



Correlação Geológica de Dados Aeromagnetométricos e Aerogamaespectrométricos na Região de Fronteiras - PI (Província Borborema, NE-Brasil)

Elizângela Soares Amaral*, Roberto Gusmão de Oliveira, Joaquim das Virgens Neto (CPRM-Serviço Geológico do Brasil).

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th 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

This paper describes magnetic and radiometric characteristics of rocks and structures around the city of Fronteiras (PI) located in the Borborema Province (NE-Brazil). The interpretation allowed us to separate the study area into three main areas, separated by Tatajuba and Potengi shear zones. These shear zones are correlated with significant magnetic alignments. How much of the area has sedimentary cover, the magnetic data were essential for interpretation of tectonic structures covered by the sediments. The interpretation of radiometric data revealed the existence of granite and alluvium rich in Th, and featured several granitoids in accordance with its contents in K, Th and U.

Introdução

A área de estudo, localizada em torno da cidade de Fronteiras no Piauí, está posicionada na região de convergência de três grandes zonas de cisalhamento: Patos, Potengi e Tatajuba. Estas zonas de cisalhamento possuem importância chave para entendimento da evolução da Província Borborema durante o Ciclo Orogênico Brasileiro. Como parte do embasamento cristalino da área está encoberto pelos sedimentos das bacias do Parnaíba e Araripe, as rochas e estruturas não são acessíveis aos métodos comuns de investigação geológica. Por causa deste fato, dados aeromagnetométricos recentemente coletados, foram empregados com o objetivo de investigar as estruturas tectônicas, sobretudo quanto a sua continuidade sob os sedimentos fanerozóicos. Como o processo de granitogênese que ocorreu na Província Borborema no final do Neoproterozóico está intimamente ligado à evolução dos grandes cisalhamentos, foram também empregados dados aerogamaespectrométricos com o objetivo de caracterizar geofisicamente os corpos granitóides, em relação aos seus conteúdos em potássio, tório e urânio.

Contexto Geológico

A área de estudo está localizada nas proximidades da extremidade oeste do Lineamento Patos, no limite entre as províncias Borborema e Parnaíba (definidas por Almeida *et al.*, 1977) (Figura 1). Parte da área corresponde às rochas sedimentares fanerozóicas das bacias do Parnaíba, na região oeste, e do Araripe, no

quadrante sudeste. As rochas pré-cambrianas afloram ao longo de uma faixa centro-sudoeste e no quadrante nordeste (Figura 1). O *trend* estrutural possui direção principal NE-SW, embora ocorram falhas secundárias com direção N-S. As unidades geológicas estão controladas, em parte, pelos grandes cisalhamentos (dúcteis) e falhamentos (frágeis). As deformações frágeis são mais intensas nas proximidades das bacias sedimentares. (Virgens Neto, 2011).

Segundo Virgens Neto (2011), as rochas pré-cambrianas são compostas por litotipos cujas idades variam do Arqueano ao Neoproterozóico. No domínio do embasamento cristalino, destacam-se ortognaisses de idade Arqueana e Paleoproterozóica (A4γgnmg e PP2J), constituídos por rochas bandadas fortemente deformadas cortadas por diques félsicos, e gnaisses paraderivados de idade Paleoproterozóica (PP4O), compostos por mármores, xisto e calcissilicáticas do Grupo Orós. Encaixados neste embasamento ocorrem granitóides intrudidos antes ou durante o evento orogênico Brasileiro (Santos & Brito Neves, 1984; Trompette, 1994). Eles formam corpos circulares ou alongados, alguns deles tectonicamente controlados por zonas de cisalhamento. Destacam-se os granitóides pré-tectônicos (NPγ31) com vestígios de deformação anterior ao evento Brasileiro, e os granitóides sin-tectônicos (NPγ32), que formam corpos alongados segundo a foliação geral de direção NE-SW. Estes últimos são geralmente porfíricos de textura grossa, foliado nas bordas e moderadamente foliado nos núcleos. Em alguns locais podem ocorrer enclaves dos granitóides pré-tectônicos. Os granitóides tardi a pós-tectônicos (NPγ33) correspondem a corpos de coloração cinza claro a rosa, textura fina a média, equigranular, contendo grandes enclaves dos granitóides sin-tectônicos. Estes corpos às vezes apresentam uma leve foliação próxima das bordas.

