

MAPAS GRAVIMÉTRICOS DO ESTADO DO CEARÁ

*David Lopes de Castro¹
Francisco César Nogueira Costa^{1,2}*

Abstract

Approximately 21,000 gravity stations have been integrated to obtain gravity maps of the Ceará State, Northeast Brazil. Gravity data were collected at several independent geophysical surveys conducted by state universities, governmental companies and research institutes. For the whole area of the Ceará State the mean density of gravity measurements is about 1 station per 14.65 km², including marine gravity data in the offshore of the Ceará.

Major geological features of the Ceará State could be identify in the Bouguer gravity anomaly map. The dominant long wavelength components of the gravity field show an expressive positive gradient, from continent inner to continental rise, caused by the Moho uplift during the separation between South America and Africa in the Lower Cretaceous age. Medium to small wavelength anomalies are due to intracrustal heterogeneities such as Precambrian structural domains and sedimentary basins. A polynomial surface fitting method was applied in the gravity data to analyze separately the effects of the regional and residual gravity field components. The regional and residual anomaly maps are also presented and preliminarily interpreted.

Resumo

O Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto (LGPSR) da Universidade Federal do Ceará reuniu e integrou um considerável acervo de dados gravimétricos com o objetivo de gerar mapas gravimétricos atualizados do estado do Ceará e da margem continental adjacente. São aproximadamente 21.000 estações gravimétricas estabelecidas nesta região por diversas universidades federais, órgãos e empresas públicas em inúmeros projetos de pesquisa e prospecção geofísica. A cobertura gravimétrica na região considerada apresenta uma densidade média de uma estação de medida para cada 14,65 km², o que permite a reconstituição da assinatura gravimétrica do Ceará em um caráter regional.

As principais feições geológicas do estado do Ceará podem ser, satisfatoriamente, identificadas nos mapas de anomalias gravimétricas Bouguer. A componente de longo comprimento de onda (100 km) do campo gravitacional mostra um expressivo gradiente positivo, partindo da porção sul do estado até a margem continental. Este efeito gravimétrico é causado pelo expressivo afinamento crustal na zona de transição entre as crostas continental e oceânica. Enquanto que, anomalias de médio a curto comprimento de onda são atribuídas a heterogeneidades crustais, tais como domínios estruturais Pré-cambrianos e bacias sedimentares costeiras e interiores.

¹Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto, Depto Geologia – UFC

² Depto Geologia – UFC, Bolsista PIBIC – CNPq

Um método de ajuste polinomial robusto foi aplicado aos dados gravimétricos para separar as componentes regional e residual do campo gravitacional. Os mapas de anomalias gravimétricas regionais e residuais são também apresentados e interpretados de acordo com o conhecimento geológico atual.

Introdução

A prospecção gravimétrica é o método geofísico que mede as variações do campo gravitacional terrestre devido a distribuição irregular das densidades das rochas em subsuperfície. A gravimetria permite detectar contrastes de densidade dos diferentes materiais rochosos desde a superfície terrestre até níveis mais profundos no Manto Superior. Por isso, este método geofísico pode ser aplicado em um grande espectro de problemas geológicos, tais como estudos de tectônica de placas (Watts, 1994; Castro, 2000) e mapeamentos geológicos regionais e locais (Castro et al., 1998; Castro & Castelo Branco, 1999a), chegando até a localização de pequenas cavidades soterradas próximas a superfície (Yule et al., 1998).

A gravimetria, integrada às demais áreas das Geociências, permite a proposição de modelos tridimensionais de estruturação crustal e evolução geodinâmica mesmo para regiões de grande complexidade geológica, como é o caso do Ceará. O quadro geológico do estado representa o amalgamento de extensos domínios estruturais precambrianos, intensamente deformados e recortados por zonas de cisalhamentos e, parcialmente, cobertos por sedimentos de bacias sedimentares fanerozóicas. Neste contexto, as anomalias gravimétricas podem contribuir para a identificação das principais feições estruturais mapeadas em superfície, bem como a caracterização do seu comportamento em profundidade.

Nestas últimas décadas, universidades, empresas e órgãos públicos vem realizando de forma intensa a coleta de dados gravimétricos em vastas regiões do estado do Ceará e da margem continental adjacente. Todavia, tais trabalhos vem sendo executados de forma independente e descoordenada, seguindo os objetivos específicos de cada projeto. Este procedimento provocou uma distribuição irregular das estações gravimétricas de acordo com o interesse da geologia local, com áreas apresentando grande densidade de estações e outras sem cobertura gravimétrica satisfatória. Exemplos de superposição de estações é comum em todo estado. O objetivo deste trabalho foi, portanto, reunir e integrar a maior quantidade possível dos dados gravimétricos já levantados e disponíveis até o momento e gerar mapas gravimétricos atualizados do Ceará. Uma interpretação preliminar das anomalias gravimétricas será também apresentada à luz do conhecimento geológico atual.

Síntese de Geologia do Ceará

Terrenos precambrianos estão expostos em mais de 85% do Estado do Ceará, inseridos na porção setentrional da Província Borborema. Enquanto que as demais áreas apresentam coberturas sedimentares de idades fanerozóicas até o recente (Fig. 1). Arthaud et al. (1999) apresentaram uma síntese da evolução geodinâmica do Precambriano cearense, na tentativa de agrupar e redefinir todo o conhecimento geológico obtido ao longo de mais de um século de investigação científica no Ceará. Cinco principais domínios estruturais, limitados por extensas zonas de cisalhamento transcorrentes foram individualizados em um contexto colisional Neoproterozóico do Ciclo Brasileiro.

