



## Caracterização da crosta do Brasil central: uma análise por função do receptor (FR)

Cíntia Rocha da Trindade<sup>1</sup>, José Eduardo P. Soares<sup>1</sup>, Reinhart A. Fuck<sup>1</sup> e Adriana Chatack Carmelo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Estudos da Litosfera (LabLitos), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília- UnB

Copyright 2014, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

### Resumo

A crosta do Brasil central foi estruturada no Neoproterozóico como consequência da colisão dos paleocontinentes São Francisco, Amazônico, Paranapanema e Parnaíba. Novas determinações de espessura crustal obtidas por função do receptor, somadas aos dados da literatura, foram utilizadas para gerar mapa de profundidade da Moho trazendo novos vínculos para o entendimento da evolução tectônica do Brasil central. A Moho apresenta geometria irregular, com profundidades entre 33 e 53 km, e valores característicos para os diferentes domínios tectônicos. Esses resultados em conjunto com dados de gravimetria e topografia permitem concluir que o equilíbrio isostático regional é alcançado, principalmente, por variações nas propriedades físicas do manto litosférico com menor contribuição crustal e que a estruturação final do Brasil central se deu com a subducção para oeste do Paleocontinente Amazônico.

### Introdução

O Brasil central representa sistema orogênico Neoproterozoico de dimensões continentais cuja evolução recente é marcada principalmente por ajustes verticais, fruto de processos distensivos regionais/globais, que na Placa Sul-Americana, culminaram com a implantação das bacias do Solimões, Amazonas, Parnaíba e Paraná no Paleozoico e a abertura do Atlântico Sul no Mesozoico. Apesar de submetida a processos distensivos de grande monta, a litosfera do Brasil central foi pouco afetada e, conseqüentemente, sua estrutura crustal está preservada.

Com esse entendimento, há aproximadamente quinze anos, o Laboratório de Estudos da Litosfera (LabLitos), do IG/UnB/Brasil, vem realizando estudos sísmicos e sismológicos no Brasil central, visando caracterizar a estrutura da crosta na região (Fig. 1).

Este trabalho apresenta mapa de profundidade da Moho para o Brasil central (08°-14°S /46°-51°W) obtido a partir de dezessete novas determinações de espessura crustal e razão de Poisson média da crosta a partir do método função do receptor, somadas às determinações da literatura, oriundas de resultados de função do receptor (Assumpção *et al.*, 2004 e 2013; Rosa *et al.*, 2012) e refração sísmica profunda (Berrocal *et al.*, 2004; Soares *et al.*, 2006; Ventura *et al.*, 2011). Os resultados de profundidade da Moho são

interpretados em conjunto com resultados de gravimetria e topografia para analisar o equilíbrio isostático regional, a compartimentação tectônica, e conseqüentemente, a evolução tectônica do Brasil central.

### Contexto Geológico

O Brasil central foi estruturado no Neoproterozoico fruto da aproximação e conseqüente colisão dos paleocontinentes São Francisco, Paranapanema, Parnaíba e Amazônico, processo que amalgamou também terrenos de dimensões menores como o Arco Magmático de Goiás e o Maciço de Goiás (Pimentel *et al.*, 2000; Fuck *et al.*, 2005; Fuck *et al.*, 2008; BB Neves & Fuck, 2013).

Na região de estudo, o Brasil central é formado pelos terrenos da parte norte da Província Tocantins na sua porção central, limitados pelo Crátón São Francisco a leste, Crátón Amazônico a oeste e Bacia do Parnaíba a norte (Fig. 1).

A parte norte da Província Tocantins é constituída pela Faixa Araguaia, bordejando o limite leste do Crátón Amazônico, e a Faixa Brasília, perfazendo o limite oeste do Crátón São Francisco. Por sua vez a Faixa Brasília é dividida, de oeste para leste, nos terrenos do Arco Magmático de Goiás, Maciço de Goiás com porções arqueana e paleoproterozoica, e zona externa da Faixa Brasília. Os terrenos granulíticos da região de Porto Nacional representam porção de crosta continental paleoproterozoica considerada embasamento da Faixa Araguaia.

A Bacia do Parnaíba a norte, com área de aproximadamente 660.000 km<sup>2</sup>, representa extensa sinéclise paleozoica (Castro *et al.*, 2014).

Como resultado final, o Brasil central apresenta *trend* geológico N-S na Faixa Araguaia e NE-SW na Faixa Brasília, onde a trama do embasamento encontra-se fortemente influenciada pelo Lineamento Transbrasiliiano. Relacionado com os terrenos do Arco Magmático de Goiás a sul e aos granulitos da região de Porto Nacional a norte, ocorre expressivo alto gravimétrico regional (Soares *et al.*, 2006). Os terrenos do Arco Magmático de Goiás sugerem continuidade por sob a Bacia do Parnaíba, seguindo tendência do Lineamento Transbrasiliiano. No entanto, o alto gravimétrico é interrompido e deslocado para oeste, acompanhando o limite da Faixa Araguaia.

### Metodologia

Função do receptor é um método sismológico que permite isolar a estrutura da Terra sob a estação sismográfica dos efeitos da fonte e de estruturas distantes. A técnica desenvolvida por Langston (1979) utiliza registros telessísmicos com distância epicentral

entre 30° e 90° para determinar as descontinuidades mais marcantes sob a estação sismográfica. É comumente utilizado na determinação da espessura crustal e razão de Poisson ( $V_p/V_s$ ) médias da crosta.

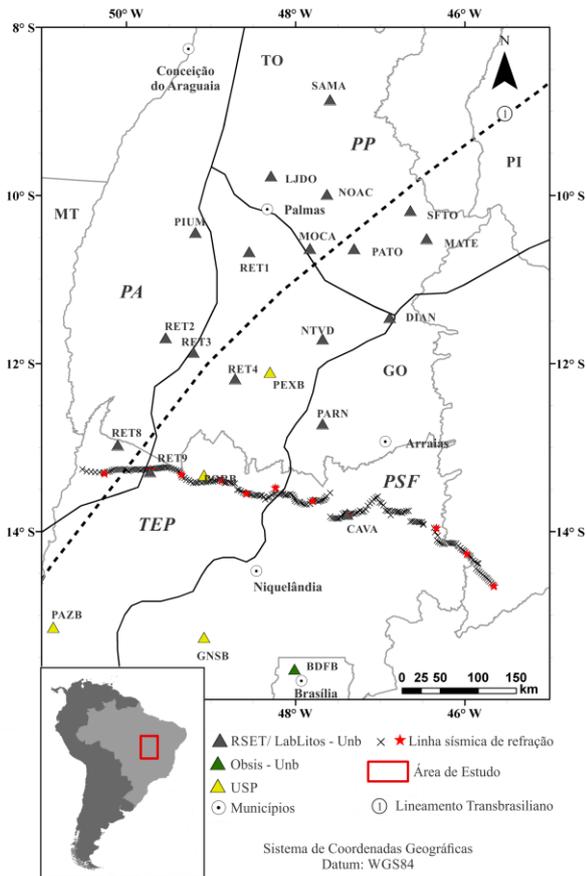


Figura 1- Mapa de localização da área de estudo com limites estaduais e tectônicos. PA- Paleocontinente Amazônico (Cratón Amazônico+Faixa Araguaia), PP- Paleocontinente Parnaíba (Bacia do Parnaíba), TEP – Terrenos entre Paleocontinentes (terrenos do Arco Magmático de Goiás e Maciço de Goiás) e PSF – Paleocontinente do São Francisco (zona extensa da Faixa Brasília+ Cratón do São Francisco).

Quando uma frente de onda P de um telessismo incide sobre uma descontinuidade abaixo de uma estação sismográfica, com ângulo próximo a vertical, parte da sua energia é convertida em onda S vertical e parte em ondas S múltiplas. O registro da onda P será predominante na componente vertical e da onda S (produzida na conversão), principalmente na radial. A deconvolução da componente vertical de registro da componente radial fornece a estrutura da Terra sob a estação sismográfica na forma de uma série temporal com o primeiro pulso representando a onda P e demais pulsos ondas S direta e múltiplas, representativas das descontinuidades de subsuperfície.

O banco de dados utilizado compreende telessismos registrados em estações sismográficas de banda-larga da rede sismográfica para estudos tectônicos do

LabLitos, com magnitude a partir de 5,5 mb e distância epicentral entre 30° e 90°, adquiridos entre julho/2008 e janeiro/2014 (Fig. 2).

O processamento de dados seguiu as etapas abaixo:

- i) os parâmetros de fonte (latitude, longitude, profundidade, hora origem) foram obtidos do catálogo do USGS (<http://neic.usgs.gov>);
- ii) os eventos foram convertidos para o formato SAC e cortados em janelas de registro de 150 segundos (60s antes e 90s após a chegada do evento);
- iii) os traços de função do receptor foram gerados no domínio da frequência, utilizando pacote de Ammon (1991), com valor de nível d'água de 0,001 e parâmetro  $\alpha$  do filtro Gaussiano igual a 4;
- iv) por inspeção visual, foram selecionados os traços de função do receptor com boa razão sinal-ruído;
- v) para as estações sem dependência azimutal, os traços de função do receptor com parâmetro de raio ( $p$ ) próximos foram empilhados;
- vi) a estação RET3, por apresentar dependência azimutal, teve seus traços somados para parâmetros de raio próximos, segundo os azimutes NW e SE;
- vii) a espessura da crosta ( $H$ ) versus a razão de Poisson ( $V_p/V_s$ ) foi obtida pelo programa *HK-Stacking* (Zhu & Kanamori, 2000);
- viii) as estações com banco de dados reduzido (DIAN, PARN, NOAC) e aquelas instaladas sobre coberturas cretáceas do Grupo Urucuaia (SFTO, MATE, PATO), cujos resultados são fortemente influenciados por camada sedimentar rasa, tiveram espessuras determinadas a partir da leitura direta das fases Ps. Os valores de  $V_p/V_s$  foram obtidos a partir de resultados de estações sismográficas próximas.

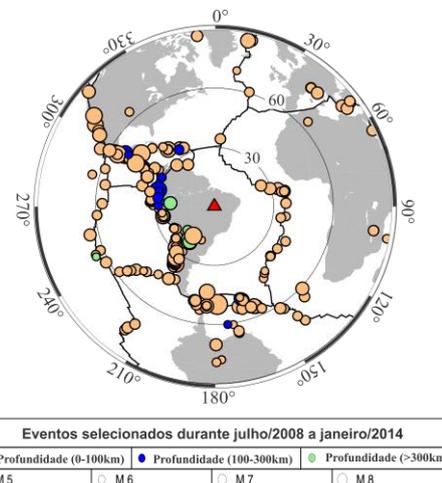


Figura 2- Localização epicentral dos eventos utilizados para gerar função do receptor.

## Resultados

Os resultados de função do receptor obtidos, associados aos resultados de espessuras crustais da literatura (Soares *et al.*, 2006 e Assumpção *et al.*, 2004 e 2013), permitiram gerar mapa de profundidade da Moho para o Brasil central. Esse mapa mostra Moho

irregular com profundidades entre 33-53 km, com valores de espessura crustal variando de acordo com os domínios tectônicos (Fig. 4).

A Bacia do Parnaíba é caracterizada por crosta de espessura de 44-45 km e razão Vp/Vs média de 1,71.

A zona externa da Faixa Brasília norte apresenta crosta de 40 km e Vp/Vs=1,70, contrastando em espessura com a crosta da bacia e sugerindo contato abrupto entre esses dois domínios. A sul, a zona externa da Faixa Brasília, dominada por coberturas metassedimentares, apresenta espessura de 42-44 km e Vp/Vs=1,70.

O Arco Magmático de Goiás apresenta crosta com espessura variando de 35 km na porção sul a 42 km em regiões mais norte, com Vp/Vs de 1,70-1,71. A norte-noroeste do arco os terrenos granulíticos da região de Porto Nacional possuem crosta de 41,5 km e Vp/Vs de 1,78. Ambos os terrenos ocupam porção dominada pelo alto gravimétrico do Brasil central.

No oeste da área, domínio da Faixa Araguaia a crosta apresenta espessura de 49 km e Vp/Vs de 1,79 na parte norte e 40 km e Vp/Vs de 1,78 a sul, acusando possível descontinuidade.

Ao longo do limite oeste do alto gravimétrico do Brasil central, os resultados das estações RET9 (Fig. 3), RET3 e PIUM mostram crosta anormalmente espessa com profundidades da Moho em torno de 53 km (Vp/Vs < 1,70), sugerindo possível duplicação crustal.

Nas latitudes 13°-14°S, a interpretação conjunta de dados de refração sísmica profunda e função do receptor permitiu imagear a estrutura da crosta e identificar a frente de colisão da Paleoplaca Amazônica com o Arco Magmático de Goiás, caracterizada (dentre outras evidências) por degrau abrupto de mais de 15 km na descontinuidade de Moho e, em superfície, por obdução de lasca de crosta arqueana (2,9 Ga) encravada em terrenos juvenis (630-540 Ma) do Arco Magmático de Goiás (Soares *et al.*, 2006; Ventura *et al.*, 2011). A norte, a estação RET3 apresenta resultados de função do receptor com forte dependência azimutal, com valores de espessura crustal de 53 km para eventos com epicentro a NW da estação e de 41 km para eventos com epicentro a SE, marcando a continuidade do degrau imageado a sul. A estação PIUM confirma a continuidade do degrau para norte apresentando profundidade de 53 km para a Moho.

## Discussão e Conclusões

Os resultados de espessura crustal em conjunto com a anomalia gravimétrica Bouguer e topografia (Fig. 4; Fig.5) mostram que a variação de espessura crustal não reflete a variação da resposta gravimétrica observada, sugerindo que o equilíbrio isostático regional seja alcançado principalmente por variações nas propriedades físicas das rochas do manto litosférico, com menor contribuição crustal.

O alto gravimétrico Bouguer do Brasil central não é compensado na crosta, marca corredor de manto Neoproterozoico (quente e primitivo), em contraste com manto Arqueano-Paleoproterozoico, depletados e frios, dos domínios adjacentes (Soares *et al.*, 2006). Dessa forma a resposta gravimétrica permite delimitar o Paleocóntinente São Francisco, formado pelos

domínios do Cráton São Francisco mais zona externa da Faixa Brasília, o Paleocóntinente Amazônico, formado pelo Cráton Amazônico mais Faixa Araguaia, o Paleocóntinente Parnaíba, encoberto pelos sedimentos da Bacia do Parnaíba, e os terrenos relacionados ao alto gravimétrico, representados pelo Arco Magmático de Goiás, Maciço de Goiás e granulitos de Porto Nacional, amalgamados entre os blocos maiores (Fig.1; Fig.5).

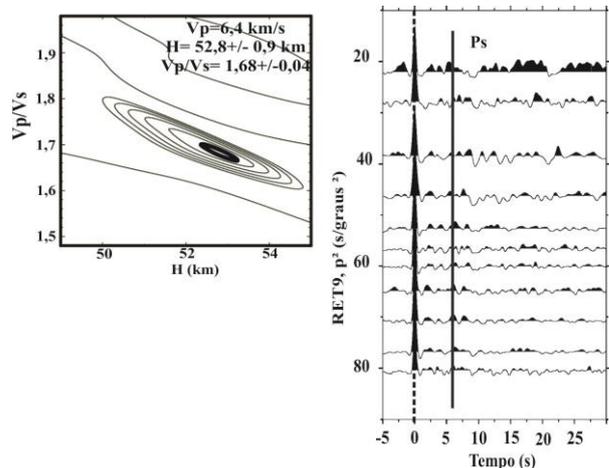


Figura 3- Estimativa da espessura e razão Vp/Vs da crosta sob a estação RET9, obtidos pelo programa HK-stacking, e traços empilhados de função do receptor radial.

A região de sutura da Paleoplaca Amazônica no Brasil central passa a leste da Faixa Araguaia, perfazendo o limite com o Arco Magmático de Goiás a sul (13°S), com os terrenos granulíticos de Porto Nacional na porção central (10°S-12°S) e com a Bacia do Parnaíba mais a norte.

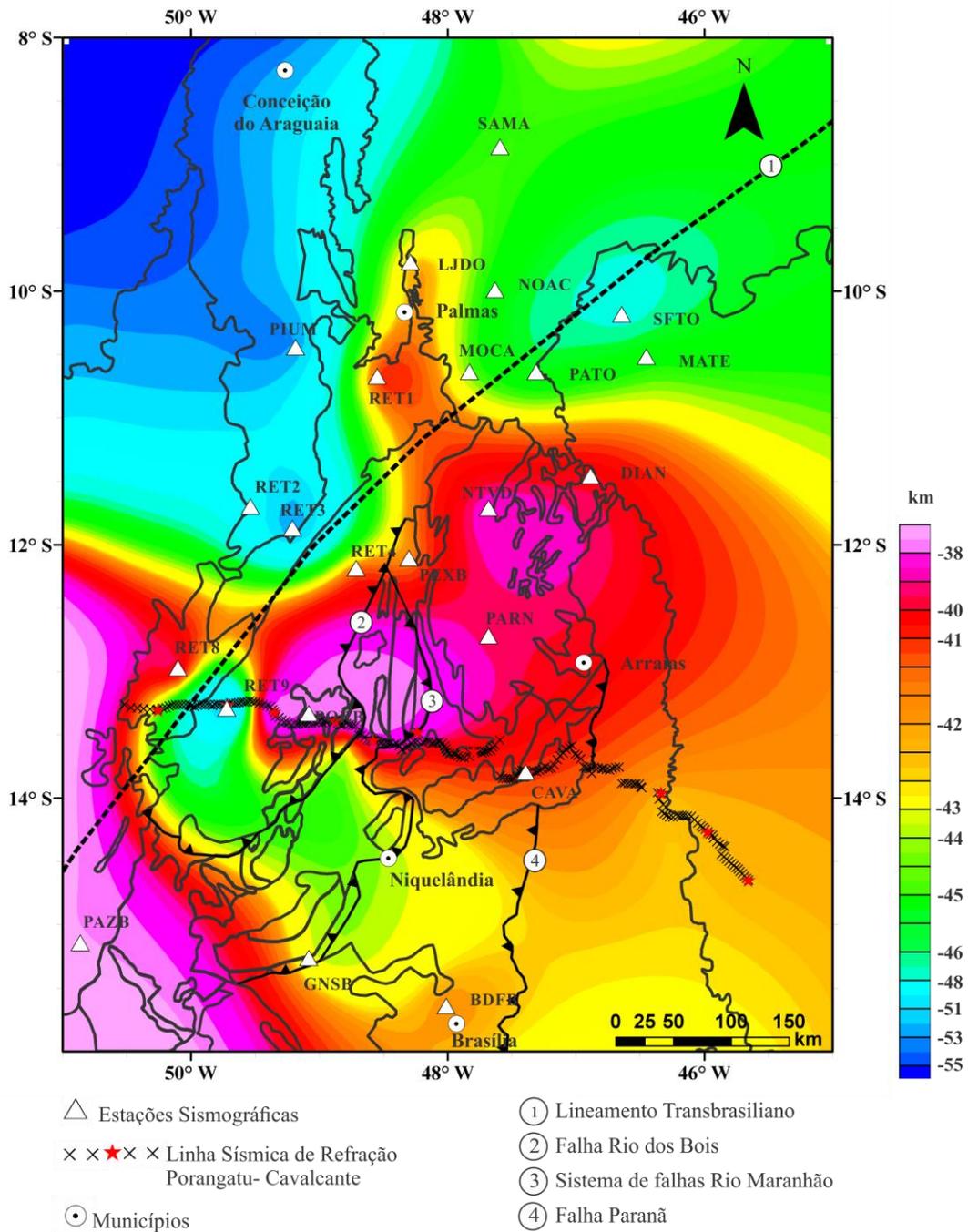
O conjunto de dados disponíveis permite traçar cenário de evolução para o Brasil central, que de forma geral se resume às etapas: i) subdução para oeste da porção oceânica da Paleoplaca São Francisco; (ii) colisão do Paleocóntinente São Francisco com os terrenos de arco de ilha e com o Paleocóntinente Parnaíba a norte-noroeste. Possivelmente os terrenos de arco de ilha continuam sob os sedimentos da Bacia do Parnaíba, perfazendo o limite entre os paleocóntinentes São Francisco e Parnaíba; (iii) com a continuação dos esforços, a subdução foi invertida com consumo para leste da porção oceânica da Paleoplaca Amazônica. A região de sutura está bem caracterizada por duplicação crustal; (iv) eventos distensivos posteriores (Paleozoico e Mesozoico) provocaram ajustes isostáticos regionais que culminaram com implantação da Bacia do Parnaíba na porção norte da área.

## Agradecimentos

A Capes pela bolsa de mestrado a C. Trindade, ao INCT para Estudos Tectônicos e ao Projeto Transbrasiliiano pelo suporte aos trabalhos de campo e ao LabLitos pelo fornecimento dos dados para a realização da pesquisa.

**Referências**

- Ammon, C.J., 1991. The isolation of receiver effects from teleseismic P waveforms, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 81 (6), 2504-2510.
- Assumpção, M., Bianchi, M.B., M., França, G.S.L., Rocha, M., Barbosa, J.R., Berrocal, J., 2004. Seismic studies of the Brasília Fold Belt as the western border of the São Francisco Craton, Central Brazil, *Tectonophysics*, 388, 173-185.
- Assumpção, M., Bianchi, M.B., Jordi J., Dias, F.L., França, G.S.L., Nascimento, R., Stéphane, D., Pavão, C.G., Albuquerque., D.F., 2013. Crustal thickness map of Brazil: Data compilation and main features, *J. South Am. Earth Sci.*, 43, 74-85.
- B.B. Neves, B., Fuck, R.A., 2013. Neoproterozoic evolution of the basement of the South-American platform, *J. S. Am. Earth Science*, 47,72-89.
- Berrocal, J., Marangoni, Y., Cogo, S. N., Fuck R.A., Soares, J.E.P., Dantas, E., Perosi, F., Fernandes C., 2004. Deep seismic refraction and gravity crustal model and tectonic deformation in Tocantins Province, Central Brazil, *Tectonophysics*, 388, 187-199.
- Castro, D.L., Fuck, R.A., Phillips, J.D., Vidotti, R.M., Bezerra, F.H.R., Dantas, E.L., 2014. Crustal structure beneath the Paleozoic Parnaíba Basin revealed by airborne Crustal structure beneath the Paleozoic Parnaíba Basin revealed by airborne gravity and magnetic data, *Brazil, Tectonophysics*, 614, 128-145.
- Fuck, R.A., Pimentel, M.M., Soares, J.E.P., Dantas, E.L., 2005. Compartimentação da Faixa Brasília. In: SBG, Simpósio de Geologia do Centro-oeste, Atas, 9, 26-27.
- Fuck, R.A., BB Neves, B., Schobbenhaus, C., 2008. Rodinia descendants in South America, *Precambrian Research*, 160, 108–126
- Langston, C. A., 1979. Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves, *J. Geophys. Res.*, 85, 4749–4762.
- Pimentel, M.M., Fuck, R.A., Jost, H., Ferreira, C.F.F., Araújo, S.M., 2000. The basement of the Brasília fold belt and the Goiás Magmatic Arc. *Tectonic Evolution of South America*, 31, 195-230.
- Rosa, J. W. C., Rosa, J. W. C. & Fuck, R. A., 2012. Crust and upper mantle structure in central Brazil derived by receiver functions and SKS splitting analysis. *J. South Am. Earth Sci.*, 34, 33-46.
- Soares, J.P., Berrocal, J., Fuck, R.A., Mooney, W., Ventura, D.B.R., 2006. Seismic characteristics of central Brazil crust and upper mantle: a deep seismic refraction study, *J. Geophys. Res.*, 111, B12302.
- Ventura, D. B. R., Soares, J.E.P., Fuck, R. A., Caridade, L.C.C., 2011. Caracterização sísmica e gravimétrica da litosfera sob a linha de refração sísmica profunda de Porangatu, Província Tocantins, Brasil Central, *Rev. Bras. Geociênc*, 41, 130-140.
- Zhu, L. & Kanamori, H., 2000. Moho depth variation in southern Califórnia from teleseismic receiver functions, *J. Geophys. Res.*, 105, 2696-2980.



Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum: WGS84

Figura 4- Mapa de profundidade da Moho, com os limites geológicos do Cráton Amazônico a oeste, Província Tocantins na porção central, Bacia do Parnaíba a norte e Cráton do São Francisco a leste.

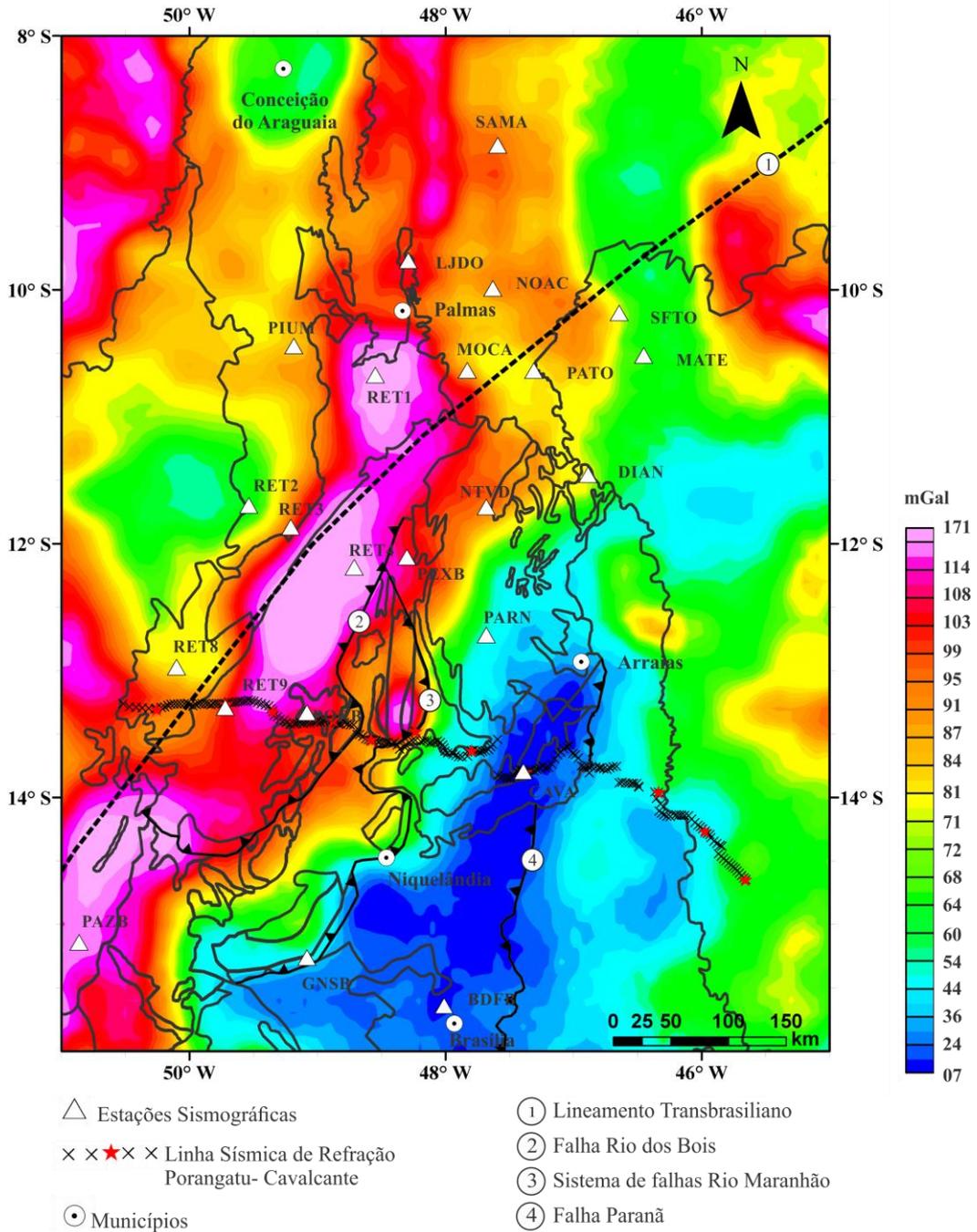


Figura 5- Mapa de Anomalia Bouguer com os limites geológicos do Brasil central, mostrando a localização das estações sismográficas e linha sísmica de refração.