Na fase de estabilização do ciclo Brasileiro foram depositadas as molassas da Bacia Catolé-São Julião, com sedimentos de idade cabro-ordoviciana, constituídos por arenitos muitos finos e conglomerados, depositados em regime de rifte. Este evento de rifteamento foi acompanhado pela intrusão anorogênica do granitóide Mandacaru. Sobre esse embasamento foram depositadas as rochas sedimentares fanerozóicas. Na Bacia do Parnaíba, na área de estudo, ocorrem sedimentos silurianos de origem fluvial, formados por arenitos médios a grossos e conglomerados, pertencentes ao Grupo Serra Grande. Na Bacia do Araripe, na área de estudo, ocorrem as formações Santana (carbonática fossilífera), Araripina (pelítica) e Exu (arenítica) de idade cretácea. No Cenozóico ocorreu a deposição de coberturas colúvio-aluvial no sopé dos relevos maiores e ao longo das drenagens principais.

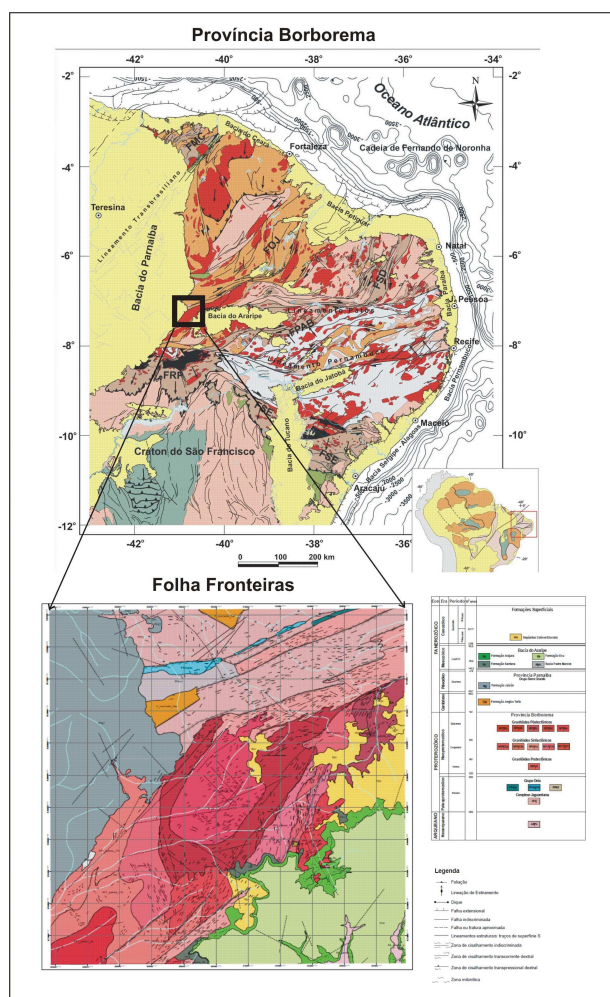


Figura 1 - Localização geotectônica e geologia da Folha Fronteiras no contexto da Província Borborema.

Dados Aerogeofísicos

Os dados aerogeofísicos utilizados neste trabalho foram levantados pelo Projeto Levantamento Aerogeofísico Centro Sudoeste do Ceará (Prospectors, 2011). O projeto levantou perfis aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos de alta resolução, com linhas de voo e controle espaçadas de 500 m e 5.000 m, orientadas nas direções N-S e E-W, respectivamente. A altura de voo foi fixada em 100 metros sobre o terreno. Foram empregadas aeronaves equipadas com magnetômetro e gamaespectrômetro, posicionadas pelo sistema de observação de satélite GPS, com precisão de 1 m. O magnetômetro com sensor de vapor de cézio foi montado na cauda da aeronave (tipo *stinger*). As medidas foram realizadas a cada 0,1 segundo, o que equivale, dependendo da velocidade média da aeronave a uma medida a cada 7,7 metro. O gamaespectrômetro com detectores de cristais de iodeto de sódio (NaI) permitiu a análise individual e precisa dos fótocos de potássio, urânio e tório. As medidas foram efetuadas a cada 1,0 segundo, representado medições a intervalos de amostragem média de aproximadamente 77,0 metros.

