

Características Termomagnéticas da Crosta na Parte Sul das Províncias Tocantins e São Francisco

Suze Nei P. Guimarães e Valiya M. Hamza, Observatório Nacional – ON/MCT, Rio de Janeiro.

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

In the present work we report results of a regional scale investigation over the Thermal and magnetic characteristics of the crust in the southern sector of the geologic provinces of Tocantins and São Francisco. Updated compilations of aeromagnetic and geothermal data sets were employed for this purpose. Use of such techniques as vertical derivative, analytic signal and Euler deconvolution in analysis of aeromagnetic data have allowed precise locations of the sources of magnetic anomalies and determination of their respective depths. Seven major anomalies have been identified on the western border of the Tocantins province and two in the adjacent cratonic area. The anomalies in the Tocantins province arise from variations in the magnetic susceptibilities and remnant magnetizations of alkaline magmatic intrusions of the Tertiary period. The spatial dimensions of the bodies are no more than 10 km and these are found to occur at shallow depths of less than 5km. On the other hand, the anomalies in the cratonic areas are related to contrasts in magnetic properties of bodies situated at depths greater than 5 km and have spatial dimensions of more than 50 km. These are located in the area known as the Iron Quadrangle, where the rock formations are of Proterozoic to Archean in age. Analysis of geothermal data reveals that the cratonic area is characterized by geothermal gradients and heat flow values low compared to those of the Tocantins province. Such observations have allowed a better understanding of the thermal field of the local crustal layers and thicknesses of the magnetized crust. It is possible that Iron Quadrangle represents a relict structure produced by thermal interaction between primitive core and proto-lithosphere during Archean times.

Introdução

As províncias geotectônicas de São Francisco e Tocantins configuram-se como as principais unidades estruturais identificadas na parte leste da Plataforma Sulamericana (Almeida, 1977; Almeida et al., 1981). Estudos geológicos e geofísicos efetuados até o momento permitiram mapeamento das feições estruturais e tectônicas próximas à superfície, mas pouco se conhece sobre as distribuições verticais dessas estruturas em profundidades na crosta. Uma das formas de contornar esta dificuldade é

avaliar de forma integrada os dados de levantamentos aeromagnéticos e geotérmicos desta área.

De acordo com as informações disponíveis (CPRM, 1995; SGM, 2008) as tentativas de integrar os resultados de levantamentos aeromagnéticos, se limitaram a incorporação das correções das operações técnicas. Tornou-se evidente a necessidade de uma reavaliação detalhada dos dados de levantamentos aeromagnéticos, focalizando-se no uso criterioso das correções (nivelamento e micro nivelamento, eliminação dos efeitos de variação diurna e do campo interno) e emprego de técnicas avançadas de interpretação (transposição das anomalias, derivada vertical, sinal analítico e deconvolução de Euler).

Integrações coerentes dos dados de diversos levantamentos nesta área são necessárias para identificar as estruturas em subsuperfície e análise do significado geológico dos resultados alcançados e correlações com as características estruturais. Outro objetivo paralelo deste projeto é a elaboração dos mapas das anomalias residuais dos campos magnéticos e geotérmicos da área de estudo a fim de avaliar o estado térmico da crosta na mesma região.

Geologia Regional

A área de estudo se refere à parte Sul das Províncias Tocantins e São Francisco. O mapa da figura (1) ilustra as características geológicas da área de estudo, onde é possível identificar as províncias (IBGE, 2010).

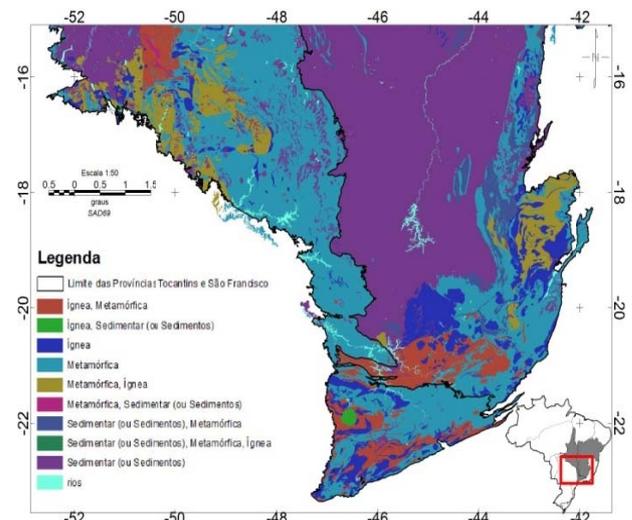


Figura (1) Contexto geológico do Sul das Províncias Tocantins e São Francisco. (IBGE, 2010).

A Província São Francisco constitui uma extensa região estável localizada na porção centro-leste da figura (1). É formada por estruturas geológicas com idades que variam do mesoarqueano ao arqueano- paleoproterozóicas (Marshak e Alkmim 1989; Santos Pinto, 1996, Teixeira et al., 2000). Os limites da região Sul segundo dados geológicos e geofísicos da literatura são delineados pelos cinturões dobrados durante a orogênese Brasileira.

A Província Tocantins corresponde à região a oeste do mapa na figura (1). Esta é integrada, principalmente, por faixas metassedimentares proterozóicas (Araguaia, Uruçu e Brasília) e por compartimentos do embasamento granito-gnáissico-granulítico (Maciço Mediano de Goiás), de idades arqueanas e neoproterozóicas. Outra característica marcante desta província é a presença de um número significativo de intrusões pegmáticas alcalinas do período Terciário. Alguns desses são aflorantes, mas há indícios que ocorrem também intrusões não aflorantes (Pimentel e Fuck, 1992).

Segundo estudos recentes a espessura da crosta para a região de estudo varia de 37 km para a Faixa Ribeira, localizada ao extremo Sul da área de estudo, na área do Cráton de São Francisco possui um valor de 40 km e na Faixa Brasília e adjacências varia de 32-42 km de profundidade (França, 2003), calculado a partir de informações sísmicas.

Bases de Dados Aeromagnéticos

Foram utilizados neste trabalho os dados adquiridos nos seguintes levantamentos:

- Projeto 1009 – Convênio Geofísico Brasil Alemanha, disponibilizados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), com informações de campo magnético;
- Levantamento aerogeofísico do Estado de Goiás, disponibilizados pela Superintendência de Geologia e Mineração (SGM-GO), com dados aeromagnéticos e aerogamaespectrométricos.

As áreas de abrangência desses levantamentos são indicadas na Figura (2).

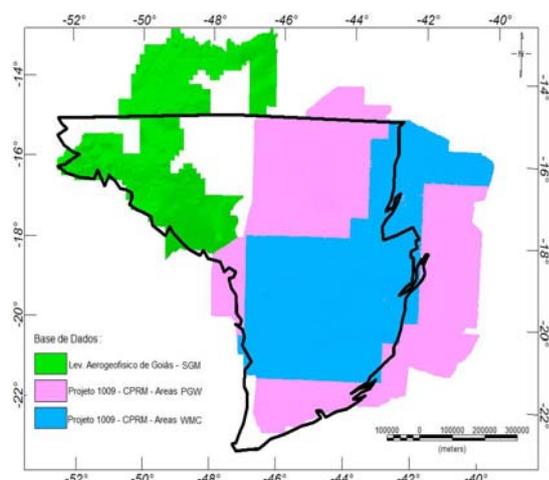


Figura (2) Bases de Dados Aerogeofísicos utilizadas no presente trabalho.

Os dados do Projeto 1009 se encontram divididos em duas partes: PGW e WMC. As regiões PGW, continham em seu banco de dados, informações de campo magnético reduzido de IGRF e as regiões WMC continham informações de campo magnético total. A integração desses dados, adquiridos em épocas diferentes, exigiu um trabalho minucioso de unificação na fase inicial de processamento.

Processamento de Dados Aeromagnéticos

No processamento de dados utilizou-se a pacote computacional o software Geosoft® – Oásis Montaj 2010. Todas as coordenadas estão referenciadas ao Datum SAD-69. Os dados magnéticos foram reprocessados calculando valores em pontos nodais de malhas regulares, utilizando o método de interpolação de Mínima Curvatura (Biggs, 1974). Foram utilizados dois sistemas de malhas com espaçamentos de 500 metros e 55.7 km (este último equivalente a 0.5 graus em latitude), visto dos focos locais e regionais nas análises. A redução do IGRF para os dados da parte WMC (Projeto 1009) foi realizada com base num algoritmo desenvolvido pelo Observatório Nacional para dados de campo magnético com baixa latitude. Os dados de campo magnético reduzido de IGRF foram corrigidos de 'heading' e integrados num único acervo. Também foram aplicados filtros direcionais para correção de tendências.

