

Identificação das principais feições geológicas do SE do Brasil através do estudo das anomalias magnéticas crustais – resultados preliminares

Cosme F. Ponte Neto ON/MCT (cosme@on.br) ; Lays H. F. Oliveira (bolsista PIBIC/ON); Ana Maria Gauza (aluna de mestrado/ON)

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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.

Resumo

Neste trabalho foram determinadas as anomalias do campo geomagnético, de origem crustal, na região sudeste do Brasil, entre os paralelos 13°S e 25°S e os meridianos 39W e 55W, com o objetivo de correlacionar os padrões destas anomalias com as feições das principais províncias tectônicas da região. Foram utilizados dados da rede geomagnética do Observatório Nacional [Lima et al., 2001].

A análise dos resultados indicou uma anomalia positiva na porção sul do craton do São Francisco, sugerindo a presença de uma estrutura, em subsuperfície, maciça ou em platô (as anomalias apresentam padrões de isovalores concêntricos e simétricos). A fonte desta anomalia apresenta contraste de suscetibilidade magnética bem localizado espacialmente e valores de magnetização remanescente com intensidades da ordem de 40 A/m, inclinação magnética de -20° e atingindo profundidades da ordem de 35 km. Na parte sudoeste da área estudada, sobre a bacia do Paraná, existe uma anomalia positiva com fonte não pontual, provavelmente associada aos derrames de basalto da bacia do Paraná. A parte leste da área apresenta anomalias negativas, também de caráter não pontual, provavelmente associadas aos limites orientais da plataforma continental sul americana.

Introdução

Este trabalho tem por objetivo identificar padrões bem definidos nas anomalias magnéticas crustais que possam ser correlacionados às principais províncias tectônicas da região sudeste brasileira, figura 1. O estudo foi feito a partir de dados da Rede Geomagnética do Observatório Nacional.

Este estudo poderá contribuir para uma melhor compreensão dos processos envolvidos da evolução tectônica da plataforma Sul América e na sua compartimentação geológica em escala regional, colaborando na definição dos limites espaciais das principais províncias tectônicas do sudeste brasileiro, a partir de dados geofísicos, seguindo a tendência de outros trabalhos, envolvendo métodos geofísicos, já realizados no SE do Brasil, tais como: [Padilha et al., 1992]; [Pacheco, 2003]; [Assumpção et. al., 2002] e [Ussami e Sá, 1993].

A região estudada esta apresentada na figura 1, engloba parte do cráton do São Francisco, bacia do Paraná,

cinturões orogênicos do Ciclo Brasileiro e parte de seus maciços interiores. Os limites destas unidades e suas relações com a evolução tectônica da plataforma sul-americana são apresentados por [Almeira et al.,1981] e [Brito Neves et al.,1991].

A região foi escolhida por apresentar unidades geotectônicas com grande variedade nas composições petrológicas, de modo a acentuar as diferenças nas respostas das magnetizações das rochas em função do contraste de suscetibilidade magnética presente nas diferentes unidades.

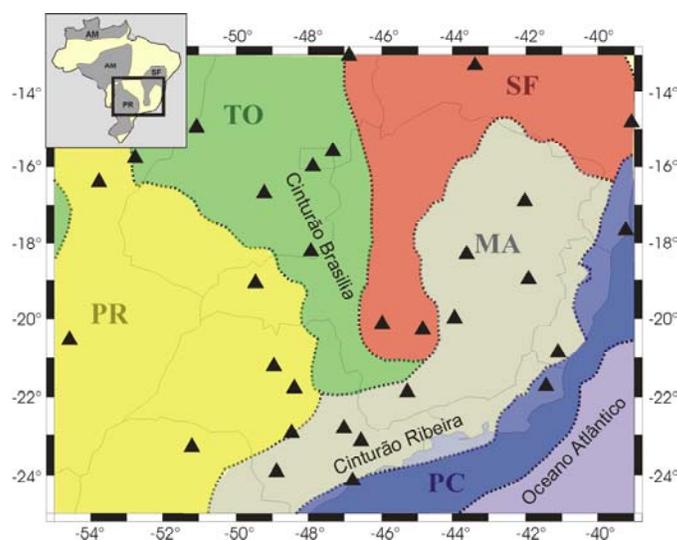


Figura 1. Províncias estruturais do SE, segundo [Almeida et al., 1981]: TO-Tocantins; SF-Craton do São Francisco; PR-Bacia do Paraná; MA-Província Mantiqueira; PC-Província Costeira. Os triângulos indicam as estações da rede geomagnética do Observatório Nacional.

Metodologia

A - Cálculo das anomalias magnéticas.

Os dados da rede geomagnética do ON contém as três componentes do campo geomagnético (Bx, By e Bz), a data, a altitude e as coordenadas geodésicas. Neste trabalho foram selecionadas as medidas mais recente obtidas em cada estação contida na região estudada, garantindo assim dados obtidos com instrumentos mais modernos e precisos. Foram usados dados de 30 estações. As medidas foram feitas com magnetômetros fluxgate com incerteza da ordem de 1 nT na intensidade e 0.1' nas medidas angulares, conforme [Lima et al., 2001].

A metodologia adotada na determinação das anomalias magnéticas foi através do calculo das diferenças de cada componente medida com os valores fornecidos pelo IGRF. Com o objetivo de compensar a variação secular e

as diferenças de altitude nas medidas, foi determinado o valor do campo principal, através do IGRF, exatamente nas datas e altitudes nas quais os dados foram obtidos, ou seja, a redução à mesma data e a mesma altitude foi feita ponto a ponto.

Desta forma foram determinadas quatro anomalias para cada ponto medido. São elas as seguintes:

1 - Componentes X, Y e Z da anomalia do campo:

$$\Delta B(x, y, z) = B(x, y, z)_{\text{medido}} - B(x, y, z)_{\text{IGRF}}$$

2 - Anomalia de campo total

$$\Delta F = F_{\text{medido}} - F_{\text{IGRF}}$$

sendo:

$$F_{\text{medido}} = \sqrt{Bx_{\text{medido}}^2 + By_{\text{medido}}^2 + Bz_{\text{medido}}^2}$$

Os cálculos das altitudes e do referencial geodésico usados no modelo do IGRF para a determinação das anomalias foram feitos conforme [Peddie, 1982].

B - Determinação da profundidade das fontes: Modelo Direto.

A estimativa da profundidade as fontes foi feita através do modelo direto de um prisma uniformemente magnetizado, construído através da discretização de dipolos magnéticos elementares, representados fisicamente por esferas magnetizadas, conforme procedimento proposto por [Blakely, 1995].

A figura 2 mostra um corte da crosta contendo o prisma usado no modelo direto. O prisma é constituído por 25 esferas de raio 17 km, colocados lado a lado formando um paralelepípedo com 170km x 170km de área e 34km de espessura, com a base na profundidade de 35 km. A magnetização adotada para cada esfera é de 40 A/m. Dados bibliográficos apresentados por [Carmichael, 1982] indicam a magnetização remanescente natural para rochas ígneas intrusivas na faixa de 1.0 - 60 A/m.



Figura 2. Corte representando a crosta e do prisma constituído por esferas magnetizadas, usado no modelo direto para o modelamento da anomalia estudada.

O modelo direto gerou um conjunto de dados sintéticos, em três dimensões, que foram comparados com as anomalias obtidas a partir dos dados experimentais. No modelo direto foram utilizados parâmetros de magnetização das rochas e profundidades compatíveis com dados bibliográficos. A profundidade da superfície de Curie determinada na região da anomalia estudada foi estimada por [Rocha, 1998] entre 15 e 25 km, utilizando análise espectral de dados aeromagnéticos e entre 10 km

e 52 km através de modelo geotérmico. O trabalho de [Assunção et al., 2002] estima a espessura crustal sob o cráton do São Francisco em 37-43 km. Neste trabalho foi adotada a profundidade de 35 km para a base do prisma fonte da magnetização. Um trabalho mais elaborado poderá ser feito utilizando técnicas de inversão sobre estes dados de anomalia, resultando numa determinação mais precisa e automatizada dos parâmetros e dimensões das fontes de magnetização.

Dados e mapas de isovalores

Neste trabalho somente a anomalia localizada sobre o cráton do São Francisco foi estudada quantitativamente através da comparação com modelo direto. As outras anomalias foram analisadas apenas do ponto de vista qualitativo e serão estudadas com mais detalhes em trabalhos futuros.

As figuras 3a e 4a mostram as anomalias de campo total (F) e da componente vertical (ΔZ) respectivamente, calculadas a partir dos dados da rede geomagnética do Observatório Nacional, estas figuras foram geradas pelo programa SURFER, usando interpolação pelo método da mínima curvatura. As Figuras 3b e 4b apresentam os padrões das anomalias equivalentes geradas pelo ajuste dos parâmetros de magnetização no modelo direto. Estes parâmetros (declinação e inclinação da magnetização remanescente) foram determinados a partir a inclinação do eixo da anomalia dipolar na figura 4a e a assimetria na anomalia concêntrica do campo Total (figura 3a). Os parâmetros da magnetização da camada magnetizada usada no modelo direto estão resumidos na tabela 1.

Tabela 1- Parâmetros da camada magnetizada

Parâmetros	Valores
Declinação da magnetização	65°
Inclinação da magnetização	-20°
Magnetização	40 A/m
Momento de dipolo magnético total	2.0×10^{16} A.m ²

Resultados

Neste trabalho foi analisada apenas uma das anomalias encontradas na área estudada. A anomalia escolhida apresenta curvas de isovalores radiais com foco localizado em Latitude =17.5°S e Longitude=45.5°W. Esta anomalia foi escolhida por estar localizada sobre a porção Sul do cráton do São Francisco, que é uma província geotectônica importante na compreensão dos processos geológicos que envolvem a plataforma sul americana, além de apresentar diferenciação litológica acentuada com as províncias vizinhas. Além disso a anomalia é acentuada e está contida no centro da área estudada, garantindo que suas fonte esteja dentro da área em questão.

O modelo teórico aplicado é constituído basicamente de uma camada magnetizada, e conseguiu reproduzir bem as feições da anomalia nas vizinhanças dos seus focos. As figuras 3a e 3b mostram que entre 100 e 600 nT a representação do modelo é coerente com os dados experimentais (em distâncias maiores que 200km em

torno dos focos das anomalias). Na região mais próxima aos focos, distâncias menores que 200km, as duas representações diferem consideravelmente. Dois argumentos podem ser colocados para justificar esta discrepância:

1- Não existem estações nestas regiões de discrepância, de modo que as figuras 3a e 4a, que representa as anomalias medidas apresentam curvas de isovalores geradas através de interpolações matemáticas feitas pelos programas de gridagem e podem não representar a realidade física do problema.

2- A resposta do modelo teórico é menos eficiente nas proximidades do corpo magnetizado, uma vez que a discretização dos elementos dos dipolos magnéticos apresenta maior continuidade em distâncias maiores, ou seja, perto do corpo a discretização perde continuidade.

Estes dois argumentos devem ser considerados simultaneamente, de modo que não devemos esperar bons resultados do modelamento nas proximidades dos focos das anomalias.

A anomalia localizada no externo SW da área estudada deve estar associada à magnetização dos derrames de basalto da bacia do Paraná, que por apresentarem grandes dimensões, geram uma anomalia de padrão não radial. Neste trabalho esta anomalia não foi modelada através de modelo direto, porque suas fontes não estão integralmente contidas na área estudada.

Conclusão

A anomalia na porção SW da área estudada, associada aos basaltos da bacia do Paraná apresentam valores e gradientes muito superiores à anomalia encontrada no craton do São Francisco, isso pode ser consequência da maior espessura crustal na bacia do Paraná, conforme [Assunção, et al., 2002]. Segundo este autor, as rochas da bacia do Paraná apresentam densidades maiores do que os rochas do craton do SF e isso se deve pelo empobrecimento em FeO no manto superior nesta província. Estes fatores podem explicar as grandes diferenças nos valores das anomalias entre estas áreas.

A parte SE da área estudada apresenta anomalias baixas com gradientes negativos no sentido do oceano Atlântico, indicando o limite leste da plataforma continental sul americana, com afinamento crustal nesta direção e menor concentração de material magnético. A parte NE da área estudada apresenta valores altos de anomalia de campo total e valores baixos da componente ΔZ , isso pode ser causado pela proximidade maior com o craton do SF, nesta área, induzindo uma magnetização de direção predominantemente horizontal nesta região.

Segundo [Rocha, 1998], a estimativa da profundidade de Curie pelo método magnético pode gerar distorções, uma vez neste método o mineral considerado portador da magnetização geralmente é a magnetita, com $T_c=578^\circ\text{C}$, contudo nem sempre a magnetita é o mineral magnético predominante, além da sua T_c variar com a sua composição mineralógica. A hematita, por exemplo, que é um mineral magnético relativamente abundante tem $T_c=680^\circ\text{C}$ e a presença deste mineral aumentaria a profundidade do embasamento magnético.

Agradecimentos

Agradeço ao prof. Valiya M. Hamza e ao prof. Jean M. Flexor pelas referências sobre determinação das profundidades de Curie, ao Ronaldo M. Carvalho por ter organizado os dados da rede geomagnética e ao Constantino M. Motta pelo suporte computacional.

Referências

Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Neves, B. B. de B. & Fuck, R. A., 1981. "Brazilian Structural Provinces: An Introduction", *Earth Sci. Rev.* **17**, 1-29.

Assunção, M., James, D. and Snoke, A., 2002. "Crustal thickensses in SE Brazilian Shield by receiver function analysis: Implications for isostatic compensation" *Jornal of geophysical Research*, vol.107,NO.B1,ESE2 1-14.

Blakely, R.J.,1995. "Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications" Cambridge University Press. pg 374-381

Brito Neves, B. e Cordani, U.,1991."Tectonic evolution of South América during the Late Proterozoic" *Precambrian Res.*, 53,23-40.

Carmichael, R.S.,1982 "Handbook of Physical Properties of Rocks Vol II. CRC Pres, Inc. Boca Raton, Florida – CAPÍTULO 2, pag 272 – 275.

Lima, E.C. e Carvalho,R.M., 2001. "Rede Geomagnética Brasileira , descrição das estações" Publicação do Observatório Nacional N°3/2001.

Pacheco, R.P., 2003. "Imageamento tridimensional da onda S na litosfera do sudeste brasileiro e adjacências" Tese de doutoramento – Observatório Nacional

Padilha, A. L.; Trivedi, N. B.; Vitorello, I. and Costa, J. M.,1992 "Upper crustal structure of the NE Paraná Basin, Brazil, determined from integrated Magnetotelluric and gravity measurements" *J. Geophys. Res.* **97**, 3351-3365.

Peddie, N. W.,1982. "International Geomagnetic Reference Field: the Third Generation" *J. Geomag. Geoelectr.*,34, 309-326.

Rocha, P.L.F.,1998. "Estudo da litosfera do Brasil entre os paralelos 17°S e 33°S , a partir de dados gravimétricos, magnéticos e de fluxo de calor".Tese de doutorado, ON/MCT.

Ussami, N., e Sá, N.C., 1993."Digital (10' by 10') gravity maps of the São Francisco craton and marginal fold/thrust belts, in Proceedings II Simpósio sobre o craton do São Francisco, pp 137-139, Soc. Bras. Geol., São Paulo, Brasil.

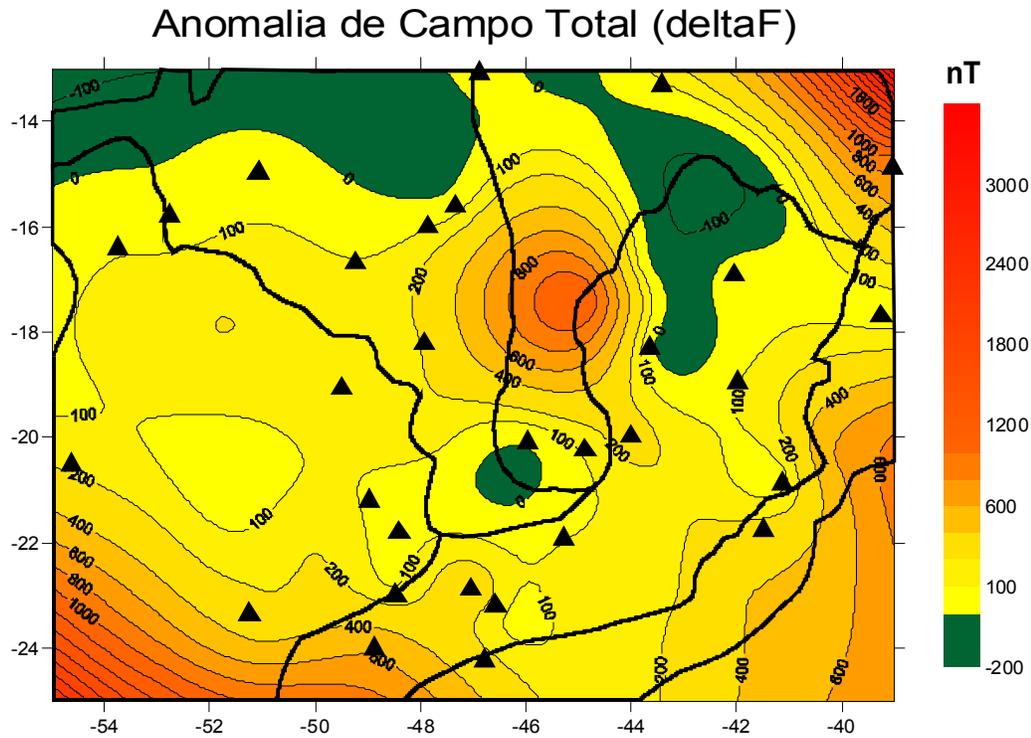


Figura 3 a . Anomalia de campo total calculada a partir dos dados da rede geomagnética do Observatório Nacional. As estações da rede são representadas pelos triângulos.

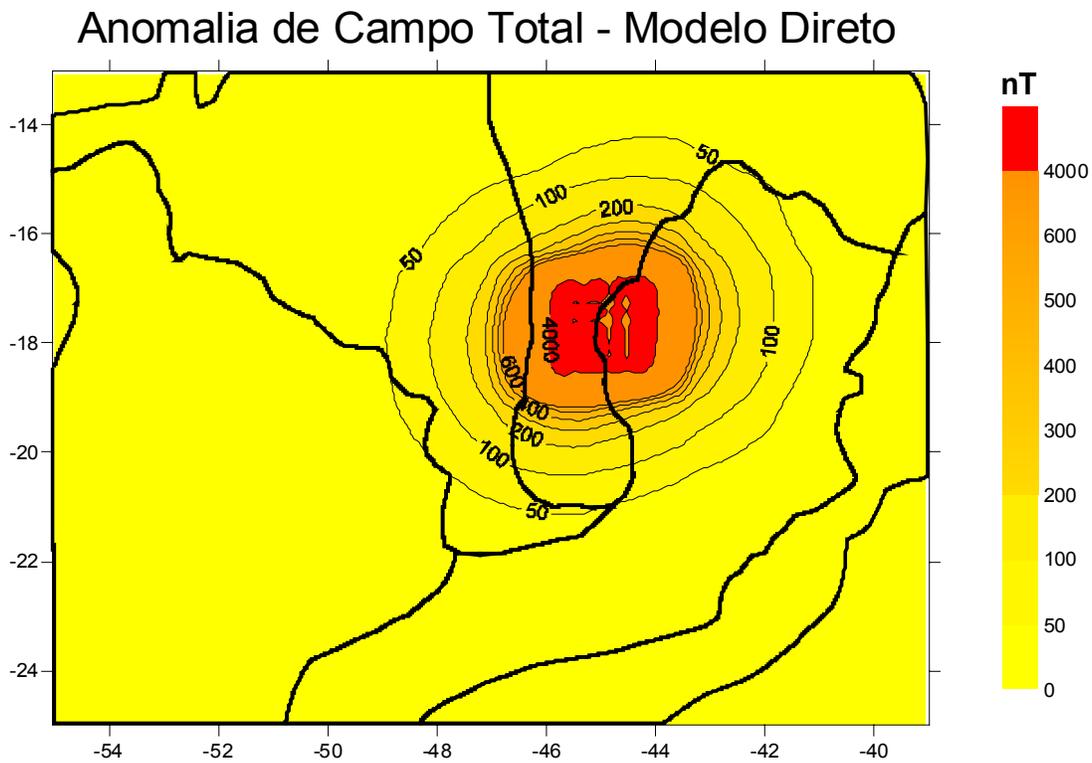


Figura 3b. Anomalia de campo total calculada a partir do modelo direto

Componente Vertical da Anomalia (deltaBz)

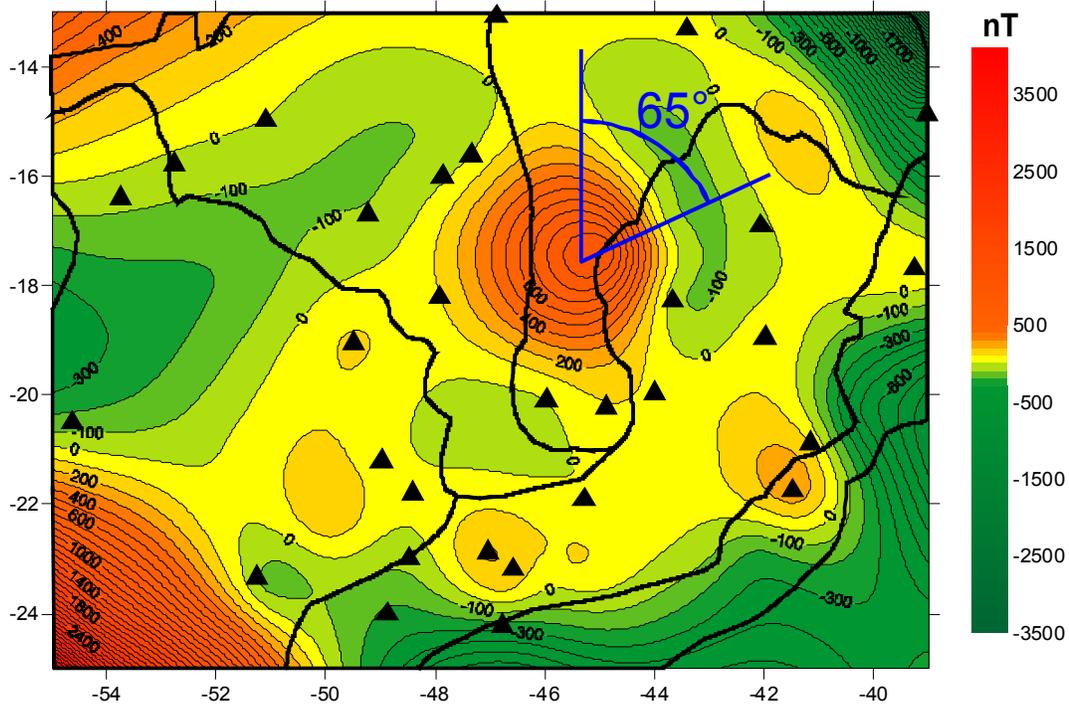


Figura 4a. Componente vertical da anomalia. O ângulo de 65° indica a direção da anomalia dipolar, associada à declinação da magnetização da fonte da anomalia. As estações da rede são representadas pelos triângulos.

Componente Vertical da Anomalia - Modelo Direto

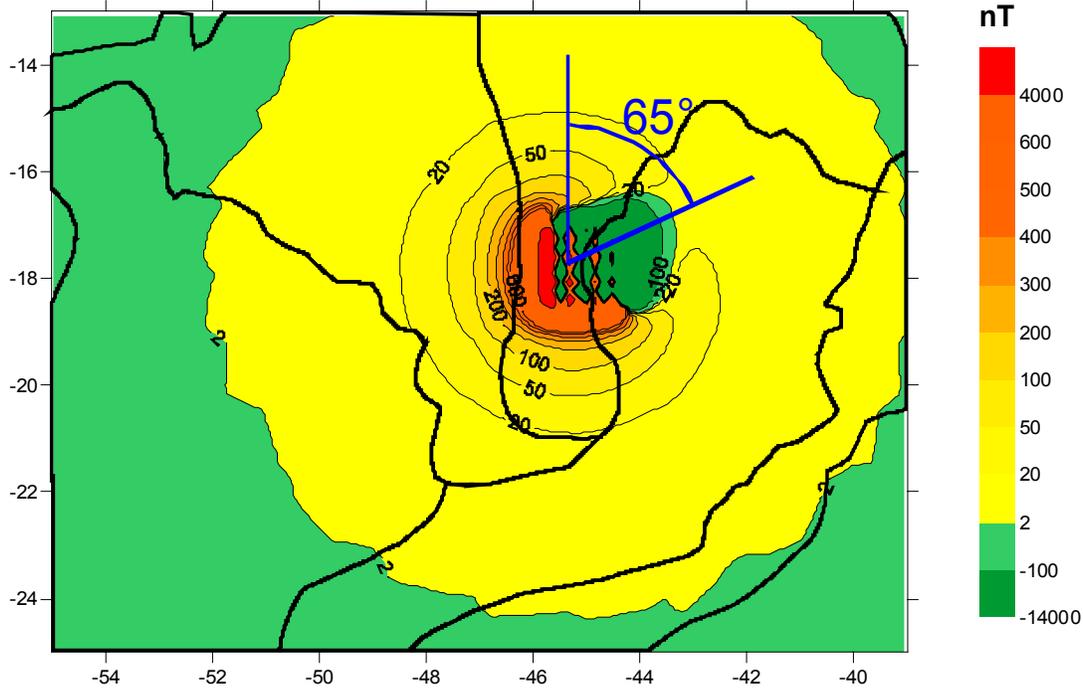


Figura 4b. Componente vertical da anomalia calculada a partir do modelo direto.