



Realce do gradiente horizontal total de anomalias magnéticas usando a inclinação do sinal analítico. Parte II - Aplicação a dados reais

Luís Gustavo de Castro (LPGA/UFPR), Francisco José Fonseca Ferreira (LPGA/UFPR), Alessandra de Barros e Silva Bongioiolo (LPGA/UFPR), Marco Antonio Thoaldo Romeiro (LABAP/UFPR), Jeferson de Souza (LABAP/UFPR)

Copyright 2010 SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV 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

We present a method for enhancement of magnetic anomalies which is based on the tilt derivative of the total horizontal gradient. We test its effectiveness by applying it to real (this paper) and synthetic aeromagnetic anomalies and by comparing to other methods previously reported in literature. The results show that the enhanced edges are approximately depth independent. Qualitatively, the enhanced anomalies are superimposed to the solutions obtained by Euler deconvolution. Additionally, our method is less susceptible to noise when compared with methods that also make use of second order derivatives.

Introdução

Mapas de contorno de anomalias magnéticas (e gravimétricas) são rotineiramente utilizados para delinear falhas e contatos geológicos. Tais mapas encerram sinais com grande variação de amplitude, os quais se superpõem e refletem fontes situadas a várias profundidades, com diferentes geometrias e contrastes de susceptibilidade. Além disso, as anomalias magnéticas observadas dependem da direção da magnetização (induzida e remanente) e da direção de aquisição dos dados. Considerando apenas a magnetização induzida, a técnica de redução ao polo (RTP) permite que as anomalias se posicionem diretamente sobre as fontes, minimizando os efeitos da inclinação magnética. Entretanto, a redução ao polo é reconhecidamente instável em baixas latitudes, uma vez que tanto a parte real quanto a imaginária, ambas no denominador da equação do filtro RTP, se aproximam de zero (e.g. Li, 2008). Por outro lado, em correspondência ao mapeamento magnético, vários métodos foram recentemente divulgados com o objetivo de delinear os limites das fontes das anomalias para facilitar a interpretação. Neste trabalho aplicamos a dados reais a técnica denominada ISA-GHT, desenvolvida e testada em dados sintéticos por Ferreira et al. 2010 (neste simpósio). ISA-GHT realça o gradiente horizontal total (GHT) de anomalias magnéticas através da aplicação subsequente da inclinação do sinal analítico (ISA).

Os resultados foram comparados aos obtidos pelos seguintes métodos: amplitude do sinal analítico (ASA - Nabighian, 1972, 1974; Roest et al., 1992), gradiente

horizontal total (GHT - Cordell & Grauch, 1985), inclinação do sinal analítico (ISA - Miller & Singh, 1994), gradiente horizontal total da inclinação do sinal analítico (GHT-ISA - Verduzco et al., 2004), *Theta map* (Wijns et al., 2005) e inclinação do gradiente horizontal total (IGHT - Cooper & Cowan, 2006).

Localização da área de estudo

A área selecionada para os testes, indicada na Figura 1, envolve dados magnéticos pertencentes ao Projeto Aerogeofísico São Paulo - Rio de Janeiro (Área Rio de Janeiro, Subárea 1). Os dados foram levantados em 1978 a uma altura próxima de 150 m (intervalo de amostragem de 100 m), ao longo de linhas de voo na direção N-S, espaçadas de 1.000 m (CPRM, 1995).

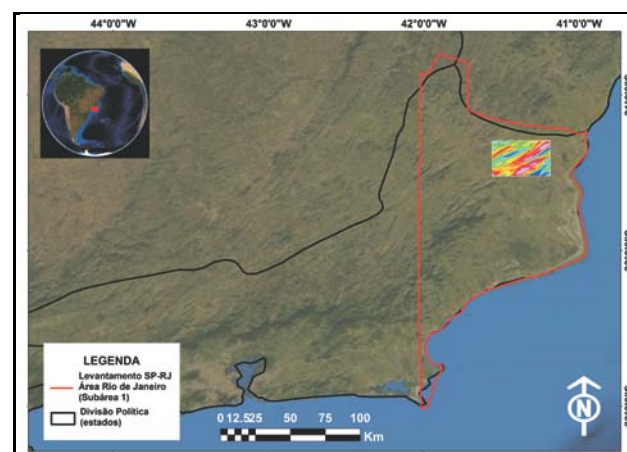


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo indicando a Subárea 1 (linha vermelha), Área Rio de Janeiro do Projeto Aerogeofísico São Paulo - Rio de Janeiro.