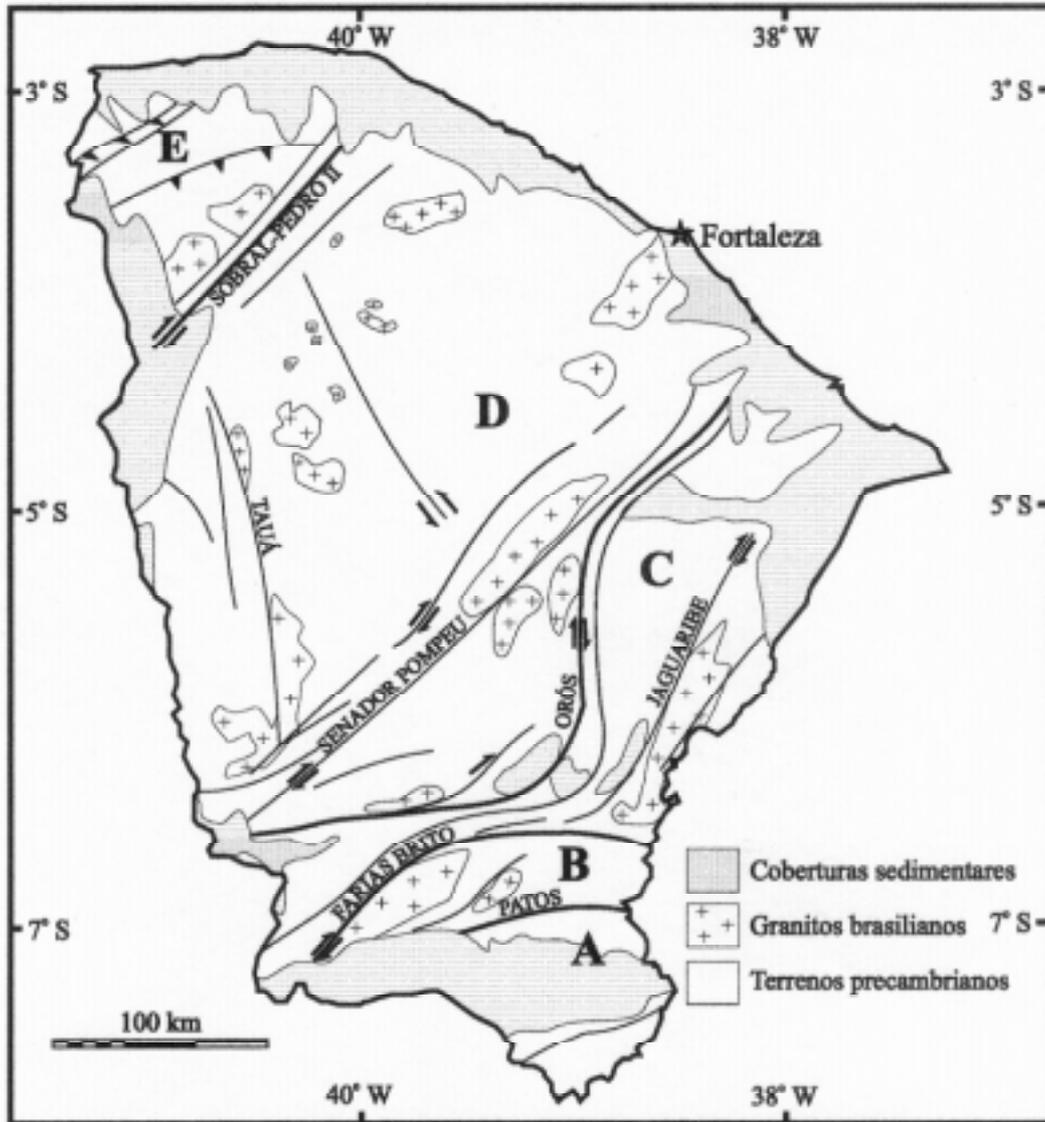


Figura1 – Esboço geológico do Ceará com os principais domínios estruturais (adaptado de Arthaud et al., 1999). Domínios estruturais: A - Piancó-Alto Brígida; B - Granjeiro; C - Orós-Jaguaribe; D - Ceará Central; E - NW do Ceará.

No extremo sul do estado, o domínio Piancó-Alto Brígida (Brito Neves, 1975) compreende filitos de facies xisto-verde derivados de uma sucessão do tipo *flysch*, com intercalações de metavulcânicas. Para norte, este domínio é limitado pela zona de cisalhamento Pátos com orientação E-W (Fig. 1). O domínio Granjeiro, mais a norte, consiste de uma seqüência supracrustal sobre o embasamento arqueano, ambos intensamente afetados pela orogênese Brasileira e limitados a norte pelas zonas de cisalhamento Farias Brito e Tatajuba. O domínio Jaguaribe-Orós forma duas faixas móveis lineares com orientação N-NE. A porção leste apresenta uma larga faixa com direção N-S, passando para E-W, a sul. O embasamento policíclico é formado por ortognaisses diversos e tonalitos. A deformação Brasileira tem caráter essencialmente transcorrente dextral com foliações de alto ângulo. O domínio Ceará Central, que ocupa uma

extensa área do estado, é caracterizado por uma tectônica recumbente de larga escala e *nappes* bem preservados, envolvendo gnaisses policíclicos e supracrustais com descolamento (Caby & Arthaud, 1986). Por fim, o domínio NW do Ceará ocorre a noroeste da zona de cisalhamento Sobral-Pedro II (Fig. 1) e é formado por embasamento policíclico arqueano e seqüências vulcano-sedimentares meso e neoproterozóicas.

As unidades precambrianas são parcialmente cobertas por pacotes sedimentares paleozóicos e cenozóicos da bacia do Parnaíba, no limite oeste do estado, e das bacias costeiras e interiores (Potiguar, Araripe, Iguatu entre outras menores), respectivamente. O extremo nordeste do estado é recoberto pela porção ocidental da bacia Potiguar, que se estende sobre a plataforma continental, chegando até a base do talude. As bacias do Vale do Cariri, no sul do estado, atingem espessuras de até 1800 m (Castro & Castelo Branco, 1999a). Por fim, sedimentos recentes recobrem toda a região litorânea (Fig. 1), com espessuras de poucas dezenas de metros.

Base de Dados Gravimétricos

Atualmente, o estado do Ceará apresenta uma considerável cobertura de estações gravimétricas, resultado de inúmeros levantamentos geofísicos executados por universidades federais (UFC, UFRN, UFPA, IAG/USP, UFOP), órgãos e empresas públicas (IBGE, Petrobrás, CPRM, DNPM, ON/CNPq). Uma grande parte dos dados levantados por estas instituições integra o acervo de dados geofísicos do Observatório Nacional (ON/CNPq). Este conjunto de medidas gravimétricas foi cedido ao Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto (LGPSR) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Dados levantados pela Divisão de Geociências do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foram também adquiridos para a confecção dos mapas gravimétricos do Ceará. Uma parceria entre o LGPSR e o IBGE tem contribuído para complementar a cobertura de estações gravimétricas em áreas específicas do estado, como as bacias rifte do Vale do Cariri (Castro & Castelo Branco, 1999a), região costeira entre Fortaleza e Paracuru (Castro & Castelo Branco, 1999b) e batólito de Quixadá (trabalho ainda inédito).

Dados gravimétricos marinhos foram incorporados a base de dados com a finalidade maior de revelar a continuidade das feições geológicas sob a margem continental cearense. A fonte principal dos dados marinhos é formada pelo projeto EQUANT I, realizado pela USP, Petrobrás e Universidade do Oregon. Outros levantamentos marinhos executados na costa cearense foram incorporados a partir da base de dados geofísicos marinhos GEODAS da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). A Fig. 2 mostra a localização das estações gravimétricas segundo as suas instituições de origem. Estações localizadas até 150 km dos limites do Ceará foram incluídas com a finalidade de atenuar distorções na interpolação e tratamento da base de dados.

O conjunto final das estações gravimétricas é de 20.858, sendo 10.523 estações terrestres e 10.335 estações marinhas, gerando uma densidade média de uma estação para cada 14,65 km². Porém, pelo fato da base de dados ser composta por projetos específicos e independentes, a distribuição das estações de medidas mostra-se bastante irregular (Fig. 2). Nas regiões marinhas, os dados gravimétricos do projeto EQUANT I foram coletados em média a cada 600 m, forne-

cendo uma alta cobertura gravimétrica. Áreas de maior interesse da prospecção geofísica no continente, como as bacias sedimentares cenozóicas, principalmente a porção emersa da bacia Potiguar e as principais bacias do Vale do Cariri (Araripe e Iguatu), corpos graníticos como o batólito de Quixadá e a região metropolitana de Fortaleza também apresentam uma boa cobertura gravimétrica de até uma estação a cada 1,5 km². Entretanto, regiões na porção centro leste, no extremo noroeste e sudoeste do estado tem uma baixa ou mesmo ausente cobertura de estações de medidas.

Em geral, os dados gravimétricos levantados seguem uma padronização internacional para sua aquisição e processamento. As medidas de gravidade são corrigidas dos efeitos não-geológicos causados por variações em latitude, elevação, topografia, atração do sistema luni-solar e deriva instrumental. O campo gravimétrico terrestre é também eliminado do dado observado, que é por fim referenciado à Rede de Padronização Gravimétrica Internacional 1971 (IGSN71). Os valores corrigidos geram as anomalias Bouguer e representam o efeito gravimétrico devido apenas à distribuição de densidade em subsuperfície. A anomalia Bouguer é expressa pela seguinte equação,

$$\Delta g_b = g_{obs} - (g_t \pm \Delta g_D \pm \Delta g_L \pm \Delta g_A \pm \Delta g_B), \quad (1)$$

onde g_{obs} é a medida gravimétrica, g_t o campo gravimétrico teórico, Δg_D a correção de deriva instrumental e atração luni-solar, Δg_L a correção de latitude, Δg_A a correção de Ar-livre e Δg_B a correção Bouguer. As equações padrões utilizadas nas correções gravimétricas podem ser vistas em Parasnis (1997) e Telford et al. (1990). Os dados corrigidos e referenciados foram então integrados a base de dados gravimétricos do estado do Ceará.

Mapas Gravimétricos do Ceará

As 20.858 observações gravimétricas reunidas neste trabalho foram interpoladas em uma malha regular de 5 km, gerando uma matriz de 157 por 145. Vários métodos de interpolação bidimensional foram aplicados, sendo que o método *kriging* foi o que apresentou menores distorções nas áreas de baixa ou ausente cobertura gravimétrica. O mapa de anomalias Bouguer resultante é apresentado na Figura 3.

As anomalias gravimétricas (Fig. 3) apresentam um gradiente positivo de caráter regional, que aumenta gradativamente de -80 mgal no sul do Ceará até 200 mgal sobre o talude continental. Este padrão regional segue grosseiramente a linha de costa, sofrendo uma forte inflexão para sul no meridiano de 39° 30' W. O comportamento das anomalias gravimétricas de longo comprimento de onda reflete variações profundas da interface crosta-manto. No caso do estado do Ceará, o forte aumento do campo gravimétrico resulta do afinamento crustal típico de margens continentais do tipo passiva, com o manto mais denso cada vez mais raso em direção ao oceano. Através de modelos de compensação isostática, Castro et al. (1998) estimaram espessuras crustais variando de 30 km no sul do estado a 23 km na região da elevação continental. Segundo os mesmos autores, a expressiva inflexão do campo gravimétrico para sul sugere um estiramento crustal secundário, associado a fase principal de rifteamento do processo de abertura do Atlântico Sul, no Cretáceo Inferior (Matos, 1992; Castro & Medeiros, 1997).

