

GRAVITY MAP OF PART OF NORTHEAST BRAZIL AND ADJACENT CONTINENTAL MARGIN AND ITS INTERPRETATION BASED ON THE HYPOTHESIS OF ISOSTASY

D. L. Castro^{1,3}, W. E. Medeiros^{1,3},
E. F. Jardim de Sá^{2,3} & J. A. M. Moreira¹

Several independent gravity surveys were integrated to produce a gravity map of the northernmost portion of Northeast Brazil and its continental margin. At present, 37,435 gravity measurements were used (11,814 in land and 25,621 in sea), covering the area limited by longitudes 33° 30' W and 43° W and latitudes 2° 55' S and 7° 30' S, with an approximate density of 1 gravity station per 13 km². The area has about 1,000 km (west-east direction) by 500 km (north-south direction) and covers the portion of the Borborema Province located north of the Patos Lineament, the easternmost portion of the Paraíba basin, and the adjacent continental margin. The dominant long wavelength anomaly in the Bouguer anomaly map is an expressive gradient, grossly parallel to the continental margin, caused by the Moho uplift in the transition from the continental crust to the oceanic crust originated by the separation between South America and Africa. Medium to small wavelength anomalies are due to intracrustal heterogeneities such as different Precambrian crustal blocks, Brasiliano-age granites and Mesozoic sedimentary basins. Based on a flexural model for isostasy, a preliminary estimate was obtained of the relief of the crust-mantle interface using the topographic/bathymetric data. It was possible to delineate a zone of crustal thinning associated to the Cariri-Potiguar trend of Mesozoic intracontinental rift basins. Around the eastern border of the Paraíba basin, a zone of relatively thick crust was also identified, possibly representing a collision suture during the Brasiliano Cycle. The isostatic residual anomaly map displays a complex pattern of anomalies, some of them implying expressive lateral density changes possibly associated with lithospheric scale shear zones and terrane sutures which make up the structural framework of the Borborema Province.

Key words: Gravimetry; Borborema Province; Crust-mantle Interface.

MAPA GRAVIMÉTRICO DO NORDESTE SETENTRIONAL DO BRASIL E MARGEM CONTINENTAL ADJACENTE: INTERPRETAÇÃO COM BASE NA HIPÓTESE DE ISOSTASIA - A integração de 37.435 dados gravimétricos (11.814 em terra e 25.621 no mar), provenientes de vários levantamentos independentes, permitiu a confecção de um mapa de anomalias Bouguer do Nordeste Setentrional do Brasil, com densidade média de cerca de 1 estação gravimétrica por cada 13 km². Este mapa está limitado pelas longitudes 33° 30' W e 43° W e pelas latitudes 2° 55' S e 7° 30' S, cobrindo uma área com cerca de 1.000 km na direção leste-oeste por 500 km na direção norte-sul. O mapa abrange a porção da Província Borborema que está a norte do lineamento Patos, bem como a parte leste da Bacia do Paraíba e a margem continental adjacente. A anomalia mais expressiva do mapa Bouguer é um forte gradiente, margeando toda a costa, originado pela subida da Moho na transição da crosta continental para a crosta oceânica, implantada na separação América do Sul - África. As anomalias de médio a curto comprimento de onda são causadas por heterogeneidades intracrustais, representadas por blocos de idade precambriana, bem como granitóides brasileiros e bacias sedimentares mesozóicas. A utilização da hipótese de isostasia, associada a um modelo flexural, permitiu estimar, em caráter preliminar, o relevo da interface crosta-manto, com delimitação da zona de afinamento crustal associada à implantação do trend Cariri-Potiguar, definido pelos riftes intracontinentais mesozóicos. Além disso, foi identificada uma área de relativo espessamento crustal, na borda leste da Bacia do Paraíba, que foi interpretada como estando associada a uma antiga colisão de blocos, durante o Ciclo Brasiliano. O mapa de anomalias isostáticas residuais, que ressalta a contribuição ao campo gravimétrico das bacias interiores, dos maciços granitóides e das faixas de supracrustais proterozóicas, permite identificar importantes variações laterais de densidade, que podem estar associadas com cisalhamentos de escala litosférica e limites dos terrenos que compõem o arcabouço estrutural da Província Borborema.

Palavras-chave: Gravimetria; Província Borborema; Interface crosta-manto.

¹Departamento de Física

²Departamento de Geologia

³Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Campus Universitário

59.078-970, Natal, RN, Brasil, FAX: (084) 215 3791

E-mails: david@degeo.ufc.br / walter@dfte.ufrn.br

emanuel@geologia.ufrn.br / moreira@dfte.ufrn.br

INTRODUÇÃO

Devido à grande complexidade das feições e estruturas geológicas, cujo estudo é facilitado pela excelente exposição de afloramentos, o Nordeste Setentrional do Brasil atraiu, nas duas últimas décadas, uma parcela considerável dos esforços de vários centros de pesquisa nacionais e internacionais. Em conseqüência, o conhecimento geológico da região sofreu um grande avanço, o que pode ser constatado em Jardim de Sá (1994) e Santos (1995) e na extensa bibliografia referida nestas duas teses de doutorado. Todavia, o conhecimento geofísico em escala regional encontra-se ainda em fase preliminar, em grande parte devido à falta de integração dos diversos levantamentos, particularmente gravimétricos, executados independentemente por várias universidades (UFRN, USP, UFPA e UFPE), órgãos ou empresas governamentais (Petrobras, ON/CNPq e IBGE) e instituições de pesquisa estrangeiras (NOAA e OSU), estas últimas principalmente na região marinha.

O objetivo primeiro deste trabalho é apresentar um mapa gravimétrico do Nordeste Setentrional do Brasil e sua margem continental adjacente, elaborado a partir da integração de 37.435 medidas gravimétricas e topográficas levantadas por várias instituições. Este mapa engloba toda a porção norte da Província Borborema, a norte do lineamento Patos, bem como a parte leste da Bacia do Parnaíba e as regiões marinhas adjacentes. A área de cobertura estende-se por cerca de 1.000 km na direção E-W e 500 km na direção N-S, sendo suficientemente detalhada para permitir uma interpretação geofísica/geológica integrada da região. Aqui serão também apresentados os primeiros resultados da interpretação do mapa acima referido.

Alguns trabalhos prévios (Moreira et al., 1989; Matos, 1992a; Lins et al., 1993) já trouxeram contribuições ao estudo geodinâmico da porção norte da Província Borborema, a partir da interpretação de uma parcela dos dados gravimétricos aqui apresentados. Estas interpretações, contudo, tiveram alcance limitado, devido ao fato da área de cobertura disponível, à época, ser relativamente pequena. Estudos geofísicos de escala continental (Sá et al., 1993; Ussami et al., 1993; Molina, 1996) também vêm incluindo esta região do Nordeste brasileiro. Porém, a escala dos mapas apresentados (em geral, 1:1.000.000) não permite uma interpretação regional mais detalhada.

Após fazer uma descrição sucinta da geologia do Nordeste Setentrional do Brasil, este trabalho apresentará o conjunto dos dados gravimétricos e topográficos/

batimétricos disponíveis e a sua integração. Os mapas de anomalias Bouguer, ar-livre e topográfico da área serão então apresentados e analisados, visando identificar as fontes das principais anomalias gravimétricas. As componentes regional e residual do campo gravimétrico serão então separadas, a partir do modelo isostático flexural de Banks et al. (1977) e interpretadas. Por fim, será esboçada a contribuição desta interpretação para o entendimento da evolução geodinâmica desta complexa região.

ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS

O arcabouço geológico do Precambriano do Nordeste, ou mais especificamente da Província Borborema (Fig. 1), engloba faixas supracrustais de idade proterozóica e domínios gnáissico-migmatíticos paleoproterozóicos ou arqueanos, cortados por um volumoso cortejo de granitóides e intensa deformação neoproterozóica, ambos relacionados ao Ciclo Brasileiro (Santos & Brito Neves, 1984; Jardim de Sá, 1984, 1994). Diferentes hipóteses foram propostas para a idade e evolução das faixas proterozóicas (Caby et al., 1991; Van Schmus et al., 1995). No entanto, existe um consenso de que o arcabouço da região foi em grande parte moldado ao longo de eventos colisionais brasileiros e pré-brasileiros. Neste sentido, cabe destaque ao papel dos extensos cisalhamentos brasileiros, seja como um sistema de retrabalhamento intracontinental (escape lateral na faixa colisional) ou como cicatrizes de acreção de terrenos (Jardim de Sá et al., 1992, 1997; Santos, 1996). Durante o Fanerozóico, a reativação das zonas de cisalhamento brasileiras moldou o arcabouço estrutural das bacias mesozóicas costeiras e interiores (Matos, 1992a,b; Jardim de Sá, 1994).

O contexto atual da delimitação norte e leste da Província Borborema pela margem continental nordestina está diretamente relacionado à abertura do Atlântico Sul no Cretáceo inferior. O sistema de rifteamento do Atlântico evoluiu sobre duas ramificações principais: a ramificação sul e a ramificação equatorial. A separação dos continentes Sul-Americano e Africano iniciou-se, na ramificação sul, no período Neocomiano-Barremiano (144 - 119 Ma), evoluindo de sul para norte. Já na abertura do Atlântico Equatorial, o sistema de rifteamento ocorreu de oeste para leste em direção à Província Borborema, sendo assim mais tardia (Aptiano - Albiano) do que na porção sul (Matos, 1992a).

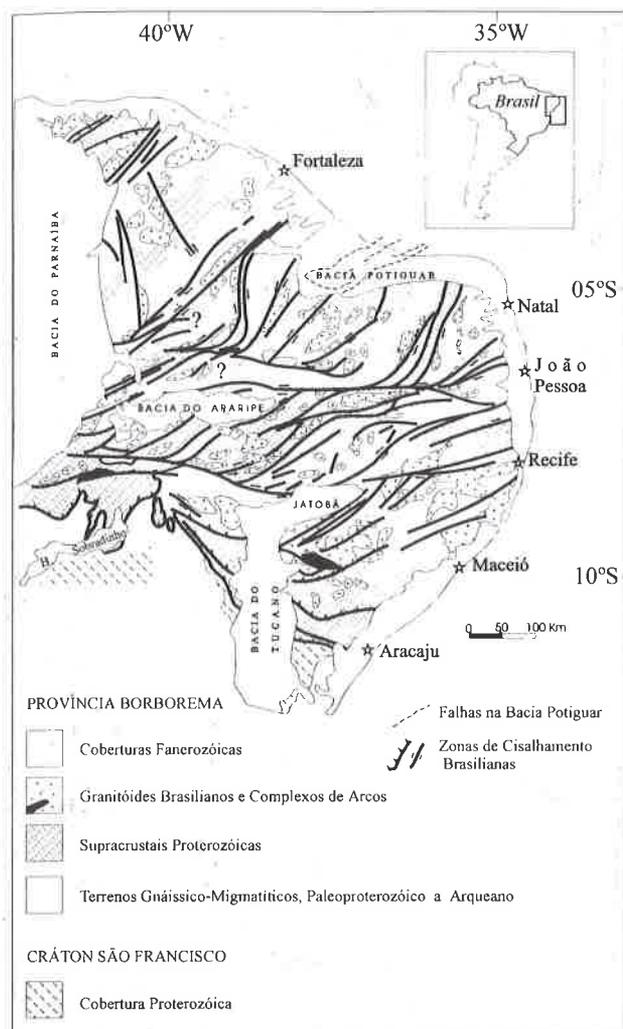


Figura 1 - Mapa geológico simplificado da Província Borborema e bacias sedimentares do Nordeste Brasileiro, segundo Jardim de Sá (1994). As estruturas mesozóicas na Bacia Potiguar foram retiradas de Matos (1992a,b).