Métodos

Inicialmente os dados aeromagnéticos residuais foram interpolados em uma malha regular de 250x250 metros (1/4 do espaçamento nominal das linhas de voo), pelo método da curvatura mínima (Briggs, 1974), os quais foram posteriormente micronivelados (Minty, 1991), resultando no mapa da Figura 2. Posteriormente, tais dados foram reduzidos ao polo (Figura 3) através do algoritmo de Phillips (2007).

Os principais métodos de realce (Figura 4) foram aplicados aos dados magnéticos reduzidos ao polo. Para a deconvolução de Euler (Thompson, 1982) foi empregado o modelo dique (SI=1).

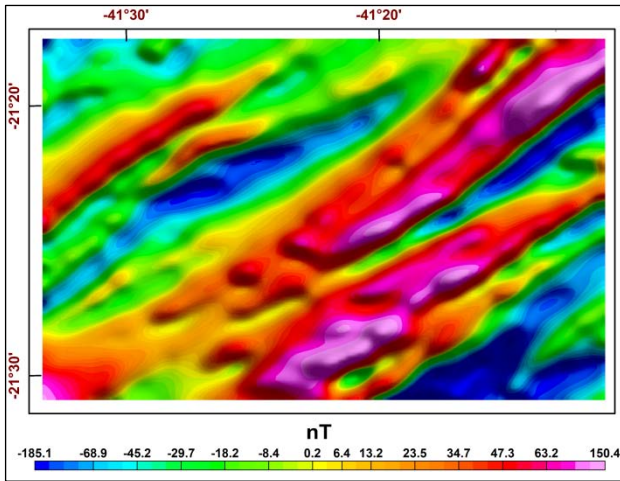


Figura 2 – Mapa de anomalias magnéticas residuais.

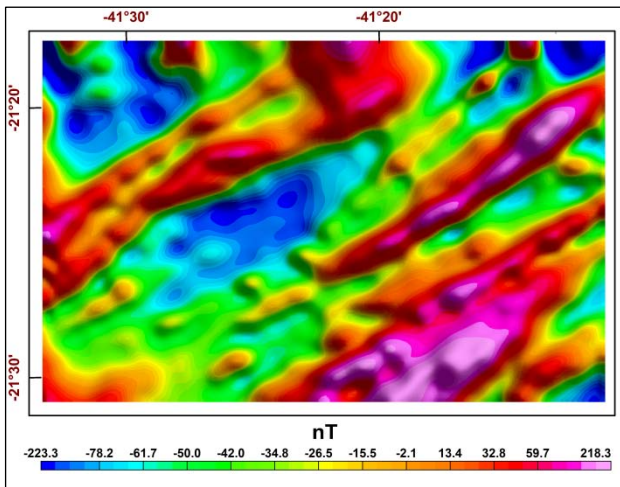


Figura 3 – Mapa de anomalias magnéticas reduzidas ao polo calculado com base nos dados da Figura 2.

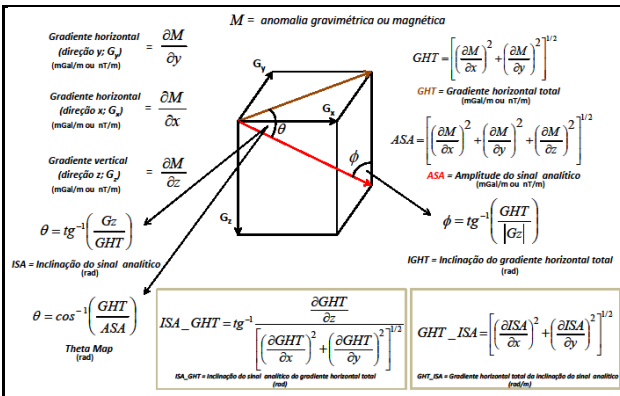


Figura 4 – Principais métodos de realce de anomalias gravimétricas e magnéticas. **ASA** (ASA – Nabighian, 1972, 1974; Roest et al., 1992); **GHT** (THDR - Cordell & Grauch, 1985); **ISA** (TDR - Miller & Singh, 1994); **GHT-ISA** (TDR-THDR - Verduzco et al., 2004); **Theta map** (Wijns et al., 2005); **IGHT** (TDX - Cooper & Cowan, 2006); **ISA-GHT** (THDR-TDR - Ferreira et al., in prep.)

