

## Exemplos de penetratividade de estruturas geofísico-geológicas do embasamento na Bacia do Amazonas, Brasil

Alessandra de Barros e Silva Bongiolo, LPGA/UFPR, Francisco José Fonseca Ferreira, LPGA/UFPR, Carlos Eduardo Mesquita Barros, UFPR

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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

Geophysical methods as gravimetric and magnetometric are widely applied in the geologic recognition of sedimentary basins, over all in that they occupy great areas, as the Amazon Basin, whose knowledge is limited by the scarcity of accesses, outcrops and perforations. In this context, the present work has as objective to inquire the penetration of the basement structures in the compartmentation of the Amazon basin, and to thus supply subsidies the study of its tectonic evolution, aeromagnetical and gravimetrical data available in the UFPR had been processed and qualitatively interpreted, aiming at to delineate the geophysical trend and to compare it with the main regional structures of the study area. The results had indicated until the moment that the geophysical trends, in some directions, recognized in the displayed basement, are correlated to the basin mega-structures.

### Introdução e Objetivos

Métodos geofísicos como a gravimetria e a magnetometria são largamente aplicados no reconhecimento geológico de bacias sedimentares, sobretudo naquelas que ocupam grandes áreas, como a Bacia do Amazonas, cujo conhecimento é limitado pela escassez de acessos, afloramentos e perfurações. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo averiguar a penetratividade de estruturas do embasamento na compartimentação da Bacia do Amazonas, e fornecer subsídios para o estudo de sua evolução tectônica. Assim, dados aeromagnéticos e gravimétricos disponíveis na UFPR foram processados e qualitativamente interpretados, visando delinear o arcabouço geofísico e cotejá-lo às principais estruturas regionais da área de estudo. Os resultados indicaram até o momento que as tendências geofísicas, em várias direções, reconhecidas no embasamento exposto, se correlacionam a megaestruturação da bacia.

### Localização e Geologia da Área de Estudo

A área objeto de estudo envolve a Bacia do Amazonas e porções contíguas, meridionais e setentrionais, de seu embasamento exposto, conforme indicado na Figura 1. A área perfaz aproximadamente 1.200.000 km<sup>2</sup>, sendo limitada pelas coordenadas geodésicas: -60°00' e -48°00'

de longitude oeste e 00°00' e -08°00' de latitude sul. A Figura 2 mostra o mapa geológico da área de estudo.

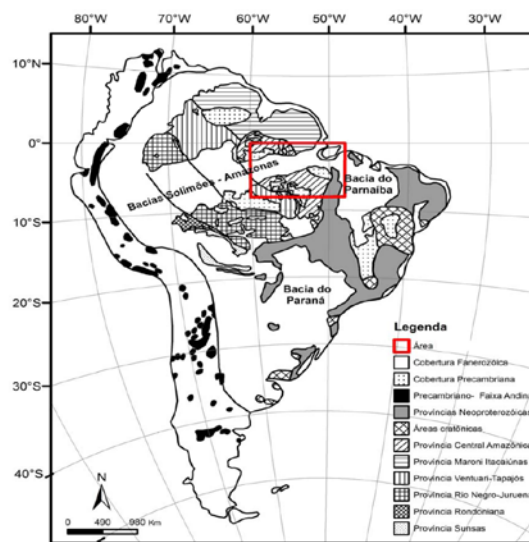


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo no contexto das províncias geológicas da América do Sul (Cordani et al., 2000).

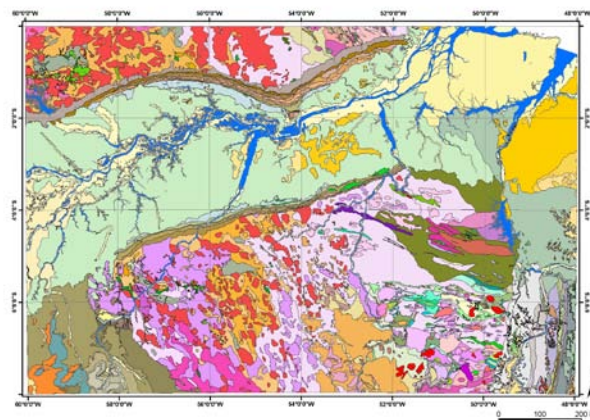


Figura 2 – Mapa geológico da área de estudo (compilado de CPRM, 2004).