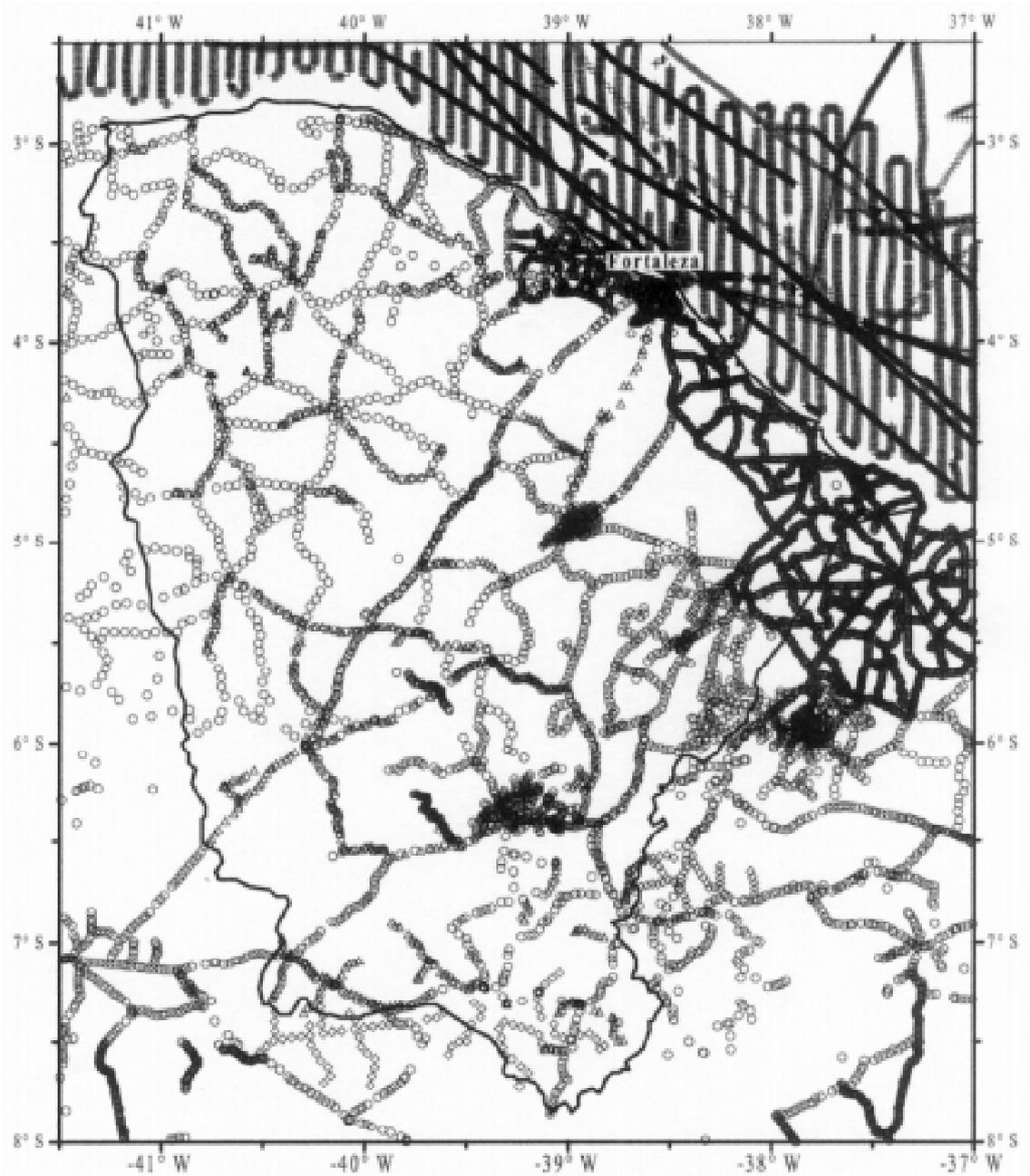


Figura 2 – Localização das estações gravimétricas do Estado do Ceará e margem continental adjacente. O acervo de dados do ON também incluem estações levantadas pela UFRN, UFPA, USP, UFOR, Petrobrás e CPRM/DNPM.

O mapa de anomalias Bouguer (Fig. 3) ainda revela uma boa correlação entre importantes feições estruturais e o comportamento do campo gravimétrico. Pelo comportamento das anomalias gravimétricas locais, as zonas de cisalhamento Sobral-Pedro II e Tauá aparecem como delimitadores de domínios crustais. Os prolongamentos norte das zonas de cisalhamento Senador Pompeu, Orós e Jaguaribe apresentam uma forte assinatura gravimétrica, que pode ser acompanhada sob a cobertura sedimentar costeira, revelando um importante controle estrutural destas zonas de fraqueza crustal na formação do arcabouço da bacia Potiguar. As bacias rifte do vale do Cariri (Araripe, Rio do Peixe e Iguatu) são feições geológicas que também são muito bem representadas no mapa gravimétrico do Ceará. Todavia, a assinatura gravimétrica da bacia do Parnaíba, no limite oeste do estado, é pouco percebida no mapa de anomalias Bouguer.