Figure 1 - Simplified geologic map of Borborema Province and sedimentary basins of Northeast Brazil, according to Jardim de Sá (1994). The mesozoic structures in the Potiguar Basin were taken from Matos (1992a,b).

Segundo Chang et al. (1988), o processo de abertura e formação da crosta oceânica no Atlântico Sul pode ser dividido em 3 estágios de rifteamento. O Nordeste Setentrional do Brasil sofreu maior influência dos dois estágios finais, quando ocorreram a reativação das extensas zonas de cisalhamento brasilianas e a fase principal de estiramento e ruptura crustal. Este período é marcado por intensa deformação extensional com o eixo principal de estiramento na direção NW-SE, culminando na formação de uma série

de bacias tipo rifte (Potiguar, Araripe, Iguatu, Rio do Peixe, entre outras), alinhadas segundo o *trend* NE, designado de “Cariri-Potiguar” (Matos, 1992a,b). A evolução do sistema de rifteamento conduziu ao contexto geológico de margem continental passiva, com afinamento crustal nos limites norte e leste da Província Borborema e transição da crosta continental para a crosta oceânica nas áreas costeiras adjacentes.

DADOS GRAVIMÉTRICOS E TOPOGRÁFICOS

A área que abrange a maior parte das medidas (Fig. 2) utilizadas para a composição dos mapas de anomalias Bouguer, ar-livre e topográfico/batimétrico está limitada pelas longitudes 33° 30' W e 43° W e pelas latitudes 2° 55' S e 7° 30' S. A base de dados gravimétricos da referida área começou a ser estruturada por Moreira et al. (1989), que integraram levantamentos realizados pelos Departamentos de Física e de Geologia da UFRN e IAG/USP, com dados provenientes da Petrobras/CPRM e Observatório Nacional (ON)/CNPq. A área coberta era limitada a oeste pelo meridiano 39°W. A este conjunto foram agora integrados dados provenientes de levantamentos realizados nos estados do Ceará, Piauí e Pernambuco, gentilmente cedidos pela UFPA, UFRN/UFOP/Petrobras, ON e UFPE. A maior parcela dos novos dados terrestres resultou dos levantamentos associados ao desenvolvimento das teses de doutorado de J. F. Beltrão (Beltrão, 1989) e de mestrado de R. P. Bedregal (Bedregal et al., 1992). Nas partes submersas das bacias costeiras, estão disponíveis os dados batimétricos e gravimétricos do banco de dados geofísicos GEODAS (Geophysical Data System - NOAA), bem como do projeto EQUANTI (Petrobras/Oregon State University - OSU). O conjunto total dos dados terrestres e marinhos reunidos neste trabalho é de 37.435 estações, o que possibilitou uma cobertura gravimétrica com densidade média de aproximadamente 1 estação por cada 13 km². A Tabela 1 mostra a distribuição dos dados gravimétricos cedidos de acordo com as respectivas instituições de origem.

As correções de atração luni-solar, latitude e elevação, utilizando o valor de 2,67 g/cm³ para a densidade das massas topográficas, foram efetuadas no conjunto dos dados gravimétricos terrestres. Correções de topografia não foram realizadas. Nas medidas localizadas no mar foram realizadas, além das correções de atração luni-solar e latitude, a correção de Eötvös (para o deslocamento do navio

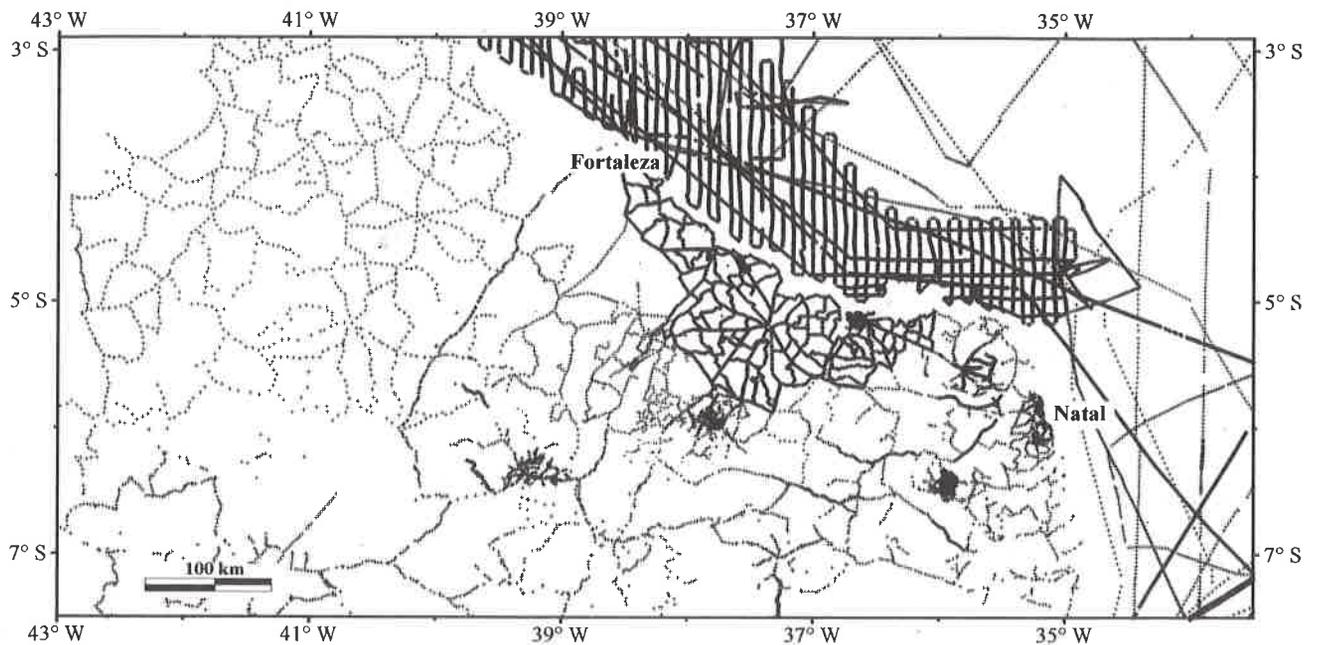


Figura 2 - Estações gravimétricas.

Figure 2 - Gravity stations.

Instituições	Dados Gravimétricos
DADOS NO CONTINENTE	
UFRN - UFRN / USP	5.068
Petrobras / CPRM	3.684
ON / CNPq	1.439
UFPA	1.223
UFPE	280
UFRN / UFOP / Petrobras	120
Subtotal no continente	11.814
DADOS NO MAR	
GEODAS / NOAA	13.659
Petrobras / OSU	11.962
Subtotal no mar	25.621
Total	37.435

Tabela 1 - Dados gravimétricos cedidos.

Table 1 - Sources of contributed gravity data.

durante o registro dos dados) e a correção Bouguer. Nesta última, utilizou-se o valor $1,03 \text{ g/cm}^3$ para a densidade da lâmina de água do mar. As estações gravimétricas foram todas referenciadas ao *International Gravity Standardization Net 1971* (IGSN-71).

A qualidade da integração das medidas de gravidade foi avaliada em três etapas. Primeiramente, realizou-se uma inspeção das linhas gravimétricas terrestres coincidentes nos diferentes levantamentos, ocasião em que foram eliminadas ou corrigidas algumas medidas com erros grosseiros. A seguir, foram comparados os valores Bouguer, para todas as estações em terra dispostas de, no máximo, 200 m de distância entre si (641 pares de estações). Nesta comparação, verificou-se que as diferenças entre as medidas são inferiores a 0,5 mGal em 85% dos casos e inferiores a 1,0 mGal em 90% dos casos, sendo a diferença máxima encontrada igual a 3,5 mGal. Por fim, foi feita uma comparação similar para os dados do mar (1.642 pares de estações), constatando-se que as diferenças entre as medidas são inferiores a 1,0 mGal para 66% dos casos e inferiores a 2,0 mGal para 85% dos casos, sendo a diferença máxima encontrada igual a 9,5 mGal (provavelmente, erro grosseiro). Desse modo, a qualidade das medidas gravimétricas em terra é bastante superior à qualidade das medidas no mar. Todavia, o interesse primário da integração é obter um mapa gravimétrico da parte continental e, por esta razão, não foram realizadas análises mais acuradas dos dados marinhos. A inclusão das medidas no mar teve apenas o objetivo de formar um quadro mais completo deste complexo ambiente de transição de crostas. Tendo em vista os fatos acima expostos, constatou-se que a integração final entre os dados dos diversos levantamentos gravimétricos é satisfatória para estudos de interesse regional na área continental.

Os dados topográficos terrestres têm origens e qualidades diversas: cerca de 50% das altitudes são referências de níveis do IBGE; cerca de 30% das altitudes foram obtidas com levantamentos usando teodolitos (dados da Petrobras na Bacia Potiguar) e o restante são dados obtidos com barômetros (alguns levantamentos até mesmo sem correção de temperatura).

O número das medidas de gravidade no mar é maior do que o dobro do número das medidas em terra (Tab. 1). Por isso, considerando-se apenas as medidas em terra, a densidade média das estações gravimétricas é de cerca de 1 estação por cada 27 km². Além disso, a distribuição das estações em terra não é uniforme; considerando-se apenas as estações a oeste do paralelo 39°W (Fig. 2), a densidade das estações gravimétricas cai para 1 estação a cada 150 km². De modo a obter uma malha regular com estes dados não uniformes, vários testes de interpolação foram realizados utilizando os métodos *kriging*, curvatura mínima e triangulação com interpolação linear, bem como diferentes espaçamentos de malha. Foi selecionado o resultado obtido com o método *kriging* e usando uma malha quadrada com 10 km de lado como o mais adequado. Este espaçamento revelou ser um

bom compromisso entre as tendências de sub e superamostragem de interpolação para a distribuição de todo o conjunto dos dados em terra. Registre-se que na escala aqui apresentada e utilizando uma malha quadrada com 10 km de lado, os mapas obtidos com os três métodos acima citados são virtualmente idênticos. As matrizes resultantes de 100 linhas por 56 colunas foram utilizadas na composição dos mapas de anomalias Bouguer e ar-livre, bem como nos procedimentos de separação das componentes regional e residual do mapa Bouguer. O mapa topográfico foi também interpolado numa malha com 10 km de lado.

MAPAS DE ANOMALIAS BOUGUER E TOPOGRÁFICO

O mapa de anomalias Bouguer do Nordeste Setentrional é apresentado na Fig. 3. Ao mapa Bouguer estão superpostas as principais zonas de cisalhamento da orogênese Brasileira e falhas mesozóicas. No geral, as anomalias gravimétricas de grande comprimento de onda estão relaci-

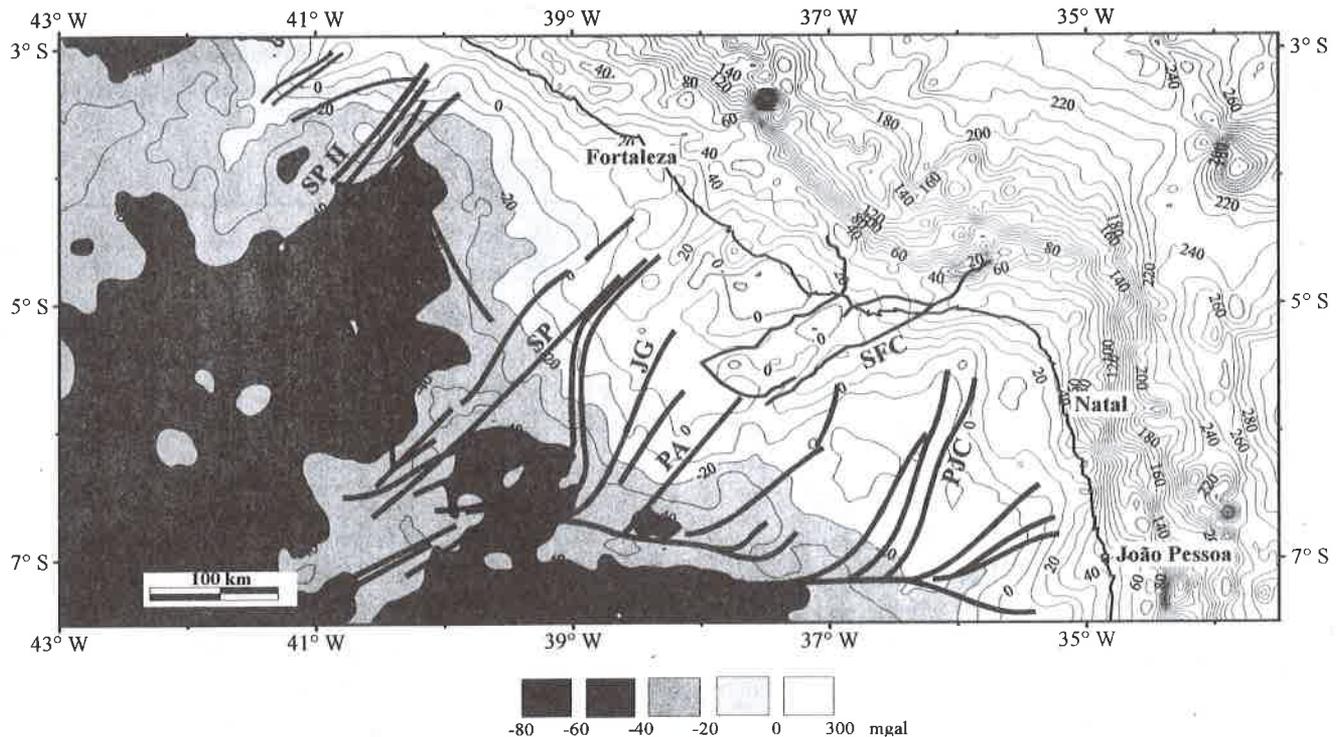


Figura 3 - Mapa de anomalias Bouguer com superposição dos principais traços geológicos do Nordeste Setentrional do Brasil. Intervalo de contorno: 10 mGal. Zonas de cisalhamento brasileiras: SP II: Sobral-Pedro II; TA: Tauá; SP: Senador Pompeu; JG: Jaguaribe; PA: Portalegre; PJC: Picuí-João Câmara; LP: Lineamento Patos. SFC: Sistema de falhas de Carnaubais.

Figure 3 - Bouguer anomaly map and main geologic lineaments of Northeast region, Brazil. Contour interval: 10 mGal. Brasiliano-age shear zones: SP II: Sobral-Pedro II; TA: Tauá; SP: Senador Pompeu; JG: Jaguaribe; PA: Portalegre; PJC: Picuí-João Câmara; LP: Patos Lineament. SFC: Carnaubais fault system.

onadas às feições profundas na base da crosta, especialmente aquelas formadas pelos eventos tectônicos de extensão e ruptura crustal mais recentes (Mesozóico). As anomalias de médio a curto comprimento de onda refletem o efeito gravimétrico das heterogeneidades crustais, representadas na área pelas bacias sedimentares fanerozóicas, pelos maciços granitóides brasileiros e pelo complexo mosaico de blocos definidos pelos cisalhamentos brasileiros.

No mapa de anomalias Bouguer da região (Fig. 3), destaca-se um marcante e contínuo gradiente de cerca 0,6 mGal/km que margeia, a grosso modo, a costa do continente. Este gradiente tem origem no acentuado afinamento crustal associado à transição da crosta continental para a crosta oceânica, implantada durante a separação dos continentes Sul-Americano e Africano (Moreira et al., 1989). Por outro lado, as anomalias de curto a médio comprimento de onda apresentam, no continente, uma orientação preferencial NE, em alto ângulo com a linha de costa (Fig. 3), indicando uma relação direta entre os lineamentos gravimétricos e a estruturação dos blocos crustais definidos pelas zonas de cisalhamento brasileiras.

O efeito regional dominante do afinamento crustal em direção à margem continental dificulta bastante a caracterização da assinatura gravimétrica das heterogeneidades intracrustais no mapa de anomalias Bouguer. Por esta razão,

optou-se por uma separação prévia do campo gravimétrico em suas componentes regional e residual para posterior interpretação, com maior detalhe, de cada uma destas componentes. A separação regional-residual do campo gravimétrico será descrita na próxima seção.

O mapa topográfico/batimétrico da região é apresentado na Fig. 4, onde se observa que, no geral, a topografia sobre o continente é relativamente suave. Os principais altos topográficos são o Planalto da Borborema (A na Fig. 4) entre os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, a Serra Geral (B na Fig. 4) e a Serra da Ibiapaba (C na Fig. 4), ambas na borda leste da Bacia do Parnaíba, e a Chapada do Araripe (D na Fig. 4) no extremo sul da área.

A margem continental do Nordeste Setentrional é separada tipicamente em plataforma, talude e sopé. No segmento norte, a plataforma continental é representada por uma faixa de relevo suave junto à costa (E na Fig. 4), com uma extensão média de 50 km e marcada pela linha de contorno de 200 m. Por outro lado, na costa leste a plataforma atinge no máximo 30 km de extensão (F na Fig. 4). O talude continental representa uma estreita faixa de alguns quilômetros de extensão, onde ocorre um acentuado aumento da profundidade do fundo oceânico de 200 m para 2.000 m. No sopé o relevo torna-se novamente suave, atingindo profundidades de até 5.000 m (G na Fig. 4).

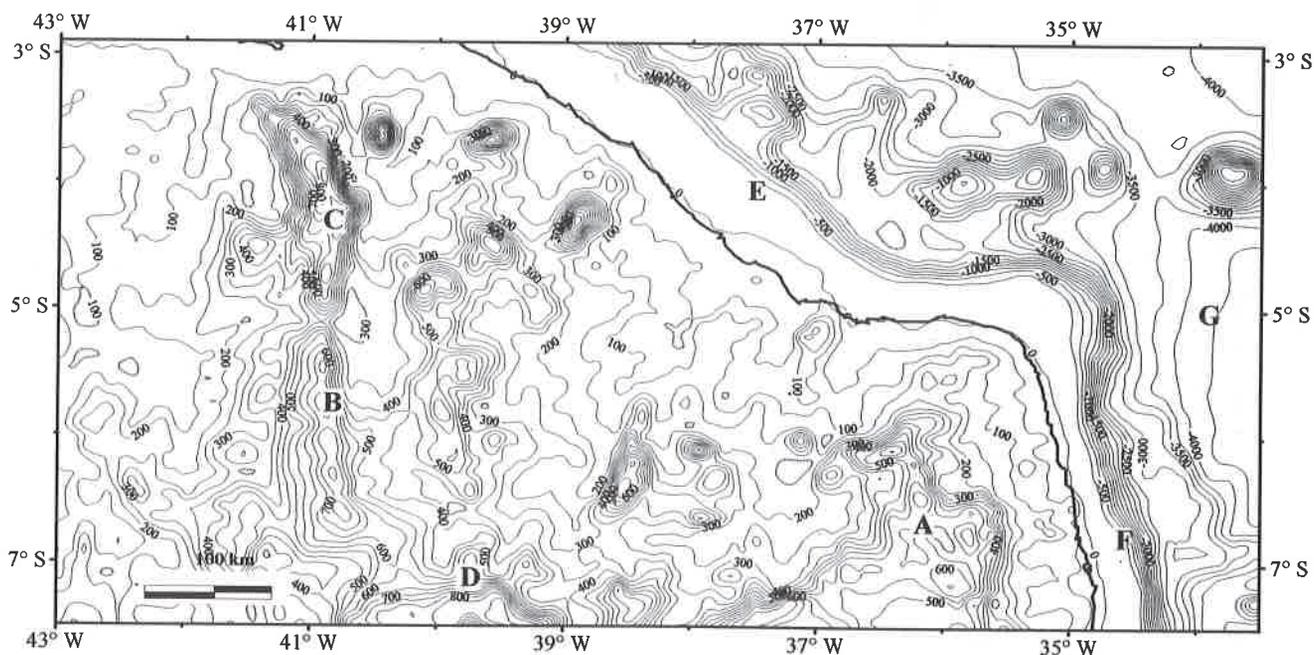


Figura 4 - Mapa topográfico/batimétrico do Nordeste Setentrional do Brasil. Intervalo de contorno: 50 m no continente e 250 m no oceano.

Figure 4 - Topographic / bathymetric map of Northeast, Brazil. Contour intervals: 50 m in land and 250 m in sea.

SEPARAÇÃO REGIONAL - RESIDUAL

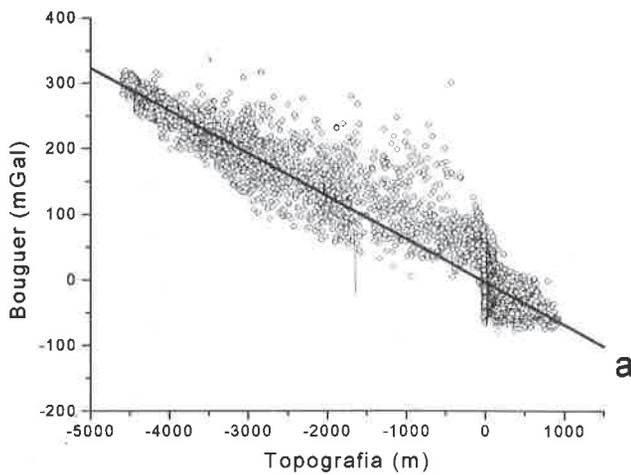
A superposição dos efeitos gravimétricos de várias fontes produz o campo gravimétrico observado. Pelo fato do espectro de frequência do campo gravimétrico de uma dada fonte ter contribuições em todos os números de onda, a separação do campo em componentes só pode ser feita sob hipóteses ou vínculos adicionais. Por exemplo, é usual associar a componente regional às fontes relativamente mais extensas e profundas, enquanto que a componente residual é associada a corpos relativamente menores e mais rasos. Como foi discutido, a contribuição de caráter regional, dominante, para as anomalias gravimétricas do Nordeste Sentrional, encontra-se no marcante afinamento crustal associado à transição da crosta continental para a crosta oceânica, ao longo da margem continental, enquanto que a contribuição residual dominante se deve às bacias sedimentares mesozóicas, maciços granitoides brasileiros e os diferentes blocos crustais precambrianos. Tendo em vista estes fatos, propõe-se para a área um modelo interpretativo em que a componente regional é bastante suave e está associada com as variações na interface crosta-manto, tendo o manto e a crosta densidades supostas uniformes, enquanto que a componente residual está associada com as heterogeneidades intracrustais (variações de densidade dentro da crosta). Este modelo tem a deficiência de incorporar na componente regional o efeito gravimétrico das possíveis heterogeneidades crustais profundas. Contudo, o efeito gravimétrico destas heterogeneidades é secundário, quando comparado com o efeito das oscilações no relevo da interface crosta-manto, pelo fato destas últimas constituírem, em geral, fontes com maiores dimensões e contraste de densidade mais acentuado. Assim, a deficiência aludida não invalida, numa primeira aproximação, o modelo interpretativo proposto.