Interpretação dos Dados

Como resultado da interpretação e correlação dos dados foram separados três domínios magnéticos (**Noroeste, Central e Sudeste**, nas figuras 2 e 3). Nos dados magnetométricos foram considerados as diferenças entre os padrões de amplitudes, comprimentos de onda e direção dos alinhamentos magnéticos (Figura 2). O padrão magnetométrico é caracterizado por domínios que apresentam alongamento na direção NE-SS, e sugerem compartimentagens tectônicas com variações geológicas/estruturais na direção NW-SE. Na fusão ternária dos dados radiométricos foram considerados os padrões de distribuição dos três radioelementos, potássio (K), equivalente tório (eTh) e equivalente urânio (eU) (Figura 3).

Domínio Central: este domínio é espacialmente definido por um grande bloco de direção NE-SW na região central da folha (figuras 2 e 3). Apresenta padrão magnetométrico muito movimentado, produzido por anomalias lineares alongadas com direção ENE-WSW, amplitudes máximas de 470 nT, comprimentos de onda máximos de 4,0 km, causadas por zonas de cisalhamentos, granitóides sin-tectônicos porfíricos deformados para ortognaisses (NP3γ3a), granitóides pré-tectônicos com veios pegmatíticos deformados (NP3γ23b) e granitóides tardi-tectônicos tipo 1 (NP3γ3c). Destaca-se na região norte um expressivo alinhamento magnético associado à zona de cisalhamento Tatajuba que atravessa o domínio na direção NE-SW. O limite sudeste deste domínio apresenta um alinhamento magnético em forma de sigmóide na direção SW-NE associado à Zona de Cisalhamento Potengi. A região sudoeste do domínio é marcada por anomalias magnéticas nas vizinhanças do município de Padre Marcos possivelmente associadas à predominância de metatonalitos milonitizados do Complexo Jaguaratama (PP2j). Já na região nordeste do domínio percebe-se uma larga faixa magnética associada a granitóides sin-tectônicos deformados para ortognaisse (Nγ3a). Na imagem radiométrica ternária (Figura 3) destacam-se três diferentes padrões: i) tons esverdeados e esbranquiçados possivelmente associados com áreas de dominância de granitóides tardi-tectônicos enriquecidos nos três elementos K (<7,00%), Th (eTh <86,00 ppm) e U (eU <21,00 ppm); ii) tons avermelhados correlacionados com afloramentos de ortognaisses calcialcalinos (Nγ1b), enriquecidos em K (<6,5%); iii) tons escuros correlacionados com arenitos da Formação Jaicós indicando o empobrecimento dos três elementos e iv) tons azulados correlacionados com coberturas sedimentares de espriamento aluvial (NQc), enriquecidos em Th (eTh <72 ppm) e U (eU <18 ppm).

Domínio Noroeste: apresenta padrão magnetométrico muito movimentado (figura 1), produzido por anomalias lineares alongadas com direção NE-SW, amplitudes máximas de 500 nT, comprimentos de onda máximos de 3,0 km, causadas por zonas de cisalhamentos, metatonalitos milonitizados do Complexo Jaguaratama (PP2j). Destacam-se as anomalias magnéticas de direção NE-SW correlacionadas com a Zona de Cisalhamento Tatajuba no limite sul deste domínio. A Formação Jaicós da Bacia do Parnaíba está inserida na

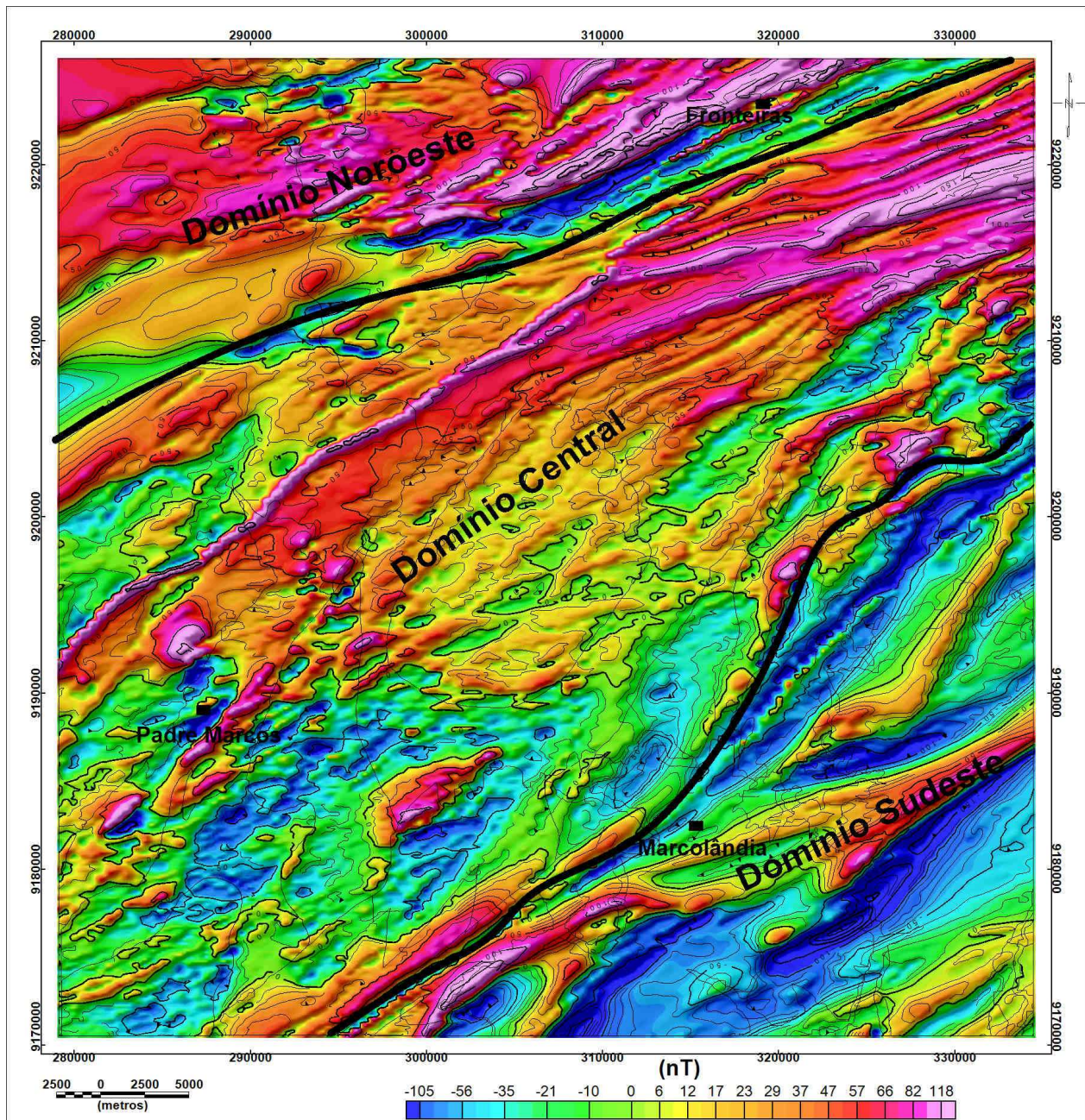


Figura 2 - Imagem do campo magnético total interpolado pelo método da mínima curvatura, em uma malha quadrada de 125 m, com sobreposição da interpretação dos domínios magnéticos e dos limites dos corpos geológicos. Imagem sombreada: Inclinação = 35° Az, declinação = 315° Az.

região oeste do domínio. Na imagem radiométrica ternária (Figura 3) destacam-se três diferentes padrões: i) tons esverdeados associados com enriquecimento nos três elementos, K ($<5,0\%$), Th ($eTh < 42$ ppm) e U ($eU < 8$ ppm) ii) a faixa alongada com tons esbranquiçados limitando-se com a Zona de Cisalhamento Tatajuba enriquecidas em K ($<7,0\%$), Th ($eTh < 59$ ppm) e U ($eU < 16$ ppm); e iii) a região definida por um padrão pintalgado de preto, verde e azul associadas com a

Formação Jaicós da Bacia do Parnaíba, possivelmente indicando a presença de solos lateritizados.

Domínio Sudeste: apresenta padrão magnetométrico movimentado (Figura 2), com anomalias de amplitude máximas de 280 nT e comprimento de ondas máximas de até 6,0 km. As anomalias que ocorrem na região sudoeste do domínio, limite com o domínio central, estão correlacionados com os metatonalitos milonitizados do Complexo Jaguaretama (PP2j) e com a Zona de

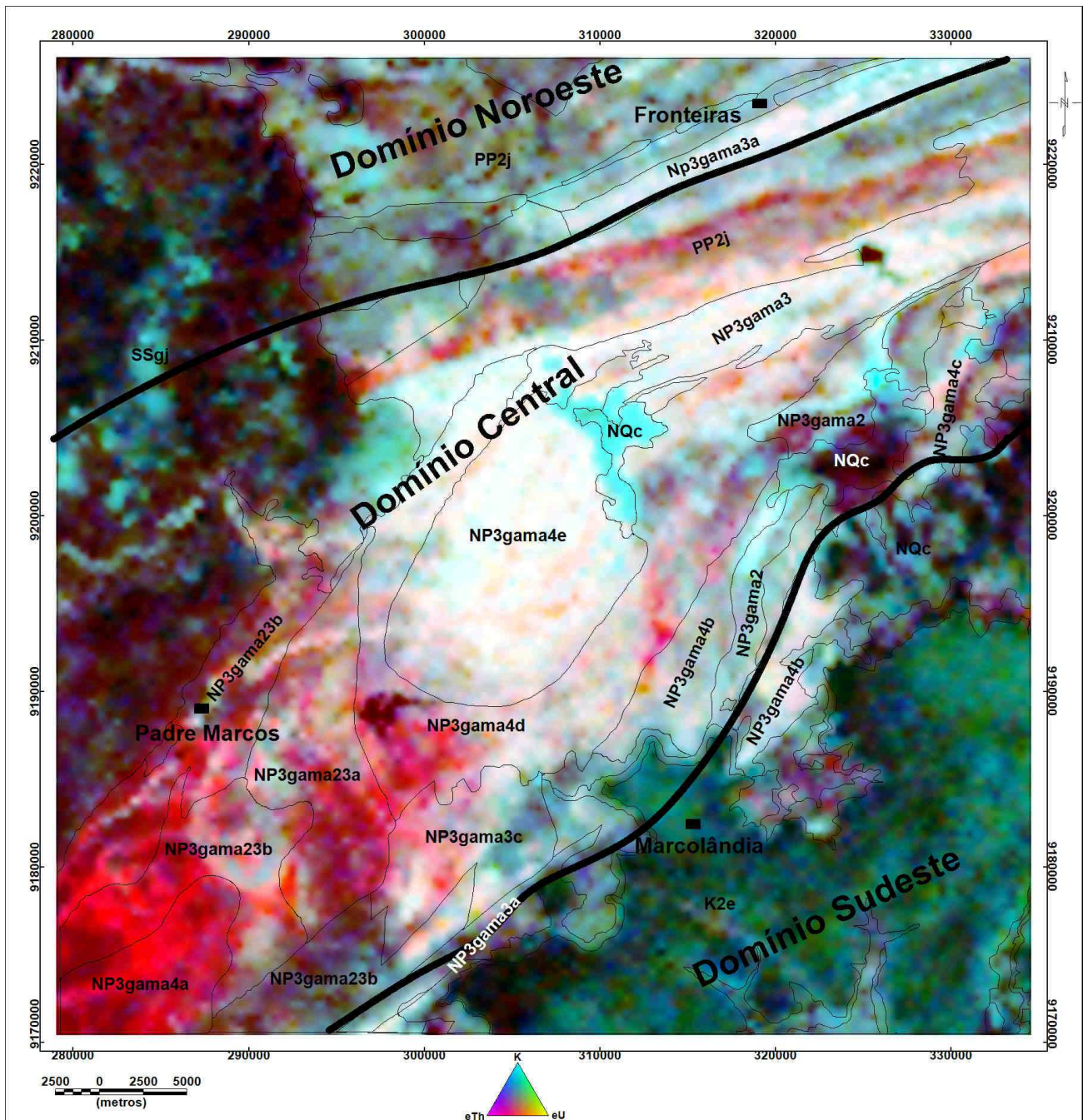


Figura 3 - Imagem da composição RGB radiométrica ternária K-eTh-eU (RGB), com sobreposição da interpretação dos domínios magnéticos e dos limites dos corpos geológicos.

