

Identificação e análise de estruturas magnéticas e geomorfológicas no nordeste de Minas Gerais

Guilherme Ferreira da Silva* IGD/UnB; Mônica G. Von Huelsen SIS/UnB; Arthur Areal Braga YAMANA GOLD; José Oswaldo de Araújo Filho IGD/UnB e George Sand França SIS/UnB

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th 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

The work presented here examines and, when possible, correlates interpreted magnetic structures to the relief lineaments obtained, comparing them with each other through the statistical method of polar histogram (Rose Diagrams). The relief lineaments were extracted based on the shaded relief images constructed by the Digital Elevation Model of the SRTM mission resampled by TOPODATA Project. The magnetic lineaments were interpreted here based on maps derived from the total magnetic field of first order. The Euler Deconvolution was used to provide the depth of magnetic anomalies in nature punctual, linear or planar. As an example, being shown a modeling case of intrusive body located on the work area.

INTRODUÇÃO

O reconhecimento de padrões característicos e de feições anômalas em relação a unidades e estruturas geológicas é um dos primeiros passos para interpretação qualitativa em mapas magnetométricos (NABIGHIAN *et al.* 2005).

O objetivo proposto é identificar algumas estruturas magnéticas e de relevo interpretadas a partir dos dados do aerolevanteamento da região de Minas Novas, Riacho dos Machados e Espinosa, conhecido como ÁREA 8 dos aerolevanteamentos do estado de Minas Gerais, com a finalidade de compará-las utilizando análises qualitativas representadas por histogramas polares (diagrama de roseta).

Os dados do aerolevanteamento utilizado cobrem o limite entre o Cráton São Francisco e Orógeno Araçuaí (Fig. 1). Este levantamento foi encomendado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) e executado pela Prospectors Aerolevanteamentos e Sistemas LTDA durante o ano de 2006 e posteriormente liberado ao público. Somados, os dados recobrem quase 90.000 km com linhas de voo e de controle, espaçadas 0,5 km e 10 km e orientadas nas direções N25W e N65E, respectivamente.

Como contexto geológico, o orógeno Araçuaí representa um orógeno confinado neoproterozóico, formado a partir da colisão entre os crátons São Francisco e Congo durante o evento Brasiliano-Panafricano (PEDROSA-SOARES *et al.* 2007). Devido a sua natureza confinada apresenta um grande número de intrusões associadas a vários momentos de sua evolução geotectônica, variando do magmatismo bimodal associado à fase de *rift* continental até a formação de granitos aluminosos (tipo S) formados em ambientes tectônicos com alta fugacidade de oxigênio.

Baseado neste aspecto e em informação geológica prévia, o presente trabalho se propõe também a demarcar limites magnéticos associados às intrusões aflorantes ou não, atribuídas às diversas fases de evolução do orógeno Araçuaí, estudando também a forma e a profundidade de um dos corpos identificados utilizando modelagem tridimensional.



Figura 1: Localização do Aerolevanteamento Área 8 no limite entre Cráton São Francisco e o Orógeno Araçuaí, porção nordeste de Minas Gerais (PROSPECTORS, 2006).

MÉTODO DE PESQUISA

O presente trabalho apresenta dados analisados sob a ótica qualitativa e também semi-quantitativa, podendo assim dividi-lo em duas fases.

A fase qualitativa tem como base o conhecimento litológico e tectônico prévio do orógeno Araçuai dentro da área de trabalho, partindo das informações fornecidas por Bizzi *et al.* (2005) e Pedrosa-Soares *et al.* (2007) na forma de interpretações tectônicas e mapa geológico (Fig. 2a)

Os dados aeromagnéticos utilizados no presente trabalho foram tratados utilizando o *software* Oasis Montaj™. A partir do banco de dados bruto, obteve-se a imagem do Campo Magnético Total Posteriormente subtraiu-se o IGRF obtendo-se o Campo Magnético anômalo (CMA) e aplicando a transformada de Fourier foi gerada a imagem da primeira derivada do CMA (Fig. 2b).

Por último e, ainda dentro da etapa qualitativa, a análise de formas e padrões lineares de relevo se deu através da interpretação baseada em uma imagem de relevo sombreado com falsa cor do tipo mapa hipsométrico (Fig. 2c), Esta foi criada a partir de um modelo digital de elevação fornecido pelo Projeto Topodata (VALERIANO, 2005), que consistiu em uma interpolação entre os dados da missão SRTM com outros dados altimétricos levantados pelo governo brasileiro. Conferindo assim, uma resolução de 30 metros em planta e perfil, sendo portanto favorável a análises de escala regional e de semi-detalhe (até 1:100.000).

A inspeção de limites magnéticos, efeitos de deslocamento de estruturas, feições sigmoidais (indicadores cinemáticos) e variações litológicas consistem no cerne da análise qualitativa de dados aerogeofísicos (GUNN *et al.* 1997). Deste modo, o método utilizado consistiu em traçar feições lineares em ambos parâmetros, através de uma plataforma de Sistema de Informações Geográficas, criando um banco de dados que armazena informações de início e fim das feições interpretadas, permitindo associar informações como azimute e comprimento do lineamento.

Os dados de lineamentos magnéticos e de relevo foram compilados e apresentados sob a forma de diagramas de rosetas bidirecionais, com intervalo de setor na ordem de 10°, apresentando portanto 18 direções a serem consideradas para análise de similaridade entre as direções..

A fase semi-quantitativa consiste na aplicação da Deconvolução de Euler para localização de profundidade de anomalias geofísicas (REID *et al.* 1990). O método da Deconvolução de Euler é considerado neste trabalho como semi-quantitativo baseado no fato de que não se tem o controle sobre o erro associado aos valores de profundidade de fontes de anomalias fornecidas através da solução da equação de Euler. Além disso, apresenta deficiências irremediáveis quanto à formação de nuvens de soluções indesejáveis em ambientes com alta complexidade geológica, simplificando a modelagem das feições com mesmo índice estrutural para uma determinada janela de dados (BARBOSA e SILVA, 2005)