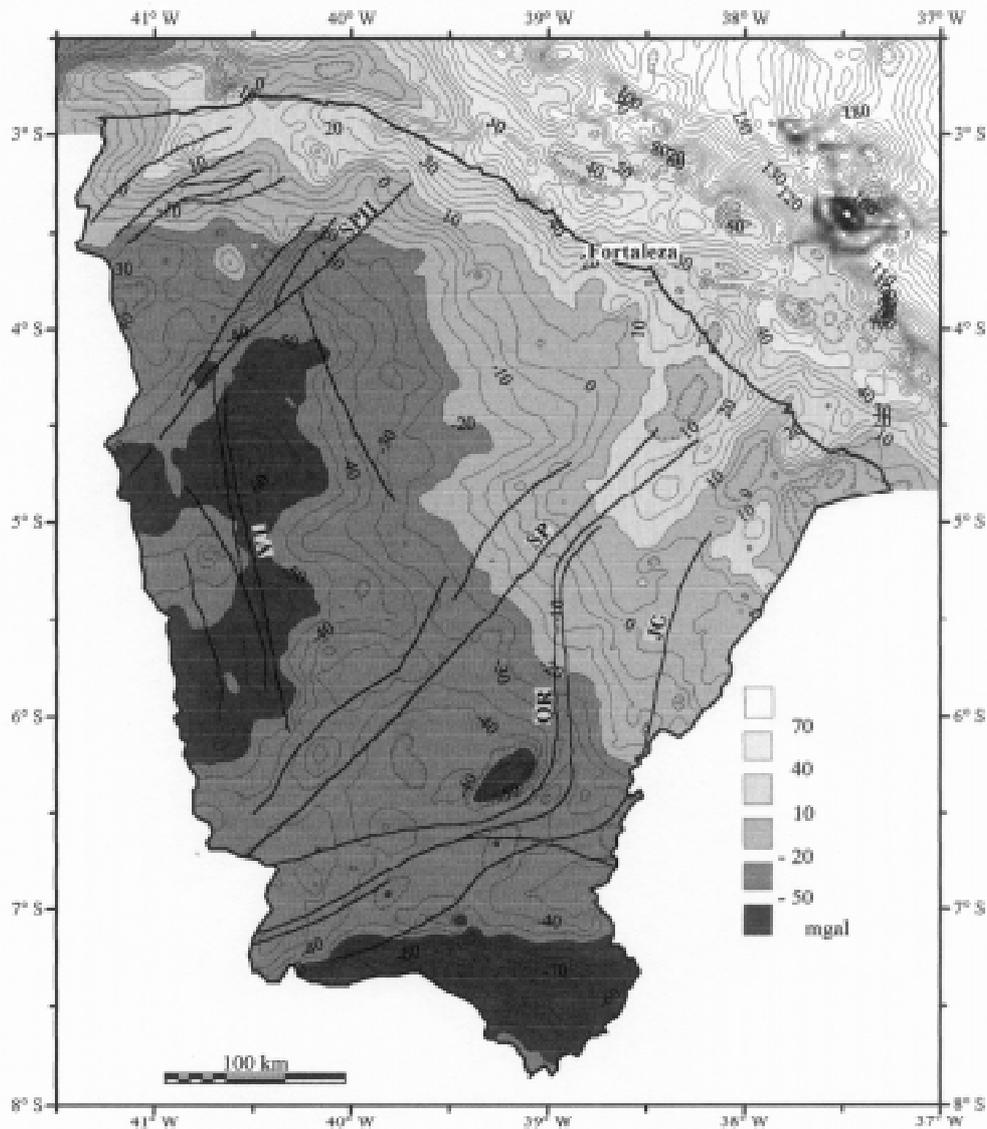


Figura 3 – Mapa de anomalias gravimétricas Bouguer do Estado do Ceará. Zonas de cisalhamento: SP II – Sobral – Pedro II; TA – Tauá; SP – Senador Pompeu; OR – Orós; JG – Jaguaribe. Intervalo de contorno de 5 mgal.

O *trend* gravimétrico regional pôde ser eliminado através de um filtro de separação regional-residual, o qual realça as heterogeneidades crustais mais rasas. Para tanto, foi empregado o método de ajuste polinomial desenvolvido por Beltrão et al. (1991). As técnicas de ajuste de polinômios pressupõem que uma superfície polinomial reproduza satisfatoriamente o campo regional, cuja suavidade é controlada pelo grau do polinômio. Beltrão et al. (1991) propuseram

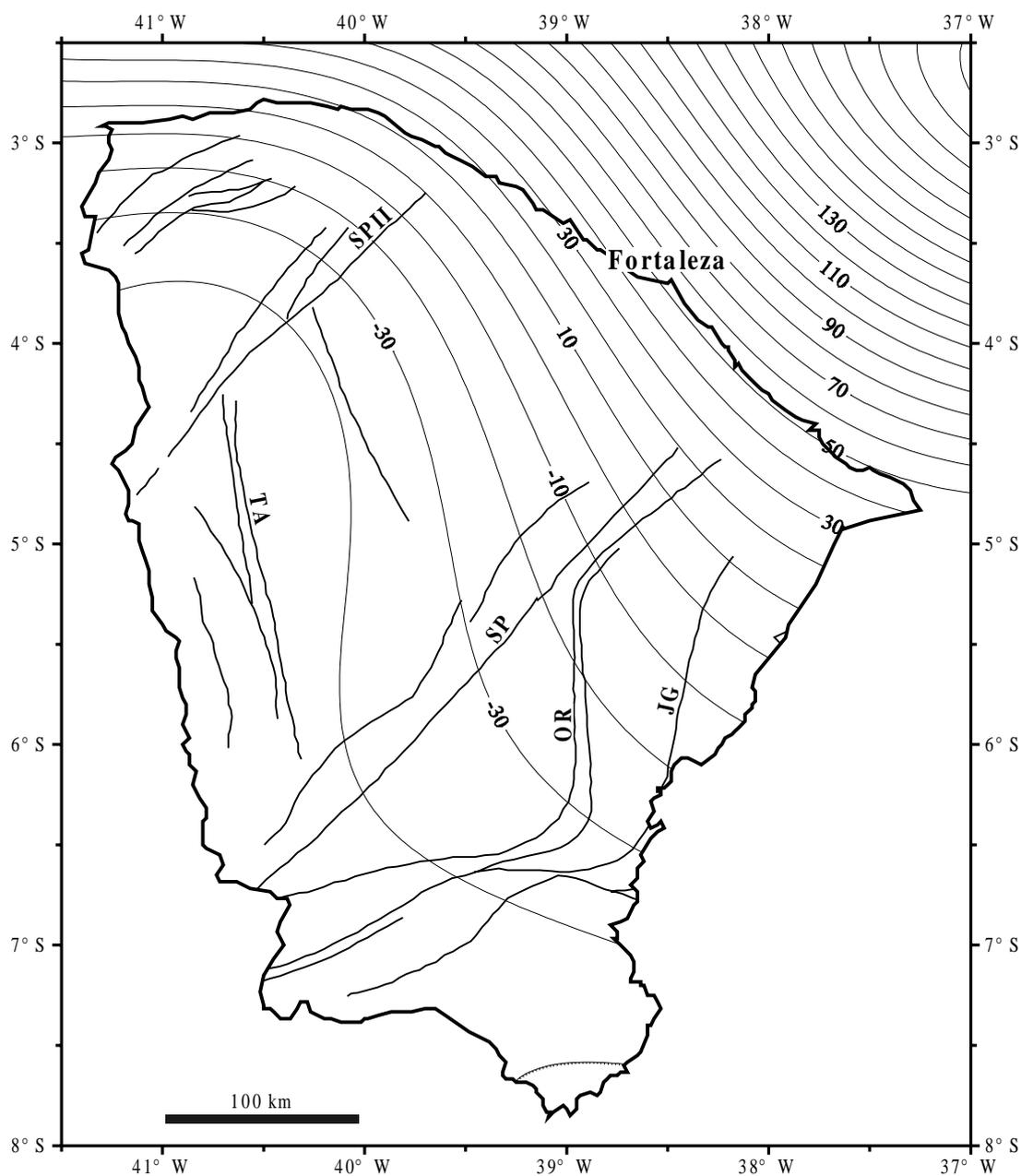


Figura 4 – Mapa de anomalias gravimétricas regionais do Estado do Ceará. Zonas de cisalhamento: SPII – Sobral – Pedro II; TA – Tauá; SP – Senador Pompeu; OR – Orós; JG – Jaguaribe. Intervalo de contorno de 10 mgal.

um procedimento estatístico robusto para determinar os coeficientes do polinômio, de modo a concentrar os resíduos em regiões isoladas ao invés de distribuí-los pelo critério dos mínimos quadrados. O polinômio de ordem 6 foi o que melhor se ajustou a componente regional do campo gravimétrico da área selecionada. As figuras 4 e 5 mostram os mapas de anomalias regionais e residuais do Ceará, respectivamente.

O mapa de anomalias gravimétricas regionais (Fig. 4) mostra claramente o aumento contínuo do campo gravimétrico devido ao afinamento crustal na transição entre as crostas continental e oceânica. A inflexão do campo gravimétrico, observado no mapa de anomalias Bouguer (Fig. 3), foi bastante realçada após a separação da componente residual do campo. A partir da inversão de dados gravimétricos, Castro & Medeiros (1997) estimaram um afinamento lateral da crosta continental de até 2,5 km, estando o eixo principal do afinamento crustal, com direção NE-SW, localizado a leste da zona de cisalhamento Jaguaribe. O sistema de rifteamento cretácico, que gerou o referido estiramento crustal na região das bacias rifte do trend Cariri-Potiguar, como denominado por Matos (1992), parece ter se favorecido das zonas de fraqueza crustais mais antigas, principalmente as extensas zonas de cisalhamento brasileiras de direção NE-SW. O mapa de anomalias regionais (Fig. 4) corrobora tais afirmativas, visto que os eixos da inflexão do campo gravimétrico são acompanhados pela zonas de cisalhamento Sobral-Pedro II, a oeste, e Senador Pompeu, a leste.

O mapa de anomalias residuais (Fig. 5) mostra a assinatura gravimétrica das principais feições geológicas posicionadas em níveis crustais mais rasos. Alguns domínios gravimétricos podem ser individualizados e comparados com a geologia local. O extremo noroeste do estado é dominado por uma anomalia gravimétrica positiva de até 40 mgal, estando diretamente correlacionada com o domínio NW do Ceará. O limite leste desta anomalia gravimétrica é marcado pela zona de cisalhamento Sobral-Pedro II, refletindo o importante caráter colisional deste trecho do lineamento Transbrasiliano, com a justaposição de terrenos aloctônes (Jardim de Sá et al., 1997). Anomalias negativas a leste do cisalhamento Sobral-Pedro II sugerem uma paleozona de subducção mergulhando para SE.

Uma segunda unidade gravimétrica positiva ocupa as porções central do domínio Ceará Central e norte do domínio Orós-Jaguaribe, estendendo-se para sul até a bacia do Araripe (Fig. 5). As anomalias gravimétricas nesta região tem amplitudes médias de 10 mgal, sendo separadas do domínio NW do Ceará por um extenso mínimo gravimétrico de até -20 mgal. Esta seqüência de anomalias negativas aparecem parcialmente associadas as ocorrências de metassedimentos supracrustais do Grupo Ceará (Fig. 1 de Caby & Arthaud, 1986). O limite oriental entre os domínios Ceará Central e Orós-Jaguaribe é pouco representativo no mapa de anomalias residuais, não constituindo uma descontinuidade litosférica importante. Todavia, a zona de cisalhamento Orós pode ser seguida pelo alinhamento gravimétrico até a plataforma continental, sob a cobertura sedimentar costeira, constituindo uma importante feição estrutural na formação da porção oriental da bacia Potiguar.

