

Processamento e interpretação dos dados aerogeofísicos dos domínios Médio Coreau e Ceará Central, Província Borborema e sua contribuição ao mapeamento geológico e evolução crustal

W.S. Amaral¹, A.M. Silva² & T.J.S. Santos¹

¹ IG-UNICAMP, Cx. Postal 6152 (wagner.amaral@ige.unicamp.br), (ticiano@ige.unicamp.br)

² Laboratório de Geofísica Aplicada, IG -Universidade de Brasília-UNB (adalene@unb.br)

Abstract Airborne geophysical data acquired over the Médio Coreau and Ceará Central Domains in west Borborema Province display different patterns previously not identified in geological field mapping. Integrated analysis of airborne magnetic and gamma-ray spectrometric data plus available geological data was conducted to map and analyze these patterns, and to obtain insight in their regional significance. Enhancement of the airborne magnetic and gamma-ray spectrometric data have resulted in better definition of both geological structure and lithological boundaries than indicated on previous maps. Comparisons of multiple geophysical signatures were particularly valuable for defining and direct new ways for modern geological mapping. Geophysical data were successfully used to highlight relationships between main crustal domains, as well as their internal structures and boundaries.

Palavras Chaves: processamento, aerogeofísica, mapeamento geológico moderno, evolução crustal.

INTRODUÇÃO O avanço das tecnologias de processamento de dados aerogeofísicos e integração com dados geológicos permitem recuperar informações úteis e valiosas contidas em levantamentos geofísicos com uma tecnologia mais antiga. Essas informações representam uma ferramenta essencial ao mapeamento geológico-estrutural de terrenos Pré-Cambrianos, onde as relações estratigráficas e estruturais são difíceis de serem delineadas em trabalhos de campo.

Dados aerogeofísicos adquiridos nos Projetos Acaraú (1975) e Itaitira (1977), realizados respectivamente, na região NW e Central do Ceará (Fig. 1) foram processados e integrados com a finalidade de gerar produtos que possam ser utilizados como ferramenta indireta na identificação de feições geológicas regionais e, assim, contribuir para a caracterização das estruturas regionais e dos limites entre blocos crustais da porção norte da Província Borborema, NE Brasil.

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL A Província Borborema (Almeida *et al.* 1981) marca o registro da atuação de fenômenos tectono-termiais neoproterozóicos limitados por grandes zonas de cisalhamento regionais e intenso magmatismo granítico (Brito-Neves *et al.* 2000).

A porção norte da Província Borborema situa-se a norte do lineamento Patos e é dividida em três grandes domínios tectono-estratigráficos: Domínio Médio Coreau (DMC), Domínio Ceará Central (DCC) e Domínio Rio Grande do Norte (DRGN). Esses domínios limitam-se por extensas zonas de

cisalhamento transcorrentes com cinemática dextral. O DMC situa-se a NW do lineamento Sobral-Pedro II e a SE da margem retrabalhada do Cráton São Luís. Nesse Domínio tem-se um embasamento gnáissico paleoproterozóico juvenil formado a 2,35 Ga (Fetter *et al.* 2000). Ocorrem ainda supracrustais (Grupos Ubajara e Martinópolis) e granitóides (Chaval, Tucunduba, Meruoca e Mucambo) neoproterozóicos (Fetter 1999, Santos *et al.* 2004).

