

# Influência do Lineamento Transbrasiliano na formação do arcabouço estrutural da Bacia Parnaíba

\*Rafael D. Santos<sup>1</sup>; David L. de Castro<sup>1</sup>; Francisco H. R. Bezerra<sup>1</sup>; Roberta M. Vidotti<sup>2</sup>; Reinhardt A. Fuck<sup>2</sup>; Elton L. Dantas<sup>2</sup>; Thuany Patrícia C. de Lima<sup>1</sup>

1 – Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica - UFRN

2 – Instituto de Geociências - UNB

Projeto financiado pela Petrobrás

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13<sup>th</sup> 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 13<sup>th</sup> 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 interpretation of aeromagnetic and gravity signatures of the southern segment of the Transbrasiliano Lineament (LTB) in the Parnaíba Basin, Brazil. The LTB represents a NE-SW-oriented shear zone about 2,900 km long. The present study investigates the geophysical expression of the LTB as a key feature to understanding its Mesozoic-Paleozoic evolution and its relationship with the Precambrian basement. The study area is characterized by linear gravity and magnetic anomalies related to the LTB and igneous intrusions. The magnetic lineaments trend mainly NE-SW, but N-S and E-W-oriented lineaments also occur. The gravity data show a significant gradient in the study area ranging from -90 mGal to -18 mGal. The regional map of gravity anomalies is characterized by smooth anomalies with long wave length. The residual anomaly map highlights gravimetric lineaments related to the structures of the upper crust. These lineaments have mainly NE-SW orientation and subordinate NW-SE orientation. The internal structures of the basin, as depocenters and internal horsts, are also oriented in the NE-SW direction of the TBL.

## Introdução

O Lineamento Transbrasiliano representa uma feição alongada de cerca de 2.900 km, com orientação NE-SW, que cruza o território brasileiro do Ceará ao Mato Grosso e prossegue para sudoeste, penetrando no Paraguai e Argentina (Schobbenhaus et al., 1975) (Fig. 1). Este lineamento é demarcado na Bacia do Parnaíba por falhas orientadas na direção NE-SW, que cortam rochas paleozóicas e mesozóicas. O Lineamento Transbrasiliano sofreu períodos de reativação desde sua instalação no Neoproterozóico até o presente (Cunha, 1986). O presente trabalho analisa uma porção do Lineamento Transbrasiliano presente na parte sul da Bacia do Parnaíba.

Caracterizada com uma bacia cratônica, a Bacia do Parnaíba localiza-se na porção oeste do Nordeste Setentrional, englobando parte dos estados do Maranhão, Piauí, Pará, Ceará e Tocantins. Ela é preenchida por rochas sedimentares do Siluriano ao Cretáceo e se estende por cerca de 660.000 km<sup>2</sup> (Nunes, 1993). A bacia é limitada

por arcos estruturais e faixas móveis de alto grau, retrabalhados durante a Orogenia Brasiliana (750-540 Ma). O pacote sedimentar teve sua deposição em condições de estabilidade tectônica e apresenta espessura máxima de 3.500 m na porção central da bacia (Góes & Feijó, 1994).

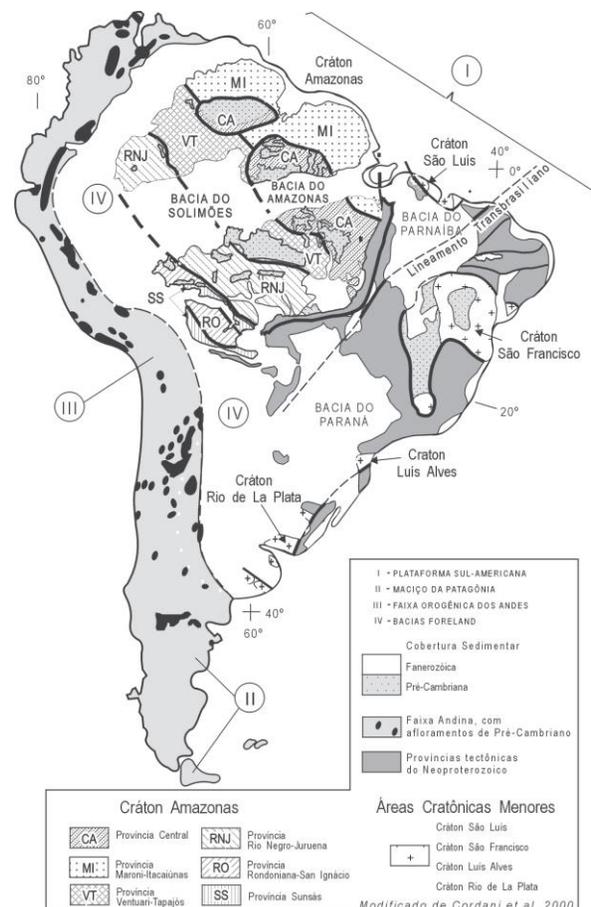


Figura 1 – Localização do Lineamento Transbrasiliano na América do Sul (retirado de Bizzi et al., 2003).

A hipótese mais aceita para origem da Bacia Parnaíba é a de uma contração térmica e adensamento litosférico, ocorrido no final da Orogenia Brasiliana, o que provocaria a fragmentação de um supercontinente no Neoproterozóico. A possível quebra deste supercontinente tem sido discutida por diversos autores como Lindsay et al. (1987), Lindsay (1991), Klein (1991), Hartley & Allen (1994), Góes et al. (1990) e Sousa (1996).

A Bacia do Parnaíba é resultado de uma subsidência termal de uma enorme área intracratônica e é constituída,

basicamente, por sedimentos Paleozóicos e, em menor intensidade, por derrames basálticos e sedimentos Mesozóicos (Milani e Tomas Filhos, 2000).

A atividade magmática na Bacia do Parnaíba ainda é pouco estudada. Durante o Mesozóico produziram-se, na Bacia do Parnaíba, extensos derrames de basalto que evoluíram com o surgimento de kimberlitos (Sousa, 1996). O vulcanismo basáltico da Bacia do Parnaíba ocorreu em duas diferentes fases: a primeira no Jurássico é representada por derrames de basalto e a segunda, no Eocretáceo é constituída, essencialmente, por soleiras e diques de doleritos (Northfleet & Melo 1967).

A presente pesquisa tem como objetivo o estudo de um segmento do Lineamento Transbrasiliano, com base no processamento de dados magnéticos e gravimétricos aerotransportados, visando compreender sua estruturação. O segmento do lineamento estudado encontra-se na região Norte-Nordeste do Brasil, abrangendo as províncias Tocantins na porção sul, Bacia do Parnaíba e Bacia Sanfranciscana (Fig. 2).

A interpretação dos mapas geofísicos serviu de base para análise estrutural de escala regional, mais especificamente para a compreensão da evolução da arquitetura interna da bacia.

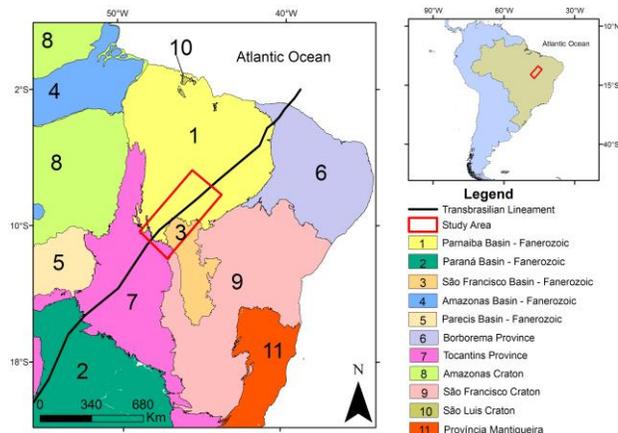


Figura 2 – Mapa de Localização da área de estudo.

## Metodologia

Em 2002, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) patrocinou a realização do levantamento aerogeofísico na Bacia do Parnaíba (Fig. 3).

O levantamento aerogeofísico recobriu uma área de 748.612,4 km por 183.877,03 km lineares de perfis aerogravimétricos e aeromagnetométricos de alta resolução, com linhas de vôo e controle espaçadas de 6 km e 24 km, respectivamente, orientadas nas direções EW e N.

