um bom ajuste dos dados.

Discussões e Conclusões

Os resultados preliminares aqui apresentados evidenciam a aplicação do método magnetotelúrico marinho com relativo sucesso na Bacia de Santos. Um modelo bidimensional de resistividade foi gerado e a partir dele foi possível retirar informações importantes sobre a sub-superfície do fundo oceânico local. O embasamento foi delimitado estendendo-se desde 1 km até cerca de 9 km de profundidade com uma tendência decrescente até se tornar mais profundo na metade do perfil. A faixa mais condutiva que aparece cortando o embasamento necessita de maior detalhamento para propiciar uma interpretação confiável, no momento, pode indicar desde um efeito da interpolação dos dados quanto uma fratura que pode estar preenchida por sedimentos. A presença das intrusões condutivas no embasamento resistivo foi detectada, representando a seqüência de conglomerados. Os corpos salinos acima desta seqüência não obtiveram boa definição neste modelo preliminar, entretanto já aparece nitidamente uma estrutura resistiva que indica ser a porção do corpo de sal presente na região central do perfil. A base dessa estrutura demonstra estar a uma profundidade de cerca 8 km o que concorda com o modelo de referência apresentado na Figura 4. Abaixo de estruturas como essas se encontram os chamados campos pré-sal, reservatórios gigantes de hidrocarbonetos. Um corpo de grandes dimensões altamente resistivo aparece abaixo das três últimas estações

mostrando ser o domo de sal gigante com a base atingida aos 9 km como mostra o contraste com o sedimento condutivo abaixo. O modelo aponta ainda a existência de uma zona mais condutiva a uma profundidade intermediária de 2 a 3 km representando as camadas de folhelhos e arenitos. Os resultados deste trabalho demonstram a potencialidade do método para auxiliar a sísmica na determinação da posição e profundidade da região sub-sal.

Agradecimentos

Vinicius R. Pinto agradece ao CNPq pela bolsa de estudos. Jean M. Flexor e Sergio L. Fontes agradecem ao CNPq pela bolsa de produtividade. Este estudo integra o projeto "Imageamento Sub-sal pela Utilização Conjunta de Migração Pré-Empilhamento em Profundidade do Método Magnetotélurico Marinho e do Método Gravimétrico", financiado pela Petrobrás, no âmbito da Rede Temática de Geofísica Aplicada.

Referências

Bizzi, L. A., et al., 2003. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 692 pp.

Constable, S. C., et al., 1998. Marine magnetotellurics for petroleum exploration, Part I: A sea-floor equipment system. *Geophysics*, vol. 63, no. 3, pp. 816-825.

Fontes, S. L., 1988. Electromagnetic Induction Studies in the Italian Alps. PhD thesis, University of Edinburg, Scotland.

Hoversten, G. M., et al., 1998. Marine magnetotellurics for petroleum exploration, Part II: Numerical analysis of subsalt resolution. *Geophysics*, vol. 63, no. 3, pp. 826-840.

Hoversten, G. M., et al., 2000. Marine magnetotellurics for base-of-salt mapping: Gulf of Mexico field at the Gemini structure. *Geophysics*, vol. 65, no. 5, pp. 1476-1488.

Jegen, M. D. & Edwards, R. N., 2000. On the physics of marine magnetotelluric sounding. *Geophys. J. Int.*, 142, pp. 000-000.

Karner, G. D. & Driscoll, N. W., 1999. Tectonic and stratigraphic development of the West African and eastern Brazilian margins: Insights from quantitative basin modeling. The oil and gas habitats of the South Atlantic, Geological Society [London] Special Publication 153: 11-40.

Meisling, K. E., Cobbold, P. R. & Mount, V. S., 2001. Segmentation of an obliquely rifted margin, Campos and

Santos basins, southeastern Brazil. *AAPG Bull.*, 85 (11):1903- 1924.

Rodi, W. & Mackie, R. L., 2001. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion. *Geophysics*, vol. 66, no. 1, pp. 174-187.

Tikhonov A. N., 1950. Determination of the electrical characteristics of the deep strata of the earth crust. *Doklady Akademia Nauk*, 73, pp 295-297.

Vozoff, K., 1991. The Magnetotelluric Method, in Nabighian, M. N., Ed., *Electromagnetic methods in applied geophysics*, 2: SEG, pp. 641-711.

Weidelt, P., 1972. The inverse problem of geomagnetic induction. *J. Geophys.*, 38, pp. 257-289.