Tendo por base o modelo interpretativo acima e a hipótese de que a região encontra-se em equilíbrio isostático, uma separação das componentes regional e residual pode ser efetuada através das seguintes etapas: 1^o) identificar um modelo adequado de compensação isostática para a área; 2^o) usando este modelo e os dados de topografia e batimetria, obter uma estimativa do relevo da interface crosta-manto; 3^o) a partir desta estimativa de relevo, gerar uma estimativa da componente regional e, por fim, 4^o) obter uma estimativa da componente residual através da diferença algébrica entre o campo Bouguer e a estimativa da componente regional.

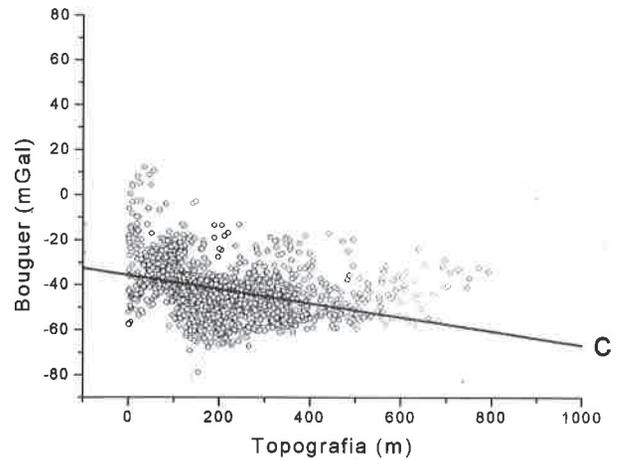
A hipótese de que a área encontra-se, como um todo, em equilíbrio isostático é bastante plausível e pode ser ava-

liada pela análise da Fig. 5a que mostra a boa correlação existente entre os dados de topografia/batimetria e gravidade na área. Apesar desta constatação, a escolha de um modelo adequado de compensação isostática é uma tarefa difícil face o fato de que a área abrange pelo menos três tipos de crostas com características termo-mecânicas muito distintas: a crosta oceânica e as parcelas de crosta continental a oeste e a leste do limite oriental da Bacia do Parnaíba. Uma boa evidência de que estas duas parcelas de crosta continental possuem condicionantes diferentes no estabelecimento do (possível) equilíbrio isostático pode ser extraída da análise das Figs. 5b e 5c que mostram a correlação existente entre os dados de gravidade e topografia, em terra, isoladamente em cada uma destas parcelas de crosta. As tendências médias de alinhamento dos dados de gravidade e topografia são bastante diferentes, como mostra a Fig. 5d. As Figs. 5b, 5c e 5d foram confeccionadas admitindo-se como limite oriental da Bacia do Parnaíba o meridiano 41°W (ver Fig. 1).

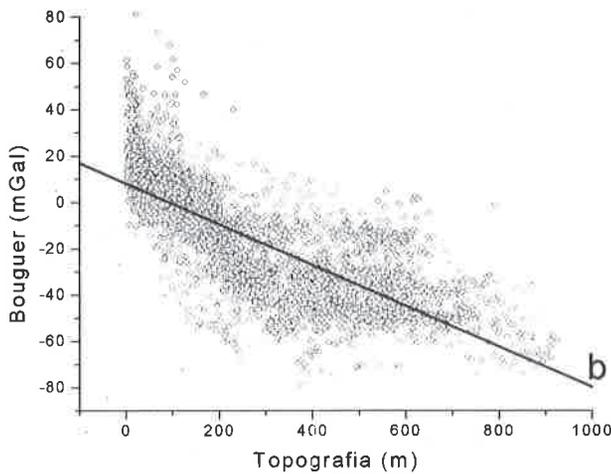
Em áreas que congregam crostas muito heterogêneas, o procedimento de escolher o modelo isostático simples de Airy é bem aceito (Ussami et al., 1993), face às dificuldades de se propor e operacionalizar modelos isostáticos mais realísticos. Usando o modelo de Airy, estimativas para a interface crosta-manto e componente regional foram obtidas para a área em estudo (não mostradas). Contudo, os resultados não foram satisfatórios porque feições de pequeno comprimento de onda da topografia foram incorporadas na estimativa do relevo da interface crosta-manto e, conseqüentemente, na componente regional do campo gravimétrico, em conflito com o modelo interpretativo postulado para a área que requer suavidade nas estimativas da interface crosta-manto e da componente regional do campo gravimétrico. De modo a incorporar suavidade nestas estimativas, uma separação das anomalias regional e residual foi efetuada tendo por base o modelo isostático flexural de Banks et al. (1977). Estes autores propuseram um modelo de compensação flexural no qual a litosfera é modelada como sendo uma placa elástica fina, lateralmente homogênea e contínua, repousando sobre um meio fluido não-viscoso (astenosfera). Admite-se que as cargas topográficas e batimétricas em superfície são compensadas na interface crosta-manto. Embora a hipótese de crosta lateralmente homogênea para a área em estudo seja inadequada, o modelo de Banks et al. (1977) foi utilizado devido à já aludida dificuldade de operacionalizar modelos mais realísticos de compensação isostática. Neste sentido, os resultados aqui apresentados são de caráter preliminar.



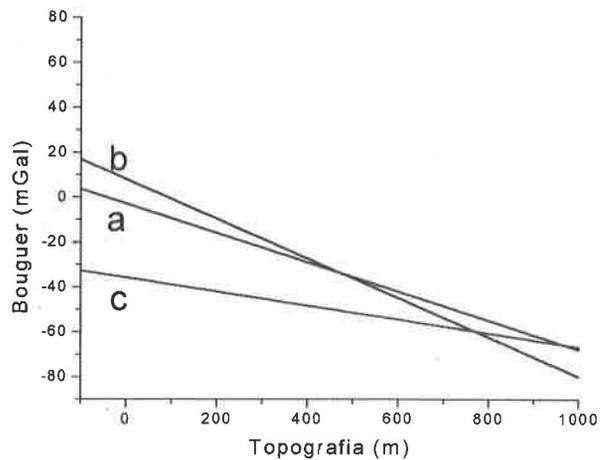
(a)



(c)



(b)



(d)

Figura 5 - Correlação entre valores de topografia/batimetria e de anomalia Bouguer: a) para toda a região; b) para os dados em terra a leste do meridiano 41°W, tomado como o limite oriental da Bacia do Parnaíba; c) para os dados em terra a oeste do meridiano 41°W; d) retas de ajuste de quadrados mínimos dos dados apresentados nas Figs. 5a, 5b e 5c.

Figure 5 - Correlation plot of the Bouguer anomaly values against topographic/ bathymetric data: a) for the whole area; b) in land, for the area to the east from longitude 41°W (taken as the eastern border of the Parnaíba basin); c) in land, for the area to the west of longitude 41°W; d) least-squares fitting trends to data shown in Figs. 5a, 5b, and 5c.

Os parâmetros relevantes no modelo de Banks et al. (1977) são as densidades da crosta, do manto e das massas topográficas, a profundidade de compensação e a espessura elástica efetiva da crosta (Banks et al., 1977). Admite-se que esta espessura está associada com a profundidade em que ocorre a transição entre os regimes elástico e fluido da litosfera. Este parâmetro aumenta com a idade da placa litosférica (McNutt, 1990). O modelo de Airy é um caso limite do modelo de Banks et al. (1977) quando se faz a espessura elástica efetiva da crosta igual a zero.

Para a solução da equação de deformação da placa elástica na área em estudo, foram atribuídas as densida-

des de $3,10 \text{ g/cm}^3$ para o manto e de $2,7 \text{ g/cm}^3$ para a crosta e as massas topográficas. Além disso, atribuiu-se o valor de 10 km para a espessura elástica efetiva da crosta, levando-se em conta, nesta atribuição, o fato de que Karner & Watts (1982) obtiveram estimativas de cerca de 10 km para a espessura elástica da crosta na margem continental do sudoeste africano, que é de idade cretácea inferior e semelhante à margem continental nordestina. Para a profundidade média de compensação adotou-se, após vários testes, o valor de 30 km, porque esta profundidade produz estimativas de espessura da crosta que são consistentes com os valores esperados tanto na porção emersa da Bacia Potiguar (~28 km; Matos, 1992a), quanto na região de crosta oceânica (~10 km). A posteriori, foi incorporada a informação adicional de que a crosta continental tem espessura de 28 km no ponto de coordenadas $37^\circ 45' \text{ W}$ e $5^\circ 30' \text{ S}$. Este valor foi obtido por Matos (1992a) com base na interpretação de seções sísmicas de reflexão profunda. O mapa obtido para o relevo da interface crosta-manto está mostrado na Fig. 6.

A anomalia isostática regional devida à variação das profundidades de compensação pode ser obtida pelo algoritmo de Parker (1972) que calcula, no domínio do número de onda, o efeito gravitacional de uma interface irregular separando dois meios homogêneos. Para atenuar as distorções nas bordas do mapa da anomalia isostática regional, a base topográfica e batimétrica, usada para estimar a interface crosta-manto, foi expandida em terra, para sul e para oeste, de cerca de 90 km além dos limites originais da área. Esta expansão foi efetuada utilizando-se os dados altimétricos provenientes de uma base topográfica de $5' \times 5'$, cedida pelo IAG/USP. Após o cálculo, as extensões a sul e oeste foram retiradas e o mapa da anomalia isostática regional assim obtido está mostrado na Fig. 7. Observe-se que os mapas mostrados nas Figs. 6 e 7 têm, como desejado, um alto grau de suavidade. A anomalia isostática residual está mostrado na Fig. 8.