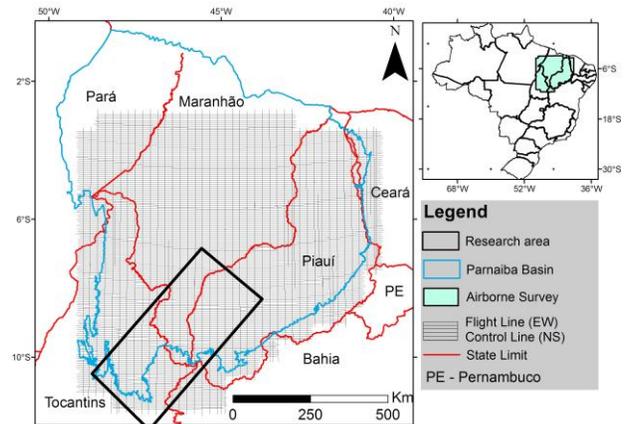


Figura 3 – Mapa das linhas de vôo do levantamento do Projeto Aerogeofísico Parnaíba. As linhas de vôo têm direção E-W e espaçamento de 6 km.

## Resultados

### Magnetometria

Com os dados processados foi possível gerar um mapa do campo magnético anômalo. Todavia estes dados apresentavam ruídos. Assim, foi aplicada a técnica de filtragem denominada de cosseno direcional aos ruídos de alta frequência na direção preferencial E-W, com o intuito de melhorar a relação sinal/ruído. Por meio do filtro cosseno direcional, os ruídos de alta frequência na direção das linhas de vôo foram atenuados e posteriormente foi aplicado à redução ao equador (Fig. 4a). Por fim, a separação em componentes regional e residual dos mapas magnéticos foi efetuada com um filtro passa-banda do tipo Gaussiano, escolhido após alguns testes de filtragem. As componentes regional e residual estão relacionadas a fontes de origem profunda e rasa, respectivamente (Fig. 4b e 4c). Posteriormente, foram calculadas as derivadas horizontais em x e y e a primeira derivada vertical em z, com intenção de obter a fase do sinal analítico tridimensional, que representa uma gama de métodos automáticos, utilizando gradientes verticais e horizontais das anomalias (Nabighian, 1984; Roest et al., 1992). O sinal analítico caracteriza-se por ampliar os curtos e atenuar os longos comprimentos de onda do sinal geofísico nas três direções ortogonais, realçando as bordas e os contatos de feições geológicas e falhas.

A fase de sinal analítico é definida pelo ângulo formado pelos vetores imaginários da 2ª derivada em z e pelos vetores reais em x e y, calculada pela seguinte fórmula:

$$|F| = \frac{\frac{\partial T}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2}}$$

A fase ou inclinação do sinal analítico representa o intuito de estimar o mergulho e o contraste de susceptibilidade das fontes causadoras de anomalias (Fig. 4D).

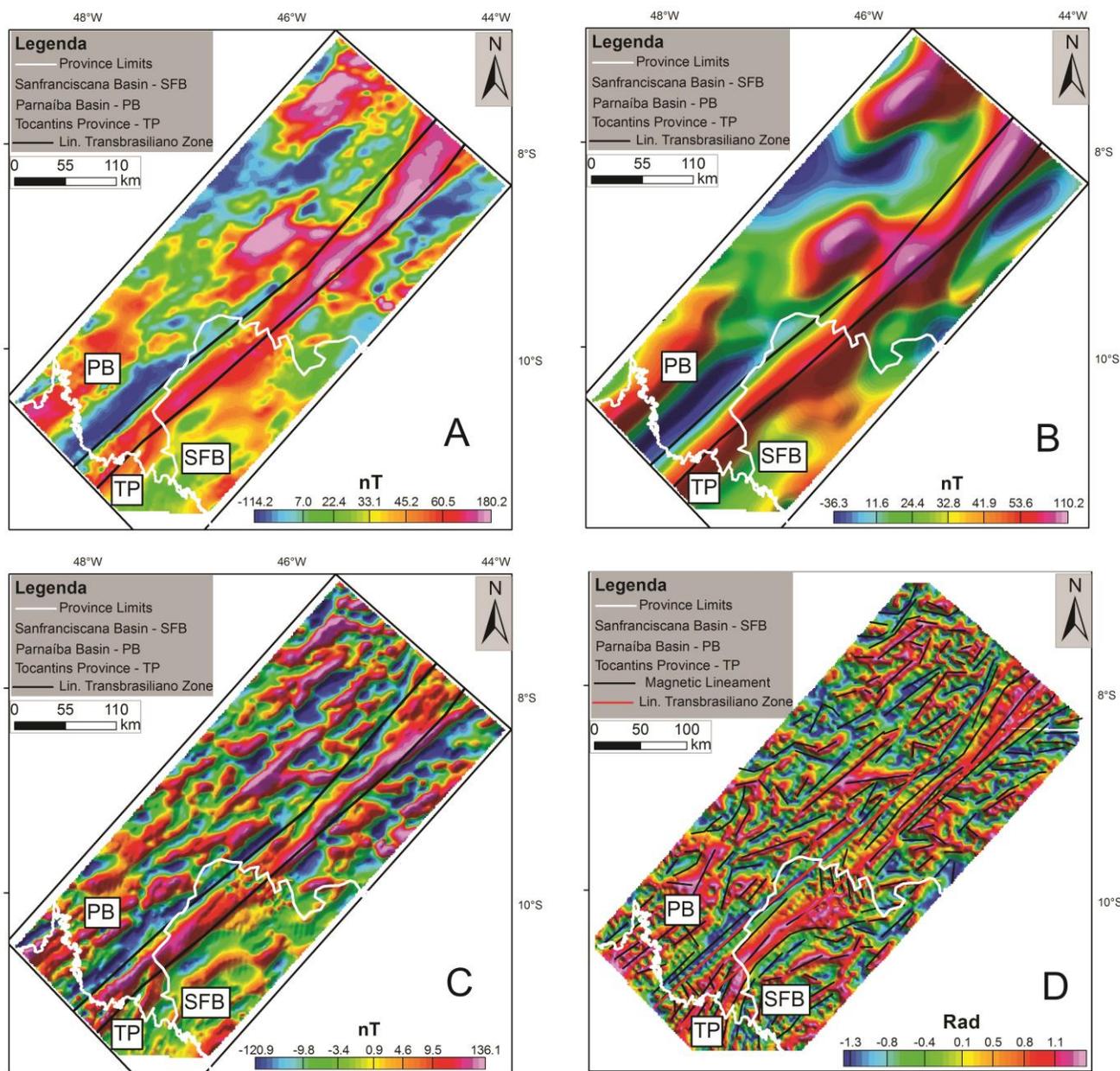


Figura 4 – (a) Mapa de anomalias magnética reduzida ao equador. (b) Regional. (c) Residual. (d) Mapa de Inclinação do Sinal analítico.

### Gravimetria

Os dados gravimétricos também foram processados com intuito de melhorar a qualidade dos mapas gravimétricos. Assim, foi possível gerar um mapa de anomalias Bouguer, que foi interpolado utilizando-se o método de mínima curvatura (Fig. 5A). As componentes regionais e residuais foram separadas por meio de filtro espectral, que se baseia na distribuição gaussiana das fontes gravimétricas em função de suas profundidades. Este operador funciona como um filtro passa-baixa para gerar o mapa de anomalias Bouguer regionais (Fig. 5B) e passa-alta para o mapa de anomalias Bouguer residuais (Fig.

5C). A separação regional-residual do sinal gravimétrico tem como objetivo melhorar a visualização das assinaturas gravimétricas das fontes rasas e profundas, causadas das anomalias gravimétricas. Após tais reduções foi aplicado o método de Deconvolução Euler tridimensional (Euler 3D) que localiza automaticamente possíveis corpos causativos das anomalias magnéticas. Este método é aplicado em malhas regulares de dados, definidos por uma janela espacial que varre toda a área estudada, resolvendo sistemas de equações lineares para cada janela (Munis, 2009). A Deconvolução de Euler utiliza como parâmetro principal o índice estrutural, que é um fator exponencial equivalente à taxa de decaimento do

campo potencial com a relação à distância entre a fonte e o ponto de medida (Barbosa & Silva, 2005). Este parâmetro indica a forma geométrica da fonte anômala. Para o presente estudo foi utilizado o índice estrutural 0 (zero)

que adéqua-se às falhas como geometria da fonte geofísica (Reid, 1995). As soluções de Euler foram aplicadas no mapa gravimétrico residual (Fig. 5d).

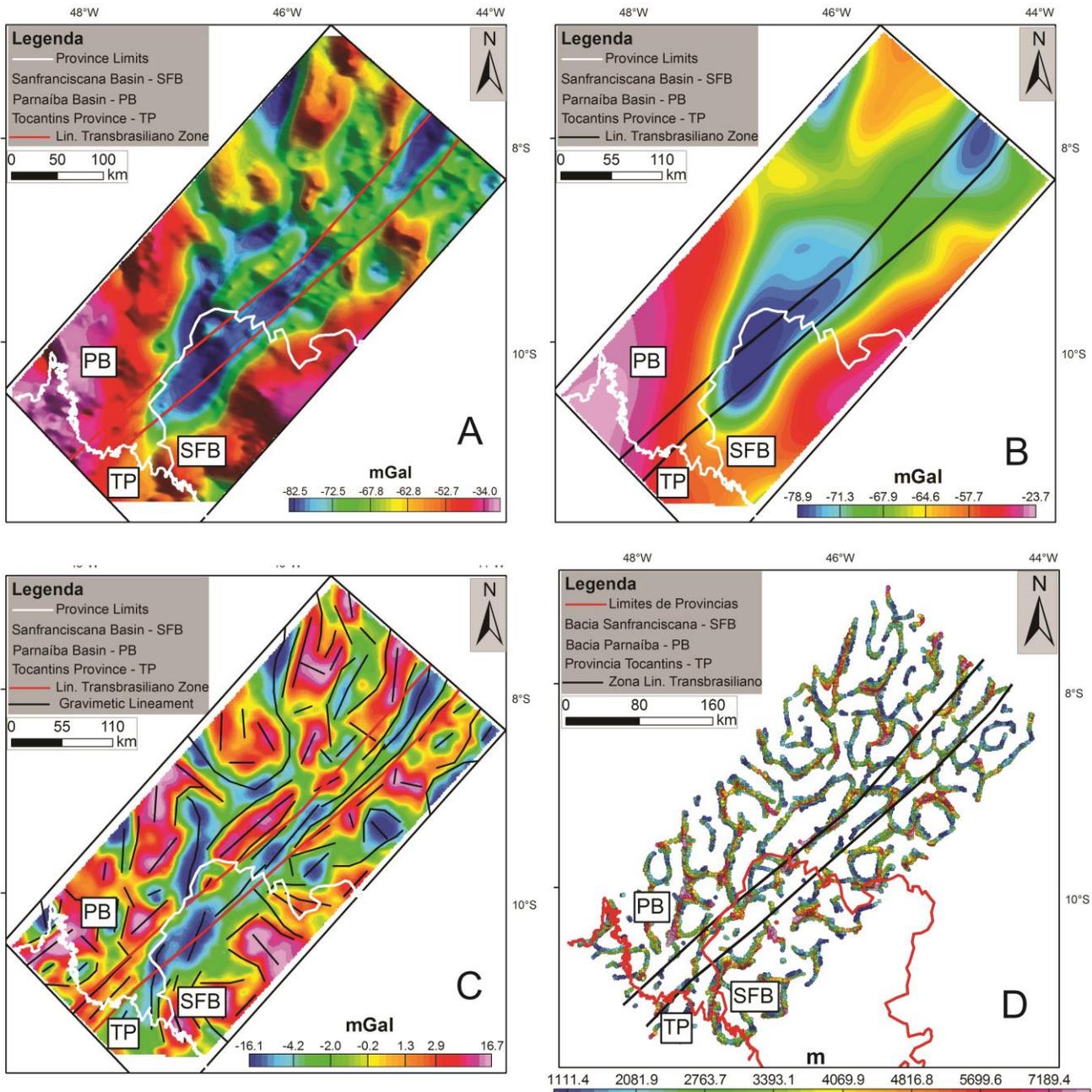


Figura 5 – (a) Mapa de anomalias Bouguer. (b) Mapa de anomalias Bouguer regional. (c) Mapa de anomalias Bouguer residual. (d) Mapa de soluções de Euler para anomalias gravimétricas residuais.