Na unificação de dados da malha do campo magnético reduzido utilizou-se a técnica de "suture". Esta técnica integra os dados que possui pouca área de contato, realizando uma interpolação suave nesta faixa. O mapa do campo magnético anômalo determinado desta forma é ilustrado na figura (3) que possui um intervalo de 500 m de amostragem de dados.

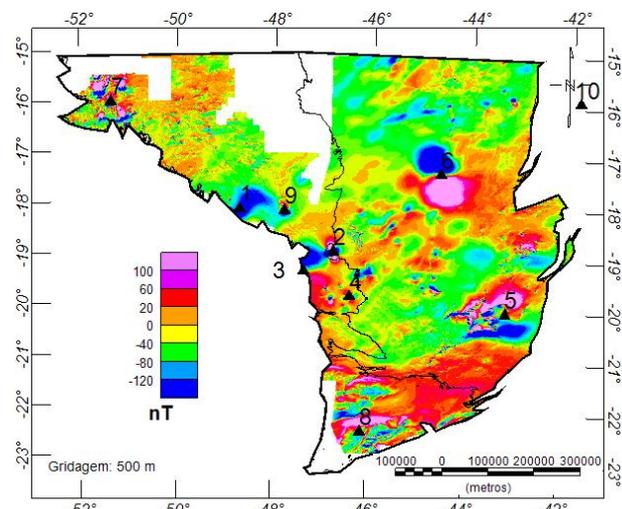


Figura (3) Campo Magnético Crustal da área de estudo.

Os dados do levantamento aerogeofísico de Goiás, que datam de 2005, já possui uma qualidade superior. Possuem também informações relevantes para correção dos efeitos das variações de altura dos vãos, variação diurna, 'spikes', correções de 'heading' e de 'lag' (erro sistemático causado pela distancia entre o sensor de

medição e o sensor de posicionamento). Neste caso a redução do IGRF foi realizada utilizando os modelos disponíveis no software Geosoft®, Oásis Montaj. No processamento, efetuaram-se correções de nivelamento (mesmos valores para dados de linha de produção e linhas de controle) e micronivelamento para eliminação de distorções das linhas de voo (Minty, 1991).

Na etapa seguinte do processamento utilizaram-se filtros direcionais e de frequência (alta e baixa) de dados. Assim com o banco de dados já tratado partimos para a aplicação de técnicas geofísicas interpretativas, tais como derivada vertical, sinal analítico e deconvolução de Euler (Nettleton e Cannon, 1962; Clark, 1997; Reid et al., 1990).

Constam na Tabela (1) as regiões de campo magnético anômalo mais evidente indicados na Figura (3).

Tabela 1 – Regiões Magnéticas Anômalas selecionadas.

Província	Ident.	Local	Contexto Tectônico
Tocantins	1	Caldas Novas	Intrusão Básica
	2	Patrocínio	Intrusão Alcalina
	3	Araxá	Intrusão Alcalina
	4	Diamantina	Craton SF
	7	Jataí	Arco Magmático-GO
	8	Caldas	Alcalina
	9	Catalão	Intrusão Alcalina
Mantiqueira	10	Curral de Dentro	Dobramento metamórfico
São Francisco	5	Itabirito	Quadrilátero
	6	Diamantina	Quadrilátero

Resultados

a) Derivada Vertical: Os resultados de derivada vertical foram utilizados na identificação de lineamentos magnéticos, conforme as praticas adotadas na literatura. Apresenta-se na Figura (4) o mapa de derivada vertical que realça os lineamentos magnéticos regionais. Nesta figura a malha de dados foi construída com intervalos de 500 m de amostragem. Na parte noroeste da área de estudo, limitado pela Província Tocantins, os lineamentos magnéticos possuem direções predominantemente NE-SW, coincidente com as direções preferenciais identificadas nos levantamentos geológicos (e.g. Blum, 1999). Na parte sudeste da área de estudo existe segmentos de lineamentos de direção NW-SE que estendem pelas duas províncias: Tocantins e São Francisco. As características estruturais desta região indicam ocorrências de eventos tectônicos com arraste na direção leste para oeste. Na região sul, onde se situa a faixa de dobramento Ribeira, os lineamentos na borda da Província São Francisco possuem direção NE-SW (Heilbron e Machado, 2003). As conformidades dos lineamentos magnéticos traçados com as tendências

estruturais é indicação de que as feições identificadas em mapas de derivadas verticais possuem significado geológico.