Dado que a crosta na área em estudo não é lateralmente homogênea, selecionar um valor único de espessura elástica efetiva não é uma tarefa fácil. O valor adotado de 10 km pode não ser adequado para a região da Ba-

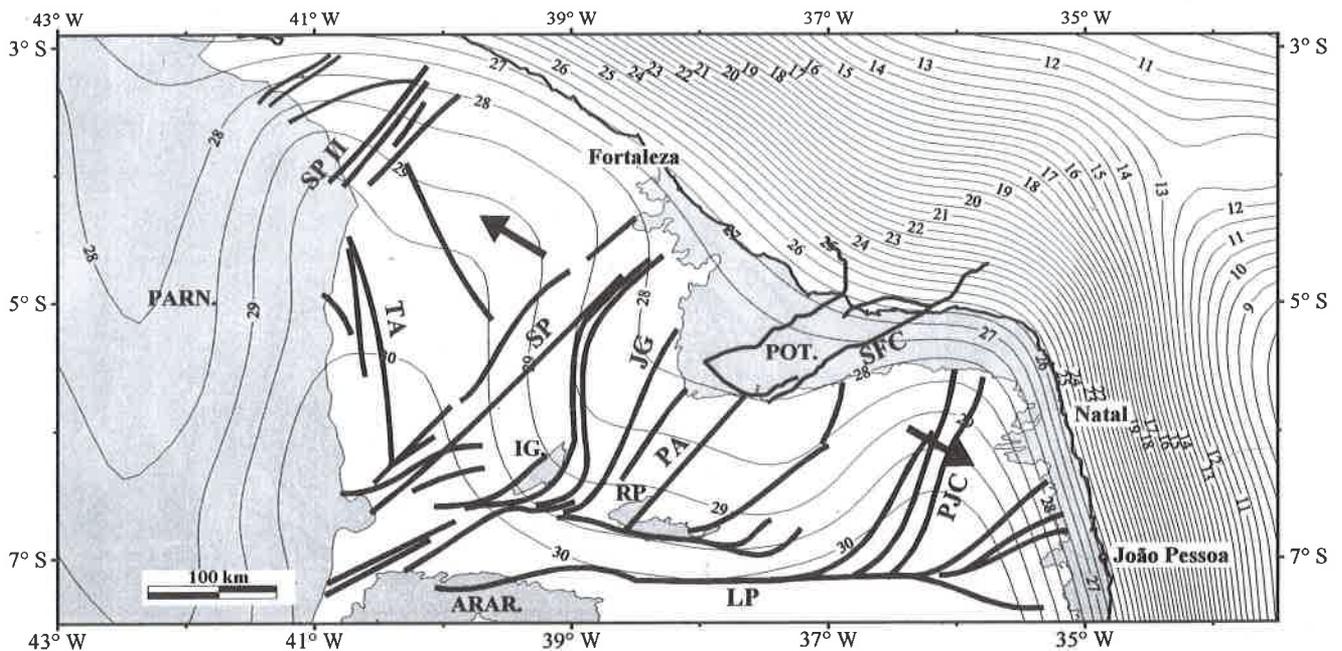


Figura 6 - Mapa de profundidades da interface crosta-manto (compensação isostática). Intervalo de contorno: 0,5 km. Bacias sedimentares: PARN: Parnaíba; ARAR: Araripe; IG: Iguatú; POT: Potiguar; RP: Rio do Peixe. As setas indicam a direção principal do estiramento crustal associada ao *trend* Cariri-Potiguar de bacias sedimentares. As linhas grossas indicam as principais estruturas geológicas, nomeadas na Fig. 3.

Figure 6 - Depths to crust-mantle interface (isostatic compensation). Contour interval: 0.5 km. Sedimentary basins: PARN: Parnaíba; ARAR: Araripe; IG: Iguatú; POT: Potiguar; RP: Rio do Peixe. The arrows show the main direction of the crustal stretching associated with the Cariri-Potiguar trend of sedimentary basins. Thick lines show the main geological structures, named in Fig. 3.

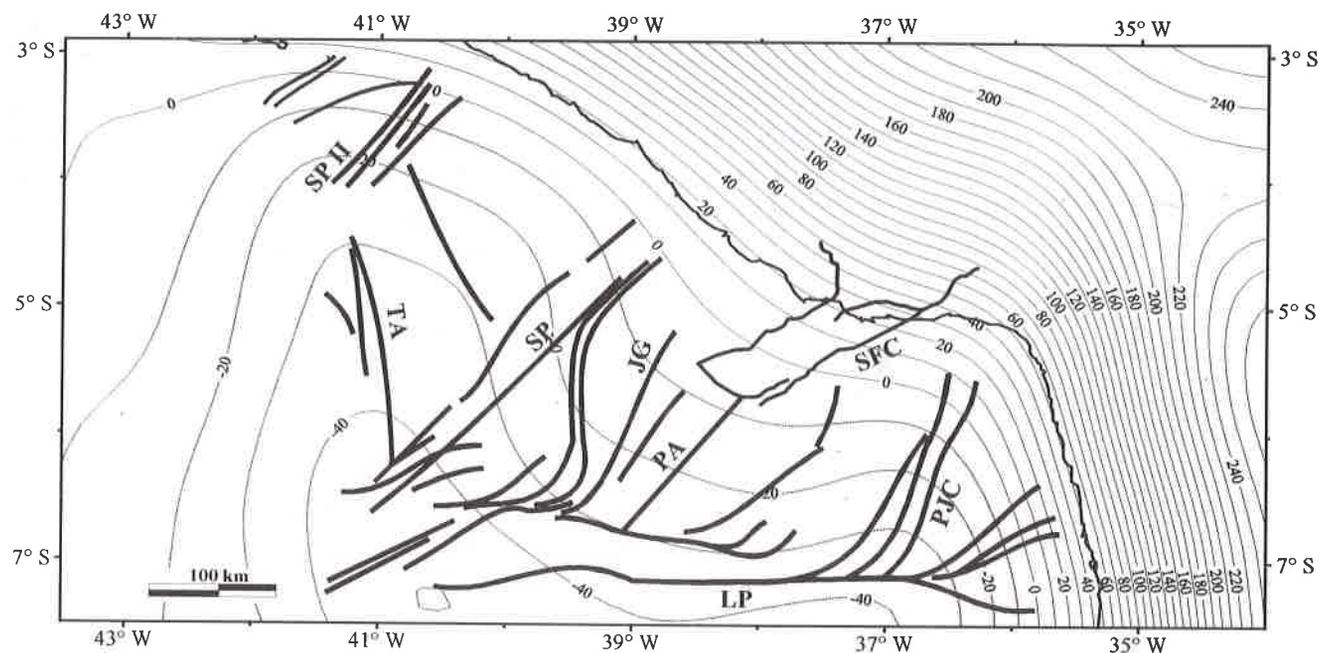


Figura 7 - Mapa gravimétrico isostático regional. Intervalo de contorno: 10 mGal. As linhas grossas indicam as principais estruturas geológicas, nomeadas na Fig. 3.

Figure 7 - Regional isostatic gravity map. Contour interval: 10 mGal. Thick lines show the main geological structures, named in Fig. 3.

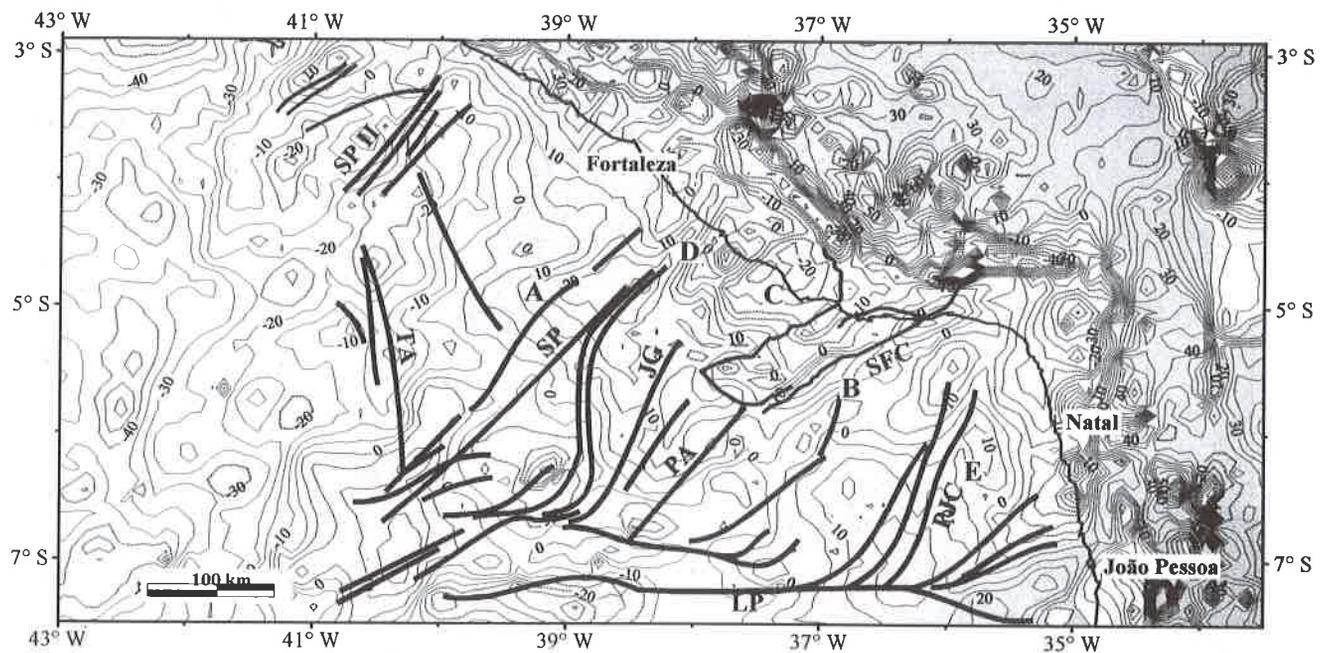


Figura 8 - Mapa de anomalias isostáticas residuais. Intervalo de contorno: 5 mGal. As linhas grossas indicam as principais estruturas geológicas, nomeadas na Fig. 3.

Figure 8 - Residual isostatic gravity map. Contour interval: 5 mGal. Thick lines show the main geological structures, named in Fig. 3.

cia do Parnaíba; esta região aparenta ser particularmente complexa a se julgar pelos valores de espessura elástica efetiva já propostos para a mesma que admitem *variação* de 34 km (Vidotti et al., 1997; Mantovani et al., 1997). Contudo, o valor de 10 km é uma boa proposta para cerca de 3/4 da área pois ele é certamente válido para a crosta oceânica e, provavelmente, também válido para a Pro-

víncia Borborema. Esta última afirmação baseia-se no fato de que, segundo Dal Ré Carneiro et al. (1989), o fluxo térmico nesta província é anormalmente alto. Além disso, o valor de 10 km é consistente com a possível existência na Província Borborema de uma crosta anormalmente fina, em comparação com as regiões circundantes, conforme proposta de N. Ussami (comunicação verbal). Esta proposta tem por base o fato de que o mapa de anomalias ar-livre (Fig. 9), no continente, é predominantemente positivo a leste do meridiano 40° W. Este possível afinamento da crosta poderia ser um resultado da concentração de esforços na região, que foi a última porção do continente Sul-Americano a se separar do continente Africano. Outra possível interpretação, não excludente, seria a presença de uma anomalia de densidade no manto (N. Ussami, comunicação verbal). Estas hipóteses são consistentes com as diferentes tendências de correlação entre gravidade e topografia, observadas na Fig. 5. Em especial, note na Fig. 5d que, para altitudes topográficas menores que 500 m (praticamente toda a porção estudada da Província Borborema), os valores de gravidade a leste do meridiano 41° W (reta b) são em média bem mais elevados do que a oeste (reta c), o que interpretamos como

sendo mais uma evidência de que a crosta é anormalmente fina na porção estudada da Província Borborema.

INTERFACE CROSTA-MANTO

As estimativas de profundidade para a interface crosta-manto decaem de cerca de 31 km no continente para cerca de 9 km nas áreas do sopé continental (Fig. 6). As estimativas em terra são compatíveis com as espessuras de crosta reportadas por Santa Rosa et al. (1993) para esta área, que foram obtidas através da inversão de dados de dispersão de ondas de superfície para toda a plataforma continental brasileira. Além disso, as estimativas obtidas (Fig. 6) são também compatíveis com as espessuras médias de crostas continentais e oceânicas, amplamente divulgadas na literatura científica para margens continentais passivas (Kennet, 1982; Turcotte & Schubert, 1982).

O relevo da interface crosta-manto incorpora, como é esperado, as feições topográficas regionais (compare as Figs. 4 e 6) e mostra uma boa concordância com o contexto geológico esperado para uma região de transição de crosta continental para crosta oceânica. O marcante afinamento crustal em direção ao oceano é resultante dos processos de

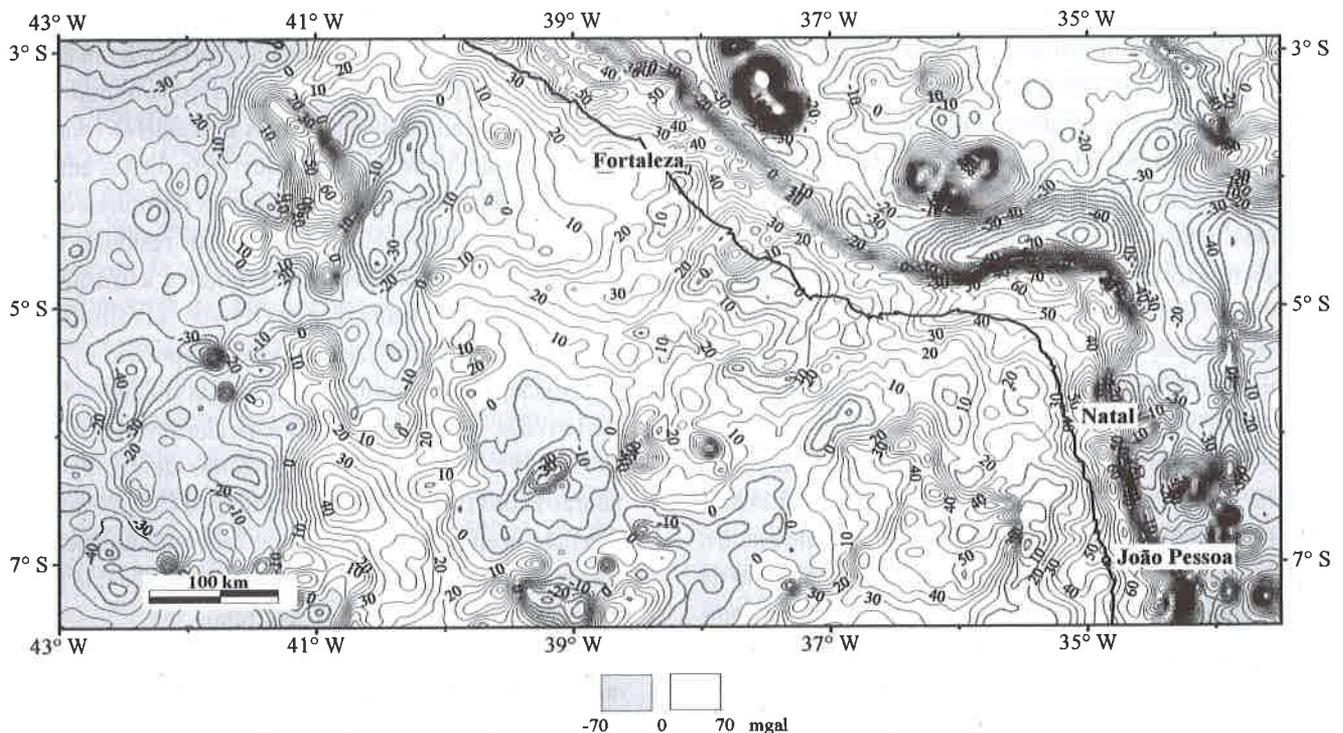


Figura 9 - Mapa de anomalias ar-livre. Intervalo de contorno: 5 mGal.

Figure 9 - Free-air gravity map. Contour interval: 5 mGal.

extensão, ruptura do continente e formação de crosta oceânica, envolvidos na abertura do Atlântico Sul durante o Cretáceo inferior. Porém, a variação de gradiente nas costas leste e norte (Fig. 6) sugere taxas de afinamento crustal diferentes nestas duas áreas. Estas diferentes taxas de afinamento crustal poderiam resultar tanto de uma evolução independente de abertura, entre as margens leste e norte, quanto de uma possível obliquidade entre as direções de abertura e a margem continental (limite de placa), no mesmo episódio de abertura. A primeira hipótese parece ser mais provável face ao fato de que vários autores (Asmus & Porto, 1972; Campos et al., 1974; Asmus & Baisch, 1983) postulam regimes tectônicos e estruturais de idades distintas para as margens leste e norte/equatorial.

Na parte emersa da Bacia Potiguar e seu prolongamento para SW (o *trend* Cariri-Potiguar), observa-se uma zona com afinamento crustal relativo de cerca de 1,5 km, possuindo direção preferencial NE-SW e extensão de cerca de 350 km. Esta feição separa dois blocos crustais relativamente mais espessos, a NW e a SE. Seus limites laterais são aproximadamente concordantes com extensos cisalhamentos (a leste, a zona de cisalhamento Portalegre e seu eventual prolongamento através do sistema de falhas de Carnaúba; a oeste, a zona de cisalhamento Senador Pompeu) desenvolvidos durante a orogênese Brasileira e reativados no Cretáceo inferior, na fase principal da separação América do Sul - África (Matos, 1989, 1992a,b). A geometria desta estrutura na base da crosta é compatível com uma direção de extensão principal NW-SE, indicada pelas setas na Fig. 6. A direção preferencial NW-SE dos esforços distensivos pode ser associado com o sistema de tensões dominante durante a segunda fase (principal) do rifteamento Brasil - África (Matos, 1992a). Neste período (Neocomiano-Barremiano Inferior), os esforços extensionais deram origem à subsidência tectônica que culminou na formação das bacias sedimentares interiores do *trend* Cariri-Potiguar.

O efeito gravimétrico do afinamento crustal ao longo do *trend* Cariri-Potiguar, revelado na Fig. 6, pode ser identificado no mapa de anomalias Bouguer (Fig. 3) como sendo a inflexão, para dentro do continente e na região em torno da Bacia Potiguar, das linhas de isovalores Bouguer que compõem o forte gradiente gravimétrico margeando a costa.

O mapa de profundidades da interface crosta-manto (Fig. 6) mostra uma feição alongada na direção N-S, estendendo-se por mais de 500 km de comprimento e acompanhando a borda leste da Bacia do Parnaíba. Esta feição representa um espessamento crustal relativo da ordem de 2

km, tendo sido detectada por Beltrão (1989), que a interpretou como estando associada ao arqueamento da Moho provocado pelo regime de esforços compressionais atuantes no Ciclo Brasileiro. No mapa de anomalias Bouguer (Fig. 3), esta feição é acompanhada por um amplo mínimo gravimétrico, que no seu limite NW está parcialmente alinhado ao longo da zona de cisalhamento Sobral-Pedro II. Esse arranjo de anomalias pode representar uma zona de sutura de blocos, que em parte coincide com a expressão do lineamento Transbrasílico na região (Castro et al., 1997; Jardim de Sá et al., 1997). Esta proposição encontra correspondência em recentes argumentos isotópicos levantados por Fetter et al. (1991). Deste modo, propõe-se que o espessamento em questão seja herança de uma colisão de placas associada ao Ciclo Brasileiro.

MAPA DE ANOMALIAS RESIDUAIS

O mapa isostático residual (Fig. 8) é dominado por anomalias de curto a médio comprimento de onda que, de acordo com o nosso modelo interpretativo, estão associadas com heterogeneidades intracrustais. Comparando com o mapa de anomalias Bouguer (Fig. 3), nota-se que o forte gradiente (que margeia a costa) foi satisfatoriamente eliminado.

O mapa de anomalias residuais apresenta um aspecto bastante complexo. Contudo, existe um padrão de alternância de anomalias positivas e negativas (realçadas através do padrão de hachuras) que, pelo menos em parte, é correlacionável com os grandes *trends* estruturais da área. A orientação preferencial das anomalias residuais (NE) é concordante com as principais feições estruturais da orogênese Brasileira (os extensos cisalhamentos transcorrentes). Estas feições podem representar, em alguns casos, descontinuidades litosféricas soldando diferentes terrenos tectono-estratigráficos (Jardim de Sá et al., 1992, 1997; Santos, 1996). As zonas de cisalhamento Sobral-Pedro II (SPII), Senador Pompeu (SP) e Portalegre (PA) são exemplos de importantes descontinuidades associadas com fortes lineamentos gravimétricos e que podem marcar limites entre diferentes terrenos.

Na região central do Ceará ocorre um *trend* E-W de anomalias positivas, destoante do zoneamento gravimétrico NE-SW (A na Fig. 8). Seus limites laterais a leste e oeste parecem ser truncados pelas zonas de cisalhamento brasileiras, de *trend* NE. Jardim de Sá et al. (1997) consideram o referido *trend* gravimétrico E-W como o registro de uma

estruturação crustal mais antiga (cedo-Brasílica ou pré-Brasílica) que permaneceu preservada no interior de um bloco delimitado pelas estruturas transcorrentes.

O limite leste da Bacia Potiguar é marcado por um expressivo alinhamento de altos gravimétricos de direção NE-SW (B na Fig. 8), que se estende até a plataforma continental. Geologicamente esta área representa o contato, por meio de falha (Falha de Carnaubais), de rochas do embasamento cristalino, a leste, com um pacote sedimentar de até 6 km de espessura, a oeste (o *graben* de Apodi). Matos (1992a) relacionou o *trend* de anomalias positivas ao longo do sistema de falhas de Carnaubais à presença de corpos basálticos associados ao processo de rifteamento da bacia. Anomalias residuais negativas dominam toda a parte central e submersa da Bacia Potiguar, estendendo-se sob a plataforma continental tanto para leste como para oeste, atingindo valores de até -30 mGal. A porção norte da Plataforma de Aracati (C na Fig. 8) é dominada por um mínimo gravimétrico que poderia estar relacionado a granitóides ou rochas supracrustais relativamente menos densas, no substrato cristalino da bacia sedimentar. A NW deste mínimo local, ocorre um outro lineamento gravimétrico positivo a leste da zona de cisalhamento Senador Pompeu (D na Fig. 8), que pode representar o limite entre domínios estruturais distintos. Tal lineamento estende-se em alto ângulo na plataforma continental e acompanha a borda oeste da zona de afinamento crustal observada no mapa de profundidades da interface crosta-manto (Fig. 6).

As demais bacias sedimentares do *trend* Cariri-Potiguar (Araípe, Iguatu e Rio do Peixe, entre outras), localizam-se em áreas de mínimos locais, de curto a médio comprimento de onda, e mascaram parcialmente a assinatura gravimétrica dos blocos crustais proterozóicos.

Nas regiões submersas, o zoneamento gravimétrico é substituído por uma extensa anomalia negativa, que acompanha todo o contorno da plataforma continental até a base do talude. Nestas regiões ocorrem espessos pacotes de sedimentos mais recentes. Por fim, as áreas do sopé continental, com profundidades de 2.500 m a 4.500 m, são dominadas por anomalias positivas de até 60 mGal.

IMPLICAÇÕES PARA A GEODINÂMICA REGIONAL

Jardim de Sá et al. (1992) postularam uma litosfera continental heterogênea para a Província Borborema, na

qual vários blocos crustais são delimitados por extensas zonas de sutura relacionadas ao Ciclo Brasileiro (ca. 600 ± 100 Ma.) ou a eventos mais antigos. Estes blocos podem ser tentativamente associados com anomalias de médio a curto comprimentos de onda no mapa de anomalias Bouguer residual. Em várias áreas da Província Borborema, os traços estruturais parecem marcar os limites entre diferentes terrenos com assinaturas gravimétricas distintas, a exemplo das zonas de cisalhamento Sobral-Pedro II, Senador Pompeu, Portalegre e Patos (Fig. 3). Uma interpretação integrada de dados geológicos, geoquímicos, geocronológicos e gravimétricos, buscando propor limites para os terrenos que compõem esta porção da Província Borborema, está atualmente em curso. Resultados preliminares foram apresentados por Jardim de Sá et al. (1997).

O principal episódio da evolução geodinâmica regional no Fanerozóico foi a abertura e formação do Atlântico Sul. O expressivo afinamento crustal e a subida da Moho (associada à transição entre as crostas continental e oceânica) são responsáveis pelo amplo gradiente gravimétrico de caráter regional, que margeia a costa. Na porção continental, o mapa da interface crosta-manto (Fig. 6), bem como o mapa de anomalias regionais (Fig. 7), indicam um adelgaçamento da crosta em sub-superfície, abaixo da porção emersa da Bacia Potiguar e no seu prolongamento para S-SW. Tal afinamento crustal é decorrente de uma deformação extensional NW-SE, que permaneceu ativa durante o Cretáceo Inferior. A subsidência tectônica decorrente dos esforços extensionais culminou na formação das bacias sedimentares do *trend* Cariri-Potiguar (Matos, 1992b). A relativa concordância entre as principais feições estruturais proterozóicas e os *trends* das anomalias regionais (Figs. 6 e 7) vem corroborar as assertivas de que as zonas de cisalhamento e o *fabric* tectônico do embasamento controlaram os processos de afinamento e ruptura continental.

Na porção emersa da Bacia Potiguar, os limites estruturais entre o *graben* principal da bacia e o embasamento cristalino estão bem registrados pelo alinhamento de anomalias positivas, especialmente na borda leste da bacia. O alinhamento de tais anomalias positivas coincide com o sistema de falhas de Carnaubais e é possivelmente realçado pela presença de corpos basálticos, não aflorantes. O alojamento dos corpos basálticos orientados segundo a direção NE-SW também estaria controlado pela fase de afinamento crustal e extensão NW-SE do processo de rifteamento mesozóico.

CONCLUSÕES

A integração dos dados gravimétricos levantados independentemente no Nordeste Setentrional do Brasil por várias universidades, instituições de pesquisa e órgãos governamentais, viabilizou a composição de mapas gravimétricos com detalhe suficiente para permitir uma interpretação regional. Em particular, a inclusão de levantamentos marinhos contribuiu para formar um quadro mais preciso de um ambiente complexo, com transição da crosta continental à oceânica.

Os primeiros resultados obtidos desta interpretação são: a delimitação da zona de afinamento crustal associada à implantação do *trend* de bacias sedimentares Cariri-Potiguar; a identificação de uma zona de espessamento crustal, na borda leste da Bacia do Parnaíba, possivelmente associada a uma zona de sutura de idade neoproterozóica (brasílica); e a identificação de um complexo padrão de anomalias residuais, parcialmente correlacionado com limites de terrenos propostos para a porção norte da Província Borborema.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às seguintes instituições pela cessão dos dados gravimétricos, topográficos e batimétricos: UFRN, IAG/USP, UFPA, UFOP, UFPE, Petrobras/CPRM, Observatório Nacional/CNPq, GEODAS/NOAA e Projeto EQUANT I (Petrobras/OSU). Este trabalho teve apoio financeiro da FINEP/PADCT's I e II e do CNPq (Bolsa de Recém-Doutor para D.L.C. e de Pesquisa para W.E.M. e E.F.J.S.). Os autores agradecem à Dra. Naomi Ussami (IAG/USP) as muitas discussões esclarecedoras sobre isostasia e também às sugestões e correções dos revisores anônimos, que muito contribuíram para melhorar a versão inicial deste artigo.

REFERÊNCIAS

- ASMUS, H.E. & BAISCH, P.R. - 1983** - Geological evolution of the Brazilian continental margin. *Episodes*, **4**: 3-9.
- ASMUS, H.E. & PORTO, R. - 1972** - Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica das placas. *Anais do XXVI Congr. Bras. Geol.*, **2**: 67-90, Belém, PA.

- BANKS, R.J., PARKER, R.L. & HUESTIS, S.P. - 1977** - Isostatic compensation on a continental scale: local versus regional mechanisms. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **51**: 431-452.
- BEDREGAL, R.P., LINS, F.A.P.L., BOA HORA, M.P.P., MOREIRA, J.A.M. & MACEDO, J.W.P. - 1992** - Modelagem gravimétrica bi e tridimensional da Bacia de Iguatu, Ceará. *Anais do XXXVII Congr. Bras. Geol.*, **2**: 383-384, Camboriú, SP.
- BELTRÃO, J.F. - 1989** - Uma nova abordagem para a interpretação de anomalias gravimétricas regionais e residuais aplicada ao estudo da organização crustal - exemplo da Região Norte do Piauí e Noroeste do Ceará. Tese de Doutorado, UFPA, Belém, PA, 156 pp.
- CABY, R., SIAL, A.N., ARTHAUD, M. & VAUCHEZ, A. - 1991** - Crustal evolution and the Brasiliano orogeny in Northeast Brazil. In: *The West African Orogens and Circum-Atlantic Correlatives* (Dallmeyer, R.D. & Lécorché, J.C.P.L., eds). Springer Verlag, Berlin, 373-397.
- CAMPOS, C.W.M., PONTE, F.C. & MIURA, K. - 1974** - Geology of the Brazilian continental margin. In: *The Geology of Continental Margins* (Burke, C.A. & Drake, C.L., eds). Springer Verlag, New York, 447-461.
- CASTRO, D.L., BARBOSA, V.C.F., SILVA, J.B.C. & MEDEIROS, W.E. - 1997** - Relevô da interface crosta-manto no Nordeste Setentrional do Brasil: Comparação entre vínculos de isostasia e suavidade. *Anais do V Congr. Intern. da SBGf*, **2**: 682-685, São Paulo, SP.
- CHANG, H.K., KOWSMANN, R.O. & FIGUEIREDO, A.M.F. - 1988** - New concepts on the development of East Brazilian marginal basins. *Episodes*, **11**: 194-202.
- DAL RE CARNEIRO, C., HAMZA, V.M. & ALMEIDA, F.F. - 1989** - Ativação tectônica, fluxo geotérmico e sismicidade no nordeste oriental brasileiro. *Rev. Bras. de Geociências*, **19**: 310-321.
- FETTER, A., VAN SCHMUS, W.R., SANTOS, T.S., ARTHAUD, M.H. & NOGUEIRA NETO, J. - 1991** - Geologic history and framework of Ceará State: NW Borborema Province, NE Brazil. *Proceedings South-Amer. Symp. Isotope Geol., Ext. Abstr.*, 112-113, Campos do Jordão, SP.
- JARDIM DE SÁ, E.F. - 1984** - A evolução proterozóica da Província Borborema. *Anais do XI Simp. Geol. Nordeste*, 297-316, João Pessoa, PB.

- JARDIM DE SÁ, E.F. - 1994** - A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana. Tese de Doutorado, UnB, Brasília, DF, 804 pp.
- JARDIM DE SÁ, E.F., MACEDO, M.H.F., FUCK, R. A. & KAWASHITA, K. - 1992** - Terrenos proterozóicos na Província Borborema e a margem norte do Cráton do São Francisco. *Rev. Bras. de Geociências*, **22**: 472-480.
- JARDIM DE SÁ, E.F., MEDEIROS, W.E. & CASTRO, D.L. - 1997** - Contribuição da gravimetria aos modelos de estruturação crustal da Província Borborema, Nordeste do Brasil. *Anais do XVII Simp. de Geol. do Nordeste*, 352-357, Fortaleza, CE.
- KARNER, G.D. & WATTS, A.B. - 1982** - On isostasy at atlantic-type continental margins. *J. Geophys. Res.*, **87**: 2923-2948.
- KENNET, J.P. - 1982** - *Marine Geology*, Prentice-Haw Inc. Englewood Cliffs, N.J., 435 pp.
- LINS, F.A.P.L., JARDIM DE SÁ, E.F., MACEDO, J.W.P. & MOREIRA, J.A.M. - 1993** - Assinatura gravimétrica da estrutura crustal brasileira no porção oriental da Faixa Seridó. *Anais do XV Simp. Geol. Nordeste*, **1**: 272-279, Natal, RN.
- MANTOVANI, M.S.M., DE FREITAS, S.R.C. & SHUKOWSKY, W. - 1997** - Some values of effective elastic thickness determined for the South American plate. *Anais do V Congr. Intern. da SBGf*, **2**: 877-878, São Paulo, SP.
- MATOS, R.M.D. - 1989** - Imagem sísmica crustal na Baía Potiguar emersa. *Anais do I Congr. Bras. da SBGf*, **1**: 223-227, Rio de Janeiro, RJ.
- MATOS, R.M.D. - 1992a** - The Northeast Brazilian Rift System. *Tectonics*, **11**: 766-791.
- MATOS, R.M.D. - 1992b** - Deep seismic profiling, basin geometry and tectonic evolution of intracontinental rift basins in Brazil. Ph.D. Thesis, Cornell University, Ithaca, New York, 276 pp.
- MCNUTT, M. - 1990** - Flexure reveals great depth. *Nature*, **343**: 596-597.
- MOLINA, E.C. - 1996** - Ajustamento e integração de dados gravimétricos e de altimetria por satélite na representação do campo gravimétrico no Atlântico Sul. Tese de Doutorado, IAG-USP, São Paulo, SP, 200 pp.
- 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. *Anais do I Congr. Bras. SBGf*, **2**: 531-537, Rio de Janeiro, RJ.
- PARKER, R.L. - 1972** - The rapid calculation of potential anomalies. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **31**: 447-455.
- SÁ, N. C., USSAMI, N. & MOLINA, E. C. - 1993** - Gravity Map of Brazil, 1. Representation of free-air and Bouguer anomalies. *J. Geophys. Res.*, **98**: 2187-2197.
- SANTA ROSA, A.N.C., LEITE, L.W.B. & PENHA, D.E.P. - 1993** - Zoneamento da Plataforma Sul-Americana através da dispersão das ondas de superfície. *Anais do III Congr. Intern. da SBGf*, **1**: 684-689, Rio de Janeiro, RJ.
- SANTOS, E.J. - 1995** - O Complexo Granítico Lagoa de Pedras: Acresção e colisão na região de Floresta (Pernambuco), Província Borborema. Tese de Doutorado, USP, 225 pp, São Paulo, SP.
- SANTOS, E.J. - 1996** - Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema. *Anais do XXXIX Congr. Bras. Geol.*, **7**: 47-50, Salvador, BA.
- 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, Edgard Blucher, 123-186.
- TURCOTTE, D. & SCHUBERT G. - 1982** - *Geodynamics. Applications of continuum physics to geological problems*. John Wiley & Sons, New York, 435 pp.
- USSAMI, N., SÁ, N. C. & MOLINA, E. C. - 1993** - Gravity Map of Brazil, 2. Regional and residual isostatic anomalies and their correlation with major tectonic provinces. *J. Geophys. Res.*, **98**: 2199-2208.
- VAN SCHMUS, W.R., BRITO NEVES, B.B., HACKSPACHER, P. C. & BABINSKI, M. - 1995** - U/Pb and Sm/Nd geochronological studies of the eastern Borborema Province, northeastern Brazil: initial conclusions. *J. South America Earth Sciences*, **8**: 267-288.
- VIDOTTI, R.M., EBINGER, C.J. & FAIRHEAD, J.D. - 1997** - Flexural rigidity at Parnaíba basin - Brasil. *Anais do V Congr. Intern. da SBGf*, **2**: 879-879, São Paulo, SP.