Resultados e Discussão

As soluções de Euler (pontos pretos) foram sobrepostas a todos os mapas discutidos a seguir, com o objetivo de avaliar o posicionamento das fontes (modelo dique, SI=1) em relação às respostas dos métodos indicados na Figura 4.

A Figura 5 exibe os resultados do gradiente horizontal total (GHT), cujos principais atributos são realçar através de máximos e mínimos, respectivamente, as bordas e os centros das fontes (Cordell & Grauch, 1985). Em geral, a maioria das soluções de Euler está sobreposta aos máximos. Entretanto, soluções vinculadas a amplitudes intermediárias também existem (e.g. centro da área), sugerindo que a atenuação do sinal se deve a maior profundidade das fontes (Ferreira et al., neste simpósio), considerando iguais os contrastes de susceptibilidade magnética, as geometrias e as magnetizações das fontes. Comportamento semelhante ocorre no mapa da Figura 6, da amplitude do sinal analítico (ASA, Fig. 6).

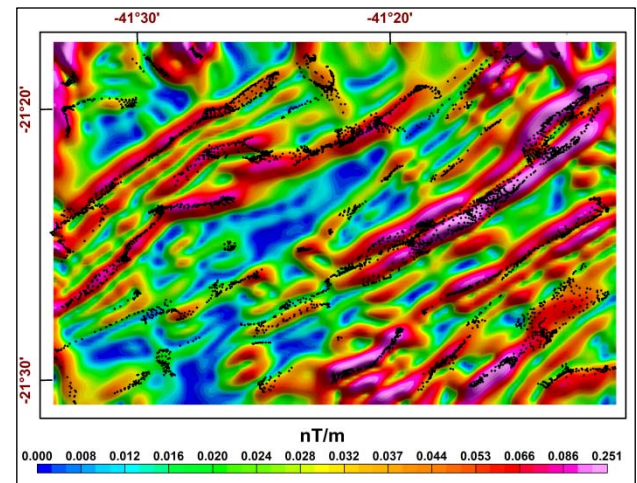


Figura 5 – Mapa do gradiente horizontal total (GHT), calculado com base nos dados da Figura 3, indicando as soluções de Euler.

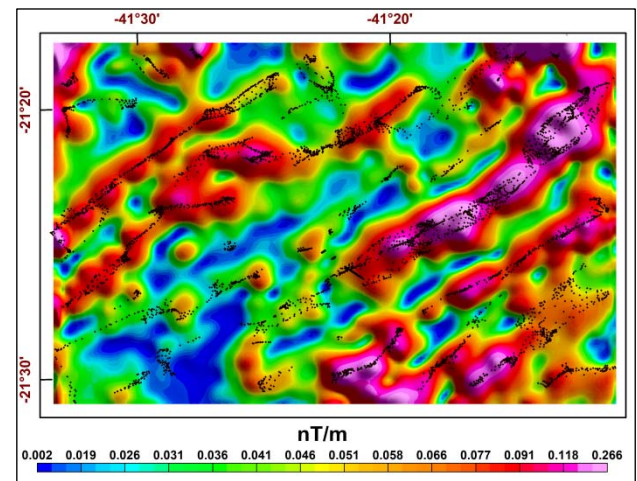


Figura 6 – Mapa da amplitude do sinal analítico (ASA) calculado com base nos dados da Figura 3.

Como reflexo de um dos atributos de ASA (Nabighian, 1972, 1974, Roest et al., 1992), o alinhamento das soluções de Euler (Fig. 6) se dispõe precisamente sobre os máximos (centros das fontes). Como se observa na Figura 6, ASA também posiciona as anomalias sobre os corpos, mesmo que sofra influência da inclinação magnética (Li, 2006).

A Figura 7 mostra o mapa da inclinação do sinal analítico (ISA), introduzido por Miller & Singh (1994), cujos atributos principais são equalizar as amplitudes e posicionar os máximos sobre seus centros, apesar de ISA não constituir um método detector de bordas (e.g. Cooper & Cowan, 2008). Entretanto, este último atributo não é claramente evidenciado na Figura 7 (veja Figura 8 em Ferreira et al., neste simpósio), em correspondência às soluções de Euler, ao contrário da Figura 6, talvez por limitações do procedimento de redução ao polo, uma vez que ISA é influenciada pela latitude magnética (e.g. Verduzco et al., 2004).