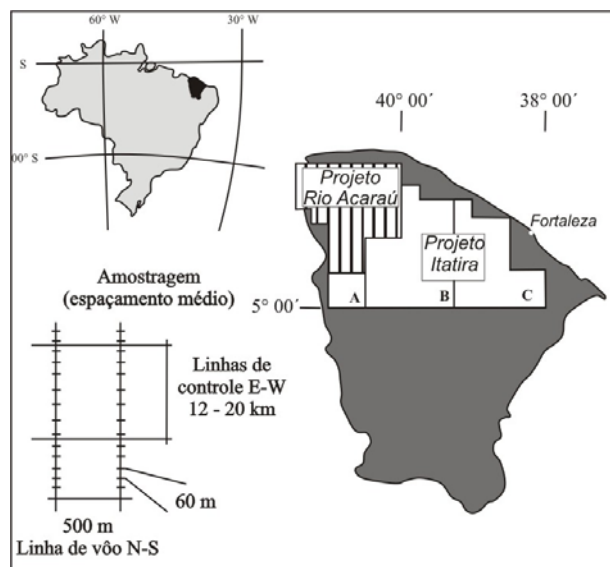


Figura 1. Localização das áreas de estudo, no detalhe características do levantamento do projeto Itaitira

O DCC situa-se entre os lineamentos Sobral-Pedro II e Senador Pompeu. É caracterizado por uma tectônica de dobramentos com *nappes* bem preservadas envolvendo um embasamento gnáissico



policíclico e coberturas neoproterozóicas (Complexo Ceará e Complexo granítico-migmatítico de Santa Quitéria (Arthaud *et al.* 1998, Fetter *et al.* 2003). Núcleos arqueanos são representados pelos maciços de Tróia, Pedra Branca e Mombaça.

O arcabouço tectônico da área estudada é representado por grandes ZC de direção NE-SW a E - W, além de outras NNW-SSE, como a ZC Rio Groaíras. Mais precisamente no DCC a estruturação regional constitui-se basicamente de um conjunto de feições estruturais dobradas que encerra uma megaestrutura denominada *Front de Itatira* (Oliveira 2005).

BASE DE DADOS GEOFÍSICOS Os dados aerogeofísicos utilizados neste trabalho foram

adquiridos nos Projetos Acaraú (1975) e Itatira (1977), que recobriram a porção norte do estado do Ceará (Fig. 1).

A base de dados encontra-se em formato digital XYZ, onde X e Y correspondem às coordenadas UTM (zona 24-S e *Datum* Córrego Alegre) e Z às medidas de campo magnético reduzido da contribuição do IGRF e dos canais derivados da banda de energia denominada contagem total: K, Th e U.

Esses dados aerogeofísicos possuem características diferenciadas, como: espaçamento entre as linhas de vôo, total de perfis amostrado, tempo de integração gama e data de aquisição dos projetos. A Fig. 2 sintetiza as principais características desses projetos.

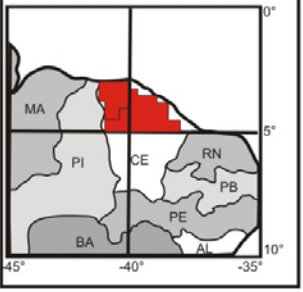

 Legenda:  Localização dos Projetos Rio Acaraú e Itatira (AM) - Amostragem (LV) - Linha de Vôo (LC) - Linha de Controle <i>Fonte: Compilado da base de dados Aerogeofísicos do Brasil, criada pela CPRM, 1995.</i>	PROJETOS:	RIO ACARAÚ	ITATIRA
	Métodos:	Magnetometria e Gamaespectrometria	Magnetometria e Gamaespectrometria
	Contratante:	CPRM	NUCLEBRÁS
	Contratado:	PROSPEC S.A.	LASA
	Contrato:	213/DA/74 - 05/08/74	
	Período:	08 a 12/1975	10 a 11/1977
	Número de Áreas:	01	03
	Total de Perfis:	23.720 km	80.000 km
	Intervalo (AM):	2 s	1 s
	Altura de Vôo:	150 metros	150 metros
	Área Total:	21.000 km ²	38.000 km ²
	Direção (LV):	N-S	N-S
	Espaçamento (LV):	1000 metros	500 metros
	Direção (LC):	E-W	E-W
	Espaçamento (LC):	20 km	20 km
	Tempo de Integração Gama (s):	2	1
	Produtos:	Registros analógicos; Filmes de rasteiro; Fotomosaicos com posicionamento dos perfis; Fitas magnéticas de campo.	Registros analógicos; Filmes de rasteiro; Fotomosaicos com posicionamento dos perfis; Fitas magnéticas de campo.

Figura 2. Características dos aerolevantamentos, projetos Rio Acaraú e Itatira (fonte: CPRM 1995).



MÉTODOS A metodologia deste trabalho foi desenvolvida por Silva (1999) e Blum (1999). Durante o processamento dos dados aeromagnéticos foram realizados diversos testes, visando o estudo dos algoritmos de interpolação em malha regular e o micronivelamento, com o intuito de melhorar a qualidade dos dados. Após essa fase, foram aplicadas diversas transformações lineares principalmente nos dados magnéticos (filtros, derivadas, sinal analítico, entre outros) que possibilitaram o melhor entendimento da distribuição e da natureza das fontes magnéticas.

Desse modo, o trabalho dividiu-se em três etapas: 1ª - pré-processamento: verificação de inconsistências nos dados; 2ª - processamento: análise, interpolação e micronivelamento dos dados e geração de temas relevantes para o mapeamento geológico e estudos regionais tais como: amplitude e inclinação do sinal analítico de ordem zero, continuação ascendente, amplitude do gradiente horizontal total de ordem zero e deconvolução de Euler, e 3ª - interpretação: delimitação de domínios e lineamentos magnéticos e sua correlação com dados geológicos pré-existentis.

PROCESSAMENTO DOS DADOS O processamento dos dados, tanto magnéticos como gamaespectrométricos, foi realizado em meio digital com o uso do programa *OASIS Montaj*™ da *GEOSOFT VERSÃO 5.1.8* e a interpretação no *ArcMAP GIS v.9.1*.

Inicialmente os dados foram avaliados quanto à presença de inconsistências das linhas de voo (distribuição espacial). Foram detectados problemas com relação ao cruzamento de linhas de voo. Os efeitos pepita ou picos, que geram ruídos nos dados, foram identificados utilizando perfis rebatidos, o método da quarta derivada e o teste de consistência P (Blum 1999).

Os dados foram interpolados em uma malha regular (*grid*), com espaçamento de célula de 250 m, utilizando como interpolador os métodos de mínima curvatura, krigagem e bidirecional. O método final utilizado foi definido a partir de análises visuais e de perfis, sendo usado o método bidirecional como o melhor interpolador. Posteriormente, os dados foram micronivelados utilizando o algoritmo *microlevel.gs* desenvolvido por Blum (1999) com base no método proposto por Minty (1991).

A etapa de processamento foi iniciada com os dados magnéticos e consistiu em gerar mapas transformados do campo magnético anômalo (CMA). As técnicas de realce aplicadas são produtos de transformações lineares que modificam as relações de

amplitude e/ou fase dos dados. Tais transformações ocorrem no domínio da frequência, utilizando a transformada rápida de *Fourier*. As imagens geradas a partir dos produtos transformados do campo magnético anômalo residual foram:

- amplitude do Sinal Analítico (ASA);
- inclinação do Sinal Analítico (ISA);
- derivadas verticais (D_z) e horizontais (D_x , D_y) de primeira ordem;
- amplitude do Gradiente Horizontal Total (AGHT) de ordem zero;
- continuação ascendente (750, 2000 e 5000 metros);
- redução ao Pólo (REDP), e
- pseudogravidade (PGRAV).

O processamento seqüenciou-se com o tratamento dos dados gamaespectrométricos e a geração das imagens dos canais individuais e composições coloridas (RGB, CMY).

INTERPRETAÇÃO E INTEGRAÇÃO Os produtos aeromagnetométricos foram utilizados para a caracterização das estruturas e blocos crustais, e a aerogamaespectrometria para diferenciar unidades litogeofísicas.