Received on February 98

Accepted on January 99

GRAVITY MAP OF PART OF NORTHEAST BRAZIL AND ADJACENT CONTINENTAL MARGIN AND ITS INTERPRETATION BASED ON THE HYPOTHESIS OF ISOSTASY

Several independent gravity surveys were integrated to produce a gravity map of the northernmost portion of Northeast Brazil and its continental margin (Fig. 3). At present, 37,435 gravity measurements were used (11,814 in land and 25,621 in sea), covering the area limited by longitudes 33° 30' W and 43° W and latitudes 2° 55' S and 7° 30' S (Fig. 2). The gravity and topographic/bathymetric data were generated by different surveys performed by Brazilian universities (UFRN, USP, UFPA, and UFPE), the Brazilian oil company Petrobras and the Geological Survey (CPRM), Brazilian research institutes (ON/CNPq and IBGE), and overseas research institutes (NOAA and OSU), the latter contributing with marine data (Tab. 1). The covered area has about 1,000 km along the west-east direction and 500 km along the north-south direction. For the whole area, the mean density of gravity measurements is about 1 station per 13 km². Considering only the gravity stations in land, the mean density is about 1 station per 27 km². The land gravity data were corrected from the effects caused by latitude, elevation and gravitational attraction on the earth from the moon and the sun (topographic corrections were not performed). The value of 2.67 g/cm³ was used to compute the Bouguer correction. In the marine gravity data, besides the corrections from the effects caused by latitude and attraction from the moon and the sun, the Eötvös and Bouguer corrections were also applied. To perform the latter one, the value of 1.03 g/cm³ was used for the density of sea water. The gravity data were referred to the International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN-71).

The gravity map covers the portion of the Borborema Province (Fig. 1) located north of the Patos Lineament, the easternmost portion of the Parnaíba basin and the adjacent continental margin. The dominant long wavelength anomaly in the Bouguer map is an expressive gradient, grossly parallel to the continental margin (Fig. 3). This gradient is caused by the Moho uplift in the transition from the continental crust to the oceanic crust, originated by the separation between South America and Africa. Medium to small wavelength anomalies display good correlation with intracrustal heterogeneities such as different Precambrian crustal blocks, Brasiliano-age granites and Mesozoic sedimentary basins. For interpretative purposes, the Bouguer gravity map is considered to be a superposition of regional and residual components. The regional component is assumed to be generated by undulations in the interface separating the crust from the mantle, with their density contrast supposed to be homogeneous. On the other hand, the residual component is assumed to be caused by density heterogeneities within the crust. In order to

individually interpret the regional and residual components, a separation of the Bouguer anomaly map was done under the assumption that the area is isostatically compensated according to the flexural model due to Banks et al. (1977), in which the topographic/bathymetric loads are compensated at the crust-mantle interface. Because in the model of Banks et al. (1977) the crust is assumed to be homogeneous, which is in contrast with the fact that the crust in the area is highly heterogeneous, the obtained results should be regarded as preliminary results. At least three types of crust can be recognized: the oceanic crust and the two parcels of continental crust separated by the eastern border of the Parnaíba basin, as shown by the different trends between gravity and topographic data (Fig. 5). The relevant parameters used in the model of Banks et al. (1977) are the densities attributed to the mantle and crust (the latter one was assumed to be equal to the density of the topographic loads), the compensation depth of the loads and the effective elastic thickness of the crust. The values of 2.7 g/cm³ and 3.1 g/cm³ were used for the densities of the crust and mantle, respectively, and the values of 30 km and 10 km were used for the compensation depth of the loads and effective elastic thickness, respectively. The obtained preliminary estimate for the relief of the crust-mantle interface is shown in Fig. 6. The regional gravity anomaly (Fig. 7) due to this interface was computed using the Parker's (1972) algorithm. Finally, the obtained isostatic residual anomaly map is shown in Fig. 8.

The estimated crust-mantle interface allows to delineate a zone of crustal thinning associated to the Cariri-Potiguar trend of Mesozoic sedimentary basins (Fig. 6). This crustal thinning is interpreted as the result of an extensional deformation with a NW-SE stretching direction, schematically represented by arrows in Fig. 6. The coincidence of the main Brasiliano-age trends with the relief pattern of the crust-mantle interface is interpreted as an evidence that ancient shear zones and tectonic fabrics of the crystalline basement controlled the process of thinning and rupture of the continental crust during the Mesozoic. Around the eastern border of Parnaíba basin, a zone of relatively thick crust was also identified (Fig. 6). This zone possibly represents a Brasiliano-age collision of continental plates.

The isostatic residual anomaly map (Fig. 8) displays a complex pattern of anomalies. Some of these anomalies are possibly associated with terrane sutures comprising the structural framework of the Borborema Province. Examples are the gravity trends coinciding with Sobral-Pedro II, Senador Pompeu, Portalegre, and Patos shear zones (Fig. 8).

NOTAS SOBRE OS AUTORES *NOTES ABOUT THE AUTHORS*

David L. Castro

É Geólogo (UFRN, 1986), Mestre em Geofísica (UFPA, 1990) e Doutor em Geofísica (Univ. Kiel, 1995). Durante os anos de 1996 e 1997, ele esteve associado ao Departamento de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) com bolsa de Recém-Doutor do CNPq. Neste período, ele foi membro do Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN, onde orientou trabalhos de mestrado. Atualmente, ele está associado ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará com bolsa de Desenvolvimento Científico Regional do CNPq. Seus principais interesses são geofísica regional e prospecção geofísica. Ele apresentou 16 trabalhos em congressos nacionais e internacionais.

Walter E. Medeiros

É Engenheiro Civil (UFRN, 1981), Mestre em Geofísica (UFBA, 1987) e Doutor em Geofísica (UFPA, 1993). Ele é professor do Departamento de Física da UFRN desde 1982 e bolsista-pesquisador do CNPq desde 1997 (nível atual 2B). A partir de 1995, ele tornou-se membro do Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN, onde tem orientado trabalhos de mestrado. Seus principais interesses são teoria da inversão com métodos potenciais e elétricos e aplicações em geofísica regional e prospecção geofísica. Ele publicou 08 artigos em revistas internacionais, 01 artigo em revista nacional e apresentou 30 trabalhos em congressos nacionais e internacionais. Ele é membro da Sociedade Brasileira de Geofísica e da Society of Exploration Geophysicists (EUA).

Emanuel F. Jardim de Sá

Geólogo (UFPE, 1973), Mestre em Geociências (UFBA, 1979) e Doutor em Geologia (UnB, 1994). Ele é professor do Departamento de Geologia da UFRN desde 1976 e bolsista-pesquisador do CNPq desde 1982 (nível atual 2A). Em 1984, ele recebeu o prêmio *Martelo de Prata* da Sociedade Brasileira de Geologia. A partir de 1995, ele tornou-se membro do Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN, onde tem orientado trabalhos de mestrado e é o atual coordenador. Ao longo de sua carreira, ele pesquisou com métodos variados a evolução geodinâmica da Província Borborema. Ele publicou 04 artigos em revistas internacionais, 16 artigos em revistas nacionais, 02 capítulos de livros e apresentou 114 trabalhos em congressos nacionais e internacionais. Ele é membro da Sociedade Brasileira de Geologia e da Academia Brasileira de Ciências.

José A. M. Moreira

É Bacharel em Física (Unicamp, 1971) e realizou estudos de pós-graduação em Geofísica (USP, 1980). Ele é professor do Departamento de Física da UFRN desde 1976. Seus principais interesses são métodos potenciais e estudos crustais. Ele publicou 04 artigos em revistas internacionais e apresentou 29 trabalhos em congressos nacionais e internacionais. Ele é membro da Sociedade Brasileira de Geofísica e da American Geophysical Society (EUA).

COMENTÁRIOS SOBRE O 5º CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA - SÃO PAULO - 1997

O V Congresso Internacional da SBGf, ocorrido em São Paulo durante o período de 27 de setembro a 04 de outubro de 1997, manteve o crescimento, em termos de quantidade e qualidade, observado nos eventos anteriores. O número de trabalhos aceitos para apresentação e o número de inscritos superaram as mais otimistas expectativas (415 trabalhos submetidos e 915 profissionais participantes) e ultrapassaram os cinco Congressos Internacionais anteriormente promovidos pela SBGf. As atividades do Congresso foram divididas em 18 (dezoito) Cursos, 10 (dez) Simpósios, 13 (treze) Sessões Temáticas, 05 (cinco) "Workshops" e 04 (quatro) Mesas Redondas, envolveram dezenas de especialistas convidados para Conferências e Cursos oferecidos em São Paulo e Rio de Janeiro. O evento caracterizou-se, entretanto, pelo incremento da participação de diversos segmentos de atuação distintas dentro da Geofísica. As atividades desenvolveram-se no Centro de Convenções do Hotel Transamérica, e no Campus da Universidade de São Paulo, nas dependências do Instituto Astronômico e Geofísico e do Instituto de Geociências. Os cursos de interesse à comunidade de geofísicos de exploração de hidrocarbonetos foram ministrados no Centro de Treinamento da Petrobras, no Rio de Janeiro. Paralelamente à programação técnica, foi realizada a EXPOGEF'97, exposição de produtos e serviços em Geofísica, a qual ocupou um espaço de 1200 m² do Centro de Convenções. Recursos financeiros para o evento foram obtidos através das taxas de inscrições, comercialização do evento na EXPOGEF'97, auxílios para reuniões científicas de entidades de fomento à ciência (CNPq, FAPESP, FINEP), e de auxílios diretos e indiretos de outras entidades tais como AGU, PETROBRAS, INPE, CPRM, IAG/USP, IPT e muitas outras. Entretanto, o sucesso do evento baseou-se na participação de um grande número de colegas que enfrentaram os desafios dos problemas logísticos inerentes à cidade de São Paulo (congestionamentos, altos custos, etc.). A colaboração voluntária de todos os envolvidos na realização e participação no evento merece o reconhecimento da SBGf.