

Aplicação de dados gravimétricos de satélite, missão GRACE, para a caracterização geofísica-geológica da porção norte da Faixa Brasília e regiões limítrofes

* Alice Louzada da C. Carvalhêdo ¹, Adriana Chatack Carmelo ¹ e Darby Pereira Dantas de Lima ¹.

¹Instituto de Geociências - Universidade de Brasília.

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August, 2017.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 15th 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 the geophysical-geological characterization of the northern part of the Brasília Fold Belt and Bordering regions by using gravity data from the satellite GRACE mission and their respective compilation WGM2012. From the mounting, correction and processing of the dataset, some products were obtained as Bouguer Anomaly and their derivative ones from gravity data. The upward continuation filters applied to gravity data bring the information of sources of longer wavelengths, high frequency Bouguer data points out sources of lower wavelengths and the Power Spectrum provides a depth estimation of the top of geophysical signatures of the study area. The integration of geophysical and geological data shows good correlation when compared with other works with the same purpose. Also, when geology and geotectonic are associated, which highlights the robustness of the satellite data to characterize shallow and deep geophysical signatures of regional studies.

Introdução

Os dados de satélite são referentes a escala global, portanto, são muito utilizados para estudos regionais que decorrem principalmente de assinaturas geofísicas profundas. Trindade et al. (2014) apresentam esses dados em conjunto com dados de função do receptor no Brasil Central. O objetivo principal é auxiliar as interpretações do modelo isostático e da evolução tectônica da região e identificar os principais limites tectônicos.

Neste trabalho, os objetivos principais são apresentar o uso dos dados gravimétricos de satélite como ferramenta útil e importante para estudos geofísico-geológicos regionais, em áreas constituídas por fontes profundas, com profundidades maiores que aquelas obtidas por levantamentos aéreos. Portanto, no contexto geotectônico, a área está localizada na Província Tocantins e é constituída principalmente pela porção norte da Faixa de Dobramentos Brasília, pelo Maciço de

Goiás e pelo Arco Magmático de Goiás a oeste (Figura 1).

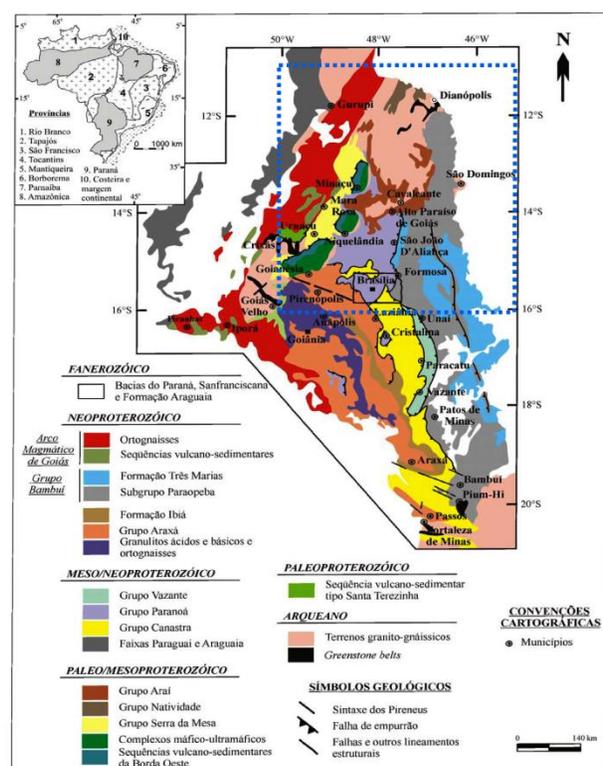


Figura 1 - Geologia Regional da área de estudo representada pelo retângulo tracejado em azul. Adaptado de Dardenne et al. (2000).

Métodos

Os dados de gravimetria de satélite utilizados neste trabalho são oriundos da missão GRACE - *Gravity Recovery and Climate Experiment*, que teve como principal objetivo apresentar com precisão as variações do campo gravimétrico terrestre. Tais dados foram compilados com dados marinhos e aéreos, gerando inicialmente o modelo Geopotencial EGM2008. Posteriormente, esse modelo foi ajustado com o modelo mundial de relevo ETOPO1 e disponibilizado no projeto WGM2012 - *World Gravity Map*. O WGM2012 foi o primeiro mapa global de anomalias gravimétricas que considera corpos terrestres gravimétricos e suas influências sobre o campo gravimétrico terrestre, em escala global (Bonvalot et al. 2012).

A Gravimetria é um dos métodos geofísicos mais antigos e resulta de pequenas variações laterais que o campo potencial gravitacional terrestre pode apresentar. Tais variações estão relacionadas à Lei da Gravitação Universal que tem como uma das principais propriedades físicas a densidade. Logo, devido à variação de densidade de determinada rocha, o campo gravitacional pode variar minunciosamente. A forma como o potencial gravitacional varia pontualmente nos dados de satélite aqui utilizados é explicada segundo a teoria e série dos esféricos harmônicos descrita em Balmino (1994) e Balmino et al. (2011).

Após a correção de dados na etapa de pré-processamento, operadores matemáticos são definidos para atuarem como filtros que realçam ou atenuam as assinaturas gravimétrica. Os filtros aplicados nesse trabalho são direcionados a anomalia Bouguer que foi corrigida da anomalia Ar Livre e de elevação. Os produtos gravimétricos foram originados a partir do software Oasis Montaj 8.4 da Geosoft™ e os produtos finais foram confeccionados no Arcgis 3.0.

O produto Upward Continuation é utilizado para atenuar as anomalias de altas frequências, ou seja, retirar baixos comprimentos de onda ao passo que se aumenta a distância entre a superfície geoidal de referência e o sensor. Com o procedimento de análise espectral é possível estimar filtros para realçar as fontes desejadas em diferentes profundidades. Spector & Parker (1979) apresentam essa técnica com a denominação de “Matched Filter” utilizada para gerar os espectros de potência. O produto de Altas Frequências é calculado pela diferença entre a anomalia Bouguer e o produto regional baseado no valor de maior profundidade estimado pelo espectro de potência.

Resultados

Na análise dos produtos da área de estudo observou-se o realce das anomalias de maior comprimento de onda, em vista de que essa área de estudo é uma área regional, foram obtidos produtos derivados da anomalia Bouguer (Figura 2a) como o filtro de *Upward Continuation* para 40 km e com base em intensidade, comprimento de onda e direção que as anomalias Bouguer apresentam foram traçados domínios (Figura 2b) e suas respectivas intensidades (Tabela 1).

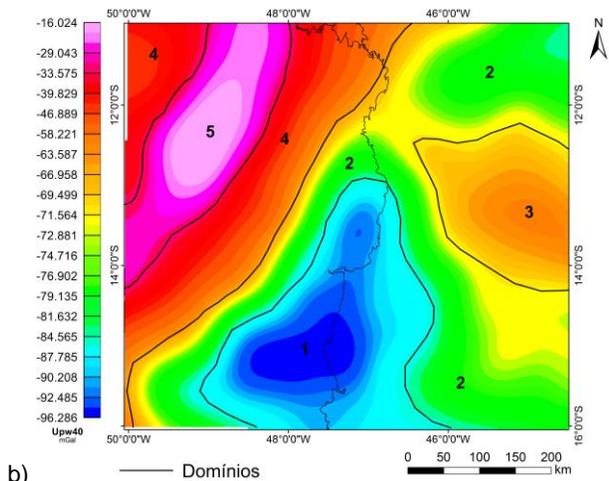
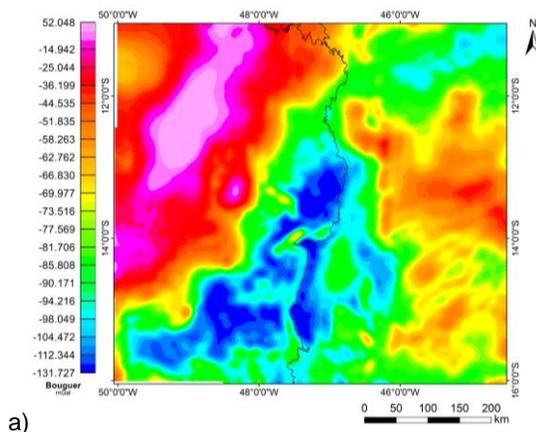


Figura 2 – Anomalia Bouguer (a) e Upward Continuation para 40 km com os domínios gravimétricos (b). Em preto, limite entre a Província Tocantins e Placa São Francisco.

Tabela 1 - Intensidades gravimétricas relacionadas à Upward Continuation de 40 km da anomalia Bouguer.

Domínio Gravimétrico	Intervalo Predominante (mGal)
D1	-96,28 a -84,56
D2	-81,63 a -71,56
D3	-71,56 a -63,58
D4	-65,32 a -36,45
D5	-31,02 a -16,02

O Espectro de Potência da Upward Continuation de 40 km da anomalia Bouguer foi obtido com o *Matched Filter* para uma melhor acurácia a respeito do que seria o topo das fontes gravimétricas mais profundas e de maior comprimento de onda observadas nos domínios da Upward Continuation de 40 km (Figura 2b). O topo da fonte mais profunda da área de estudo e está por volta de 97 km. Provavelmente, são fontes correspondentes a respostas do manto superior e podem representar as anomalias de maior comprimento de onda da área de estudo. Sendo assim, as fontes de menor profundidade se encontram em aproximadamente 10 km e mostram anomalias de menor comprimento de onda correspondentes às respostas da crosta superior. O *Matched Filter* também indica o que seria a profundidade do topo das fontes intermediárias (48,77 km) e as malhas referentes as profundidades discriminadas, como por exemplo (Figura 5c).

Visando uma melhor compreensão da área de estudo, foram selecionadas duas áreas alvo. A área alvo 01 (limite leste da Faixa Brasília). Essa região é marcada por uma anomalia Bouguer de alta intensidade (-25 a 52 mGal) e de grande comprimento de onda, com direção NE-SW, pode caracterizar assinaturas de fontes gravimétricas profundas (Figura 3a). De acordo com o espectro de potência, as fontes gravimétricas de frequência mais baixa podem apresentar profundidades de 06 a 80 km. O produto da *Upward Continuation* de 40 km, gerado a partir da anomalia Bouguer (Figura 3b), mostra as feições mais profundas da área alvo 01 com

profundidades estimadas de 09 a 97 km, obtidas pelo espectro de potência. Essa região é definida como o Arco Magmático de Goiás e apresenta espessura de crosta de 35 km ao sul e 42 km a norte (Trindade et al. 2014), que pode estar relacionada à variação da profundidade do manto litosférico no Arco Magmático de Goiás.

A área apresenta diminuição do gradiente gravimétrico no sentido sudeste, com variações gravimétricas de três faixas com direção NE-SW que caracterizam em superfície zonas de sutura do Arco Magmático de Goiás com o Maciço de Goiás e esse por sua vez com a Faixa Brasília e a Placa São Franciscana (Figura 3a). Ainda com base no produto Upward Continuation de 40km da anomalia Bouguer (Figura 3b), observa-se gradientes gravimétricos (-36,46 a -16,02 mGal), como aquele localizado a oeste da área, região limite do Arco Magmático com a Faixa Araguaia. Esse gradiente pode estar relacionado com a subducção da Placa Amazônica sob a Faixa Araguaia como mostra o perfil AA' das Figuras 3a e 4. Na porção leste do alto gravimétrico acima descrito, ocorre um gradiente gravimétrico alto (-29,9 a 52,04 mGal), porém mais baixo que o anterior, que em superfície está associado ao Maciço de Goiás que engloba os complexos Máfico-Ultramáficos de Barro Alto, Niquelândia e Canabrava. Comparativamente, o terceiro gradiente apresenta valores mais baixos (-131,72 a 52,04 mGal), pois está associado com a presença de rochas que constituem a Zona Externa da Faixa Brasília (Figuras 3a e b; 4).

O baixo gravimétrico (-131,7 a -98,09 mGal) com direção predominantemente NE-SW de grande comprimento de onda pertence à região do limite oeste da Faixa Brasília correspondente à Zona Externa (Figura 3a). Esses baixos valores gravimétricos podem estar relacionados a assinaturas gravimétricas profundas nessa região. Segundo Trindade et al. (2014), a parte norte da zona externa apresenta espessura de crosta de 40 km e 42 a 44 km ao sul, caracterizando uma crosta espessa. Na área, a Zona Externa é constituída por Terrenos Granito Gnáissicos arqueanos (Fm. Ticunzal e Suíte Aurumina) e rochas sedimentares provenientes da bacia do rifte Araí, idades paleo/mesoproterozóicas, do Grupo Araí (Formações Arraias, da base e Traíras, do topo; norte de Cavalcante – GO). O limite entre a Província Tocantins e o Cráton São Francisco é caracterizado por uma região que mostra um gradiente ascendente para sentido leste. A feição com orientação N-S associada a assinatura de baixa anomalia gravimétrica pode estar associada em superfície com as rochas neoproterozóicas do Grupo Bambuí, (principalmente a Formação Três Marias e Supergrupo Parauapebas, região entre o sul de Formosa e Alto Paraíso de GO).

A área alvo 01 também é caracterizada à leste por anomalias gravimétricas locais arredondadas de alta intensidade gravimétrica (aproximadamente -36 a 52 mGal) (Figura 3a). Tais anomalias correspondem aos - complexos paleoproterozóicos Máfico-Ultramáficos de Barro Alto, Niquelândia e Cana Brava, esse último, o mais expressivo para os dados gravimétricos obtidos pela Missão GRACE. Segundo Soares 2005, as anomalias gravimétricas desses complexos foram modeladas por Assumpção et al. (1985), Feininger et al. (1991) e

Carminati et al. (2003) estão restritas à 10 km da crosta superior. Os produtos mostram o Complexo Cana Brava com respostas gravimétricas mais intensas que os outros complexos, o que pode indicar características de densidade diferenciadas causadas pelas variações composicionais das rochas dos complexos e/ou a possibilidade de esse apresentar variações em profundidade.

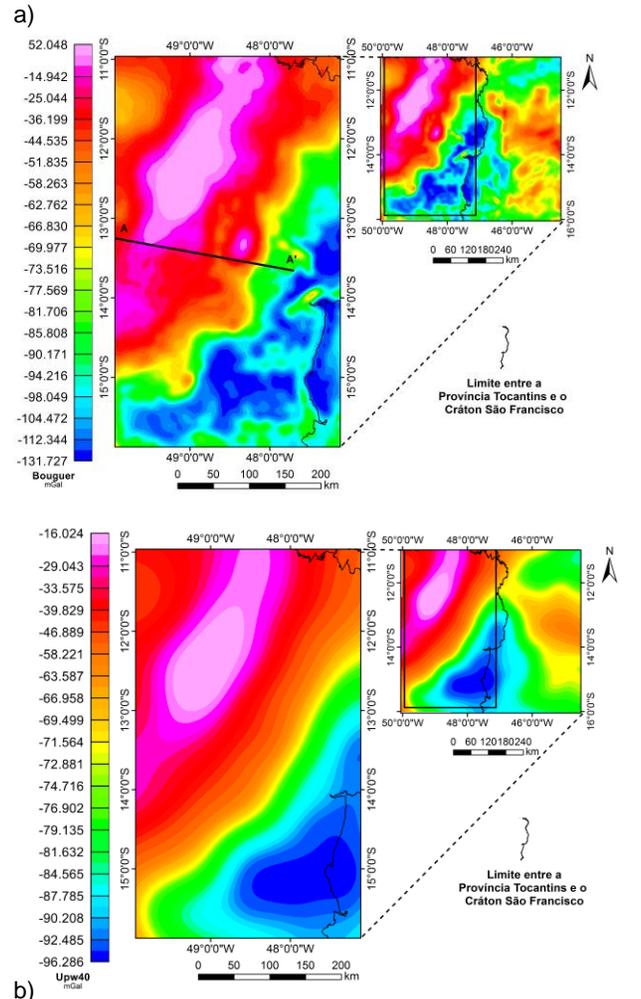


Figura 3 – Anomalia Bouguer com o perfil AA' (a) e *Upward Continuation* de 40 km (b).

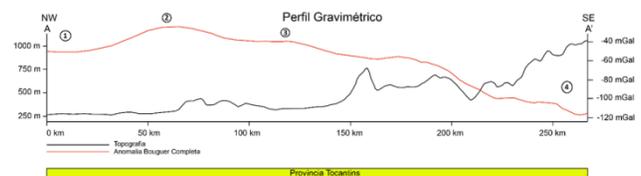
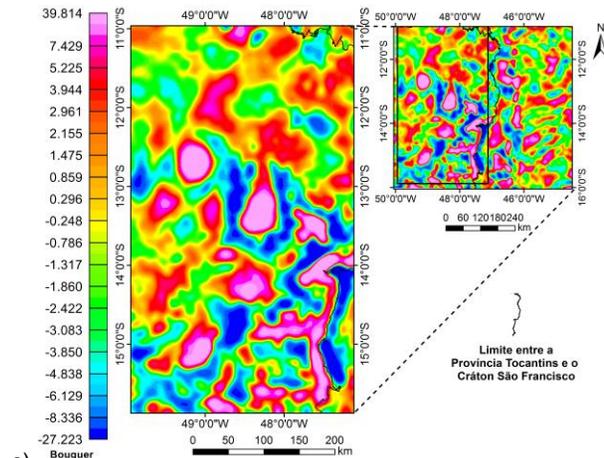


Figura 4 – Perfil gravimétrico e topográfico Bouguer AA' (NW-SE) da área de estudo. (1) Faixa Araguaia, (2) Arco Magmático de Goiás, (3) Maciço de Goiás, (4) Zona Cratônica da Faixa Brasília.

O Complexo Cana Brava está caracterizado no produto de anomalia Bouguer e mostra vestígios *na Upward Continuation* de 10 km (Figura 5a) e desaparece completamente *na Upward Continuation* de 40 km (Figura

3b). A imagem de altas frequências da anomalia gravimétrica Bouguer em conjunto com o produto gerado pelo espectro de potência, que representa a profundidade do topo das fontes gravimétricas intermediárias (Figuras 5b; c), podem ser comparados com o mapa da derivada de primeira ordem da anomalia Bouguer de levantamento terrestre obtido por Melo (2006) (Figura 6). Tais figuras mostram as altas frequências mais características da área de estudo, e destacam as feições mais rasas como os três complexos Máfico-Ultramáficos e intensidades gravimétricas elevadas, na forma de faixas estreitas, com direção N-S. Essa faixa é bordejada a leste por um baixo gravimétrico no produto Bouguer (Figura 3a) que pode ser associado ao limite entre a Província Tocantins e o Cráton São Francisco.



c) **Figura 5 – Upward Continuation para 10 km (a), Altas Frequências (b) e Topo das fontes intermediárias (c).**

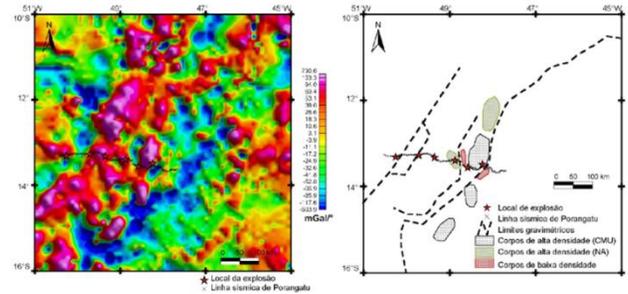
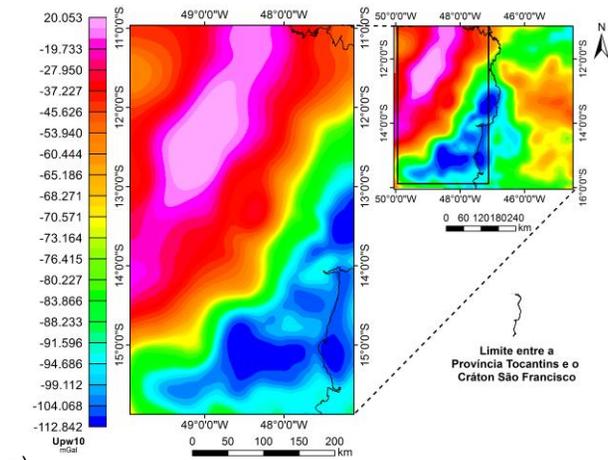
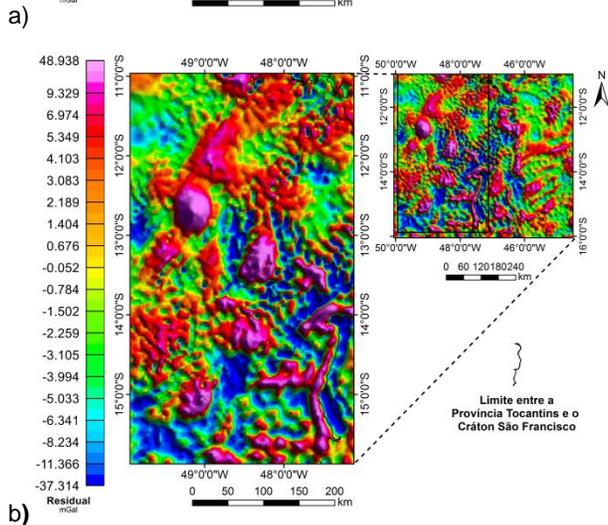


Figura 6 – À esquerda mapa da derivada vertical de primeira ordem da anomalia Bouguer realçando as assinaturas gravimétricas de alta frequência e à direita a interpretação dessas assinaturas localizadas na região do Arco Magmático de Goiás, os complexos Máfico-Ultramáficos delimitados pelos dados gravimétricos, sendo o quarto corpo arredondado inexistente em superfície. (Fonte: Figura retirada de Melo (2006)).



A área alvo 02, limite oeste da Faixa Brasília com a Placa São Francisco, é dominada por uma anomalia Bouguer alta (-69,9 a -41,0 mGal) localizada na região central. Ao Sul, ocorrem faixas gravimétricas mais baixas (-69,9 a -64,8 mGal), com direção aproximada NE-SW (Figura 7a). O produto da *Upward Continuation* de 40 km da anomalia Bouguer (Figura 7b) apresenta assinaturas anômalas altas (-46,8 a -70,6 mGal) oriundas de fontes mais profundas localizadas na porção centro-oriental da área. Nessa região, afloram as coberturas fanerozóicas da bacia do Parnaíba, porém a resposta gravimétrica alta está associada ao embasamento do Cráton São Francisco. A porção ocidental da área apresenta anomalia Bouguer baixa (-98 a -131,7 mGal) que em superfície coincidem com o limite entre a Província Tocantins e o Cráton São Francisco (Figura 7a). O produto *Upward Continuation* de 40 km mostra ainda uma diminuição do gradiente gravimétrico no sentido oeste. Isso pode estar diretamente relacionado com as variações da espessura da Placa São Franciscana. Em superfície a região de mais baixo gradiente é apresentada pela Faixa Brasília, porém essa resposta gravimétrica também pode ser interpretada em subsuperfície pelo limite da Placa São Franciscana que

apresenta baixa espessura. O produto de altas frequências (Figura 7c) mostra a área dividida em duas regiões, ocidental e oriental, com assinaturas gravimétricas distintas que realçam feições lineares com direções aproximadas E-W e NS.

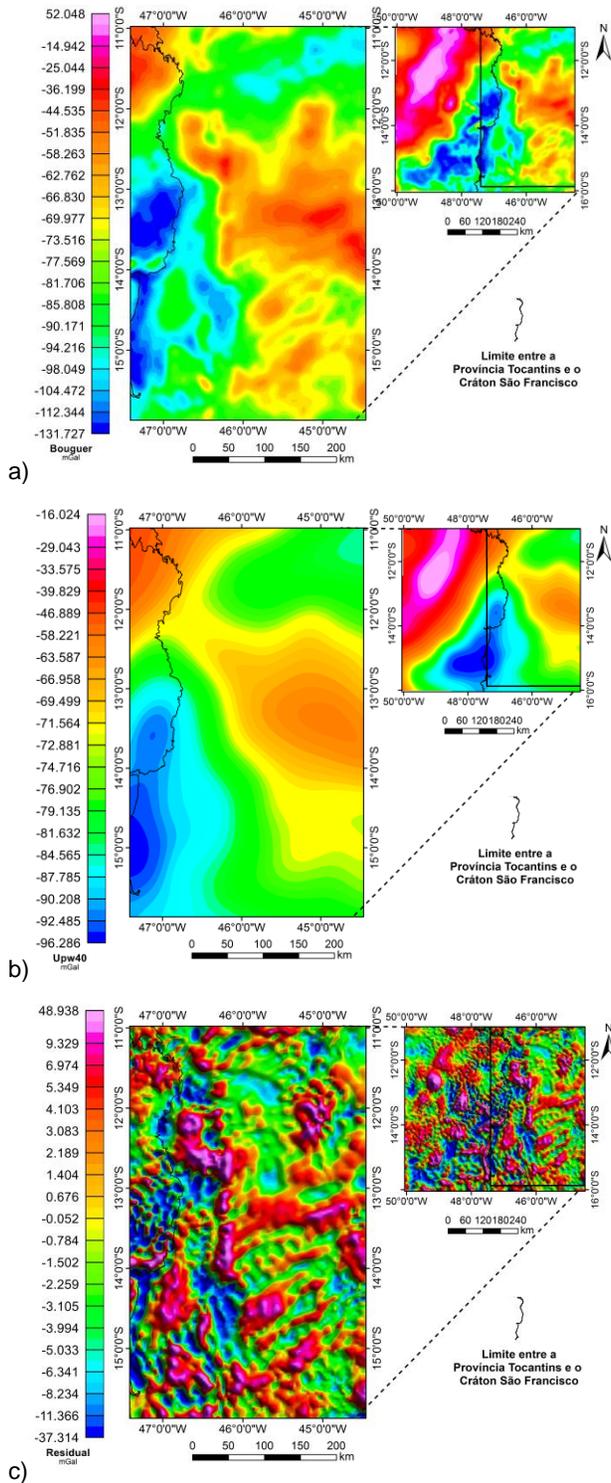


Figura 7 – Anomalia Bouguer (a), *Upward Continuation* para 40 km (b), Atas Frequências (c).

Conclusões

Este trabalho visou aproximar vários conceitos geofísicos e geológicos, bem como integra-los, o que expande as possibilidades de interpretações mais assertivas e sólidas em relação a estudos geotectônicos da região. A geotectônica da porção norte da Faixa Brasília e regiões limítrofes descrita por Soares et al. (2005) coincide com as respostas gravimétricas obtidas neste trabalho. Como por exemplo, o alto gravimétrico de maior comprimento de onda da área de estudo que é visto com clareza no produto de *Upward Continuation* de 40 km, provavelmente a assinatura geofísica mais profunda, mostra que a anomalia está relacionada as rochas de alta densidade oriundas do manto litosférico. No contexto geológico, esse alto gravimétrico se localiza sob o Arco Magmático de Goiás e marca o limite do que seria a subducção da Placa Amazônica sob o Arco Magmático de Goiás, caracterizando o último evento do Ciclo Brasileiro (Soares et al. 2005). As anomalias gravimétricas arredondadas locais foram associadas aos complexos Máfico-Ultramáficos de Barro Alto, Niquelândia e Cana Brava, respectivamente. As respostas dessas anomalias indicam que o Complexo Cana Brava possui composição mais densa e pode apresentar maiores profundidades do que os outros complexos, uma vez que foi o único visualizado no produto de *Upward Continuation* de 10 km. As anomalias de alta frequência foram discriminadas pelos produtos derivados do espectro de potência da anomalia Bouguer e mostraram feições arredondadas tanto de alta intensidade quanto de baixa intensidade nas regiões adjacentes aos complexos, o que mostra alta resolução para os dados de satélite da Missão GRACE. Isso porque esses corpos de alta frequência foram descritos também em dados gravimétricos terrestres (Melo 2006). A resposta gravimétrica a leste da área de estudo, em superfície apresentada pelo Arco Magmático de Goiás, Maciço de Goiás e Zona Externa da Faixa Brasília caracteriza uma “rampa” causada pelas diferenças crustais existentes entre eles. Neste caso, o gradiente gravimétrico aumenta em direção a essa região. De maneira análoga, por meio da análise dos perfis gravimétricos, foi sugerido um aumento do gradiente gravimétrico a oeste, onde ocorre o contato do Arco Magmático de Goiás com a Faixa Araguaia. Portanto, a integração dos dados geofísicos de satélite mostra valores correlatos não apenas em relação às estimativas de profundidades, como também sua associação com a geologia e a geotectônica da região e indica assim, o potencial dos dados de satélite para estudos de caracterização regional de assinaturas geofísicas profundas e rasas.

Referências

- Almeida, F. F. M.; Hasui, Y; Brito Neves, Brito Neves, B. B & Fuck, A.R.** 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: 8º Simpósio de Geologia do Nordeste. Atas. Campina Grande, SBG. Atas p. 363-391.
- Assumpção, M., M. An, M. Bianchi, G. França, M. Rocha, J. R. Barbosa, and J. Berrocal.** 2004. Seismic studies of the Brasília Fold Belt at the western border of the São Francisco Craton, central Brazil, using receiver function, surface wave dispersion, and teleseismic tomography, *Tectonophysics*, 388, 173– 185.
- Assumpção M., Feng M., Tassara A., Julià J.** 2013. Models of crustal thickness for South America from seismic refraction, receiver functions and surface wave tomography. *Tectonophysics*.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2012.11.014>.
- Balmino, G., Vales, N., Bonvalot. S, Briais. A.** 2011. Spherical harmonic modelling to ultra-high degree of Bouguer and isostatic anomalies.
- Berrocal, J., Y. Marangoni, N. Côgo de Sá, R. A. Fuck, J. E. P. Soares, E. Dantas, F. Perosi, and C. Fernandes.** 2004. Deep seismic refraction and gravity crustal model and tectonic deformation in Tocantins Province, Central Brazil, *Tectonophysics*, 388, 187– 199.
- Bonvalot S., Balmino G., Briais A., Kuhn M., Peyrefitte A., Vales N., Biancale R., Gabalda G., Moreaux G., Reinquin F. Sarrailh M.** 2012 World Gravity Map, 1:50000000 map. Eds. BGI-CGMW-CNES-IRD. Paris, 2012. Web.
http://bgi.obsmp.fr/activities/Projects/world_gravity_map_wgm.
- Botelho N.F., Bilal E., Moutte J., Fonteilles M.** 1993. Precambrian A-type tin-bearing granites in the goiás in Province, central Brazil: a review. In: Academia Brasileira de Ciências, Workshop sobre Magmatismo Granítico e Mineralizações Associadas, 1,1 Rio de Janeiro, 1993. B. Res. Expand., Rio de Janeiro, p. 5-8.
- Blum, L.B.** 1999. Processamento e Interpretação de Dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e sua Aplicação à Geologia Regional e à Prospecção Mineral.
- Brito Neves B.B.de, Neto M.C.C., Fuck R.A.** 1999. From Rodinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. *Episodes*, 22:155-166.
- Dardenne M.A.** 2000. The Brasília Fold Belt. In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho, D.A. Campos (eds.), *Tectonic Evolution of South America, Brazil 2000*, 31th Intern. Geological Congress, Rio de Janeiro, p.231-263.
- Dardenne & Botelho.** 2014. Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras. *Metalogênese da Zona Externa da Faixa Brasília* p.431.
- Dardenne M.A. & Schobbenhaus C.** 2001. *Metalogênese do Brasil*, Editora UnB, Brasília, 392p.
- Feininger, T., J. J. Dantas, and V. A. V. Girardi** 1991, Gravity interpretation and possible regional significance of the Niquelândia layered basic-ultrabasic complex, Goiás, Brazil, *J. S. Am. Earth Sci.*, 4(4). 343– 350.
- Fuck R.A.** 1994. A Faixa e a Compartimentação Tectônica na Província Tocantins. In: SBG Simpósio de Geologia do Centro-oeste, 4. Brasília. Anais, 1:184-187.
- Fuck R.A., Pimental M.M., Soares J.E.P., Dantas E.L.** 2005. Compartimentação da Faixa Brasília. In: SBG, IX Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, Atas, pp.26-27.
- Marangoni, Y. R., M. Assumpção, and E. P. Fernandes** 1995, Gravimetria em Goiás, Brasil, *Rev. Brasil. Geofís.*, 13(3), 205–219
- Melo.** 2006. Razão de Poisson da Crosta Superior da Região de Porangatu, Goiás, Província Tocantins: Um Estudo por Refração Sísmica. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília.
- Soares J.E.P.** 2005. Estudos de refração sísmica profunda, função do receptor e gravimetria na Província Tocantins, Brasil central. Tese de doutorado, Universidade de Brasília, 128 pp.
- Spector, A., & Parker, W.** 1979. Computer compilation and interpretation of geophysical data. *Geophysics and Geochemistry in the search for metallic ores. Geological survey Canada, Economic Geology Report*, v. 31, p. 527-544.
- Trindade C.R.** 2013. Espessura Crustal e Razão de Poisson do Brasil Central: uma Aproximação por Função do Receptor. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília.
- Valeriano, C.M., Pimentel, M.M., Heilbron, M., Almeida, J.C.H. & Trouw, R.A.J.** 2008. Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana.