



## Mapas Gravimétricos da Província Borborema, Nordeste do Brasil

Roberto Gusmão de Oliveira\*, CPRM-SGB, PPGG-UFRN; Walter Eugênio de Medeiros, DFTE-PPGG-UFRN; Fernando Antônio Pessoa Lira Lins, DG-PPGG-UFRN

Copyright 2006, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica  
Este texto foi preparado para a apresentação no II Simpósio de Geofísica da Sociedade Brasileira de Geofísica, Natal, 21-23 de setembro de 2006. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Técnico-científica do II SR-SBGf 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.

### Resumo

Os mapas gravimétricos de anomalia Bouguer, anomalia ar livre e anomalia Bouguer residual da Província Borborema foram confeccionados a partir de uma base de dados, a qual foram adicionados novos dados levantados recentemente. Os dados foram interpolados em uma malha de 10 km x 10 km. Ao mapa de anomalia Bouguer foi aplicada uma técnica de separação regional-residual no domínio da frequência. Os resultados preliminares da interpretação dos mapas gravimétricos e da integração com dados geológicos acarretam em importantes contribuições quanto à compreensão da articulação tectônica pré-cambriana, ao arcabouço da margem continental e à evolução epirogênica do Planalto da Borborema.

### Introdução

Neste trabalho são apresentados os mapas gravimétricos de anomalia Bouguer, anomalia ar livre e anomalia Bouguer residual da Província Estrutural da Borborema, localizada no Nordeste Oriental do Brasil (Almeida *et al.* 1977). Os mapas gravimétricos foram elaborados a partir de uma base de dados do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN com contribuição de várias instituições de pesquisa (Tabela 1, Figura 1). Os objetivos principais para a geração desses mapas são produzir interpretações para a compreensão do arcabouço tectônico pré-cambriano, esboçar um modelo de evolução e segmentação da margem continental e entender a evolução epirogênica do Planalto da Borborema.

### Dados Gravimétricos

A base de dados utilizada começou a ser estruturada por Moreira *et al.* (1989) com um conjunto de dados levantados em projetos desenvolvidos na UFRN, na região localiza a norte do paralelo  $-7^{\circ}$  e a leste do meridiano  $-43^{\circ}$ , na área que corresponde ao Nordeste Setentrional. Nos anos seguintes, no âmbito da área continental, foram agregados novos dados levantados pela UFRN, além de dados provenientes de outras instituições (Tabela 1, Figura 1).

Na área oceânica os dados de anomalia Bouguer são originários da PETROBRÁS/Oregon State University-OSU (Projeto EQUANT) (Tabela 1, Figura 1) e do processamento de dados de satélite efetuados pelo Lamont-Doherty Earth Observatory-USA.

Os dados de anomalia Ar-livre da área oceânica foram obtidos em *Satellite Geodesy* (Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego, [http://topex.ucsd.edu/marine\\_topo/](http://topex.ucsd.edu/marine_topo/)). Sandwell & Smith (1997) processaram as anomalias gravimétricas a partir dos dados altimétricos dos satélites Geosat e ERS-1.

Na execução dos levantamentos da altitude para o apoio aos levantamentos gravimétricos na área continental foram empregadas metodologias que apresentam qualidades diferentes com relação à precisão. O maior erro previsto para a incerteza altimétrica é de 2 metros, nos casos em que o levantamento foi executado pelo método barométrico.

Os valores da gravidade levantados no continente estão padronizados em relação ao sistema IGSN – 71 (*International Gravity Standardization Net – 1971*). As correções ar-livre e Bouguer foram referenciadas ao nível do mar (geóide). Para todos os dados foi aplicada a correção da atração luni-solar e empregada a densidade de  $2,67 \text{ g/cm}^3$  para a correção Bouguer. As anomalias Bouguer são apresentadas na sua forma simples, sem as correções de terreno.

INSTITUIÇÃO	DADOS GRAVIMÉTRICOS
UFRN/UFPA/UFOP	9.949
LITOBORBOREMA	755
PETROBRÁS/ANP	207.025
PETROBRÁS/CPRM	3.684
CPRM/DNPM/ON	2.379
DNPM/CPRM	2.079
UFPE	296
USP	822
IBGE	142
PETROBRÁS – OSU	16.400
<b>TOTAL</b>	<b>243.531</b>

Tabela 1 – Distribuição dos dados gravimétricos por instituição.

Os valores da gravidade observados na área oceânica também estão padronizados em relação ao IGSN – 71. No caso dos dados obtidos sobre plataformas em navios, além da correção da atração luni-solar foi aplicada a de

Eötvös para o deslocamento durante o registro dos dados. Na correção Bouguer dos dados oriundos da PETROBRÁS-OSU foi utilizado o valor de  $1,03 \text{ g/cm}^3$  para a densidade da lâmina de água.

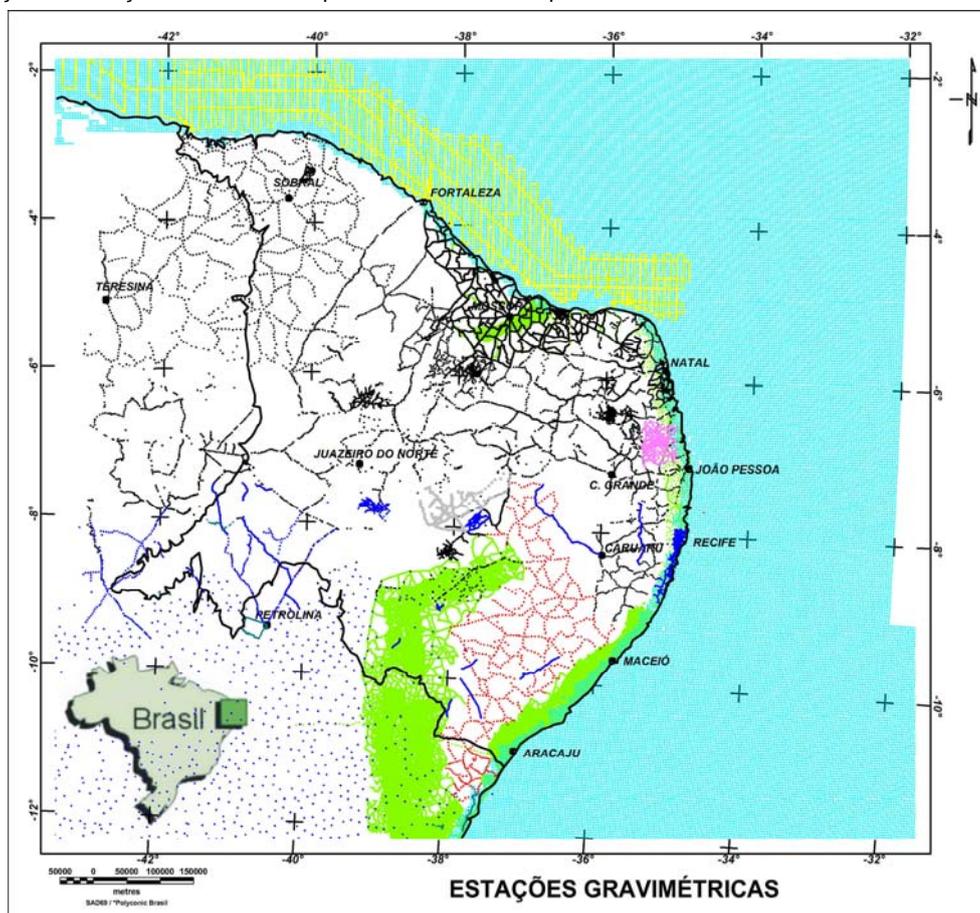


Figura 1 – Localização das medidas gravimétricas. UFRN/UFPA/UFOP/PETROBRÁS/CPRM - preta; LITOBORBOREMA - vermelha; PETROBRÁS/ANP - verde clara; CPRM/DNPM/ON - azul escura; UFPE - cinza; USP - violeta; PETROBRÁS/OSU - amarela; IBGE - verde escura. A malha da área oceânica (azul clara) de anomalias ar-livre foi obtida de Sandwell & Smith (1997), e de anomalias Bouguer do *Lamont-Doherty Earth Observatory-USA*. O limite da Província Borborema é o traço preto contínuo.

Os novos dados gravimétricos incorporados ao banco de dados pré-existente (Tabela 1, Figura 1), estão sendo levantados como parte do Projeto Estudos Geofísicos da Província Borborema: Estrutura Litosférica e Implicações para a Evolução Termomecânica das Bacias Sedimentares (LITOBORBOREMA), financiado pelo CNPq/CTPETRO. Até o momento foram levantadas 755 estações gravimétricas (medidas na cor vermelha, Figura 1) e estão previstas mais 250 estações gravimétricas que serão distribuídas nos espaços vazios localizados entre os paralelos  $-6^\circ$  e  $-8^\circ$  e os meridianos  $-36^\circ$  e  $-40^\circ$ . O trabalho está sendo executado com um gravímetro LaCoste & Romberg, modelo G912. Os dados de anomalia Bouguer e ar livre foram interpolados pelo método de mínima curvatura em uma malha de  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ . Os mapas resultantes estão apresentados nas Figuras 2 e 3.

### Mapa de Anomalia Bouguer

O mapa de anomalias Bouguer do conjunto das áreas continental e oceânica permite a observação da relação entre as feições tectônicas antigas da área continental com as feições tectônicas jovens da área oceânica (Figura 2). A assinatura mais marcante é a do gradiente positivo da anomalia Bouguer no sentido do oceano. Nota-se que os valores passam de negativo (tons azuis) no interior do continente para valores muito positivos (tons avermelhados) na região oceânica. Esse gradiente é produzido pelo balanceamento da densidade que conduz ao equilíbrio isostático entre a crosta continental espessa e leve e a crosta oceânica menos espessa e mais densa, em relação ao manto superior com densidade maior que os dois tipos de crostas.

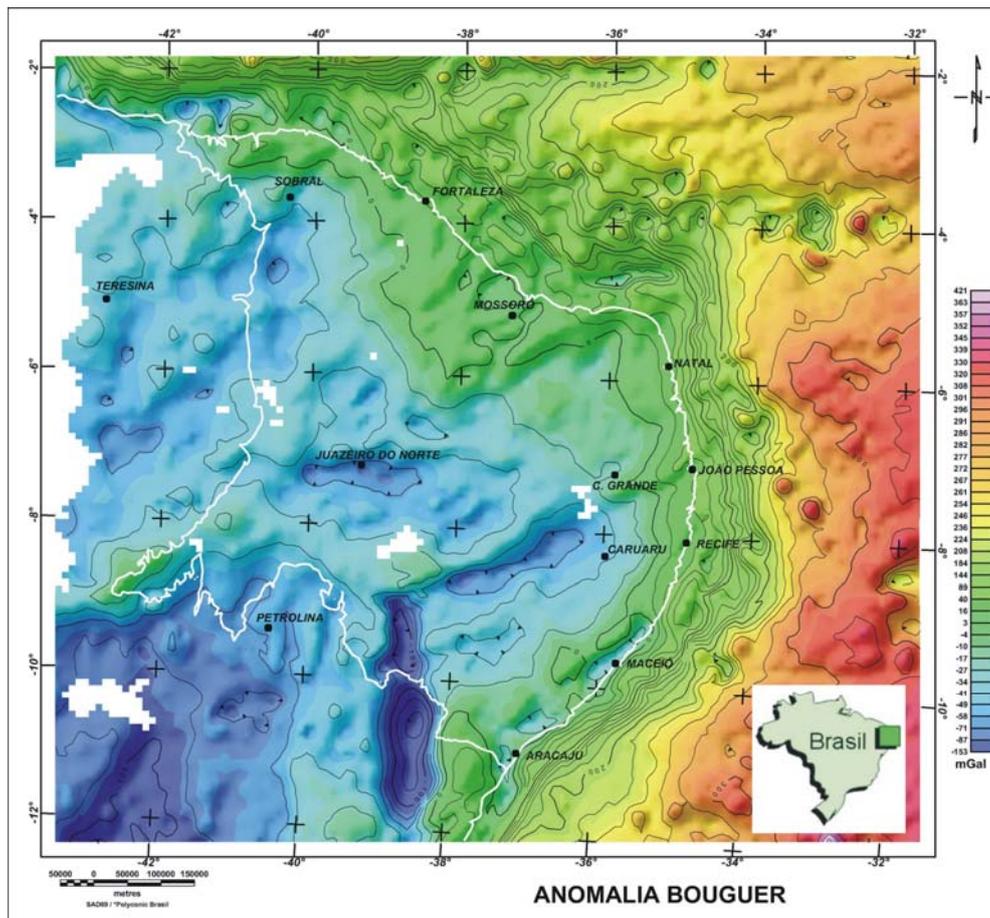


Figura 2 – Anomalia Bouguer em malha interpolada com dimensão de 10 x 10 km. Imagem sombreada (Inc. = 35°, Dec. = 315°Az). O limite da Província Borborema é o traço branco. Explicações no texto.

### Mapa de Anomalia Ar livre

As anomalias gravimétricas ar-livre incorporam o efeito da carga topográfica, que são removidas no cálculo da anomalia Bouguer. Por esta razão elas representam a forma mais pura da anomalia gravimétrica. Na figura 3 é possível observar que a Província Borborema como um todo se caracteriza por um excesso positivo de anomalia ar-livre, o qual sugere desequilíbrio isostático (Oliveira 2006). Observa-se também que a quebra da plataforma continental ao longo da margem é bem marcada por um eixo positivo de anomalias ar-livre (A, B, C e D na Figura 3). Esse eixo compõe um par com um eixo negativo do lado da área oceânica, o qual coincide aproximadamente com o sopé da plataforma continental. Os comprimentos de onda do par positivo-negativo variam entre 80 e 100 km e as amplitudes do pico positivo ao pico negativo variam de 80 a 150 mGal. As variações de amplitude e forma deste “efeito de borda” ao longo da margem continental sugerem a ocorrência de segmentações. Estas segmentações podem estar associadas com feições do espalhamento do assoalho oceânico e/ou com a superposição de eventos pós-rifteamento, bem como,

podem também ter sofrido a influência de estruturas pré-cambrianas pré-existentes (Oliveira 2006).

A integração de dados das anomalias ar livre, Bouguer e do Geóide sugere que o soerguimento do Planalto da Borborema é uma consequência de modificações da estrutura crosta-manto causada por alterações nas propriedades físicas da litosfera subcrustal (Oliveira, Medeiros e Lins, 2005a; Oliveira, 2006).

### Separação Regional-Residual dos Dados de Anomalia Bouguer

Um mapa gravimétrico é a expressão complexa da combinação de uma série de anomalias causadas por fontes rasas que refletem variações de densidades em áreas pequenas e de fontes profundas relacionadas com anomalias causadas por variações de densidades em áreas regionais.

Foi empregado um método baseado na avaliação do espectro de potência dos dados para a separação das fontes rasas em relação às fontes profundas. Esse método utiliza a transformação dos dados gravimétricos para o domínio da frequência por meio da Transformada

de Fourier. Nessa operação a malha interpolada dos dados gravimétricos foi aproximada pela soma de uma série de ondas harmônicas no plano x-y, apresentando

diferentes relações de frequências, azimutes, amplitudes e fases, permitindo supor que ela é produzida por conjuntos de fontes, rasas e profundas.

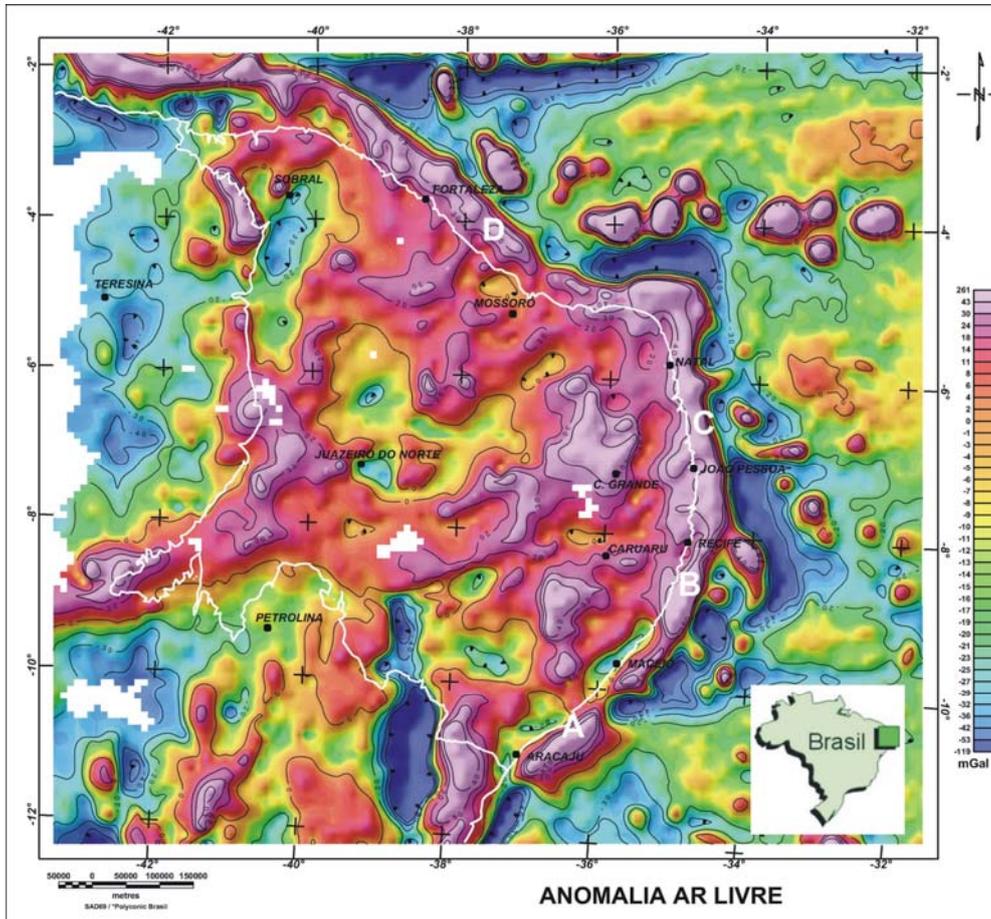


Figura 3 – Anomalia Ar livre em malha interpolada com dimensão de 10 x 10 km. Imagem sombreada (Inc. = 35°, Dec. = 315°Az). O limite da Província Borborema é o traço branco. Explicações no texto.

Para a execução do cálculo do espectro de potência médio radial dos dados gravimétricos a malha interpolada foi condicionada segundo os seguintes passos (Oasis Montaj, v. 5.1.2, Geosoft®):

- Retirou-se uma superfície de tendência que correspondeu à média dos pontos da borda.
- Foi efetuada uma expansão quadrada de 10% da área, para evitar problemas de borda, causados pelo truncamento das anomalias de grande comprimento de onda.
- Os dados condicionados foram transformados para o domínio da frequência por meio da *Fast Fourier Transform (FFT)*.
- Em seguida foi calculado o espectro de potência médio radial da malha interpolada (Figura 4), que após esse procedimento foi transformada de volta para o domínio do espaço.

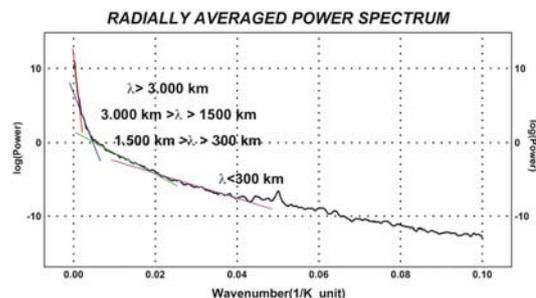


Figura 4 – Espectro de potência médio radial dos dados de anomalia Bouguer, com a interpretação dos intervalos das frequências espaciais e dos comprimentos de onda utilizados para a aplicação do filtro gaussiano regional-residual.  $\lambda$  = comprimento de onda.

Para a separação regional-residual foi aplicado um filtro gaussiano. Ele é um filtro suave que funciona como um passa banda, porém, os dados de saída apresentam uma

distribuição gaussiana (normal) e o ponto de corte (*cutoff point*) escolhido é o desvio padrão da função gaussiana. O operador matemático regional é definido pela seguinte expressão:

$$L(k) = 1 - e^{-(k/k_0)^2}$$

onde  $k_0$  é o desvio padrão da função gaussiana em ciclos/metros.

O comprimento de onda para o corte no domínio da frequência em dados gravimétricos é definido pela fórmula:

$$\lambda = 2\pi/k,$$

onde  $\lambda$  é o comprimento de onda e  $k$  o número de onda ou frequência espacial em ciclos/metros.

O resultado da aplicação da filtragem para a separação regional-residual nos dados de anomalia Bouguer está apresentado na Figura 5. O comprimento de onda empregado para a separação da componente residual com o objetivo de investigar estruturas crustais foi 300 km.

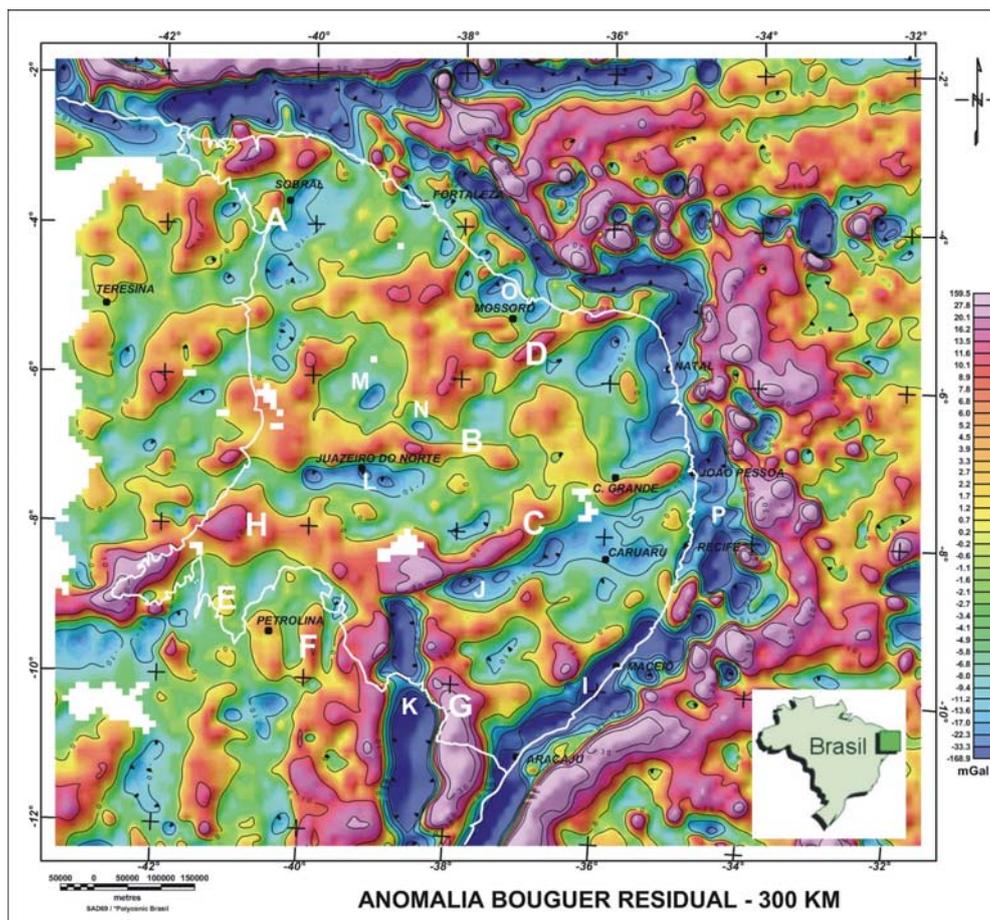


Figura 5 – Anomalia Bouguer filtrada (filtro gaussiano, passa alta, 300 km) para realçar a componente residual com comprimento de onda inferior a 300 km. Imagem sombreada (Inc=35°, Dec=315°Az). O limite da Província Borborema é o traço branco. Explicações no texto.

### Mapa de anomalia Bouguer Residual

A interpretação dos dados gravimétricos de anomalias Bouguer residuais permite a separação da província em vários compartimentos geofísicos-tectônicos (Oliveira, Medeiros e Lins, 2005b), cujos limites tectônicos são caracterizados por meio de anomalias gravimétricas alongadas, geralmente correlacionados com zonas de cisalhamento (A, B, C e D na Figura 5). Na análise

desses dados também é possível investigar o limite norte da placa Sanfranciscana (Alkmin *et al.* 1993) em relação à Província Borborema. No mapa de anomalia Bouguer residual este limite é caracterizado pelos truncamentos dos alinhamentos N-S da placa (E, F e G na Figura 5) em relação a uma faixa de anomalias positivas em forma de arco que ocorre na margem sul da província (H na Figura 5). Destacam-se também as anomalias Bouguer

negativas relacionadas com as bacias sedimentares (I - Sergipe-Alagoas, J - Jatobá, K - Recôncavo-Tucano, L - Araripe, M - Iguatu, N - Rio do Peixe, O - Potiguar e P - Pernambuco-Paraíba, na Figura 5).

### Conclusões

A elaboração dos mapas gravimétricos da Província Borborema representa um avanço importante para a compreensão de vários problemas tectônicos que desafiam a comunidade geocientífica.

Na anomalia ar livre, a interpretação do “efeito de borda” resultante da quebra da plataforma, permite fazer inferências sobre a segmentação da margem e a arquitetura da transição litosférica continente-oceano (Oliveira, 2006).

A análise dos dados de anomalias Bouguer e ar livre em conjunto com dados de anomalias de Geóide têm permitido a obtenção de respostas importantes sobre a evolução epirogênica do Planalto da Borborema.

A interpretação dos dados gravimétricos de anomalias Bouguer residuais admite a separação da província em vários compartimentos geofísicos-tectônicos pré-cambrianos. Também é possível identificar a assinatura de várias bacias sedimentares interiores e costeiras.

### Agradecimentos

Ao CNPq/CTPETRO pelo apoio financeiro via Projeto LITOBORBOREMA. Ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN e a CPRM-Serviço Geológico do Brasil pelo apoio para realização deste trabalho.

### Referências

Alkmin, F.F.; Brito Neves, B.B.; Castro Alves, J.A. 1993. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco - uma revisão. *In: Dominguez, J.M.L. & Missi, A. (eds.) O Cráton do São Francisco*. Salvador, SBG/SGM/CNPq, p. 45-62.

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, Campina Grande, *Atas*, p. 363-391. (Boletim 6).

Moreira, J.A.M.; Medeiros, W.E.; Lins, F.A.L.; Archanjo, C.J.; Ussami, N. 1989. Mapa gravimétrico do Nordeste Setentrional do Brasil e sua contribuição ao estudo da tectônica da área. *In: Anais do I Congresso Brasileiro da SBGf*, 2:531-537, Rio de Janeiro, RJ.

Oliveira, R.G.; Medeiros, W.E.; Lins, F.P.L. 2005a. Análise Conjunta de Dados Gravimétricos e Topográficos para uma Discussão das Causas da Epirogênese na Província Borborema - Nordeste do Brasil. *In: SBG-Núcleo PR, Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 10, Curitiba-PR, *Boletim de Resumos Expandidos*, p.163-166.

Oliveira, R.G.; Medeiros, W.E.; Lins, F.P.L. 2005b. Expressão gravimétrica e aeromagnética dos compartimentos e limites tectônicos da Província Borborema, Nordeste do Brasil. *In: SBGf, International Congress of the Brazilian Geophysical Society*, 9<sup>th</sup>,

Salvador, Brazil, Gravity & Magnetic Methods, SBGF150, 1 cd.

Oliveira, R.G. 2006. *Investigação gravimétrica e aeromagnética integrada da Província Borborema e da sua margem continental (NE do Brasil): geologia profunda e história tectônica*. Exame de Qualificação (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 79p. Não publicado.

Sandwell, D.T. & Smith W.H.F., 1997. Marine Gravity from Geosat and ERS-1 Satellite Altimetry, *Journal of Geophysical Research*, **102**, No. B5, p.10039-10054.