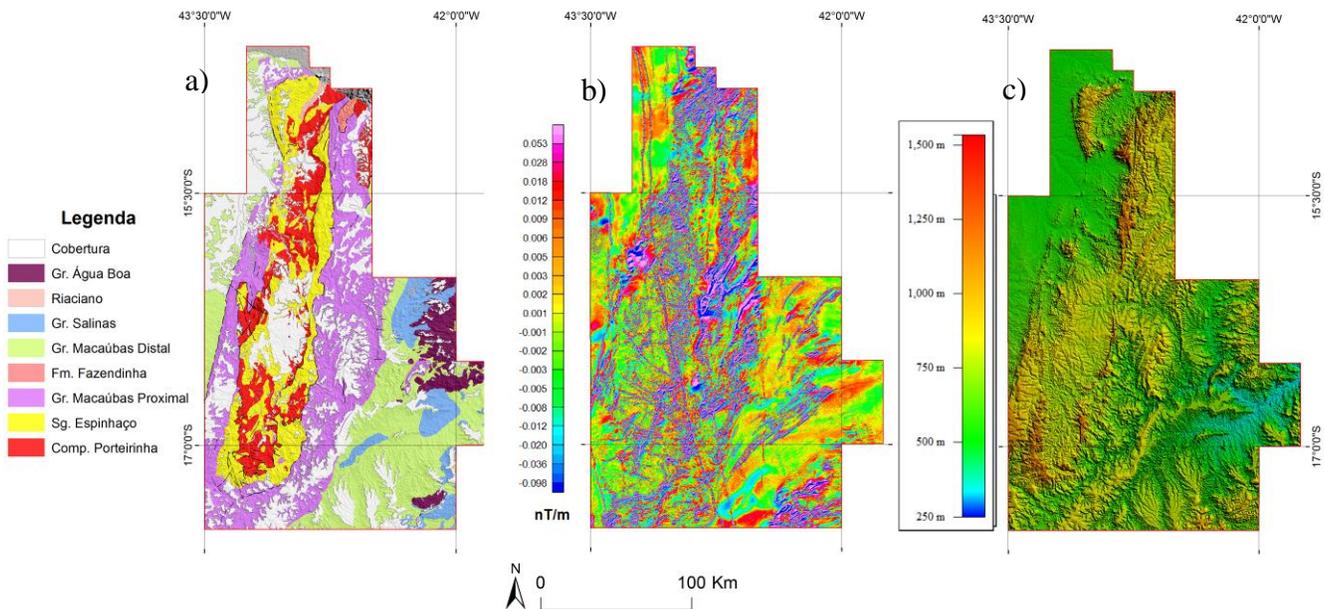


Figura 2: Caracterização Geológica, geomorfológica e magnética da Área de Estudo, onde é possível reparar as similaridades encontradas em alguns domínios. a) Mapa Geológico simplificado da Área de Estudo (modificado de Bizzi *et al.* 2003). b) Mapa da Primeira derivada Vertical do Campo Magnético Anômalo. Os valores positivos estão mostrados em tons de cores quentes e os valores negativos estão mostrados em tons de cores frias c) Mapa hipsométrico da área de estudo. As maiores altitudes estão mostradas como cores quentes, enquanto as menores em cores frias.

ANÁLISE QUALITATIVA

Os resultados das interpretações qualitativas são apresentados na forma de mapas de lineamentos, com identificações de domínios de feições circulares atribuídas às diversas intrusões alojadas no orógeno Araçuaí e no limite com o Cráton.

O mapa de lineamentos magnéticos (Fig. 3) apresenta a disposição das interpretações de feições lineares indicadas. Pode-se observar 248 feições lineares com média de 12 km e máximo de 314 km de comprimento.

Foram identificadas e numeradas também possíveis intrusões (i1 a i13) através das feições circulares ou elipsoidais apresentadas no mapa da Fig. 2b. Estes corpos apresentam variações bruscas quanto a natureza da susceptibilidade magnética, exibindo valores altos e baixos, o que permite sugerir composições ígneas distintas para os mesmos.

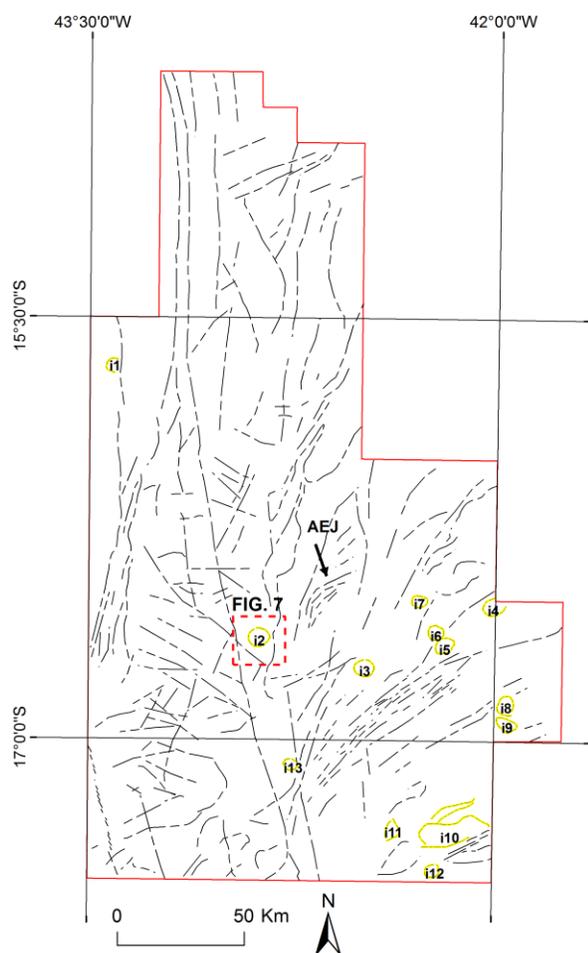


Figura 3: Mapa de Lineamentos Magnéticos interpretados a partir da Primeira Derivada do Campo Magnético Anômalo (Fig. 2b). Os círculos amarelos representam corpos intrusivos destacados. O retângulo pontilhado vermelho indica a área da Fig. 7. AEJ: Alto Estrutural de Josenópolis.

A feição similar a uma dobra com sigmóides no interior, indicada na figura como AEJ é atribuída ao domínio do Alto Estrutural de Josenópolis, discutido por Silva *et al.* (2012) e Silva *et al.* (2013). Esta feição apresenta distinção dos seus vizinhos em termos de susceptibilidade, o que permitiu demarcar com alguma confiança o seu domínio.