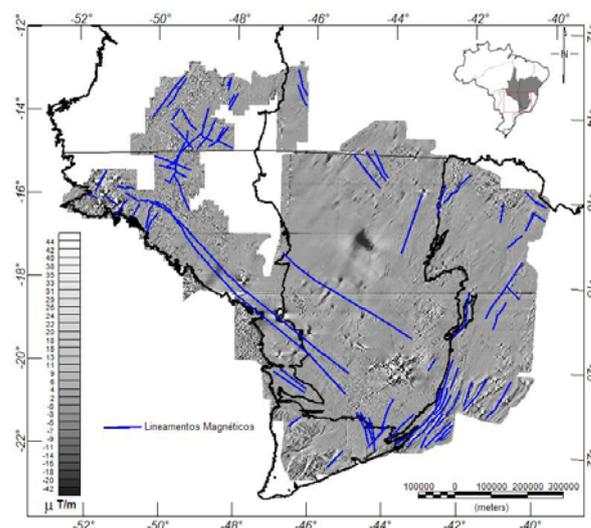


Figura (4) Derivada Vertical do Campo Magnético Crustal.

b) Sinal Analítico: O mapa do sinal analítico foi elaborado com a finalidade de delimitar as bordas de corpos que possuem contrastes magnéticos. De acordo com os resultados obtidos as magnitudes do sinal analítico variam de 2 a 40 μT/m. Ilustra-se na Figura (5) a distribuição geográfica das amplitudes das anomalias, conforme uma escala de cores selecionadas.

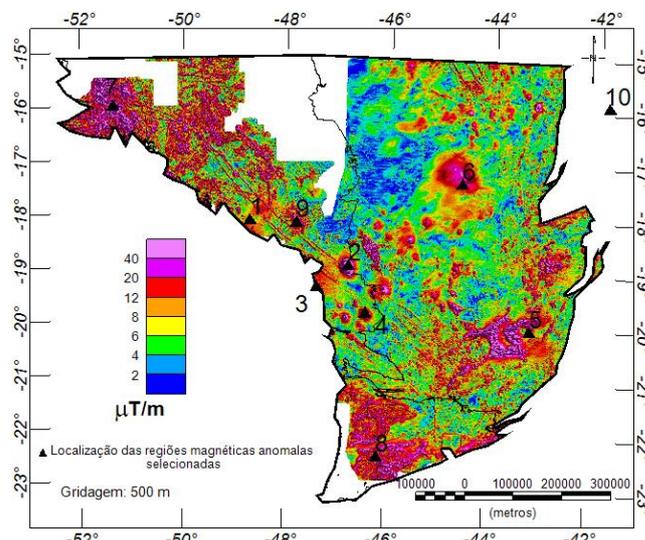


Figura (5) Sinal Analítico do Campo Magnético Crustal - Mapa de detalhe.

Neste caso a malha de dados foi construída com amostragem num intervalo de 500 m, configurando um mapa de detalhe. Este mapa permitiu identificação de vários lineamentos magnéticos na direção SE-NW, confirmados pelo mapa de derivada vertical ilustrado na figura (4) e pelo menos oito anomalias magnéticas,

indicados por números no mapa. A maioria das anomalias se encontra localizadas na Província Tocantins. As anomalias 5 e 6 estão localizadas no Cráton São Francisco. Existe ainda a anomalia 10 que se encontra na Província Mantiqueira. O Quadrilátero Ferrífero-MG, que se estendem pelos segmentos sul da Província Tocantins e de São Francisco, abriga duas anomalias de grande porte (5 e 8).

c) Profundidades das Fontes Magnéticas: A técnica de deconvolução de Euler (Reid et al., 1990) foi utilizada para extrair informações sobre a profundidade das fontes magnéticas. Conforme práticas adotadas na literatura as variações nos graus de homogeneidade do campo são expressos como índices estruturais. No presente trabalho, algumas regras foram adotadas na utilização dessa técnica, a fim de minimizar efeitos tendenciosos na determinação das profundidades. As regras adotadas foram:

1. O limite estabelecido para a incerteza no valor da profundidade calculada, através da equação de Euler, é de apenas 10%;
2. As anomalias magnéticas modeladas foram feições dipolares apresentando uma coerência com estruturas geológicas de estudo (corpos profundos), observando o enfoque regional do estudo. Portanto o índice estrutural utilizado na equação de Euler foi 3 (Hsu, 2002).
3. A janela de interpolação do programa utilizado para cálculo da Deconvolução de Euler foi 15. O tamanho das fontes de interesse varia de 3-6 km, para esse resultado utilizamos então um raio de procura de soluções de 3 km. Os resultados obtidos são apresentados na figura (6), onde utilizamos o método de interpolação Krigid (Journel e Huijbregts, 1978), com espaçamentos de 0.5 graus (55.7 km).

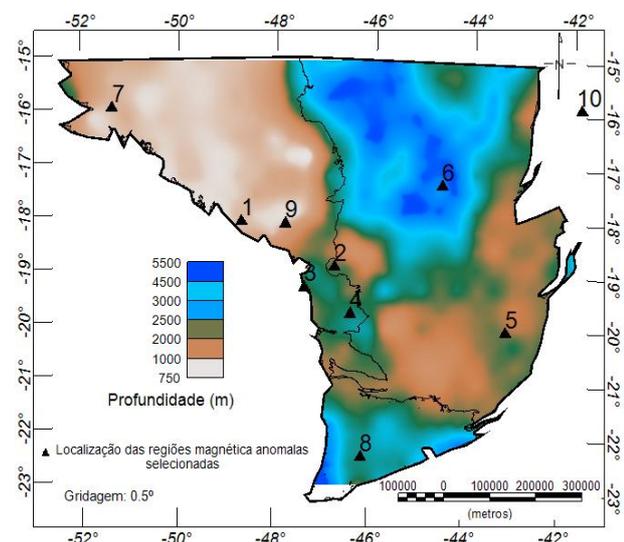


Figura (6) Profundidade das Fontes Magnéticas a partir de resultados da Deconvolução de Euler.

Com esse espaçamento os valores interpolados cobriram toda área de estudo. A escala de cores desta figura (6) indica as profundidades das fontes magnéticas anômalas.

As profundidades dos corpos localizados no segmento NW-SE da Província Tocantins e na porção sudeste do Cráton São Francisco se encontram na faixa de 1000 a 2000 metros. Por outro lado, as profundidades dos corpos no segmento norte do craton São Francisco e o segmento sul da Província Tocantins se encontram na faixa de 3000 a 6000 metros. Essa diferença sistemática de profundidades das fontes magnéticas aponta para atuação de mecanismos relacionados com o regime termal da crosta.

Campo Geotérmico Crustal

Os dados geotérmicos da área de estudo foram avaliados a fim de determinar o campo térmico das camadas crustais presentes nas duas províncias estruturais. Os dados utilizados neste trabalho foram extraídos do banco de dados geotérmicos do Laboratório de Geotermia do ON.

Como no caso anterior os dados de gradientes e de fluxo geotérmicos foram gridados utilizando o método de interpolação Krigid (Journel e Huijbregts, 1978) com espaçamentos de 0.5 graus (55.7 km). O mapa do gradiente geotérmico da região de estudo, ilustrado na figura (7), revela uma zona de valores relativamente elevados (acima de 30°C/km) na parte oeste e no extremo Sul da Província Tocantins.

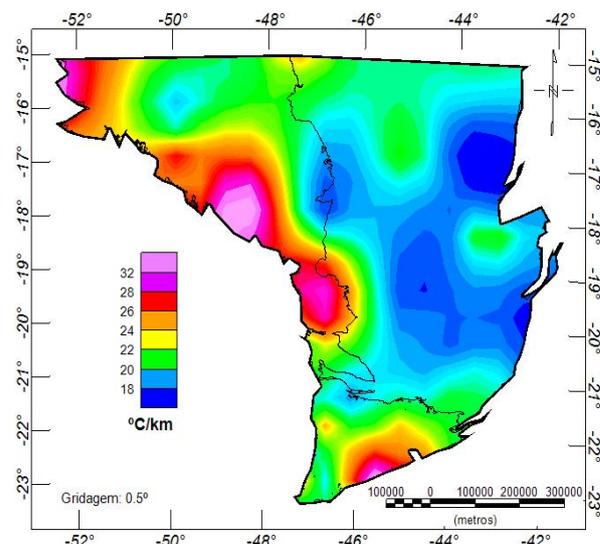


Figura (7) Gradiente Geotérmico da área de estudo.

Por outro lado, quase toda área do craton São Francisco é caracterizada por gradientes térmicos relativamente baixos, no intervalo de 16 a 22°C/km. Desta forma, a distribuição geográfica das áreas de gradientes térmicos elevados apresenta semelhanças marcantes com a de fontes de anomalias magnéticas. O mapa de fluxo geotérmico apresentada na figura (8) também ilustra feições semelhantes às do gradiente geotérmico da área de estudo. Contudo, diferentemente dos mapas de anomalias magnéticas não foram constatados presença de anomalias geotérmicas na área cratônica.

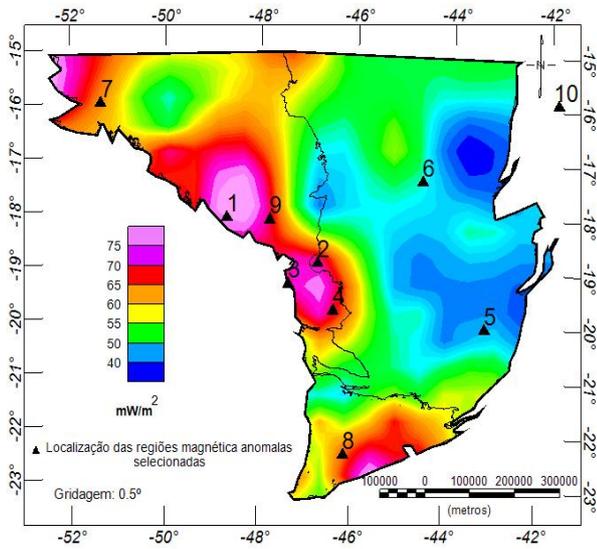


Figura (8) Fluxo Geotérmico da área de estudo.

Considerações Finais

Os principais resultados alcançados no presente trabalho foram:

- 1 – Os lineamentos magnéticos evidenciados pela derivada vertical do campo magnético crustal da borda oeste da Província Tocantins são indicativos de feições tectônicas regionais, com arraste na direção leste para oeste.
- 2 – A correlação espacial entre os lineamentos magnéticos regionais e as ocorrências de corpos magnéticos rasos aponta para uma característica tectônica atípica da porção oeste da Província Tocantins.
- 4 – A constatação de valores elevados de gradientes térmicos e de fluxo térmico na faixa oeste da Província Tocantins aponta para a instalação de uma faixa geotermicamente anômala no período cretáceo nesta região.
- 5 – As diferenças sistêmicas nas profundidades dos corpos magnéticos inferidos, através de resultados da Deconvolução de Euler, indicam mudanças no campo térmico entre áreas cratônicas e áreas da Província Tocantins.
- 6- O Quadrilátero Ferrífero representa relíquia atual de um episódio de interação termal entre o núcleo primitivo e a proto-litosfera terrestre, ocorrido no período Arqueano.

Agradecimentos

Os dados utilizados neste trabalho foram concedidos pelo CPRM, SGM-GO e ON.

O primeiro autor deste trabalho é recipiente de bolsa de estudos concedidos pelo CAPES.

Agradecemos Iris Pereira Escobar pelo apoio institucional aos trabalhos desenvolvidos no âmbito do Laboratório de Geotermia do ON.