Cisalhamento Potengi. As anomalias (amplitudes <math><180\text{ nT}</math>) na região central do domínio estão associadas com rochas magnéticas encobertas pelos arenitos da Formação Arajara (K2a). Outras anomalias (<math><170\text{ nT}</math>) podem ser visualizadas na região nordeste do domínio, as quais estão associadas com fontes magnéticas encobertas por aluviões (NQc). As rochas deste domínio

apresentam dois padrões dominantes na imagem radiométrica ternária (Figura 3): i) tons esverdeados a azulados relacionados com arenitos da Formação Exu (K2e) levemente enriquecidas em U ($eU < 6,0\text{ ppm}</math>); ii) tons esbranquiçados relacionados com os granitóides pós-tectônicos tipo Caldeirão Grande (NP3γ4b) enriquecidas em K (<math><7,0\%</math>), Th ($eTh < 48,5\text{ ppm}</math>) e U$$

($eU < 15,5$ ppm); iii) tons arroxeados indicando leve enriquecidos em U ($eU < 5,0$ ppm) nos arenitos finos e argilitos da Formação Arajara (K2a).

Interpretação Tectônica dos Alinhamentos Magnéticos

Anomalias magnéticas estreitas e alongadas são comumente interpretadas segundo três tipos principais de correlação geológica: i) estruturas tectônicas do tipo falha ou zona de cisalhamento; ii) contato entre duas unidades geológicas; e iii) intrusões de corpos magnéticos do tipo dique. Para poder enfatizar as fontes mais rasas, a interpretação dos alinhamentos foi efetuada com emprego da imagem da primeira derivada vertical do campo magnético total, como pode ser observado na Figura 4. Na Folha Fronteiras ocorrem inúmeros alinhamentos magnéticos muito alongados e sinuosos (Figura 2), cuja correlação geológica mais adequada é com zonas de cisalhamento e corpos magnéticos alongados. Em alguns casos estes alinhamentos acompanham os contatos geológicos dos corpos magnéticos, definindo zonas de padrões estruturais diferentes. Nesta área de estudo, onde a metade é coberta por sedimentos não magnéticos, os dados magnetométricos assumem uma grande importância quanto à interpretação tectônica da área. Como as assinaturas magnéticas podem também ser vistas nas áreas com coberturas sedimentares (bacias do Parnaíba e do Araripe), a continuidade das estruturas mapeadas nas áreas sem coberturas sedimentares pode ser também observada nas áreas com coberturas. Na análise dos alinhamentos é possível observar que as Zonas de Cisalhamento Tatajuba e Potengi delimitam a folha em três domínios diferentes. A primeira trunca e verga os alinhamentos localizados a norte da folha, na área de dominância das rochas do Complexo Jaguaratama (PP2j), produzindo formas sigmoides e estruturas circulares (Figura 4). No interior dos domínios, os alinhamentos em forma de sigmoides são associados com deformações por cisalhamentos, e os alinhamentos retilíneos estão associados com deformações rúpteis. Na região central da folha, entre as duas zonas de cisalhamento (Potengi e Tatajuba) destaca-se um expressivo alinhamento magnético que atravessa toda a folha na direção NE-SW (figuras 2 e 4). Esse alinhamento possivelmente revele uma estrutura mais recente de deformação rúptil/dúctil preenchida por intrusões em forma de dique. A sua observação indica que ao contrário do padrão normal das anomalias magnéticas com magnetização normal (pólo positivo a norte e negativo a sul), ela apresenta um pólo positivo ladeado por dois pequenos negativos. Este tipo de assinatura pode indicar que as fontes magnéticas associadas com este alinhamento foram intrudidas em uma época em que os pólos magnéticos da Terra estavam invertidos. Ou seja, essas rochas devem apresentar magnetização remanescente. O quadrante sudoeste da folha, nas vizinhanças da cidade de Padre Marcos, destaca-se por apresentar uma região anômala expressiva. Os alinhamentos magnéticos ocorrem em várias direções, ressaltando falhas/dobras relacionadas com deformações dúctil-rúpteis (Figura 4).

No sul da folha, ocorre um forte alinhamento em forma de sigmoide que se inicia nas proximidades da cidade de Marcolândia. Os aspectos do alinhamento permitem interpretar que o mesmo está relacionado com uma estrutura de deformação dúctil associado com a zona de cisalhamento Potengi, cujo prosseguimento para noroeste está encoberto pelos sedimentos da Bacia do Araripe. Porém, esta feição é bastante evidente nos dados aeromagnetométricos. Observa-se que a norte da cidade de Marcolândia, nesta zona de cisalhamento ocorre um *splay*, em que o cisalhamento principal se distribui em vários ramos (Figura 4)

Conclusões

Apesar de metade da área de estudo estar coberta por sedimentos não magnéticos, é possível observar que ela apresenta padrão magnetométrico movimentado. Observa-se que ocorrem alinhamentos muito alongados na direção NE-SW, associados sobretudo com zonas de cisalhamento. As Zonas de Cisalhamento Tatajuba e Potengi são relacionadas com expressivos alinhamentos magnéticos e delimitam a área em três domínios diferentes. As rochas do Complexo Jaguaratama (PP2j) apresenta padrão magnetométrico muito movimentado e são enriquecidas em K ($< 7,0\%$) U ($eU < 20$ ppm) e Th ($eTh < 60$ ppm). Os granitóides tardi-tectônicos, pré-tectônicos e sin-tectônicos ((NP3 γ 4e), (NP3 γ 23b), (NP3 γ 3a) do domínio central estão enriquecidos em K ($< 7,0\%$), U ($eU < 85$ ppm) e Th ($eTh < 20$ ppm). As aluviões (NQc) que ocorrem no domínio central apresentam enriquecimento em Th ($eTh < 72$ ppm) e U ($eU < 18$ ppm). Os granitóides pós-tectônicos pegmatíticos (NP3 γ 4a) são enriquecidos em K ($< 7,0\%$). Os arenitos da Formação Exu (K2e) apresentam leve enriquecimento em U ($eU < 6,0$ ppm). Os granitóides pós-tectônicos tipo Caldeirão Grande (NP3 γ 4b) são enriquecidos em K ($< 7,0\%$), Th ($eTh < 48,5$ ppm) e U ($eU < 15,5$ ppm). Os arenitos finos a argilitos da Formação Arajara (K2a) apresenta padrão radiométrico levemente enriquecidos em U ($eU < 5,0$ ppm). Entre as zonas de cisalhamento Tatajuba e Potengi há um alinhamento magnético associado com um dique que possivelmente apresenta magnetização remanescente. Os alinhamentos magnéticos nas vizinhanças da cidade de Padre Marcos ocorrem em várias direções, ressaltando falhas/dobras relacionadas com deformações dúctil-rúpteis. Os alinhamentos em forma de sigmoides nas vizinhanças da cidade de Marcolândia estão associados com a Zona de Cisalhamento Potengi.

Agradecimentos

A CPRM - Serviço Geológico do Brasil.

Referências

- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B. & Fuck H.A. 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. *In*: SBG-Núcleo Nordeste, Simpósio de Geologia do Nordeste, 8^o, Campina Grande, Atas, Boletim 6, p. 363-391.
- Prospectors Aerolevantamentos e Sistemas Ltda. 2011. *Projeto Aerogeofísico Centro-Sudoeste do Ceará*. Rep. Fed. do Brasil, MME/Secretaria de Geologia, Mineração e

Transformação Mineral/CPRM-Serviço Geológico do Brasil (no prelo).

Santos E.J. & Brito Neves B.B. 1984. *Província Borborema*. In: Almeida F. F. M. & Hasui Y.(eds.). *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo, Edgar Blücher, p.123-186.

Trompette R. 1994. *Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma): Pan-African-Braziliano Aggregation of*

South América and Africa. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 350p.

Virgens Neto, J. das. 2011. *Folha Fronteiras*. Escala 1:100.000, Estados do PI-CE-PE, Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Ministério de Minas e Energia/Secretária de Mineração e Metalurgia/CPRM-Serviço Geológico do Brasil (em execução).

