



Estudo gravimétrico do Município de Fortaleza e do Campus do Pici – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil

Karen M. Leopoldino Oliveira, Nilo C. Pedrosa Jr., Mariano Castelo Branco, Caio C. A. Jucá, Nilton C. V. Silva, Jackson A. Martins, Sérgio Bezerra Jr., Fernando B. S. Filho, Eduardo Alvite, Regilásio U. Filho, Eliel M. Alencar, Melina C. B. Esteves. (Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto – Universidade Federal do Ceará).

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

This work presents a qualitative and quantitative interpretation of gravimetric data in Fortaleza city focused at Campus do Pici. Acquisition, data-processing techniques and methods of interpretation were made to help provide a better understanding of the usefulness of gravity method both in a regional context as in a local context. Information about rocks' density and depth of the basement were discriminated to determine the structural configuration with major lineaments in the region. Euler deconvolution shows solutions to Fortaleza with depths between 450 e 4.000 m. These sources represent discontinuity associated to Precambrian basement structures. Solutions generated by Euler deconvolution at Campus do Pici are shallow between 15 e 150 m, probably associated with recent faults or reactivation of basement faults.

Introdução

Desde a descoberta de óleo e gás situados em um domo na costa do Texas, o método gravimétrico tem sido uma ferramenta bastante utilizada para descoberta de feições geológicas em subsuperfície. Visando a gravimetria como método de exploração mineral e de óleo e gás, o Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto (LGPSR) da Universidade Federal do Ceará (UFC) dispõe de instrumentos, técnicas de processamento de dados e métodos de interpretação para contribuir com o aprendizado nesse contexto. O principal objetivo desse estudo é a especialização em aquisição e processamento de dados gravimétricos, assim como a interpretação de feições e estruturas geológicas e tectônicas regionais e locais. O contexto regional representa a região do município de Fortaleza e o local uma área situada na porção oeste – Campus do Pici (UFC) (Figura 1).

Contexto Geológico Regional

A cidade de Fortaleza está situada no norte da Província Borborema, mais especificamente na porção norte do Domínio Ceará Central. Na região sul e oeste afloram

rochas metamórficas – gnaisses e xistos pertencentes ao Complexo Ceará – Unidade Canindé (Cavalcante *et al.*, 2003) (Figura 1). No extremo leste da área ocorre um *plug* vulcânico – tefritos associado ao magmatismo recente devido abertura do Oceano Atlântico. Na porção centro-norte do município afloram as coberturas sedimentares recentes, que são representadas pelos arenitos do Grupo Barreiras, além de depósitos eólicos litorâneos e aluviais (Cavalcante *et al.*, 2003) (Figura 1). Na região do Campus do Pici afloram essencialmente rochas do Grupo Barreiras (Figura 1).

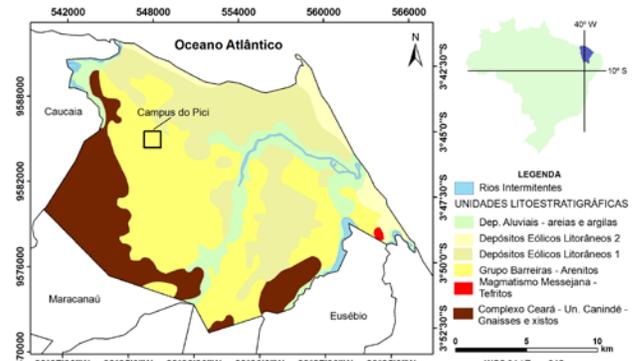


Figura 1: Mapa geológico simplificado do município de Fortaleza e da região do Campus do Pici (modificado de Cavalcante *et al.*, 2003).

Dados Gravimétricos

Os dados gravimétricos terrestres referentes à cidade de Fortaleza estão disponíveis no banco de dados do LGPSR, os quais foram adquiridos em projetos prévios junto a outras instituições de pesquisa e órgãos governamentais. As estações do Campus do Pici foram adquiridas como parte de um treinamento de aquisição e processamento de dados de métodos potenciais que visa à formação de recursos humanos para o LGPSR da Universidade Federal do Ceará. Essas aquisições foram divididas em quatro etapas, as quais totalizaram 15 dias de aquisição com 187 estações distribuídas em uma área de 4,0 km² com espaçamento de 100m na região do Campus do Pici e adjacências.

Métodos

Foi utilizado um gravímetro digital modelo CG – 5 fabricado pela SCINTREX com precisão na ordem de 0,001 mGal, cedido pelo LGPSR. Concomitantemente foi realizado levantamento planialtimétrico com GPS diferencial da Topcon modelo Hiper II com precisão da ordem de 10 mm, cedido pelo Serviço Geológico do

Brasil (CPRM). A estratégia para execução do levantamento gravimétrico teve início com levantamento de informações cartográficas na área de estudo, a fim de identificar as melhores vias de acesso para realização da malha. No total, foram adquiridas 187 estações, as quais foram importadas por meio do software *Oasis Montaj* da GEOSOF. A partir daí, foram realizadas as diversas correções gravimétricas necessárias aos dados observados. Entre elas, as correções de maré, *drift* ou deriva instrumental, latitude, Ar-livre e Bouguer simples. Os valores de gravidade absoluta foram calculados para cada estação de medida com base na estação gravimétrica de primeira ordem do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) localizada no prédio do LGPSR (Figura 2). A Estação Gravimétrica 8095620 situa-se nas coordenadas geográficas: 38°34'38,24898" W e 03°44'51,64822" S. Possui altitude ortométrica da ordem de 25,798 m, sendo o valor de gravidade 978069,08825 mGal. Após as reduções gravimétricas, estes dados foram integrados aos dados gravimétricos disponíveis na região de Fortaleza. O novo conjunto de dados gravimétricos foi organizado em um banco de dados no programa *Oasis Montaj* da GEOSOF, com arquivos dispostos no formato XYZ. Previamente, foi realizada análise da distribuição espacial dos dados e testes para verificação de qual método de interpolação seria o mais conveniente a ser aplicado.



Figura 2: Marco gravimétrico do IBGE à esquerda e detalhe do gravímetro CG-5 à direita.

Processamento dos dados

O mapa de anomalias Bouguer do município de Fortaleza (Figura 3) foi confeccionado por meio da interpolação dos dados (345 estações) em malha regular de 500 m utilizando o método *kriging*. Por sua vez, o mapa de anomalias Bouguer de do Campus do Pici (Figura 4) foi confeccionado por meio da interpolação das 187 estações de medida em malha regular de 25 m utilizando também o método *kriging*.

As componentes regional e residual do campo gravimétrico foram separadas através de um filtro de separação regional-residual, que se baseia na distribuição gaussiana das fontes gravimétricas em função de suas profundidades. Este filtro consiste de operador matemático que atua como passa-baixa ou passa-alta das frequências do sinal escolhido no domínio do número de ondas.

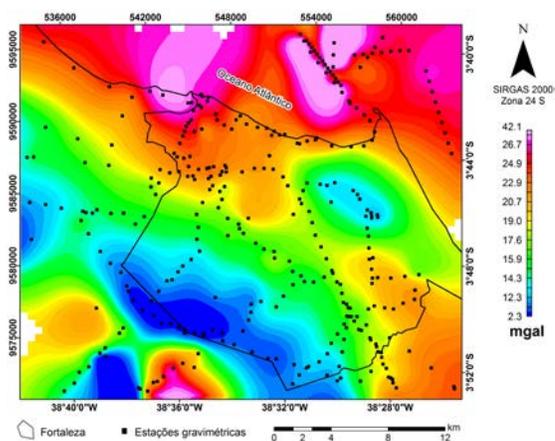


Figura 3: Mapa de Anomalias Bouguer de Fortaleza, com a distribuição das estações gravimétricas prévias utilizadas.

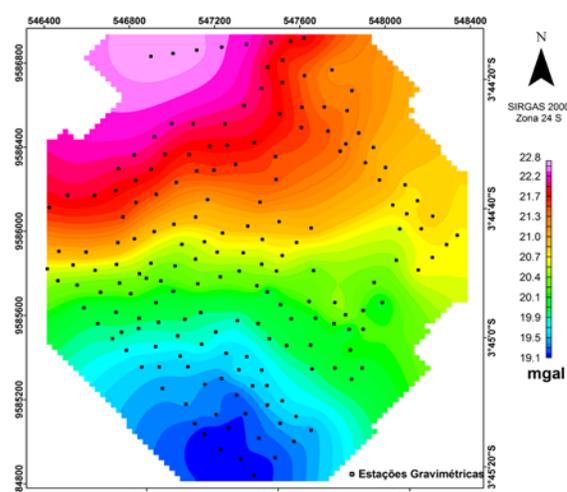


Figura 4: Mapa de Anomalias Bouguer da região do Campus do Pici, com a distribuição das estações adquiridas.

As figuras 5 e 6 mostram os campos gravimétricos regional e residual para a região do município de Fortaleza. Já as figuras 7 e 8 representam as anomalias Bouguer regional e residual da região do Campus do Pici. As discussões e interpretações desses dados estão descritas a seguir.

O *trend* gravimétrico regional da região de Fortaleza e do Campus do Pici pôde ser individualizado satisfatoriamente (Figuras 5 e 7), realçando a resposta gravimétrica das heterogeneidades crustais mais rasas, expressas no mapa de anomalias residuais (Figuras 6 e 8).

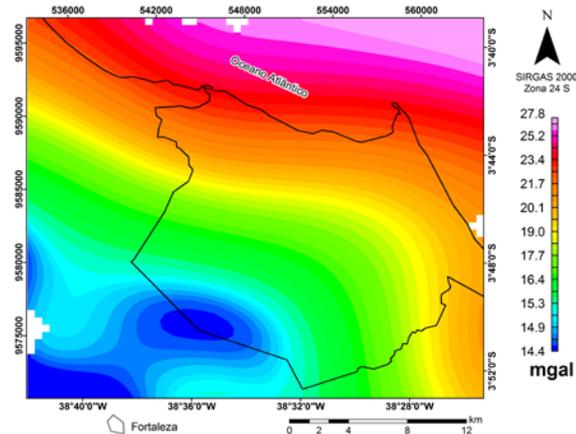


Figura 5: Mapa do campo gravimétrico regional para a região do município de Fortaleza.

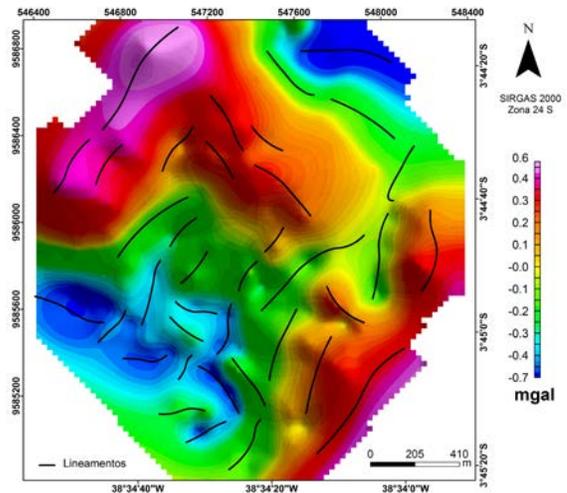


Figura 8: Mapa do campo gravimétrico residual para a região do Campus do Pici, com a distribuição dos principais lineamentos gravimétricos interpretados.

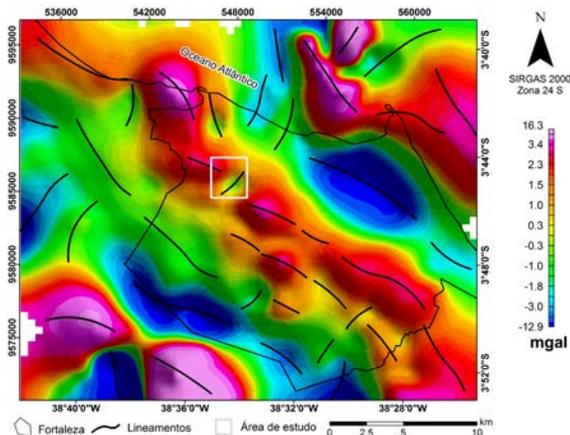


Figura 6: Mapa do campo gravimétrico residual para a região do município de Fortaleza, com a distribuição dos principais lineamentos gravimétricos interpretados.

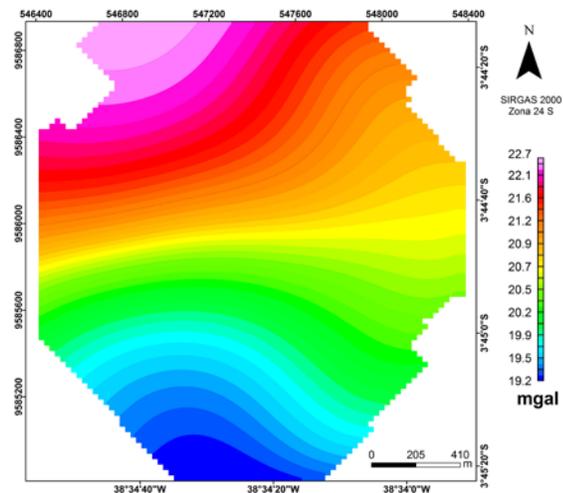


Figura 7: Mapa do campo gravimétrico regional da região do Campus do Pici.

O espectro de potência (Spector & Grant, 1970) do sinal gravimétrico foi gerado a fim de obter melhores resultados no que diz respeito à separação espectral das fontes rasas e profundas, causativas das anomalias gravimétricas das regiões de Fortaleza e do Campus do Pici (Figuras 9 e 10, respectivamente). Para o espectro radial de potência dos dados da região de Fortaleza foi verificado que as fontes mais profundas chegam a atingir, aproximadamente 2.000 m de profundidade, enquanto as fontes intermediárias e rasas variam entre 1000 e 100 m de profundidade (Figura 9). Já para os dados gravimétricos do Campus do Pici, o espectro gerado apresenta as fontes mais profundas situadas a 300 m de profundidade, enquanto que as mais rasas encontram-se entre 100 e 50 m (Figura 10).

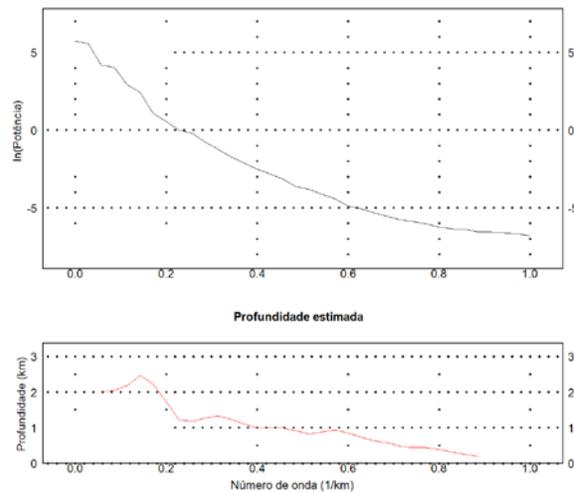


Figura 9: Espectro radial Mapa do campo gravimétrico residual para a região de Fortaleza.

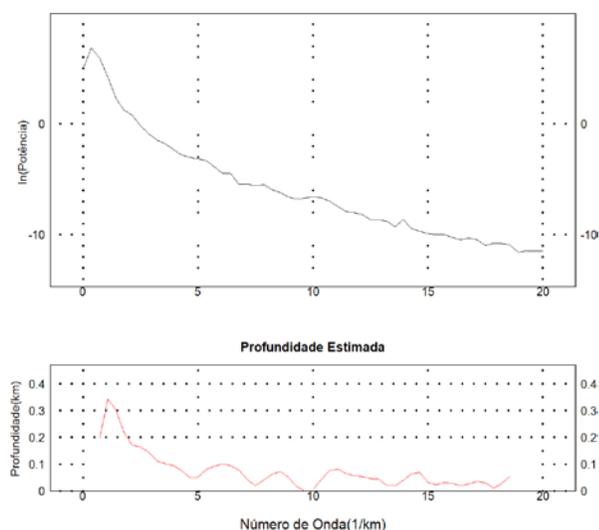


Figura 10: Espectro radial Mapa do campo gravimétrico residual para a região do Campus do Pici.

Discussões e interpretações dos dados

Para a região do município de Fortaleza, as anomalias gravimétricas regionais apresentam longo comprimento de onda com gradiente gravimétrico positivo suave, variando de 14,2 a 27,8 mGal no sentido de sul para norte (Figura 5). Esse aumento contínuo do campo gravimétrico é ocasionado pelo afinamento crustal característico da margem continental passiva do Nordeste brasileiro (Castro *et al.*, 1998; Pedrosa Jr. *et al.*, 2010), com eixo principal na direção SSW-NNE. O mapa de anomalias gravimétricas residuais é representado por assinatura gravimétrica com relevo acidentado, com anomalias negativas e positivas de médio a longo comprimento de onda, possui um *trend* de direção NW-SE e com intervalos de valores de -12,9 a 16,3 mGal. Os principais lineamentos gravimétricos possuem direção NW-SE, enquanto lineamentos subordinados se dispõem na direção NE-SW.

Para o Campus do Pici, as anomalias gravimétricas regionais apresentam longo comprimento de onda com gradiente gravimétrico positivo suave, variando de 19,2 a 22,7 mGal no sentido de sul para norte (Figura 7), com eixo principal na direção NNW-SSE. O mapa de anomalias gravimétricas residuais é representado por assinatura gravimétrica com relevo pouco acidentado, com anomalias negativas e positivas de médio a longo comprimento de onda, foram identificados dois trends ortogonais de direções NE-SW e NW-SE e com intervalos de valores de -0,7 a 0,6 mGal. Os principais lineamentos gravimétricos possuem direção NE-SW, enquanto lineamentos de 2ª ordem se dispõem na direção NW-SE. O NW da área de estudo (Figura 8) é marcado por anomalia positiva de direção NE-SW, com valores de 0,1 a 0,6 mGal. Tal anomalia pode representar rochas de caráter mais denso em subsuperfície, possivelmente associada ao Magmatismo Messejana que aflora no extremo leste do município de Fortaleza ou alto do embasamento cristalino – *horst* (Figura 1).

Outro procedimento usado para interpretação quantitativa e estimativa das fontes gravimétricas, na qual são adotadas as derivadas horizontal e vertical, foi a Deconvolução de Euler 3-D (Thompson, 1982; Reid *et al.*, 1990). Tal procedimento foi realizado no mapa de anomalia Bouguer residual da região de Fortaleza (Figura 11) e na região do Campus do Pici (Figura 12) com intuito de estimar a profundidade das principais fontes gravimétricas de maior frequência. O índice estrutural indica a forma geométrica da fonte (Barbosa & Silva, 2005). O grau de complexidade ou geometria da fonte gravimétrica tem como índices: 0 – *sills* e diques; 1 – cilindros horizontais e *pipes*; 2 – esferas ou qualquer outra forma tridimensional. Para a região do município de Fortaleza foram inseridos os seguintes parâmetros: índice estrutural - 1; janela espacial – 5.000 m e tolerância máxima da profundidade de 15%. Já para a região do Campus do Pici o índice estrutural que melhor homogeneizou as soluções foi 0, com janela espacial de 250 m e tolerância máxima da profundidade em 15%. Esses parâmetros foram escolhidos de forma interativa, analisando os resultados obtidos de acordo com a mudança dos mesmos.

Os resultados mostram nuvens de soluções no intervalo de 450 e 4.250 m de profundidade (Figura 11). A porção norte do município de Fortaleza, caracterizada por baixo gravimétrico de -10 mGal, possui soluções alinhadas segundo direção NW-SE e profundidades superiores a 2.000 m. A faixa anômala de aproximadamente 20 km e comprimento de onda da ordem de 3 km, que divide o município em dois setores, é representada por soluções entre 1.000 e 2.000 m (Figuras 6 e 11). A região do Campus do Pici, na Figura 11, apresenta suave descontinuidade, de direção NE-SW, cujas soluções situam-se a profundidades inferiores a 1.000 m. A porção sul, onde afloram as rochas do embasamento cristalino – gnaisses e xistos (Figura 1), é marcada por fontes situadas entre 1.000 e 2.000 m de profundidade (Figura 11). Tais estruturas podem estar relacionadas a descontinuidades ou falhamentos associados a tectônica recente na região, bem como reativação de falhas mais profundas no embasamento cristalino.

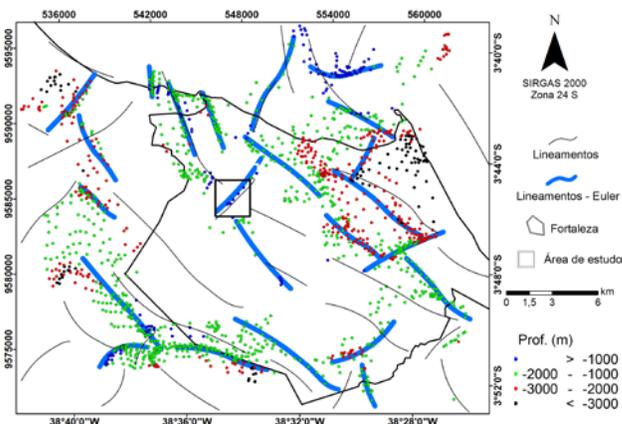


Figura 11: Deconvolução de Euler e os principais lineamentos gravimétricos e estruturas tectônicas interpretadas para a região do município de Fortaleza.

As nuvens de soluções geradas para os dados levantados no Campus do Pici apresentam intervalo entre 15 e 160 m de profundidade. Essas respostas refletem principalmente estruturas rasas posicionadas abaixo do pacote sedimentar do Grupo Barreiras. A região norte apresenta duas descontinuidades/falhas ortogonais de direções NE-SW e NW-SE com mergulho para o centro da anomalia residual (Figura 8), como também descontinuidades/falhas secundárias distribuídas no centro do campus (Figura 12). O conjunto dessas descontinuidades/falhas apresenta direções preferenciais NE-SW e NW-SE para todo o campus, e ainda, são compatíveis com o padrão de estruturação regional de Fortaleza.

Fato digno de nota é que a deconvolução aqui realizada traz uma importante coincidência com relação a fontes rasas localizadas com o que se imagina para a profundidade do topo do embasamento cristalino. Nota-se na figura 12 a posição geográfica em que se situa o LGPSR-UFC marcado por uma estrela preta. Neste local, através de inúmeras Sondagens Elétricas Verticais (SEVs) e Tomografia Elétrica Multieletrodo (ERT) o embasamento cristalino foi estimado estar por volta de 50 m de profundidade. Note-se, também, que as profundidades das fontes podem estar diminuindo nas direções norte e sul. Ainda, um poço locado, perfurado e amostrado para atender ao LGPSR-UFC também corrobora com estas interpretações.

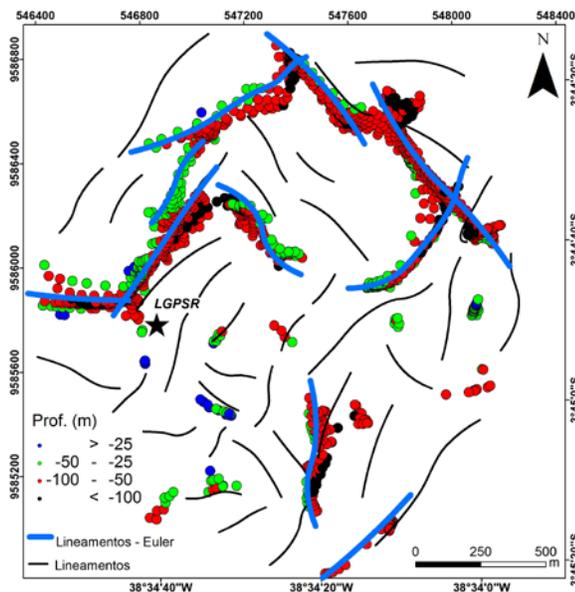


Figura 12: Deconvolução de Euler e os principais lineamentos gravimétricos e estruturas tectônicas interpretadas para o Campus do Pici.

Conclusões

Esta pesquisa inicialmente realizada como treinamento em aquisição, processamento e interpretação de dados gravimétricos com diversos alunos que participam do LGPSR-UFC gerou dados de gravimetria de excelente qualidade e resolução. Foram gerados mapas por meio de processamento adequado, as comparações com

outros dados regionais são complementares e melhoram a malha de dados gravimétricos e, sobretudo, gerará pesquisas futuras com adensamento de dados para a região metropolitana de Fortaleza. Destaca-se que a geologia da região metropolitana de Fortaleza, zonas costeiras e seus limites com o embasamento é muito carente de dados geofísicos que possam permitir informações de subsuperfície.

Agradecimentos

Agradecemos ao Serviço Geológico do Brasil – CPRM por disponibilizar o GPS diferencial para as campanhas de aquisição. A todos os bolsistas e integrantes do Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto por suas contribuições ao desenvolvimento do trabalho. A equipe da Polícia Militar do Ceará por proporcionar uma maior segurança na campanha de aquisição nas adjacências do Campus.

Referências

- Castro, D. L., Medeiros, W. E., Sá, E. F. J., Moreira, J. A. M., 1998. Mapa gravimétrico do Nordeste Setentrional do Brasil e margem continental adjacente: interpretação, ão com base na hipótese de isostasia. *Brazilian Journal of Geophysics*, 16 (2/3): 115-131.
- Cavalcante, J. C., Vasconcelos, A. M. et al., 2003. Mapa Geológico do Estado do Ceará – Escala 1:500.000. Ministério das Minas e Energia/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Fortaleza, Brasil.
- Pedrosa Jr., N. C., de Castro, D. L., Matos, J. P. M., 2010. Assinaturas magnéticas e gravimétricas do arcabouço estrutural da Bacia Potiguar Emersa, NE do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 28: 265-278.
- Reid, A. B., Allsop J. M., Granser H., Millett A. J., Somerton I. W., 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, 55: 80-91.
- Spector, A. & Grant, F. S., 1970. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*, 35(2): 293-302.
- Thompson, D. T., 1982. EULDPH: A new technique for making computer assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 47: 31-37.