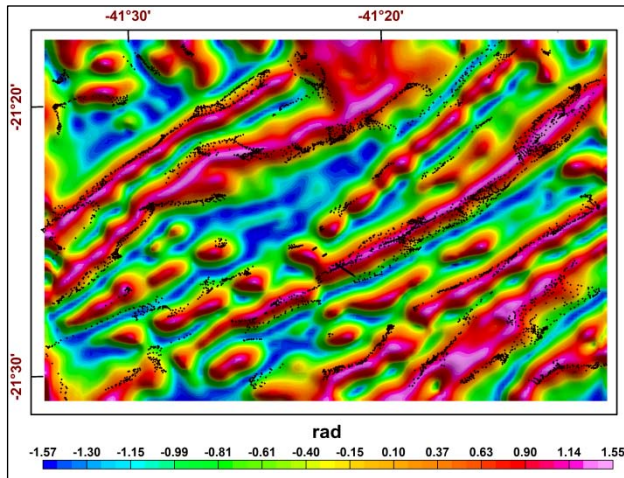


Figura 7 – Mapa da inclinação do sinal analítico (ISA), calculado com base nos dados da Figura 3, indicando as soluções de Euler.

A Figura 8 mostra o mapa do gradiente horizontal total da inclinação do sinal analítico (GHT-ISA), introduzido por Verduzco et al. (2004). Tais autores mostraram que GHT-ISA é independente da inclinação e da intensidade da anomalia magnética, além de realçar e centralizar as máximas amplitudes sobre os limites das fontes. Tais atributos são da maior relevância para a interpretação qualitativa de dados de campos potenciais. Entretanto, apesar da Figura 8 realçar as bordas das fontes pelos máximos, alguns *trends* das soluções de Euler se dispõem sobre amplitudes intermediárias (e.g. porção centro-Norte do mapa), do mesmo modo que nas Figuras 5 e 6, evidenciando a dependência da profundidade dos corpos (Ferreira et al., neste simpósio). Por outro lado, o mapa da inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal (ISA-GHT), indicado na Figura 9, equaliza as amplitudes do sinal, com os máximos situados nas bordas dos corpos e coincidentes às tendências das soluções de Euler. *Theta map* e a inclinação do gradiente horizontal total (IGHT), são mostrados nas Figuras 10 e 11, respectivamente.

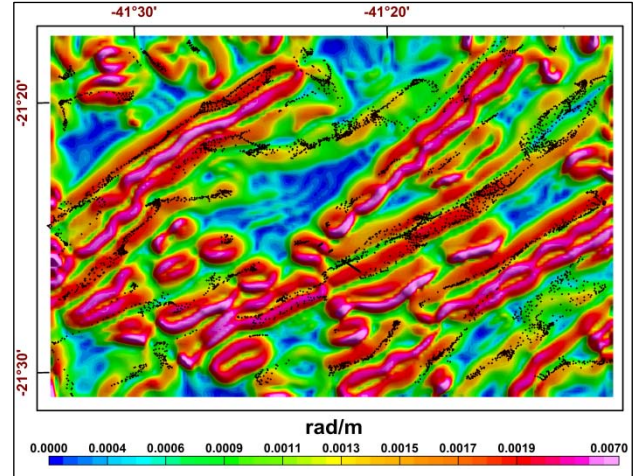


Figura 8 – Mapa do gradiente horizontal total da inclinação do sinal analítico (GHT-ISA), calculado com base nos dados da Figura 3, indicando as soluções de Euler.

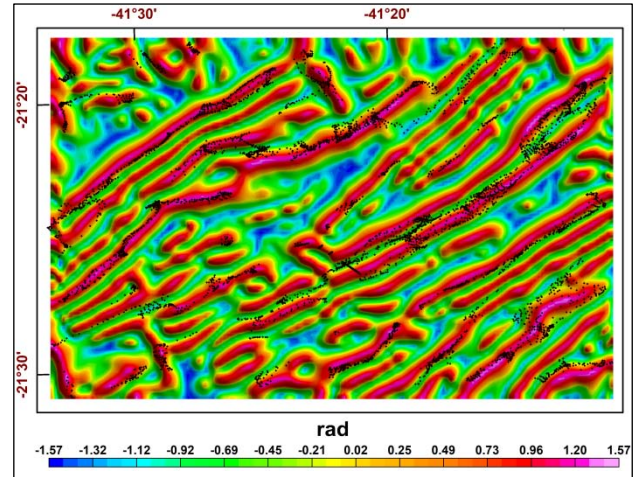


Figura 9 – Mapa da inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total (ISA-GHT), calculado com base nos dados da Figura 3, indicando as soluções de Euler.

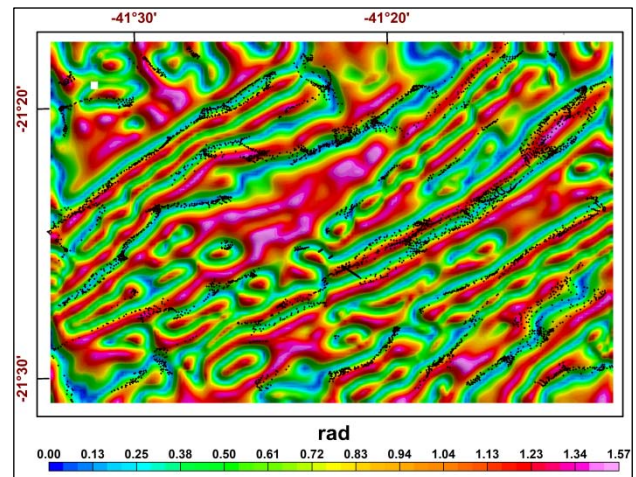


Figura 10 – *Theta map* calculado com base nos dados da Figura 3 indicando as soluções de Euler.

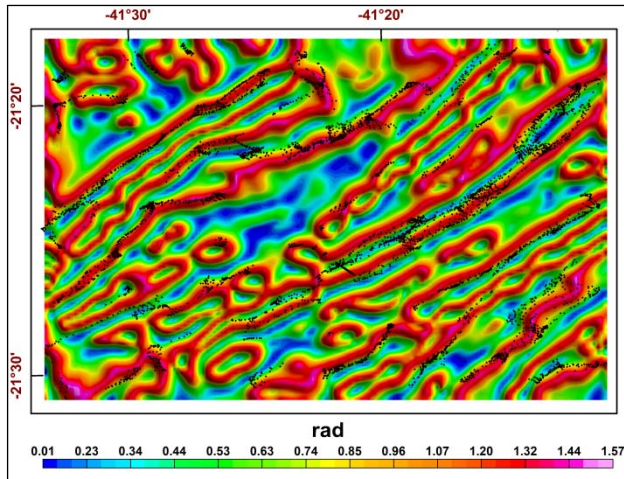


Figura 11 – Mapa da inclinação do gradiente horizontal total (IGHT), calculado com base nos dados da Figura 4, indicando as soluções de Euler.

Theta map e IGHT são equivalentes e de sinais contrários (compare as Figuras 10 e 11), uma vez que:

$$|ISA| = \textit{Theta map} = \pi/2 - \text{IGHT}$$

Conforme ressaltado por Ferreira et al. (2010), neste simpósio, os resultados de *Theta map* (Fig. 10) e IGHT (Fig. 11) são semelhantes aos de ISA-GHT (Fig. 9). Entretanto, *Theta map* e IGHT geram seqüências de artefatos circulares ou elípticos (Figs. 10 e 11), como possível reflexo da superposição de fontes (Ferreira et al., 2010), que na Figura 9 (ISA-GHT) se apresentam como feições lineares e contínuas, melhor refletindo as estruturas geológicas e facilitando a interpretação.

Finalmente, a Figura 12 exibe o mapa de interpretação magnética qualitativa, com as soluções de Euler sobrepostas (pontos vermelhos), cujas tendências estruturais (linhas pretas) foram delineadas pelos máximos da Figura 9.

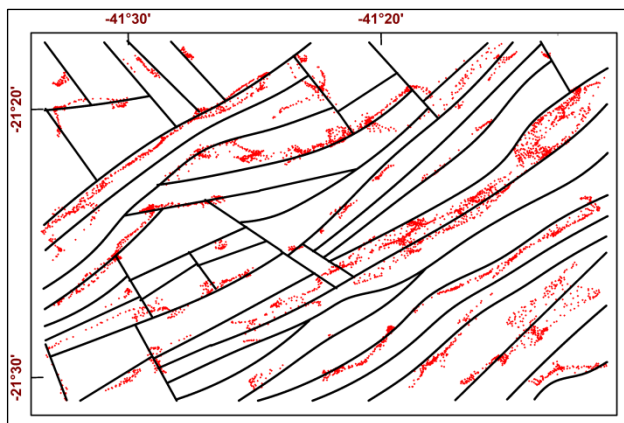


Figura 12 – Mapa de interpretação magnética qualitativa, baseado nos dados da Figura 9, indicando as soluções de Euler.

Conclusões

O método ISA-GHT mostrou resultados satisfatórios, quando aplicado a dados magnéticos reduzidos ao polo, uma vez que suas amplitudes não são fortemente atenuadas em função das profundidades das fontes. Tais resultados se apresentam como feições lineares e contínuas, melhor refletindo as estruturas geológicas, portanto facilitando a interpretação. Por outro lado, *Theta map* e IGHT produzem, em alguns casos, seqüências de artefatos circulares ou elípticos, possivelmente como reflexo da superposição de fontes. Por fim, o método ISA-GHT constitui uma valiosa ferramenta para a interpretação qualitativa de mapas gravimétricos e magnéticos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Petrobras pelo financiamento da pesquisa e a CPRM pela cessão dos dados aerogeofísicos. Agradecem também ao Prof. Dr. Carlos Alberto Mendonça (IAG-USP), ao Prof. Dr. Fernando Guspi (Universidad Nacional de Rosario, Argentina) e ao Dr. Oderson A. de Souza Filho (CPRM) pelas discussões e revisão crítica do manuscrito. F.J.F. Ferreira agradece ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa.

Referências

- BRIGGS IC. 1974. Machine contouring using minimum curvature. *Geophysics*, 39(1): 39-48.
- COOPER GRJ & COWAN DR. 2006. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. *Computers & Geosciences*, 32(10):1585-1591.
- CORDELL L & GRAUNCH VJS. 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In: HINZE WJ (ed). *The Utility of Regional Gravity and Magnetic Anomalies Maps*. Society of Exploration Geophysicists, p.181-197.
- CPRM 1995. Levantamentos Aerogeofísicos – Base de Dados AERO. Catálogo Geral de Produtos e Serviços (Geologia). Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2ª Edição Ampliada, 359p.
- FAIRHEAD JD, SALEM A, WILLIAMS S & Samson E. 2008. Magnetic interpretation made easy: The Tilt-Depth-Dip- ΔK method. *Expanded Abstracts*, Society of Exploration Geophysicists, 27: 779-783.
- Ferreira FJF, Souza J de, BONGIOLO ABS, CASTRO LG de & ROMEIRO MAT. 2010. Realce de anomalias magnéticas do gradiente horizontal total usando a inclinação do sinal analítico. Parte I - Aplicação a dados sintéticos (neste simpósio).
- Ferreira FJF, Souza J de, BONGIOLO ABS, CASTRO LG de & ROMEIRO MAT. 2010. Enhancing the total horizontal gradient of magnetic anomalies using tilt derivative (in prep.).
- LI X. 2006. Understanding 3D analytic signal amplitude. *Geophysics*, 71(2):L13-L16.
- LI X. 2008. Magnetic reduction-to-the-pole at low latitudes: Observations and considerations. *The Leading Edge*, 27(8): 990-1002.

- MILLER HG & SINGH V. 1994. Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, 32(2-3): 213-217.
- MINTY BRS. 1991. Simple micro-leveling for aeromagnetic data. *Exploration Geophysics*, 22(4): 591-592.
- NABIGHIAN MN. 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37(3): 507-517.
- NABIGHIAN MN. 1974. Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics*, 39(1): 85-92.
- PHILIPS JD. 2007. Geosoft eXecutables (GX's) developed by the U.S. Geological Survey, Version 2.0, with notes on GX development from FORTRAN code (Open-File Report 2007-1355), 111p.
- ROEST WR, VERHOEF J & PILKINGTON M. 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal, *Geophysics*, 57(1):116-125.
- VERDUZCO B, FAIRHEAD JD, GREEN CM & Mackenzie C. 2004. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge*, 23(2): 116-119.
- THOMPSON DT. 1982. EULDPH: A new technique for making computerassisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 47(1): 31–37.
- WIJNS C, PEREZ C & KOWALCZYK P. 2005. Theta map: Edge detection in magnetic data. *Geophysics*, 70(4): L39-L43.