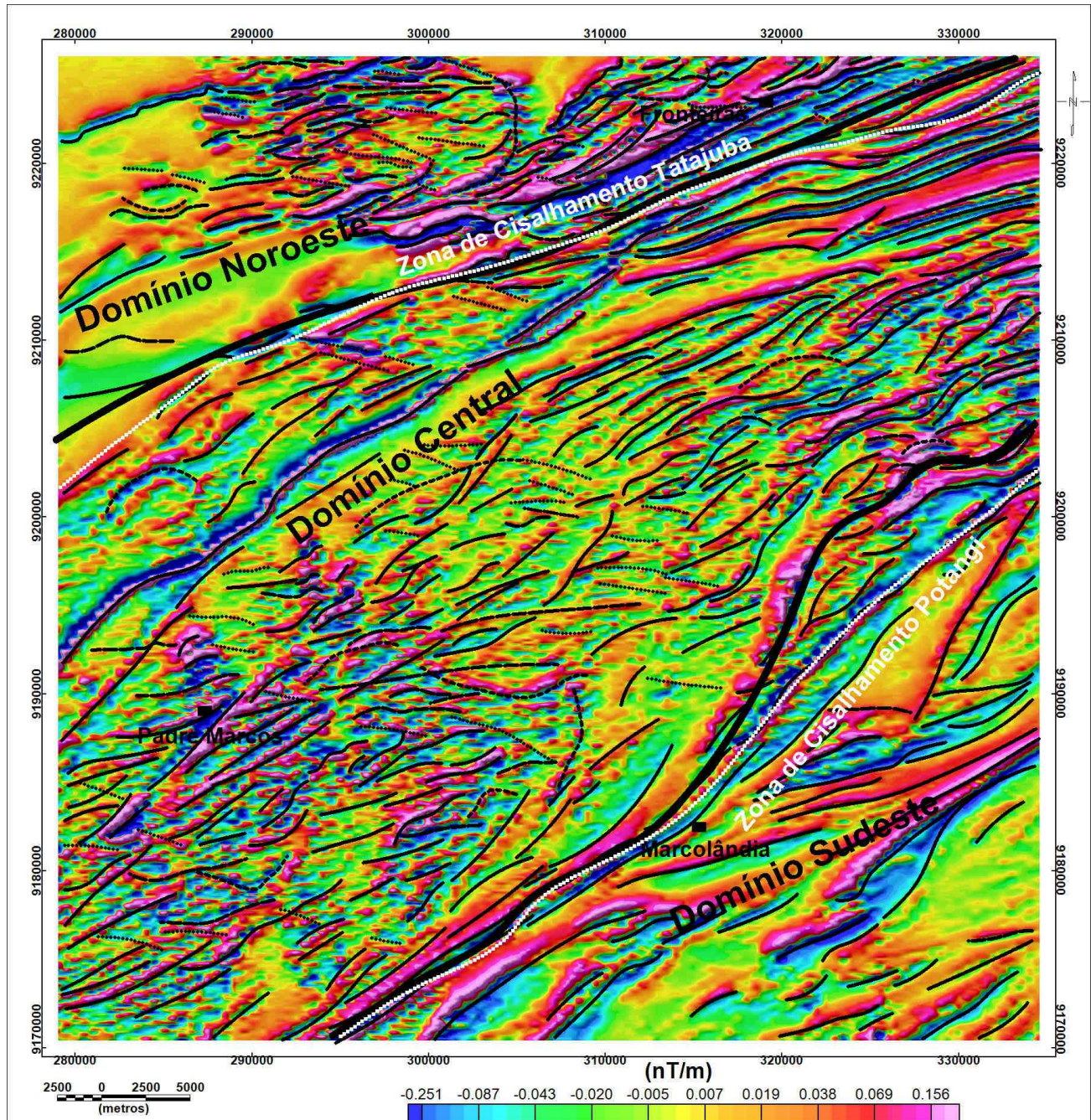


Figura 3 - Imagem do campo magnético total com derivada vertical (1ª ordem) e com sobreposição da interpretação dos alinhamentos magnéticos. Traço contínuo: zona de cisalhamento; traço preto descontínuo pontilhado: zona de deformação frágil (ou dúctil-frágil). Imagem sombreada: Inclinação = 35°Az, declinação = 315°Az.