Referências Bibliográficas

- Alexandrino, C.H. e Hamza, V.M.**, 2008. Estimates of heat flow and heat production and a thermal model of the São Francisco Cráton. *International Journal of Earth Sciences*. v.97(2), 289-306.
- Almeida, F.F.M.** 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364
- Almeida, F.F.M. de, Hasui, Y., Brito Neves, B. B. de e Fuck, R. A.**, 1981, Brazilian structural provinces: an introduction, *Earth Sci. Rev.*, 17, 1-19.
- Almeida, F.F.M.de, Hassui Y.** 1984, O Pré-Cambriano do Brasil, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 378p.
- Briggs I.C.** 1974. Machine contouring using minimum curvature. *Geophysics*,39:38-48.
- Blum, M.** 1999. Processamento e Interpretação de Dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e sua aplicação à Geologia Regional e à Prospecção Mineral. Tese (doutorado). Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. Brasília. 229p.
- Clark D.A.** 1997. Magnetic petrophysics and magnetic petrology: aids to geological interpretation of magnetic surveys. *AGSO J. Austr. Geol. Geophysics*, 17:83-103
- CPRM**, 1995, Catálogo geral dos produtos e serviços. Geologia. Levantamentos Aerogeofísicos. Base de Dados Aerogeofísicos, Rio de Janeiro, Geologia e Recursos Hídricos, 367p.
- Dominguez J.M.L.** 1993. As Coberturas do Cráton do São Francisco:Uma abordagem do ponto de vista da análise de bacias. In: J.M.L. Dominguez e A. Misi (eds.), O Cráton do São Francisco. SBG/SGM- CNPq. Edição Especial, 137-159.
- França, G.S.L.A. de.** 2003. Estrutura da Crosta no sudeste e centro-oeste do Brasil, usando função do receptor Local: São Paulo. Tese (doutorado). IAG/SP. 143p.
- Heilbron, M., Machado, N.**, 2003. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*, 125. p 87-112.
- Hsu, SK.** 2002 – Imaging magnetic sourcer using Euler's equation – *Geophysical prospection* – 50:15-25.
- Journel, A. G., e Huijbregts, Ch. J.**, 1978, *Mining Geostatistics*, Academic Press, London.
- Marshak, S. e Alkmim, F.F.** 1998 Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic

collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Researches*, vol.90, Issues 1-2, 29-58p.

Minty, B.S.R., 1991, Simple micro-levelling for aeromagnetic data. *Explor.Geophys.*,22:591-592p.

Nettleton L.L e Cannon J.R. 1962. Investigation of upward continuation system. *Geophysics*, 27: 796-806.

Oliveira A.G., Fuzikawa K., Moura L.A.M., Raposo C. 1985. Província urifera de Lagoa Real – Bahia. In: C. Schobbenhaus. (ed.). *Principais Depósitos Minerais do Brasil*, vol.1, DNPM-MME: 105-120.

Pimentel, M.M. e Fuck, R.A. 1992 Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Geology*, v.20, (4) 375-379.

Reid, A.B., Allsop, J.M., Granser, H., Millett, A.J. e Somerton, I.W., 1990, Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution, *Geophysics*, vol 55 (1) 80-91.

Santos Pinto, M. A. 1996. Le Recyclage de la Crôte Continentale Archéene: Exemple du Bloc du Gavião - Bahia, Brésil. Université de Rennes I, França, Tese de Doutorado, 193p.

SGM - Superintendência de Geologia e Mineração, 2008. *Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal*, Goiânia, 143p.

Ussami N., 1993. Estudos geofísicos no Cráton do São Francisco: estágio atual e perspectivas. In: J.M.L. Dominguez e A. Misi (eds.). In: SBG, Simp. Cráton do São Francisco, 2, Salvador, Bahia, Brasil. SBG/SGM/CNPq, Spec. Psubl., 35-62.

Teixeira W., Sabaté P., Barbosa J.S.F., Noce C.M., Carneiro M.A. 2000. Archean and Paleoproterozoic Tectonic evolution of the São Francisco Craton, Brazil. In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomas Filho, D.A. Campos. (eds.), *Tectonic Evolution of the South America*. In: Int. Congresso de Geologia. 31, Rio de Janeiro, Brazil, 101-137p.

Winge M. 1984. A Sequência Vulcanossedimentar do Grupo Rio Capim, Bahia. In: P.V.S. Viveiros & F.B. Duarte (eds.), *Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia*, Textos Básicos, SME/CPM, Salvador, Spec. Publ., 5: 43-103p.