### Métodos

A definição das tendências geofísico-estruturais foi baseada em vários métodos de realce de anomalias de campos potenciais. A maioria das técnicas utilizadas está representada esquematicamente na Figura 3. São elas: gradientes horizontais (G<sub>x</sub>, G<sub>y</sub> - Cordell & Grauch, 1985) e vertical (G<sub>z</sub> - Evjen, 1936), amplitude (AGHT) e inclinação (IAGHT) do gradiente horizontal total (Cordell

& Grauch, 1985; Cooper & Cowan, 2006), amplitude do gradiente horizontal total realçado (Fedi & Florio, 2001), inclinação dos gradientes horizontais (IGxGy - Cooper & Cowan, 2007), amplitude (ASA) e inclinação (IASA) do sinal analítico (Nabighian, 1972; Roest et al., 1992; Miller & Singh, 1994), amplitude do sinal analítico composto (Debeglia et al., 2006), gradiente horizontal total da inclinação do sinal analítico e inclinação de Gz/Gx (AGHT\_IASA e IGzGx - Verduzco et al., 2004), Theta map (Wijns et al., 2005), inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total (IASA\_AGHT - Ferreira & Bongiolo, em preparação) Normalized standard deviations method (Cooper & Cowan, 2008), além de alguns semiquantitativos (e.g. Tilt-depth method, Salem et al., 2007; Tilt-depth-dip-ΔK method, Fairhead et al., 2008). Tais técnicas foram aplicadas às malhas originais (magnética e gravimétrica) e continuadas para cima (várias alturas), em correspondência ao incremento da ordem de derivação, no sentido de atenuar os ruídos e verificar a persistência das estruturas em profundidade. Mapas magnetométricos gerados a partir de alguns dos métodos mencionados podem ser visualizados na Figura 4.

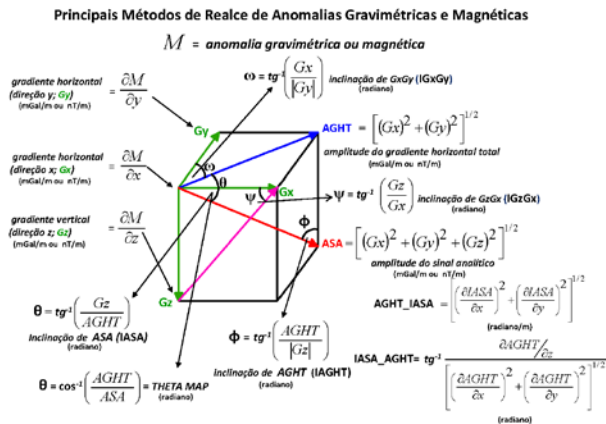


Figura 3 – Representação esquemática dos principais métodos de realce de anomalias de campos potenciais.

**Resultados**

A Figura 5 mostra o mapa magnético residual, o qual denota correspondência aos principais domínios e feições geológicas da área de estudo, com ênfase nas províncias Carajás/lamatata, Amazônia Central e Faixa Araguaia, além da linha de charneira e do eixo deposicional da bacia.

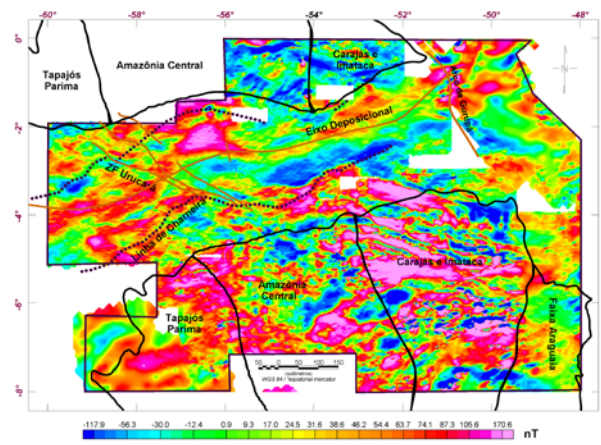


Figura 5 – Mapa magnético residual indicando as principais províncias da área de estudo (Santos et al., 2000), o Arco de Gurupá, o eixo deposicional, a linha de charneira da bacia (Wanderley Filho, 1991) e a Zona de Falha Transcorrente de Uruará (Costa, 2002).

O mapa da inclinação do sinal analítico (Figura 6), construído a partir dos dados do campo magnético continuado para 10000 metros, exhibe com clareza o depocentro da bacia, assim como seu deslocamento pela falha transcorrente Faro-Juruti e ainda a Zona de Falha de Uruará. Em geral, notam-se vínculos dos lineamentos do embasamento e as falhas transcorrentes da bacia (e.g. Altamira, Santarém e Faro-Juruti).

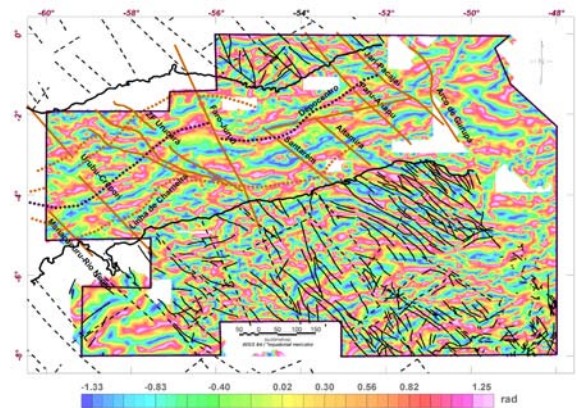


Figura 6 – Mapa da inclinação do sinal analítico (10000m), indicando em marrom as falhas transcorrentes da bacia (Wanderley Filho, 1991) e os lineamentos do embasamento em preto tracejado (Cordani et al., 2000) e preto (CPRM 2004).

A Figura 7 exhibe o mapa de interpretação geofísica, construído com base na análise dos mapas da Figura 4, no qual estão indicados os principais lineamentos geológicos. Observa-se que as tendências magnéticas segundo a direção geral NW-SE, presentes no embasamento, traspassam a bacia, como evidenciado, por exemplo, ao longo da zona de falha de Uruará e demais feições a ela subparalelas. A penetratividade de estruturas do embasamento na bacia também pode ser ilustrada pelo feixe de lineamentos magnéticos de direção WNW-ESE, centrado nas coordenadas -52°W/-

4°S. Por outro lado, no contexto da bacia, prevalecem feições magnéticas na direção NE-SW, ao contrário do observado no embasamento. Tais feições magnéticas delineiam o depocentro da bacia, o qual coincide com o eixo de máximo gravimétrico, ambos deslocados pelo lineamento Faro-Juruti. A zona de falha transcorrente Faro-Juruti, preferencialmente na bacia, parece separar dois domínios magnéticos: um oriental, onde dominam direções magnéticas ENE-WSW e outro ocidental onde sobressaem tendências NE-SW. É interessante ainda notar na Figura 7 que a segmentação do eixo de máximo gravimétrico é paralela aos lineamentos magnéticos em ambos os domínios.

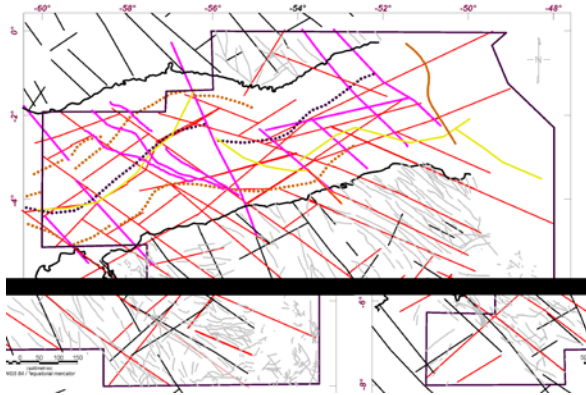


Figura 7 – Mapa de interpretação preliminar do arcabouço estrutural da área de estudo com base nos dados magnéticos e gravimétricos. Lineamentos geológicos: magenta, marrom e preto pontilhado (Wanderley Filho, 1991); preto (Cordani et al., 2000) e cinza (CPRM 2004). Lineamentos geofísicos: magnetométricos em vermelho e gravimétricos em amarelo.

### Discussão

Em geral, o quadro tectônico do embasamento (Figs. 6 e 7) exibe feições estruturais dispostas predominantemente segundo NNW-NW (e.g. Almeida et al., 1977; Cordani et al., 1984; Hasui et al., 1984; Hasui, 1990; Costa et al., 1991a; Costa, 2002), as quais persistem para o interior da Bacia do Amazonas (e.g. Costa et al., 1991b; Wanderley Filho, 1991; Wanderley Filho et al., 2006; Costa, 2002). Por outro lado, estruturas NE, comuns na bacia (e.g. Costa, 2002), não são evidenciadas claramente no embasamento. Entretanto, por exemplo, na porção setentrional do escudo, vários lineamentos de direção NE têm sido cartografados como falhas, fraturas ou diques de diabásio (Vasquez e Rosa-Costa, 2008). Grandes lineamentos de natureza dúctil a dúctil-rúptil, reconhecidos naquela porção setentrional do embasamento, são representados pelo cinturão de cisalhamento Kamudku, cuja datação Ar-Ar em minerais de rochas miloníticas forneceu a idade de 1,2 Ga (Fraga, 2003). Este cinturão atravessa o Estado de Roraima, seguindo a direção NE, até atingir a Guiana e o Suriname. Há que se ressaltar o quase paralelismo dos atuais limites da Bacia do Amazonas e a direção do Cinturão Kamudku, sugerindo algum controle posterior à instalação da bacia sedimentar. Nas vizinhanças deste cinturão e paralelo a ele, há um conjunto de falhas normais sintéticas que resultaram no hemigráben do

Tacutu, de idade mesozóica (Costa et al., 1991c). Segundo tais autores, as anisotropias estruturais mesoproterozóicas do cinturão de cisalhamento teriam influenciado a implantação do hemigráben. É possível, portanto, que grande parte das falhas e fraturas de direção NE identificadas na área de estudo seja o reflexo de esforços ligados à reativação de estruturas ligadas ao Cinturão Kamudku, contemporaneamente ao desenvolvimento do hemigráben do Tacutu. Assim, estruturas rúpteis de direção NE identificadas na Bacia do Amazonas poderiam ter origem relacionada a descontinuidades estruturais herdadas dos domínios do embasamento.

### Conclusões

No atual estágio da pesquisa foi possível observar que os lineamentos geofísicos demarcaram as linhas de charneira e zonas de falhas normais e reversas de direção NE-SW da bacia. Também foram geofisicamente reconhecidas descontinuidades NW-SE, comuns ao embasamento e a bacia, relacionadas às principais zonas de falhas transcorrentes. Finalmente, são sugeridos vínculos das tendências NE identificadas na bacia com estruturas do embasamento.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a Petrobras pelo financiamento da pesquisa e a CAPES pela cessão de bolsa de doutoramento. F.J.F. Ferreira agradece ao CNPq pela bolsa de Produtividade em Pesquisa.

### Referências Bibliográficas

- Almeida, F.F.M., Y. Hasui, B.B.B. Neves, H.A. Fuck, 1977, Províncias Estruturais Brasileiras. Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande, 363-391.
- Cooper, G.R.F., and D.R. Cowan, 2006, Enhancing potential field data using filters based on the local phase, *Computers & Geosciences*, 33, 1585-1591.
- Cooper, G.R.F., and D.R. Cowan, 2007, Enhancing linear features in image data using horizontal orthogonal gradient ratios, *Computers & Geosciences*, 33, 981-984.
- Cooper, G.R.F., and D.R. Cowan, 2008, Edge enhancement of potential-field data using normalized statistics, *Geophysics*, 73, H1-H4.
- Cordani, U. G.; B.B.B. Neves, R.A. Fuck, R. Porto, A. Thomaz Filho, F.M.B. Cunha, 1984, Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras, Rio de Janeiro, Petrobras, Série Ciência-Técnica-Petróleo, Seção Petróleo, 15, 70p.
- Cordani, U.G., K. Sato, W. Teixeira; C.C.G. Tassinari, M.A.S. Basei, 2000. Crustal Evolution of the South American Plattaform. In: Cordani U.G., Milani, E.J., Tomas Filho, A., Campos, D.A. (Eds.). *Tectonic Evolution*



of South America. 31st Int. Geol. Cong., Rio de Janeiro, p.19-40.

**Cordell, L., and V. Grauch**, 1985, Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New México. In: W. Hinze, ed., *Utility of regional gravity and magnetic maps*: SEG, 181-197.

**Costa J.B.S., R.V.L. Pinheiro, X.S.J. João, O. J. B. Araújo**, 1991a, Esboço Estrutural do Proterozóico Médio da Amazônia Oriental. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, 3, 9-23.

**Costa J.B.S., H. L. S. Igreja, M. S. Borges, Y. Hasui**, 1991b, Tectônica meso-cenozóica da região norte do Brasil, *Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 3, Rio Claro, UNESP/SBG, 108-110.

**Costa J.B.S., R.V.L. Pinheiro, N.J. Reis, M.R. Pessoa, S.S. Pinheiro**, 1991c, O Hemigraben do Tacutu: uma estrutura controlada pela geometria do Cinturão de Cisalhamento Guiana Central, *Geociências, Unesp, Rio Claro, São Paulo*, 10, 119-130.

**Costa, A.R.A.** 2002. Tectônica cenozóica e movimentação salífera na Bacia do Amazonas e suas relações com a geodinâmica das placas da América do Sul, Caribe, Cocos e Nazca. Tese de Mestrado, Centro de Geociências, UFPa, 237p.

**CPRM**, 2004, Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo*.

**Debeglia, N., G. Martelet, J. Perrin, C. Truffert, P. Ledru and B. Tourlière**, 2006, Semi-automated structural analysis of high resolution magnetic and gamma-ray spectrometry airborne surveys, *Journal of Applied Geophysics*, 58, 13-28.

**Evjen, H.M.**, 1936, The place of vertical gradient in gravitational interpretations. *Geophysics*, 1, 127-136.

**Fairhead, J.D., A. Salem, S. Williams and E. Samson**, 2008, Magnetic interpretation made easy: Tilt-depth-dip- $\Delta K$  method, *SEG Annual Meeting, Las Vegas, USA*, 779-783.

**Fedi, M., and G. Florio**, 2001, Detection of potential fields source boundaries by enhanced horizontal derivative method, *Geophysical Prospecting*, 49, 40-58.

**Ferreira, F.J.F., A.B.S. Bongioio**, Inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal e sua comparação com outros métodos de realce de anomalias de campos potenciais. *Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada, LPGA/UFPR, Curitiba-Pr (em preparação)*.

**Fraga L.M.**, 2003, A associação Anortosito-Mangerito-Granito Rapakivi (AMG) do Cinturão Guiana Central, Roraima, e suas encaixantes paleoproterozóicas: Evolução Estrutural, Geocronologia e Petrologia. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, UFPa, 351p.

**Hasui, Y.**, 1990, Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil, *Workshop sobre neotectônica e sedimentação cenozóica continental no sudeste brasileiro*, 1, Belo Horizonte, SBG, 766-771.

**Hasui, Y., N.L.E. Haraly, C. Schobbenhaus**, 1984, *Elementos geofísicos e geológicos da região amazônica:*

subsídios para o modelo geotectônico, *Symposium Amazônico*, 2, Manaus, 1, 129-147.

**Miller, H.G., and V. Singh**, 1994, Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, 32, 213-217.

**Nabighian, M. N.**, 1972, The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37, 507-517.

**Roest, W.R.J., J. Verhoef, and M. Pilkington**, 1992, Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal, *Geophysics*, 57, 116-125.

**Salem, A., S. Williams, J.D. Fairhead, D. Ravat and R. Smith**, 2007, Tilt-depth method: A simple depth-estimation method using first-order magnetic derivatives, *The Leading Edge*, 26, 1502-1505.

**Vasquez, M.L., L.T. Rosa-Costa**, 2008, *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará, Sistema de Informações Geográficas - SIG. Companhia de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil*, 328p.

**Verduzco, B., C. Fairhead, C. Green, and C. Mackenzie**, 2004, New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge*, 23, 116-119.

**Wanderley Filho, J.R.**, 1991, Evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento. *Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, UFPa*, 125p.

**Wanderley Filho, J.R., W. A. S. Travassos and D. B. Alves**, 2006, O diabásio nas bacias paleozóicas amazônicas - herói ou vilão?, *Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro*, 14, 177-184.

**Winjs, C., C. Perez, P. and Kowalczyk**, 2005, Theta Map: Edge detection in magnetic data, *Geophysics*, 70, L39-L43.

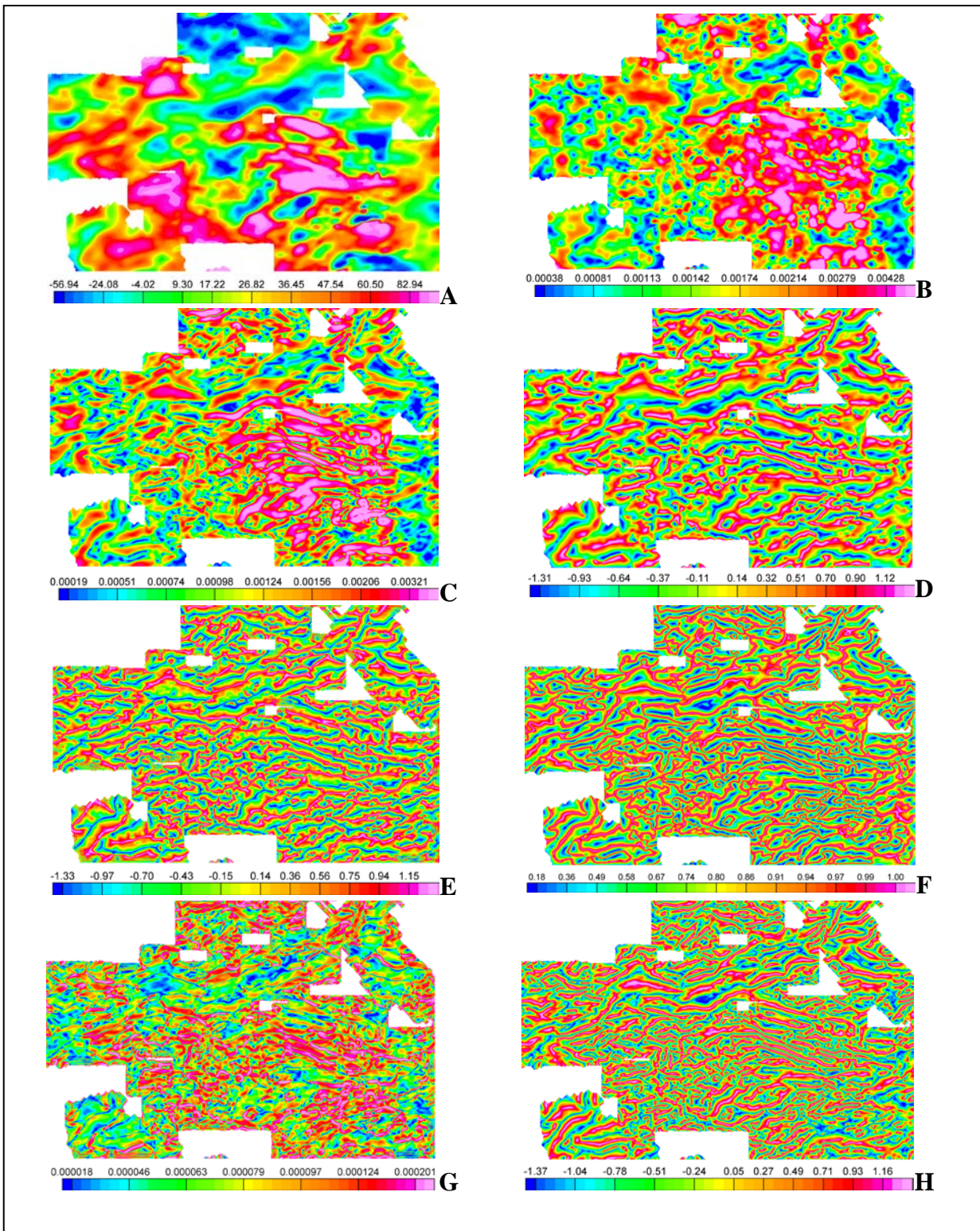


Figura 4 - Mapas magnéticos da área de estudo. (A) mapa magnético continuado para 10.000m; (B) mapa da amplitude do sinal analítico; (C) mapa da amplitude do gradiente horizontal total; (D) mapa da inclinação de ordem zero do sinal analítico; (E) mapa da inclinação de ordem um do sinal analítico; (F) Theta map; (G) mapa da amplitude do gradiente horizontal total da inclinação do sinal analítico; (H) mapa da inclinação do sinal analítico da amplitude do gradiente horizontal total.