A compilação dos lineamentos magnéticos é mostrada no diagrama de roseta a seguir (Fig. 4), com vetor médio na direção $049,3^{\circ}/229,3^{\circ}$ e o setor mais representativo na direção $060^{\circ}/240^{\circ}$, que representa 10,1% dos dados analisados. As duas principais direções mostradas são perpendiculares entre si, portanto o setor $060^{\circ}/240^{\circ}$ e o setor $330^{\circ}/150^{\circ}$.

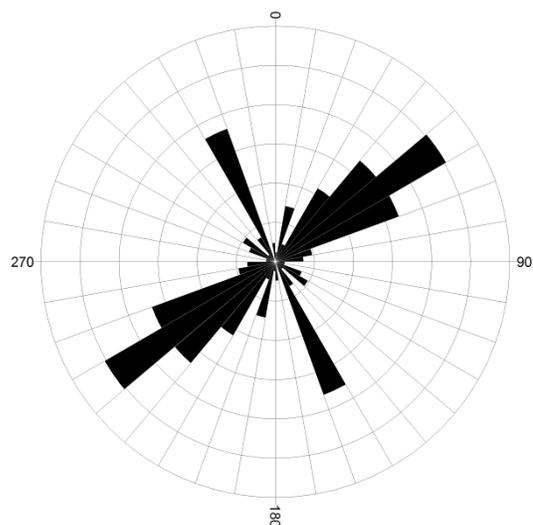


Figura 4: Roseta de Lineamentos Magnéticos construída a partir das informações extraídas na Figura 3. Vetor Principal na direção $049,3^{\circ}/229,3^{\circ}$.

O mapa de lineamentos de relevo (Fig. 5) apresenta a disposição das interpretações de feições lineares indicadas. Apresenta 236 feições lineares com média de 6 km e máximo de 120 km de comprimento. Feições de relevo como as falhas do Supergrupo Espinhaço, Rio Araçuaí e Rio Jequitinhonha representam as principais zonas de cisalhamento identificadas, assim como foi possível demarcar o limite norte da área de influência em superfície do Alto Estrutural de Josenópolis.

Para a análise de feições de relevo, utilizou-se uma escala regional de reconhecimento, portanto, não é possível observar todos os casos de traços das estruturas causadas pelo arqueamento das rochas nas cúpulas das intrusões mais raras, salvo exceção da intrusão i10, com maior área dentre as demais.

A compilação dos lineamentos de relevo é mostrada em um diagrama de roseta abaixo (Fig. 6), com vetor médio na direção $058,2^{\circ}/238,2^{\circ}$ e o setor mais representativo na direção $060^{\circ}/240^{\circ}$, que representa 10,6% dos dados analisados.

Em segundo plano, o setor de direção $340^{\circ}/160^{\circ}$ apresenta-se destacado dos demais, fornecendo uma

provável direção perpendicular a principal, porém sem tanta expressividade nos principais lineamentos regionais.

Pode-se observar que a direção $060^{\circ}/240^{\circ}$ é a direção principal dos lineamentos extraídos nas duas imagens de natureza distinta, o que confirma a forte correlação entre lineamentos magnéticos e lineamentos de relevo (zonas de cisalhamento, falhas, fraturas) apresentados nesta direção. Grandes lineamentos magnéticos que medem até 300 km de comprimento e apresentam direção geral de $340^{\circ}/160^{\circ}$ não possuem qualquer lineamento correlato em superfície. Tal fato, juntamente com os altos valores de susceptibilidade magnética atribuído a estas feições, pode sugerir que se tratam de intrusões tabulares de rochas máficas (diques), e pelo porte e linearidade imperturbada através dos variados litotipos, sugere que os mesmos não sofreram deformações por evento orogênico, portanto, podem ser atribuídos ao evento de abertura do Atlântico, já no fanerozóico.

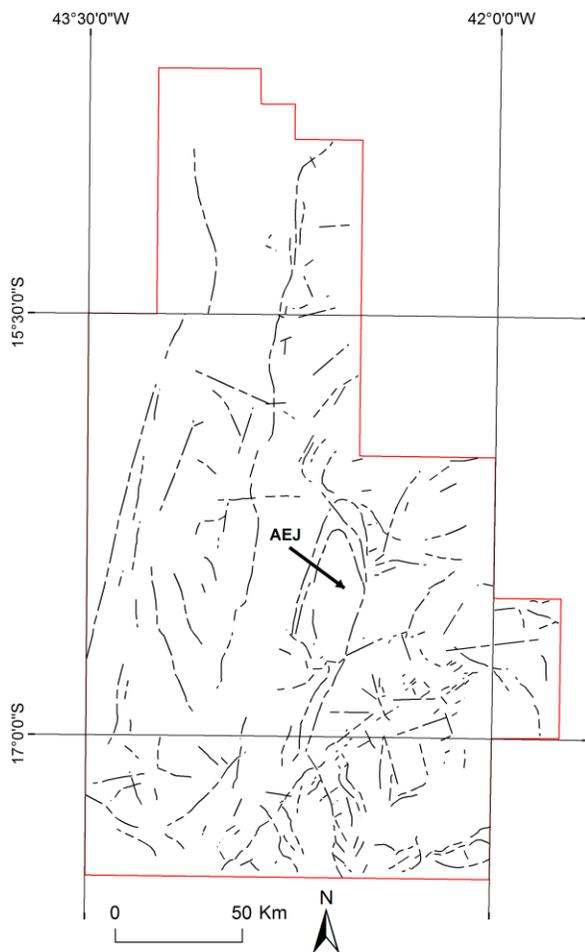


Figura 5: Mapa de Lineamentos de Relevo interpretados a partir do modelo digital de elevação (Fig. 2c). É possível observar feições similares entre estes lineamentos e aqueles apresentados na Fig. 3.

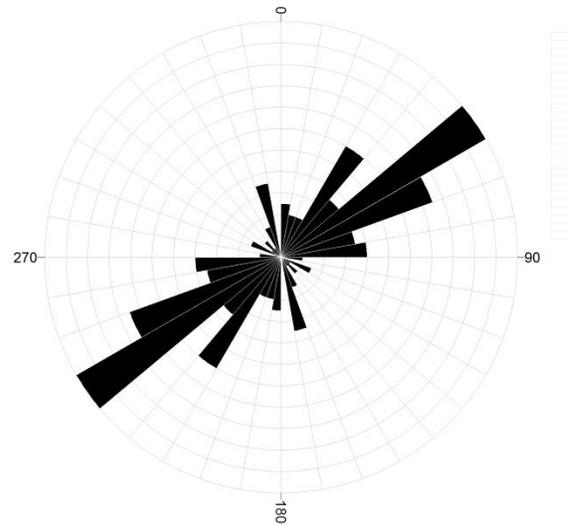


Figura 6: Roseta de Lineamentos de Relevo construída a partir das informações extraídas na Figura 5. Vetor Principal na direção $058,2^{\circ}/238,2^{\circ}$.

ANÁLISE SEMI-QUANTITATIVA

O método da Deconvolução de Euler foi aplicado para o corpo intrusivo i2 demarcado durante a fase qualitativa, sendo escolhido devido aos altos valores de susceptibilidade encontrados, além do formato mais próximo a de um círculo, o que indica que o mesmo estaria menos deformado (Fig. 7).

Adotou-se o índice estrutural 3 no cálculo de Euler devido à natureza tridimensional da intrusão que se deseja modelar. Como acabamento na modelagem, traçou-se seis superfícies de interpolação partindo dos valores de susceptibilidade aparente. Os resultados da análise semi-quantitativa são apresentados na forma de um modelo tridimensional da forma e profundidade da intrusão i2 (Fig. 8; BRAGA *et al.*, 2010).

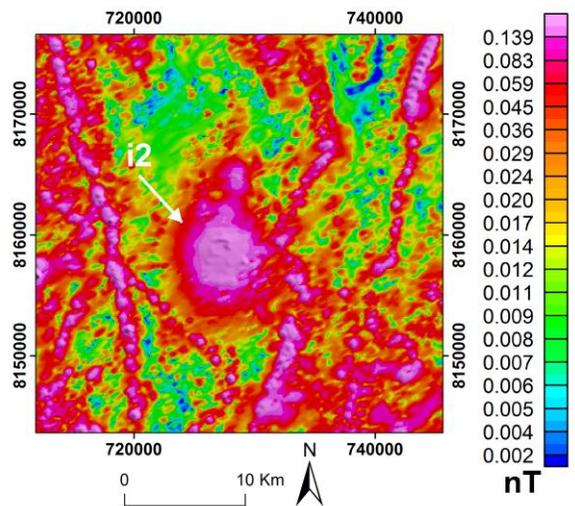


Figura 7: Mapa de Amplitude do Sinal Analítico com localização do corpo intrusivo i2.