A assinatura gravimétrica dos domínios estruturais no sul do Ceará são parcialmente mascarados pelas anomalias negativas de grande amplitude das bacias do Araripe e Iguatu (Fig. 5). Contudo, a delimitação ocidental do domínio Granjeiro pode ainda ser inferido próximo ao limite oeste da anomalia negativa que ocorre na área. Por outro lado, o domínio Piancó-Alto Brígida é quase que totalmente coberto pelo mínimo gravimétrico associado ao pacote sedimentar da bacia do Araripe.

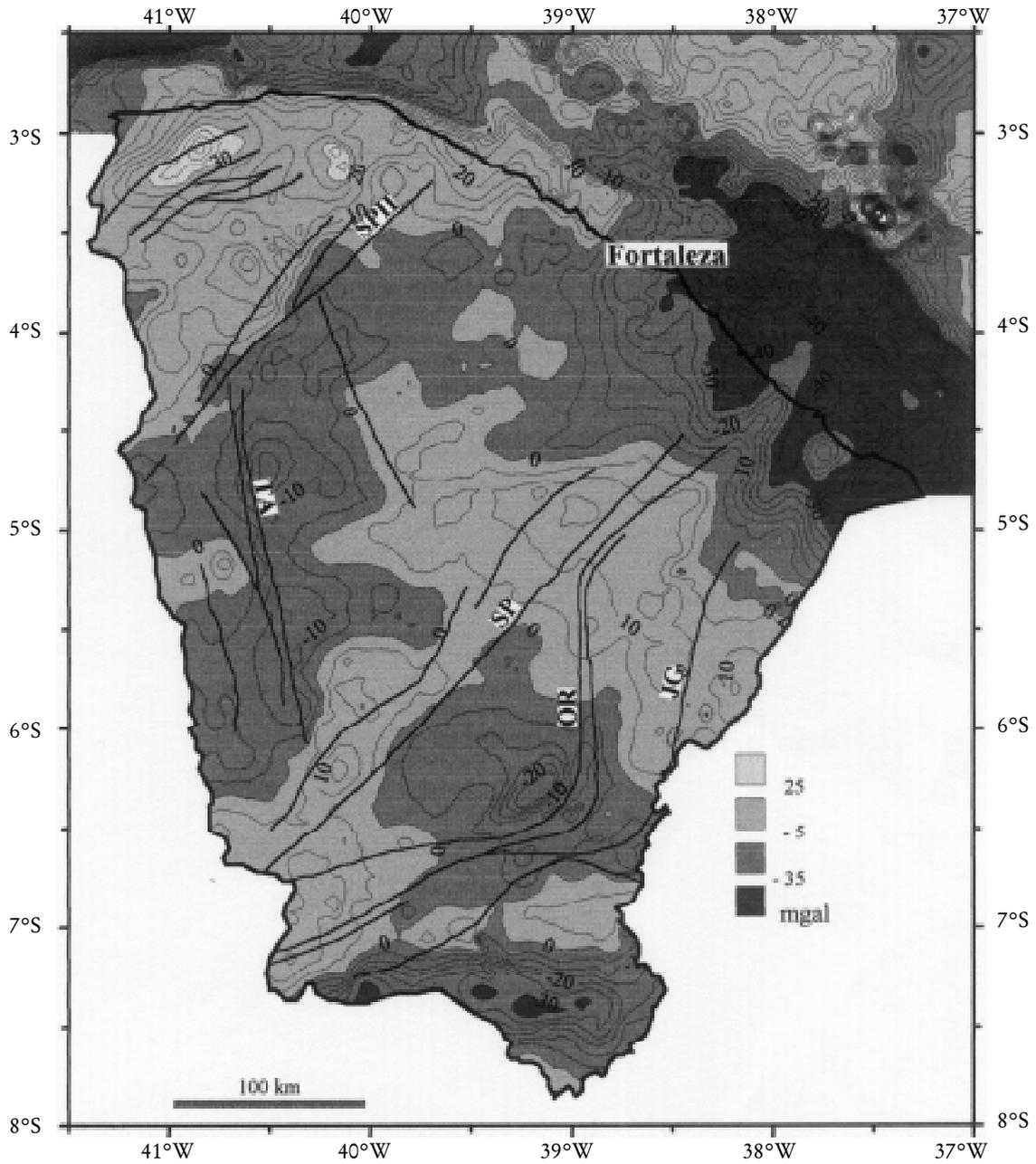


Figura 5 – Mapa de anomalias gravimétricas residuais do Estado do Ceará, Zonas de cisalhamento: SPlI – Sobral – Pedro II; TA – Tauá; SP – Senador Pompeu; OR – Orós; JG – Jaguaribe. Intervalo de contorno de 5 mgal.

A reposta gravimétrica das bacias sedimentares do Vale do Cariri e a parte oeste da bacia Potiguar é representada por expressivos mínimos gravimétricos da ordem de -20 a -70 mgal (Fig. 5). Esta destacada assinatura gravimétrica é garantida pelo marcante contraste de densidade entre as rochas sedimentares e o embasamento precambriano. No caso das bacias do Araripe e Iguatu, Castro & Castelo Branco (1999a) obtiveram, a partir de modelagens gravimétricas tridimensionais, espessuras de 1.700 m nos seus principais depocentros. Por sua vez, a bacia Potiguar é representada no Ceará pela Plataforma de Aracati com espessuras de até 500 m (Matos, 1992) na parte emersa e por uma extensa área na sua porção submersa. O extenso mínimo gravimétrico local alcança valores de -80 mgal, indicando espessos pacotes sedimentares na plataforma continental. O limite norte desta bacia parece localizar-se na base do talude, onde o mínimo gravimétrico dá lugar a anomalias positivas no sopé continental.

Conclusões

Um conjunto de 20.858 estações gravimétricas foi reunido e integrado para gerar mapas gravimétricos atualizados do estado do Ceará. Apesar do considerável número de dados gravimétricos já levantados no Ceará, o presente trabalho tem caráter inédito, visto que a compilação conjunta deste acervo não tenha sido realizada até então. A razão deste aparente contrasenso reside no fato da base de dados apresentada aqui ser composta por inúmeros levantamentos independentes, realizados por universidades, empresas e órgãos públicos, com objetivos distintos e aplicados de forma totalmente desvinculada e restritos a áreas-alvo específicas.

Como resultado do caráter aleatório dos projetos de pesquisa tem-se uma grande variação na cobertura de estações gravimétricas. Visto isso, os mapas gravimétricos resultantes, apesar de representarem um importante avanço no conhecimento geofísico regional do Ceará, ainda detêm um caráter preliminar nas áreas com baixa cobertura gravimétrica. O recobrimento satisfatório de todo o território cearense exigirá ainda esforços consideráveis das instituições de pesquisa interessadas.

O mapa de anomalias Bouguer do estado do Ceará reflete a conjugação dos efeitos gravimétricos de longo comprimento de onda, referentes ao pronunciado afinamento crustal em direção ao oceano, com anomalias gravimétricas locais associadas a heterogeneidades intracrustais. A aplicação de um filtro de separação das componentes regional e residual do campo gravimétrico permitiu a visualização de cada um destes efeitos isoladamente.

O mapa de anomalias regionais ainda revela uma marcante diminuição lateral na espessura da crosta continental, relacionada ao sistema de rifteamento cretácico que culminou na abertura do Atlântico Sul. As zonas de cisalhamento precambrianas parecem ter funcionado como zonas de fraquezas crustais, sobre as quais o processo de estiramento crustal se instalou. Por sua vez, as anomalias gravimétricas residuais permitiram a identificação de importantes feições geológicas do Precambriano do Ceará, além de marcarem nitidamente as bacias sedimentares costeiras e interiores.

Agradecimentos

Os dados gravimétricos reunidos neste trabalho foram cedidos em grande parte pelo Observatório Nacional (ON) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Em espe-

cial, os autores agradecem as universidades UFRN, UFPA, IAG/USP e UFOP, além da CPRM, DNPM e Petrobrás, que levantaram parte das estações contidas no acervo do ON. A parceria ente o Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto (LGPSR) e a Divisão de Geociências do IBGE permitiu a aquisição de dados complementares em várias áreas-alvo no estado do Ceará, Paraíba e Pernambuco. F.C.N. Costa é bolsista do PIBIC – CNPq.

Referências Bibliográficas

- ARTHAUD, M.H., VASCONCELOS, A.M., NOGUEIRA NETO, J.A., OLIVEIRA, F.V.C.; PARENTE, C.V.; MONUÉ, P., LIÉGEOIS, J.P., CABY, R. & FETTER, A. – 1999 – Main structural features of precambrian domains from Ceará (NE Brazil). XIV International Conference on Basement Tectonics, 84-85, Ouro Preto – MG.
- BELTRÃO, J. F., SILVA, J.B.C. & COSTA, J.C. – 1991 – Robust polynomial fitting method for regional gravity estimation. *Geophysics*, 56: 80-89.
- BRITO NEVES, B.B. – 1975 – Regionalização geotectônica do Precambriano Nordeste. Tese de Doutorado, USP, São Paulo – SP.
- CABY, R. & ARTHAUD, M.H. – 1986 – Major Precambrian nappes of the Brazilian belt, Ceará, Northeast Brazil. *Geology*, 14: 871-874.
- CASTRO, D.L. – 2000 – Tectonic development of Southern Norwegian Sea: Evidence from bathymetry, gravity and seismic reflection data. *Geophys. J. Int.*, submetido em fevereiro de 2000.
- CASTRO, D.L. & CASTELO BRANCO, R.M.G. – 1999a – Caracterização da arquitetura interna das bacias rifte do Vale do Cariri (NE do Brasil), com base em modelamento gravimétrico 3-D. *Rev. Bras. Geofísica*, artigo revisado, no prelo.
- CASTRO, D.L. & CASTELO BRANCO, R.M.G. – 1999b – Contribuição da Gravimetria na Prospecção de Água Subterrânea no Litoral Norte do Ceará, Brasil. *Anais do VI Congresso Internacional da SBGf, Expanded Abstract*, Rio de Janeiro – RJ.
- CASTRO, D.L. & MEDEIROS, W.E. – 1997 – Afinamento crustal associado à implantação das bacias intracratônicas do *trend* Cariri-Potiguar. XVII Simpósio de Geologia do Nordeste, Resumos Expandidos, 334-338, São Paulo – SP.
- CASTRO, D.L., MEDEIROS, W.E., JARDIM DE SÁ, E.F. & MOREIRA, J.A.M. – 1998 – Mapa gravimétrico do Nordeste Setentrional do Brasil e margem continental adjacente: interpretação com base na hipótese de isostasia. *Revista Brasileira de Geofísica*, 16 (2/3): 115-131.
- 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. XVII Simpósio de Geologia do Nordeste, 352-356, Fortaleza – CE.
- MATOS, R.M.D. – 1992 – The northeast brazilian rift system. *Tectonics*, 11 (4): 766-791.
- Parasnis, D.S. – 1997 – Principles of applied geophysics. Chapman & Hall, 437 p.
- Telford, W.M., Gedart, L.P. & Sheriff, R.E. – 1990 – Applied geophysics. Cambridge Univ. Press, 512 p.
- WATTS, A.B. – 1994 – Crustal structure, gravity anomalies and flexure of the lithosphere in the vicinity of the Canary Islands. *Geophys. J. Int.*, 119: 648-666.
- YULE, D.E., SHARP, M.K. & BUTLER, D.K. – 1998 – Microgravity investigations of foundation conditions. *Geophysics*, 63(1): 95-103.