A área de estudo é caracterizada, em termos gerais, por um relevo magnético brusco de forte amplitude, sobrepondo feições lineares ou anelares que são respostas às falhas e intrusões localizadas. Os lineamentos magnéticos foram traçados com base nos produtos derivados do campo magnético, como inclinação do sinal analítico (ISA). Estes lineamentos representam extensos alinhamentos contínuos na direção principal NE-SW, seguindo o padrão do Lineamento Transbrasiliano e direções su-

## Discussão

### Anomalias Magnéticas

bordinadas para NW-SE, N-S e E-W. Os lineamentos mais frequentes coincidem com os falhamentos regionais e mostram direção NE-SW e NW-SE (Fig. 4d). Os lineamentos apresentam-se retilíneos, em sua maioria, a sub-curvilíneos, possuindo extensões que variam de 9 a 270 km. No centro da área de estudo os lineamentos possuem as maiores extensões e são interpretados como componentes do Lineamento Transbrasiliiano.

### Anomalias Gravimétricas

A variação gravimétrica está restrita a valores de -90 a -18 mGal. Nota-se que ao longo do Lineamento Transbrasiliiano ocorre uma expressiva anomalia negativa, de até -81 mGal, de longo comprimento de onda e eixo principal NE-SW. Este mínimo gravimétrico indica um importante contraste lateral de densidade, sugerindo que o LTB represente um limite tectônico de blocos crustais na região (Fig. 5a). O mapa de anomalias gravimétricas regionais caracteriza-se por anomalias suaves, com longo comprimento de onda associadas a um gradiente gravimétrico da ordem de 60 mGal. Um mínimo central de até -83 mGal ocupa a porção centro-sul da área e estende-se para NE paralelamente ao LTB. As anomalias regionais localizadas no centro da área de estudo sugerem uma importante deficiência de massa profunda, indicando um espessamento crustal nesta porção da Bacia do Parnaíba (Fig. 5b). Por outro lado, o mapa de anomalias residuais representa bem as assinaturas gravimétricas e lineamentos do arcabouço estrutural da Bacia do Parnaíba (Fig. 5c). São anomalias com curto a médio comprimento de onda e amplitudes de -16,1 e 16,7 mGal. A alternância entre altos e baixos gravimétricos assemelha-se a uma sequência de gráben e horts, orientados nas direções NE-SW e N-S, paralelos ou levemente oblíquos ao Lineamento Transbrasiliiano. Com o mapa de anomalias Bouguer residual foi possível identificar lineamentos gravimétricos. Eles apresentam-se retilíneos, em sua maioria, a sub-curvilíneos e possuem direção principal NE-SW e subordinadamente NW-SE (Fig 5c). As soluções das anomalias gravimétricas apresentam profundidades máximas de 11 km. Há um conjunto de segmentos de falhas que se estende do SW ao NE da área de estudo, que correspondem ao LTB. Este conjunto de soluções de Euler possuem mergulhos suaves para SE e uma inflexão insipiente para N. A porção NE da área é marcada por um conjunto de nuvens de soluções que caracterizam uma estrutura circular, com mergulhos variados para SE, NE e NW. As soluções de Euler marcam bem o gráben principal da área de estudo (Fig. 5d). Nossos dados preliminares concordam com o trabalho de Aguiar (1971) e Cordani et al. (1984, 2009), que indica que os principais depocentros da Bacia Parnaíba estão localizados sobre estruturas brasileiras, como os cinturões do Médio Coreáú e Gurupi e ao longo do lineamento Transbrasiliiano.

### Conclusões

O presente trabalho abordou o processamento e interpretação de dados magnéticos e gravimétricos de uma área na porção sul da Bacia do Parnaíba, ao longo do Lineamento Transbrasiliiano. Os mapas de anomalias magnéticas (fase de sinal analítico e anomalias gravimétricas residuais) permitiram analisar de forma qualitativa uma complexa estruturação regional orientada no sentido do Lineamento Transbrasiliiano (NE-SW). Os mapas magné-

ticos permitiu a identificação da zona de influência do Lineamento Transbrasiliiano no arcabouço estrutural da Bacia do Parnaíba, através dos lineamentos magnéticos. Os mapas de anomalia Bouguer residuais e regionais são dominados por anomalias negativas no centro da área de estudo. Estes mapas ajudaram a caracterizar os principais depocentros, onde ocorre espessamento do pacote sedimentar. Expressivos lineamentos magnéticos e gravimétricos possuem direção principal NE-SW, subordinadamente NW-SE e E-W, e em alguns casos N-S. Esses extensos alinhamentos geofísicos indicam que essas feições podem sofrer reativações que influenciam a estruturação da Bacia do Parnaíba.

### Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo Projeto Lineamento Transbrasiliiano: Origem, Evolução e influência na sedimentação de Bacias Fanerozóicas (Rede Temática de Estudos Geotectônicos), coordenado por R. A. Fuck (UnB) e financiado pela Petrobrás. Agradecemos à Agência Nacional de Petróleo (ANP) pela concessão dos dados geofísicos. R.D. Santos é bolsista de doutorado da CAPES pelo Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica - UFRN, T. P. C. de Lima é bolsista de mestrado da ANP - PRH22 pelo Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica - UFRN. D.L. de Castro, F.H.R. Bezerra, R.A. Fuck, R.M. Vidotti e E.L. Dantas agradecem ao CNPq pela bolsa de produtividade.

### Referências

- Andrade, F.A.R., Konzen, L. 2006.** Levantamentos aerogeofísicos para identificação de áreas com ocorrência potencial de petróleo e gás na Bacia do Parnaíba, p.9-23. Convênio ANP-USP
- Aguiar, F.G. 1971.** Revisão geológica da bacia paleozóica do Parnaíba. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25, São Paulo.
- Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R. M., Gonçalves J.H. (eds.) 2003.** Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Brasília, CPRM, 630p.
- Cordani, U.G., B.B. Brito Neves, R.A. Fuck, R. Porto, A.T. Filho, & F.M.B. Cunha, 1984.** Estudo preliminar de integração do Pré-cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. Revista Ciência Técnica Petróleo, Rep. 15, 70pp. PETROBRÁS, CENPES, Rio de Janeiro, Brasil.
- Cordani, U.G., B.B. Brito Neves, and A. Thomaz Filho, 2009.** Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras (Atualização): Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, 17 (1), 205-219.
- Cunha, F. M. B. 1986.** – Evolução Paleozóica da bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico. Rio de Janeiro, Instituto de Geociência, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 107 pag. (dissertação de mestrado).
- GEOSOFT. 1996.** MAGMAP 2-D frequency domain processing.
- Góes A.M.O., Souza, J.M.P., Teixeira, L.B. 1990.** Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da Bacia do Parnaíba. Bol. Geociências da Petrobras, 4(1), 55-64.

- Góes A.M.O., Feijó F.J., 1994.** Bacia do Parnaíba. Bol. Geociências da Petrobras, 8(1), 57-67.
- Hartley, R. W. & Allen, P. A., 1994.** – Interior cratonic basins of Africa: Relation to Break-up and role of mantle convection, basin Res., 6, p. 95-113.
- Kegel, W. 1956.** As inconformidades na Bacia do Parnaíba e zonas adjacentes. DNPM / DGM . Rio de Janeiro. 59 p. (Boletim 160).
- Lindsay, J. F., 1991.** Origin and evolution of North-American cratonic basins, S. Afr. J. Geol., 94 (1): p. 3-18.
- Lindsay, J. F., Korsch, R. J. & Wilford, J. R., 1987.** – Timing the breakup of a Proterozoic supercontinent: Evidence from Australian intracratonic basins, Geology, 15: p. 1061-1064.
- Meisner, J. C. & Wooldridge, L. C. 1964.** Maranhão Paleozoic basin and Cretaceous coastal basins, North Brazil. Bull. Am. Assoc. Petr. Geol., 48: 1475-1512.
- MILANI, E.J., THOMAZ FILHO, A. 2000.** Sedimentary Basins of South America. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. Campos, D.A. (eds.). Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro, 31 st . IGC, 389-449.
- Nabighian M. 1984.** Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: fundamental relations. Geophysics, 49: 780–786.
- Reynolds J.M. 1997.** An introduction to applied and environmental geophysics. John Wiley & Sons, 796 p.
- Roest W.R., Verhoef J. & Pilkington M. 1992.** Magnetic interpretation using the 3-D analytical signal. Geophysics, 57(1): 116–125.
- Schobbenhaus Filho, C. Campos, D.A., Derze, G.R., Asmus, H.E. (coords.), 1975.** Texto Explicativo. Folha Goiás SD.22. In: Schobbenhaus Filho, C. (coord.) Carta Geológica do Brasil Milionésimo. Brasília, DNPM.
- Sousa, M. A., 1996.** Regional gravity modelling and geohistory of the Parnaíba basin (NE Brazil). Ph.D. thesis, Univ Newcastle upon Tyne, England., 127pp.