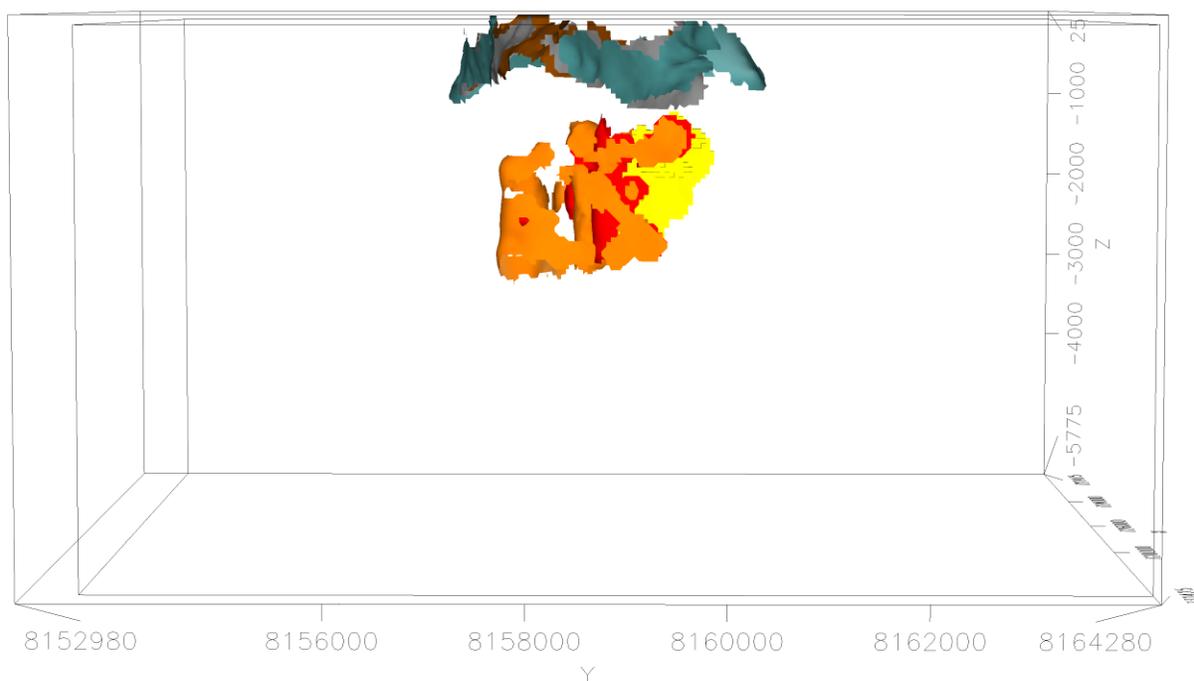


Figura 8: Modelagem Tridimensional do Corpo i2, construída a partir da interpolação das soluções de Euler, índice estrutural 3 e janela de 6,5 km. As isossuperfícies foram construídas a partir das diferentes suscetibilidades magnéticas aparentes calculadas por um algoritmo do software utilizado. O topo do núcleo intrusivo está situado em uma profundidade de 2 km da superfície de relevo (BRAGA *et al.* 2010). Cores quentes representam maiores valores de suscetibilidade.

CONCLUSÕES

Existe correlação entre os lineamentos magnéticos e os lineamentos de relevo, sempre que os mesmos apresentam-se nas mesmas regiões com as mesmas orientações. Quando se tratam de zonas de cisalhamento magnetizadas por remobilização de fluxo, ou fraturas rúpteis localmente oxidadas, permitindo uma “desmagnetização” da rocha encaixante por oxidação do Fe^2 em Fe^3 , as anomalias magnéticas associadas à estas feições encontram-se aflorantes, ou muito próximas a superfície. A direção principal N60E, concordante com as direções das falhas dos Rios Araçuaí e Jequitinhonha predominam em toda a região do aerolevante, assim como nas feições de relevo encontradas.