As imagens radiométricas dos canais individuais de potássio, tório e urânio aliadas à composição colorida RGB e CMY (K:Th:U) realçam um padrão de distribuição anômalo dos radioelementos, estabelece os grandes alinhamentos de direção NE-SW e o expressivo alinhamento da ZC rio Groaíras (ZCRG), na direção NW-SE.

A imagem da amplitude do sinal analítico (ASA) (Fig. 3) mostra que as grandes ZC transcorrentes são representadas por altos valores de amplitude. A individualização do arco magmático de Santa Quitéria (AMSQ) é bem distinto nas imagens de ASA (Fig.3) tal como na imagem de composição ternária RGB (Fig. 4). A ZC transcorrente Rio Groaíras constitui-se, na sua porção sul, em um excelente exemplo de delimitação de blocos crustais, mesmo essa ZC tendo um caráter predominantemente cataclástico. Nessa porção tem-se o nítido contato entre as rochas com alta ASA do AMSQ com aquelas de baixa ASA do bloco Itataia. Ambos compreendem rochas gnaissificadas e migmatizadas, porém a segunda unidade constitui-se de metassedimentos gnaissificados e migmatizados oriundos de uma fonte Paleoproteróica (Santos *et al.* 2003) (Fig.3). Da mesma forma, destaca-se o contato do AMSQ, do Maciço de Baturité e do Complexo Cruzeta (Fig. 4) com as faixas metassedimentares de baixa ASA.

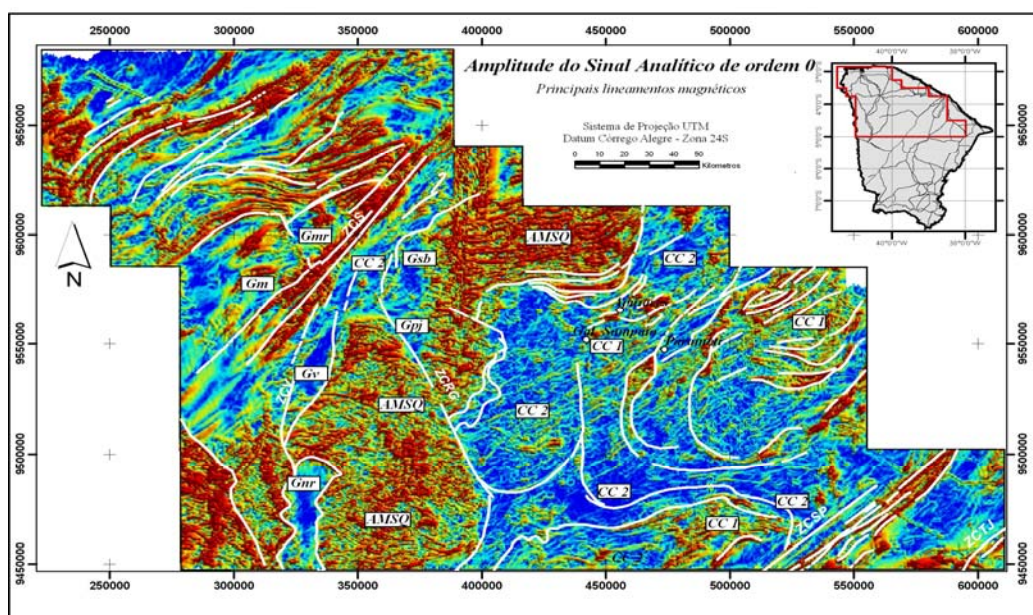


Figura 3. Mapa da Amplitude do Sinal Analítico e os principais domínios magnéticos

