



## Comportamento da Anomalia Magnética do Atlântico Sul para os últimos 105 anos

Gelvam A. Hartmann\* e Igor I. G. Pacca\*

\* Departamento de Geofísica – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – Universidade de São Paulo

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> 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 9<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

In this paper, we discuss the characteristics of the South Atlantic Magnetic Anomaly (SAMA) for the last century. Some authors relate the origin of the SAMA to the offset of the eccentric dipole of the Earth's magnetic field. There are several ways for defining the SAMA geographical location. We used in this work the minimum intensity values of the field. The change in the westward drift of the Anomaly may correspond to changes in the motion of the fluid in the outer core. The intensity curve shows three intervals with different behavior for the studied period. It may be speculated that these changes can be related to geomagnetic *jerks*. However, the SAMA and other similar anomalies should be studied in the thousands and the million years time scales in order to improve an interpretation in terms of the Geodynamo Theory.

### Introdução

A análise dos dados obtidos pela rede de observatórios magnéticos há mais de 170 anos possibilitou a elaboração de cartas e modelos cada vez mais precisos do campo geomagnético e de suas variações. O campo magnético terrestre apresenta algumas anomalias regionais. Uma delas é a Anomalia Magnética do Atlântico Sul (comumente indicada pela sigla em inglês SAMA – South Atlantic Magnetic Anomaly), que se tornou evidente aos mapas magnéticos do início do século 20 [Chapman & Bartels, 1940], e é assim chamada porque atualmente estende-se pelo Atlântico Sul.

A região da SAMA caracteriza-se por apresentar baixas intensidades no campo magnético total, coincidindo com uma região de intensa radiação no espaço próximo à Terra, sendo portanto, uma espécie de “janela” à entrada de partículas cósmicas.

Alguns autores interpretam a SAMA como devida à assimetria geomagnética entre os hemisférios norte e sul [Fraser-Smith, 1987; Pinto Jr. et al., 1991; Henderickx, 1996]. O dipolo excêntrico que melhor representa o campo observado está deslocado na direção a noroeste do Pacífico (21,47°N; 144,77°E) em 527km numa direção definida [Fraser-Smith, 1987].

Nesta aproximação, a SAMA pode ser localizada na direção oposta, acima do Oceano Atlântico, na costa do Brasil. Entretanto, contrariando simples aproximações, o campo magnético próximo à superfície da Terra difere

significativamente do campo do dipolo excêntrico. A região da SAMA é mostrada na figura 1.

Embora o modelo de dipolo excêntrico ofereça uma representação satisfatória do campo, ele não explica a origem da SAMA em termos dos processos físicos responsáveis por esta e outras anomalias do campo [Pinto Jr. et al., 1991].

Atualmente, a SAMA possui uma forma alongada estendendo-se da América do Sul até a África, sendo que o centro, correspondendo à mínima intensidade do campo, localiza-se no Paraguai.

Mapas do campo na interface manto-núcleo externo revelam características pouco conhecidas do campo [Bloxham & Gubbins, 1985; Bloxham, 1987; Bloxham & Jackson, 1989; Bloxham et al., 1989; Bloxham & Jackson, 1992]. Neste contexto, a SAMA pode estar associada a uma característica particular de fluxo reverso no material do núcleo externo.

Nos últimos anos, a SAMA vem sendo bastante estudada pelos efeitos produzidos, sendo objeto de interesse em várias áreas, principalmente nas pesquisas espaciais.

Embora seja bem conhecida pelos seus efeitos, ainda sabe-se pouco sobre suas causas e seu comportamento. Com isto, apresentaremos alguns resultados sobre as principais características da SAMA para o último século, visto que este período oferece modelos de boa qualidade para análise.

### Método de análise

A SAMA varia continuamente em extensão e magnitude. Henderickx (1996), propôs três formas para se obter o centro geográfico da SAMA:

- A localização geográfica do “ponto espelho” da posição do dipolo excêntrico para o campo geomagnético;
- A localização geográfica do foco do mínimo valor do campo geomagnético total;
- Lócus do máximo fluxo de partículas na região.

Estes três métodos fornecem a localização do centro da SAMA. Entretanto, a diferença na localização pode variar bastante, isto porque os três métodos utilizam diferentes características do campo. Segundo Henderickx (1996), as diferenças podem variar em até 30° de latitude e 10° em longitude, dependendo do método utilizado.

Para descrição do comportamento espacial e temporal da SAMA, adotou-se o método de localização que utiliza as medidas do valor mínimo do campo total, ou seja, aquele que fornece em superfície o campo produzido, portanto, mais adequado ao estudo. Os outros métodos não foram adotados pelas seguintes razões:

I) O dipolo excêntrico é uma aproximação matemática do dipolo que melhor representa o campo geomagnético. Este dipolo é inclinado e deslocado do centro da Terra, portanto, não necessariamente deve responder às feições produzidas pelo campo do núcleo na superfície.

II) O lócus de máximo fluxo de partículas é localizado pela entrada de partículas na região da SAMA. Embora o fluxo seja maior porque o campo possui menor intensidade nesta região, ele pode ser alterado pela densidade e energia das partículas, correntes ionosféricas, variação diurna ou por tempestades magnéticas. Conseqüentemente, a posição pode ser alterada dependendo do período em que foram feitas as medidas.

Além disso, a região da SAMA corresponde à baixas intensidades do campo, fazendo com que seu centro seja facilmente encontrado. A figura 2 mostra como a SAMA tem derivado em função do tempo.

Atualmente, cerca de 190 observatórios, estações de repetição terrestres e nos oceanos, além de dados de satélites contribuem para construção dos modelos. Como o campo varia com o tempo, são construídos modelos a cada 5 anos. Para o presente estudo, os modelos do DGRF (Definitive Geomagnetic Reference Field) e IGRF (International Geomagnetic Reference Field) utilizam as técnicas de derivação através da análise por harmônicos esféricos [Langel, 1987]. Estes modelos foram construídos considerando somente o campo originado no núcleo da Terra. Conseqüentemente, campos magnéticos originados de fontes crustais, ionosfera e magnetosfera, foram removidos [Macmillan & Quinn, 2000].

Os modelos do IGRF são modelos internacionalmente produzidos para mapeamento. A harmonia baseia-se numa média de diferentes modelos nacionais: IGRFs não são do ponto de vista estatístico os “melhores modelos”. Eles contêm elementos preditivos porque os dados são aproximados de cinco anos anteriores para épocas posteriores. Os modelos do DGRF são baseados sobre dados corrigidos para as épocas centrais de cada modelo.

Para os anos de 1900 a 2000, os modelos utilizados foram do DGRF. Enquanto que para o ano 2005 o modelo utilizado foi o IGRF. Os modelos para os anos de 2000 e 2005 apresentam coeficientes do campo principal truncados até o grau 13 e possuem uma precisão de 0,1nT, refletidos pela melhoria na resolução dos instrumentos, principalmente dos dados adquiridos por satélites.

Para o processamento dos coeficientes dos modelos, foi utilizado o programa Maggrid 3.0 desenvolvido e fornecido gratuitamente pelo NGDC (National Geophysical Data Center). Inicialmente desenvolvido em Fortran, o programa foi posteriormente alterado para a linguagem C.

Com base nos mapas de intensidade total, foram extraídos os dados de posicionamento e os respectivos valores do campo total, com o intuito de descrever as principais características da SAMA, como o deslocamento para o Sul, a deriva para Oeste e as variações em magnitude.

### Resultados

O gráfico da figura 2 mostra a deriva para oeste da SAMA de 1900 a 2005. Podemos separar a trajetória da Anomalia em dois períodos. O primeiro, de 1900 a 1950 apresenta uma variação em latitude de  $\sim 0,07^\circ/\text{ano}$ , enquanto que a deriva em longitude foi de  $\sim 0,17^\circ/\text{ano}$ , em média. O segundo período, de 1950 a 2000, apresentou uma variação latitudinal de  $\sim 0,01^\circ/\text{ano}$ , e a deriva para oeste foi de  $\sim 0,18^\circ/\text{ano}$ .

As mudanças de intensidade podem ser divididas em três períodos distintos para análise, como mostra a curva de intensidades da figura 3. De 1900 a 1940, a variação média de intensidade foi de  $\sim 12,67\text{nT}/\text{ano}$ . Para o período de 1940 a 1960 a variação foi de  $\sim 40,64\text{nT}/\text{ano}$ . E para o período de 1960 a 2005, a variação foi de  $\sim 30,62\text{nT}/\text{ano}$ .

### Conclusões

Nesta análise, os períodos para a trajetória e intensidade do centro da SAMA foram subdivididos, para facilitar a compreensão de determinados aspectos do campo.

A curva de trajetória da SAMA apresenta dois comportamentos distintos: de 1900 a aproximadamente 1950, temos um comportamento de deslocamento para o sul e uma deriva significativa para oeste; já para o período de 1950 a 2005, a variação em latitude é inferior a  $1^\circ$  e a deriva para oeste praticamente permaneceu constante. Para a mudança de comportamento da trajetória, podemos atribuir duas hipóteses. Uma poderia estar relacionada com a melhoria dos equipamentos de medida do campo após a 2ª Guerra Mundial. A outra hipótese seria devida aos movimentos do material do núcleo externo da Terra, que possivelmente alteraram o comportamento do campo.

As mudanças em intensidade apresentam três comportamentos distintos devidos à variação secular. As diferentes taxas de intensidade podem estar associadas aos impulsos de variação secular, conhecidos na literatura como *jerks* geomagnéticos. Estes impulsos são mudanças da aceleração variação secular, têm origem no núcleo externo da Terra e seus efeitos variam em função da localização em latitude e longitude.

Embora a SAMA apresente um comportamento próprio, deve-se atentar para o fato de que o campo magnético vem diminuindo de intensidade nos últimos anos. Tem sido especulado que esta diminuição, junto com a variação de outras características, poderiam ser um indicativo de que o campo geomagnético poderia estar passando por um processo de inversão de polaridade.

Entretanto, para saber como o comportamento da SAMA reflete as implicações do geodinamo no campo terrestre, deve-se ampliar o estudo com a análise de modelos para períodos anteriores ao apresentado, nas escalas de tempo de milhares e de milhões de anos.

\* Disponível no site:

[http://www.ngdc.noaa.gov/seg/geom\\_util/geomutil.shtml](http://www.ngdc.noaa.gov/seg/geom_util/geomutil.shtml)

### Agradecimentos

Agradecemos à CAPES e ao IAG/USP pelo suporte e apoio dado no desenvolvimento desta pesquisa.

### Referências

**Bloxham, J. and Gubbins, D.**, 1985, The secular variation of Earth's magnetic field. *Nature*, vol. 317: 777-781.

**Bloxham, J. and Jackson A.**, 1989, Simultaneous Stochastic Inversion for Geomagnetic Main Field and Secular Variation 2. 1820-1980. *Journal of Geophysical Research*, vol. 94, n. B11: 15,753-15,769.

**Bloxham, J. and Jackson A.**, 1992, Time-Dependent Mapping of the Magnetic Field at the Core-Mantle Boundary. *Journal of Geophysical Research*, vol. 97, n. B13: 19,537-19,563.

**Bloxham, J.**, 1987, Simultaneous Stochastic Inversion for Geomagnetic Main Field and Secular Variation 1. A Large-Scale Inverse Problem. *Journal of Geophysical Research*, vol. 92, n. B11: 11,597-11,608.

**Bloxham, J.; Gubbins, D. and Jackson, A.**, 1989, Geomagnetic Secular Variation. *Phil. Trans. R. Soc. London*, A 329, 415-502.

**Chapman, S. and Bartels, J.**, 1940, *Geomagnetism*, vol 2, 1049p. University Press, Oxford.

**Fraser-Smith, A. C.**, 1987, Centered and Eccentric Geomagnetic Dipoles and Their Poles, 1600-1985, *Reviews of Geophysics*, 25: 1-16.

**Heitzler, J. R.**, 2002, The Future of the South Atlantic Anomaly and implications for radiation damage in space, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 64: 1701-1708.

**Heynderickx, D.**, 1996, Comparison between methods to compensate for the secular motion of the South Atlantic Anomaly, *Radiation Measurements*, 26: 369-373.

**Langel, R. A.**, 1987, The main field. In: *Geomagnetism*, vol 1, J. A. Jacobs, ed, cap. 4, pp. 249-512, Academic Press, New York.

**Macmillan S. and Quinn J. M.**, 2000, The 2000 revision of the joint UK/US geomagnetic field models and an IGRF 2000 candidate model, *Earth Planets Space*, 52: 1149-1162.

**Pinto Jr., O.; Gonzalez, W. D.; Pinto, I. R. C. A.; Gonzalez A. L. C. and Mendes Jr. O.**, 1992, The South Atlantic Magnetic Anomaly: three decades of research, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 54: 1129-1134.

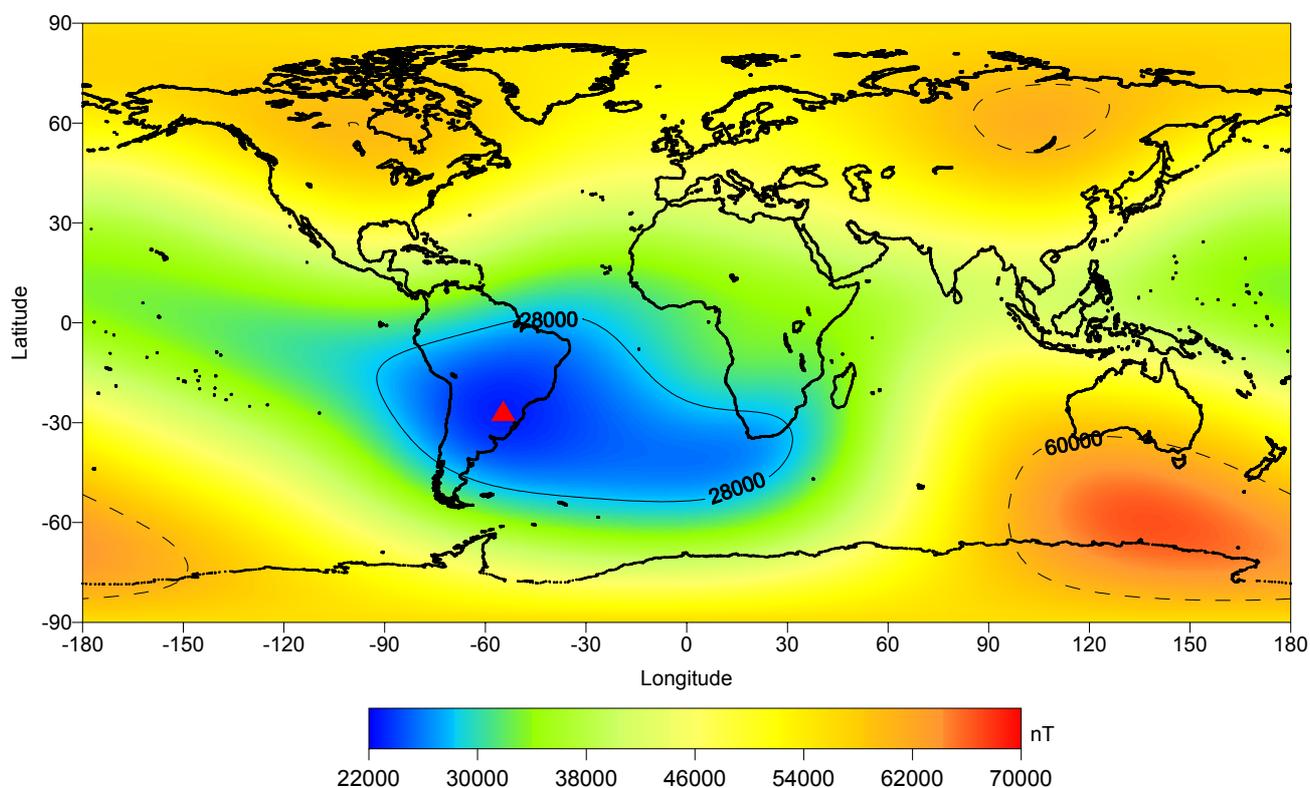


Figura 1: Campo total para o ano de 2000. A região da SAMA está definida pelo contorno de 28000nT e o triângulo em vermelho mostra a localização da Anomalia para a época. Os contornos de 60000nT mostram a região do Pólo Sul e do Alto da Sibéria, cujas intensidades são superiores às intensidades do Pólo Norte.

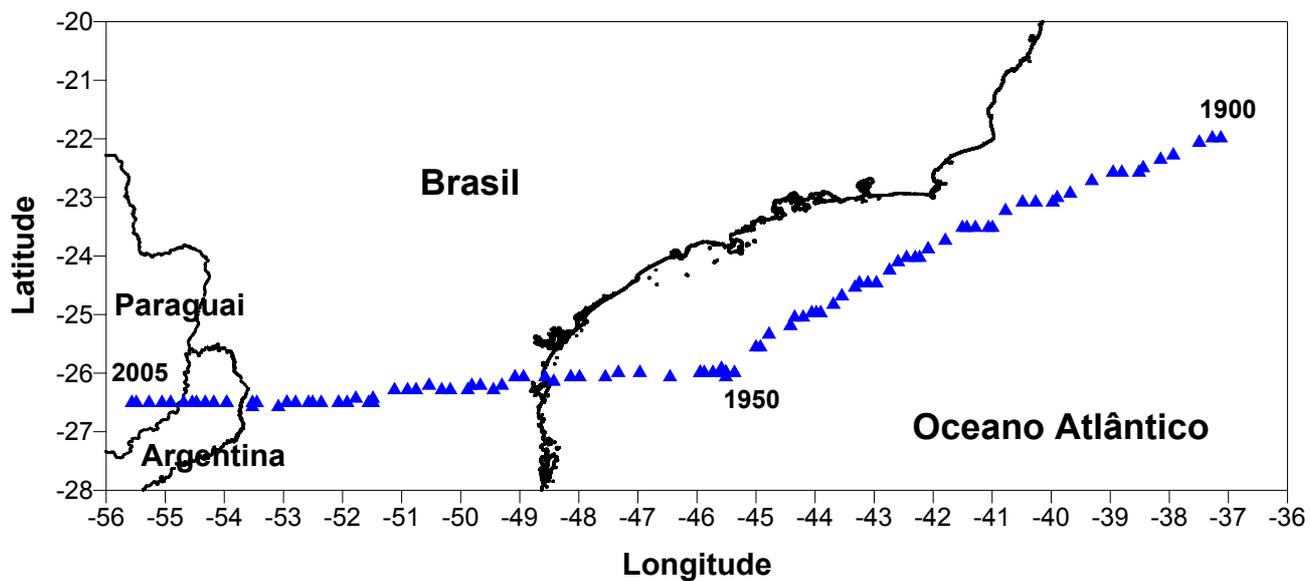


Figura 2: Deslocamento geográfico da SAMA em função do tempo. Os triângulos em azul representam a localização geográfica do centro da SAMA. A latitude e a longitude estão em graus.

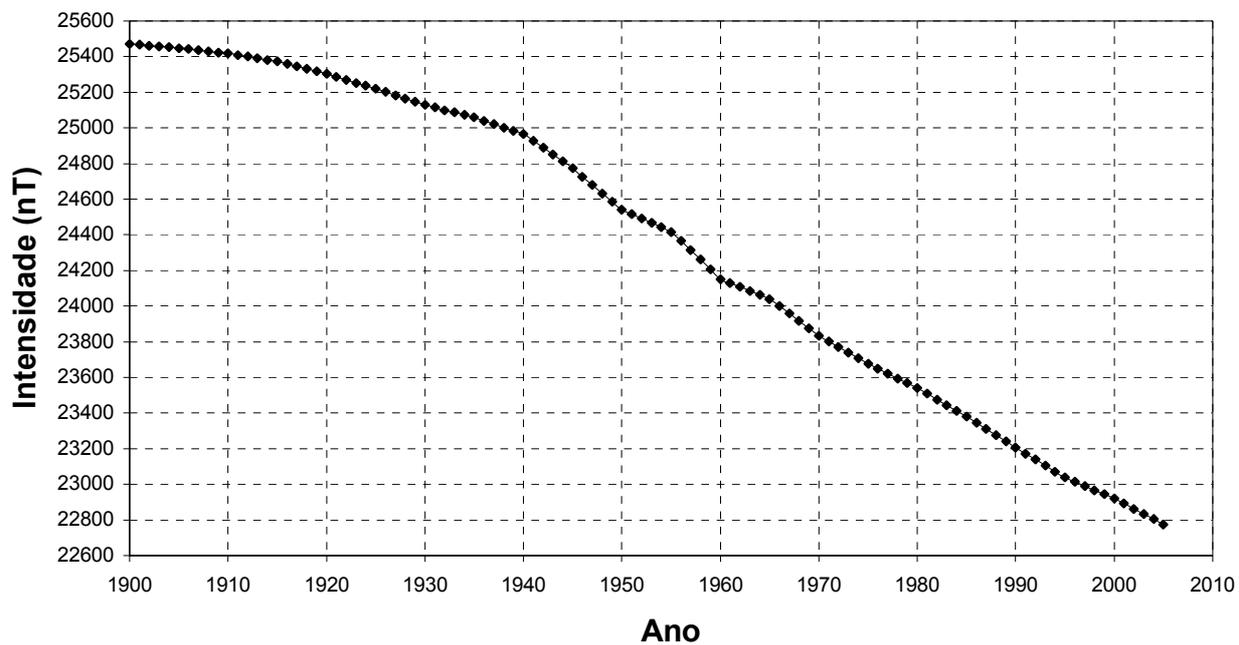


Figura 3: Intensidades do centro da SAMA em função do tempo. Os valores estão em nT.