O Alto Estrutural de Josenópolis discutido por Silva *et al.* (2013) baseado em evidências estruturais e gravimétricas, também possui distinção em relação a magnetometria, e seus limites observados em superfície concordam com os limites de domínio magnético encontrados aqui.

Devido a seu formato, natureza magnética de alta susceptibilidade e localização no Orógeno Araçuaí, o corpo intrusivo i2 pode ser interpretado como uma intrusão básica alojada há 2 km de profundidade da superfície próximo à intrusões félsicas aflorantes, sendo

portanto relacionado à fase de magmatismo bimodal associada aos primeiros momentos de formação do orógeno Araçuaí. A possibilidade de uma intrusão alcalina alojada na borda do cráton São Francisco não é descartada, e há evidências de que houve este tipo de magmatismo na região (fonte primária dos diamantes do Supergrupo Espinhaço?), porém mais estudos são necessários para comprovar a natureza do mesmo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro na forma do projeto 481178/2010-4 o e à Companhia de Desenvolvimento Econômico do Estado de Minas Gerais (CODEMIG) pela concessão dos dados do aerolevante da Área 8, à Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), pelo apoio logístico.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, V.F.C. e SILVA, J.B.C. 2005. Deconvolução de Euler: Passado, Presente e Futuro – Um tutorial. REVISTA BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 23(3): 234-250.
- BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M. GONÇALVES, J.C. 2003. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003. 674 p.

BRAGA, A. A.; VON HUELSEN, M. G.; CHIMPLIGANOND, C. N.; MATOS, D. R. 2010. Interpretação Conjunta da Sismicidade Desencadeada por Reservatório e Magnetometria na UHE Irapé, MG. Anais do IV Simpósio Brasileiro de Geofísica.

GUNN, P.J.; MAIDMENT, D. and MILLIGAN, P.R. 1997. Interpreting aeromagnetic data in areas of limited outcrop. *Journal of Australian Geology & Geophysics Society*, 17(2).175-185.

NABIGHIAN, M.N.; GRAUCH, V.J.S.; HANSEN, O.R.; LAFEHR, T.R.; PEIRCE, J.W. and PHILLIPS, J.D. and RUDER, M. R. 2005. The historical development of the magnetic method in exploration. *GEOPHYSICS*, 70(6): 33-61..

PEDROSA-SOARES, A.C.; NOCE, C.M.; ALKMIM, F.F.; SILVA, L.C; BABINSKI, M.; CORDANI, U.; CASTAÑEDA, C. 2007. Orógeno Araçuaí: Síntese de Conhecimento 30 Anos após Almeida 1977. *Geonomos* 15(1): 1 - 16. Belo Horizonte. 2007

PROSPECTORS AEROLEVANTAMENTOS, 2006. Área 8: Minas Novas – Riacho dos Machados – Espinosa. Relatório Final do Levantamento e Processamento dos dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos. Texto Técnico. Vol. 1. 201 p.

REID, A.B.; ALLSOP, J.M.; GRANSER, H.; MILLET, A.J. and SOMERTON, I.W. 1990. Magnetic Interpretation in three dimensions using Euler Deconvolution. *GEOPHYSICS*. 55: 80-91.

SILVA, G. F.; SALES FILHO, D.; VON HUELSEN, M. G.; ROCHA, A. A.; TOMÁS, S. S.; FRANÇA, G. S; ARAÚJO FILHO, J. O.; LAMBLÉM, H. S. 2012. Estudo Gravimétrico do Limite Cráton São Francisco – Faixa Araçuaí na região de Grão Mogol, MG. Anais do V Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador (BA).

SILVA, G.F.; ARAÚJO FILHO, J.O.; VON HUELSEN, M.G. e FRANÇA, G.S. 2013. Deformação e Metamorfismo na Zona Externa do Orógeno Araçuaí e Evidências do Alto Estrutural de Josenópolis. XIII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. Chapada dos Guimarães (MT).

VALERIANO, M. M. 2005. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, GO. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. p. 1-8.