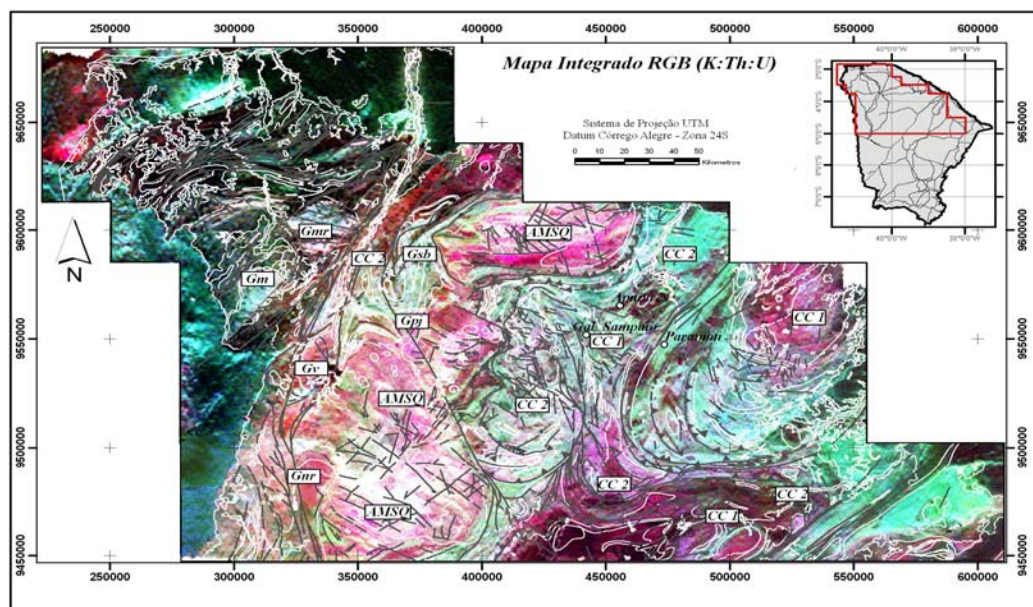


Figura 4. Mapa integrado de composição ternária RGB (K:Th:U) e estruturas extraídas do radar SRTM

Valores intermediários e baixa amplitude (CC1 e CC2, respectivamente) foram verificados principalmente no Domínio Ceará Central e correspondem em grande parte as seqüências de rochas paraderivadas do Complexo Ceará (CC) (CPRM, 2003). Os granitos pós-tectônicos, tipo Serra da Barriga (Gsb) Mucambo (Gm), Meruoca (Gmr) e Pajé (Gpj) e os granitos sin a pré-tectônicos, tipo Nova Russas (Gnr) e Varjota (Gv) também são caracterizados por baixa ASA (Fig. 3).

Os lineamentos magnéticos possuem orientação NE-SW, sendo esses os mais expressivos e abundantes além de serem os mais profundos segundo

o produto de continuação ascendente no nível de 5000 metros. As estruturas NE-SW e E-W, apresentam muitas vezes, associações com diques básicos preenchendo falhas no DCC e as expressivas zonas de cisalhamento do DMC (Fig. 3). O trend NW-SE, apresentou forte correlação com a Zona de cisalhamento Rio Groaíras (ZCRG) bem marcada nos diferentes produtos.

A densidade de alinhamentos magnéticos se torna menos expressiva com a profundidade acima de 2000 metros sendo praticamente inexistente acima de 5000 metros.



O tratamento dos dados permitiu subdividir em diferentes domínios o Complexo Ceará e adjacências, sugerindo a individualização de novos litotipos em escalas de trabalhos até 1:100.000. Faixas granulíticas de direção NE-SW da região de Gal. Sampaio são bem marcadas nas imagens ternárias (RGB e CMY) e nos canais individuais (K, Th, U), assim como as rochas básicas (anfíbolitos, calciossilicáticas, metagabros) das regiões entre os municípios de Apuiarés, Gal. Sampaio e Paramoti (Fig. 4) sendo caracterizados por baixas contagens de radioelementos.

Os principais granitos intrusivos também podem ser discriminados com características isotópicas próprias, a exemplo os granitos da Suíte Pajé que são marcados por altas taxas de contagens nos canais de potássio e urânio e intermediárias no canal de tório. Os granitos Meruoca e Mucambo com assinaturas isotópicas similares apresentam contagens altas dos três radioelementos (Fig. 4).

CONCLUSÕES A integração dos dados aerogeofísicos com as informações geológicas permite

estabelecer em linhas gerais, as áreas de rochas paraderivadas e graníticas que se acham distribuída em ampla área do DCC e DMC.

Os alinhamentos estruturais nas direções NE-SW e E-W são individualizados, tendo sua importância na delimitação de blocos crustais de diferentes idades geocronológicas.

O detalhamento das estruturas magnéticas e das feições gamaespectrométricas fornecem subsídios para futuras campanhas de mapeamento geológico e novas discussões a cerca da evolução tectônica dos Domínios Médio Coreau e Ceará Central.

Agradecimentos À Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM) por ceder os dados aerogeofísicos; ao Laboratório de Processamento de Informações Georreferenciadas (LAPIG) do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), ao Laboratório de Geofísica Aplicada do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de Brasília (UNB), ao Programa de Pós-graduação pelo auxílio no trabalho de campo, ao Projeto Fapesp (Proc. N°. 03/07663-3) ao Departamento de Geologia da UFC e a CAPES.

Referências

- ALMEIDA F.F.M., HASUI Y., BRITO-NEVES B.B. & FUCK R.A. 1981 - *Brazilian structural provinces: an introduction*. Earth Science Reviews, v. 17, pp. 1-29.
- ARTHAUD M.H., VASCONCELOS A.M., OLIVEIRA F.V.C. 1998. *As seqüências metassedimentares do Ceará Central*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Belo Horizonte, Anais, p.16.
- BLUM M.L.B. 1999. *Processamento e Interpretação de Dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e sua Aplicação à Geologia Regional e à Prospeção Mineral*. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado. 229p.
- BRITO-NEVES B.B. 2000. *Tectonic history of the Borborema Province, NW Brazil*. In: CORDANI U.G., MILANI E.J., THOMAZ FILHO A., CAMPOS D.A. (eds) *Tectonic Evolution of South American*, Rio de Janeiro, pp.: 151-182.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais 2003, *Mapa Geológico do Estado do Ceará (1:500.000)* CD-ROM.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais 1995. *Base de Dados dos Levantamentos Aerogeofísicos dos Projetos Rio Acaraú e Itaitira*, www.cprm.gov.br.
- FETTER A.H. 1999. *U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of Gondwana*. [Ph.D thesis], Department of Geology, Kansas University, Lawrence, KS – USA, 164 p.
- FETTER A.H., SANTOS T.J.S., VAN SCHMUS W.R., HACKSPACHER P.C., BRITO NEVES B.B., ARTHAUD M.H., NOGUEIRA J.A., WERNICK E. 2003. *Evidence for Neoproterozoic Continental Arc Magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of West Gondwana*. *Gondwana Research*, 6(2):265-273.
- JARDIM de SÁ E.F. 1994. *A faixa Seridó (Província Borborema) E o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana*. Inst. de Geociência, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado, 803p.
- MINTY B.R.S. 1991. Simple Micro-Levelling for Aeromagnetic Data. *Expl. Geoph.* 22:591-592.
- OLIVEIRA J.F. 2005. *Interação Magnetométrica e gamaespectrométrica com abrangência das Razões U/Th, U/K e Th/K no Mapeamento Geológico da Folha Quixadá, Estado do Ceará, Brasil*. 9º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Anais, Salvador-BA.
- SANTOS T.J.S. 1999. *Evolução Tectônica e Geocronológica do Extremo Noroeste da Província Borborema*. Tese de doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas IGCE/UNESP-Rio Claro, 186 p.
- SILVA A.M. 1999. *Geophysical and Geological Data Integration Using a New Statistical Approach for Mineral Target Selection Applied to the Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero*. Inst. de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado.