



## SAMA: ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL

Vítor Emanuel Almeida Dos Santos,\* Joaquim Pinto Gomes,† and Rosana Alves Gonçalves‡  
*Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, IFNMG, Januária- MG, Brasil*

A radiação eletromagnética é um constante perigo para o planeta Terra. Raios e partículas radioativas são bloqueados pelo campo magnético da Terra (CMT) impedindo a interação destas com a superfície terrestre. No entanto, medidas experimentais e modelos de computação gráfica têm mostrado mudanças notáveis no CMT, as quais incluem um aprofundamento de uma anomalia na região do Oceano Atlântico Sul (SAMA, do inglês *South American Magnetic Anomaly*). Descrita como uma variação local na intensidade do CMT, a SAMA é resultante de variações na química ou no magnetismo das rochas que compõem o núcleo do planeta. Originada na África do Sul, a SAMA já cobre boa parte do território da América do Sul. Esta redução local do CMT, reduz a blindagem protetora do nosso planeta e pode afetar o funcionamento de espaçonaves e satélites que trafegam na região. Neste trabalho, apresentamos uma ampla revisão acerca da SAMA, abordando aspectos tais como sua origem, evolução, monitoramento e efeitos.

Palavras-chave: Campo Magnético; Anomalia; SAMA; Radiação.

### I. INTRODUÇÃO

O campo magnético terrestre (CMT) funciona como uma blindagem para diversos perigos oriundos do espaço, tais como radiação ultravioleta, raios cósmicos e erupções solares. Estes são processos que produzem uma grande quantidade de partículas ionizadas e partículas radioativas, as quais não chegam à superfície terrestre porque são desviadas pela magnetosfera do planeta.

Historicamente, desde a descoberta de materiais com magnetismo natural (MIRANDA, 2011), muitas hipóteses foram consideradas para justificar o comportamento desses materiais e compreender sua origem. No entanto, apenas no século XVI, o físico William Gilbert propôs a hipótese de que o planeta Terra se comportava como um ímã gigante, e que materiais magnéticos (tais como a agulha de uma bússola) se comportavam de forma que sua orientação resultava das características magnéticas inerentes à Terra.

Posteriormente, outros estudos revelaram que a origem do campo magnético é proveniente do movimento de metais pesados, tais como ferro líquido e níquel, que compõem o núcleo terrestre (HARTMANN, 2005). Ao rotacionar com velocidade superior do planeta, estes minerais produzem correntes elétricas que induzem o

surgimento do campo magnético. Esse campo magnético pode ser classificado em campo interno (gerado no núcleo externo da Terra), campo externo (magnetosfera) e campo de origem crustal (HARTMANN, 2005).

Pesquisas com materiais sedimentares revelam que amostras de rochas e minerais carregam informações sobre o campo. Esses estudos têm demonstrado que nos últimos milênios o CMT tem sido predominantemente dipolar, mas nos últimos séculos o momento de dipolo está diminuindo continuamente (BLOXHAM; GUBBINS; JACKSON, 1989). As variações de intensidade do campo podem ser justificadas por diversos fatores, tais como: a interação entre o planeta e o Sol, as atividades geomagnéticas do núcleo terrestre, a mudança dos pólos geomagnéticos em decorrência do tempo, o cinturão de radiação (*Van Allen*), pulsações geomagnéticas, dentre outros (JASKULSKI et al, 2006; BERRA, 2005).

Estudos indicam ainda que a intensidade do CMT não é uniforme em toda a superfície terrestre. Em determinadas regiões do planeta, o campo tem apresentado anomalias e alterações, fato este que tem diminuído localmente a eficiência protetiva deste campo. Dentre essas anomalias, se destaca a Anomalia do Campo Magnético do Atlântico Sul (SAMA, do inglês *South Atlantic Magnetic Anomaly*), a qual se estende sobre a região do Oceano Atlântico Sul e parte da América do Sul. A região da SAMA caracteriza-se por apresentar baixa intensidade do campo magnético o que faz com que ela atue como uma “janela” para entrada de partículas cósmicas (HEIRTZLER, 2002). Dentre os problemas

---

\* veads@aluno.ifnmg.edu.br

† joaquim.gomes@ifnmg.edu.br

‡ rosana.goncalves@ifnmg.edu.br

resultantes, as interferências e falhas nos sistemas e equipamentos eletrônicos de espaçonaves e satélites de monitoramento que trafegam nessa região, são os que causam maior preocupação e resultam em maiores prejuízos financeiros.

Este trabalho tem como foco principal realizar uma ampla revisão bibliográfica a respeito da Anomalia do Campo Magnético do Atlântico Sul, abordando aspectos tais como sua origem, evolução, monitoramento e efeitos. Apesar dos avanços e pesquisas na área, nota-se uma certa descontinuidade na literatura entre as obras que tratam do conteúdo. Além disso, as obras mais recentes têm priorizado a abordagem de pontos específicos e aspectos mais técnicos voltados para o público de graduação e pós-graduação que já possuem familiaridade com o tema. Dessa forma, pretende-se fornecer através deste trabalho um resumo consistente sobre o assunto em uma linguagem simples e acessível para curiosos e iniciantes na área.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### A. Origem do campo magnético terrestre (CMT)

O magnetismo é objeto de investigação há muitos séculos. No ano de 250 A.C os chineses já utilizavam uma agulha imantada para se orientar. Em 1600, um estudo sistemático apresentado em forma de compêndio foi publicado por William Gilbert o “*De Magnete*”. Nesse estudo, atribuiu-se ao campo magnético da Terra (CMT) uma origem no interior do planeta.

Após a publicação do *De Magnete*, ainda na primeira metade do século XVII, René Descartes propôs uma boa representação do campo magnético através de linhas que saiam do polo sul geográfico e entravam no polo norte geográfico, formando, portanto, uma esfera fechada. No século XIX, Friedrich Gauss, orientado por métodos anteriores, desenvolveu técnicas mais sofisticadas para medidas experimentais do campo, introduzindo o método de análise por meio dos harmônicos esféricos do CMT. Através da técnica implementada por Gauss, foi possível distinguir três campos de origens diferentes: campos internos, campos externos e campos crustais (MERRILL, 1998). Quando somadas, estas três componentes do CMT contribuem para a geração do campo total medido na superfície do planeta. Cada componente é distinguível pela sua origem: o campo principal ou interno é produzido no núcleo externo, os campos externos são produzidos na magnetosfera do planeta e os campos crustais são originados na crosta terrestre e/ou no manto superior a partir de materiais magnetizados e/ou induzidos. Sendo o campo interno responsável pela maior parte dessas componentes, e que corresponde a 99% de toda a intensidade do campo total medida na superfície (HARTMANN, 2005; SILVA, 2008).

### B. O CMT EM HARMÔNICOS ESFÉRICOS

O tratamento do CMT através de harmônicos esféricos desenvolvido por Gauss pode ser descrito por duas, das quatro, equações de Maxwell que caracterizam o eletromagnetismo:

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \left( \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right), \quad (1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0, \quad (2)$$

em que  $\mu_0$ ,  $\vec{J}$  e  $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ , representam a permeabilidade magnética do vácuo, a densidade de corrente elétrica e a corrente de deslocamento, respectivamente.

Uma boa aproximação para o CMT pode ser feita desprezando as correntes entre a superfície da Terra e a ionosfera, ou seja, fazendo  $\vec{J} = 0$ . Outra aproximação que simplifica consideravelmente o tratamento, é admitir que a variação temporal do campo elétrico externo à superfície do planeta seja desprezível, isto é,  $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = 0$ .

Sendo assim, com estas considerações a equação (1) pode ser reescrita como

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = 0. \quad (3)$$

Neste caso, o campo  $\vec{B}$  pode ser obtido por um potencial escalar  $V$ , através da equação

$$\vec{B} = -\vec{\nabla}V. \quad (4)$$

Das equações (3) e (4), podemos mostrar que o laplaciano de  $V$  é dado por

$$\nabla^2 V = 0. \quad (5)$$

De acordo com a equação (5), reescrevendo  $V$  em coordenadas esféricas como  $V = V(r, \theta, \phi)$ , temos que:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} = 0, \quad (6)$$

sendo, respectivamente  $\theta$ ,  $\phi$  e  $r$ , a colatitude, longitude e a distância entre o centro da Terra até um ponto  $P$  específico.

A solução da equação (6), resolvida por Chapman – Bartels, na década de 1940, apresenta o potencial escalar  $V$  como:

$$\begin{aligned}
 V = & R \sum_{n=1}^{N_{Int}} \sum_{m=0}^n [g_n^m \cos(m\phi) + h_n^m \sin(m\phi)] \left(\frac{R}{r}\right)^{n+1} P_n^m(\cos\theta) \\
 & + R \sum_{n=1}^{N_{Ext}} \sum_{m=0}^n [c_n^m \cos(m\phi) + s_n^m \sin(m\phi)] \left(\frac{R}{r}\right)^n P_n^m(\cos\theta),
 \end{aligned} \tag{7}$$

em que  $R$  é o raio da Terra,  $P_n^m(\cos(\theta))$  são os polinômios associados de Legendre. O limitador  $N_{Int}$  representa o grau e a ordem ( $g_n^m$  e  $h_n^m$ ) dos máximos para o potencial interno  $V_{Int}$ . Da mesma forma,  $N_{Ext}$  representa o grau e ordem  $V_{Ext}$ .

Note que, a solução da equação (6) apresenta componentes para o campo magnético  $\vec{B}$ :

$$X = -B_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta}, \tag{8}$$

$$Y = B_\phi = \frac{1}{r \sin(\theta)} \frac{\partial V}{\partial \phi}, \tag{9}$$

$$Z = -B_r = \frac{\partial V}{\partial r}. \tag{10}$$

Onde  $Z$  corresponde à componente vertical,  $X$  e  $Y$  correspondem às componentes norte-sul e leste-oeste e, são normalmente utilizadas para definir a componente horizontal  $H$ :

$$H = (X^2 + Y^2)^{\frac{1}{2}}. \tag{11}$$

Os ângulos de inclinação  $I$  e declinação  $D$  podem ser descritos da seguinte forma:

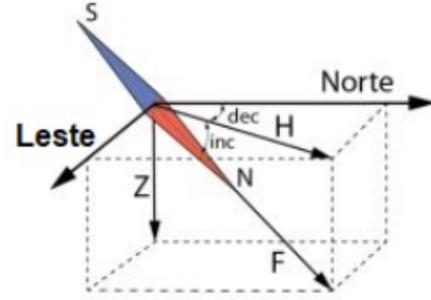
$$I = \arctan\left(\frac{Z}{H}\right) \implies \frac{-\pi}{2} \leq I \leq \frac{\pi}{2} \tag{12}$$

e

$$D = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \implies -\pi \leq D \leq \pi. \tag{13}$$

Existem os pólos geomagnéticos, que são locais nos quais o campo total ( $F$ ) é igual à componente vertical ( $Z$ ). São locais de inclinação magnética máxima, e definem os pólos norte e sul magnéticos. Já o equador magnético ocorre onde o campo é totalmente horizontal (quando  $H$  é igual a  $F$ ) e a inclinação é zero.

Figure 1. Elementos associados ao CMT



Fonte: (Adaptado de MIRANDA, 2011)

A Figura 1, apresenta esquematicamente todos elementos associados ao vetor intensidade total do campo magnético  $F$ , expresso como:

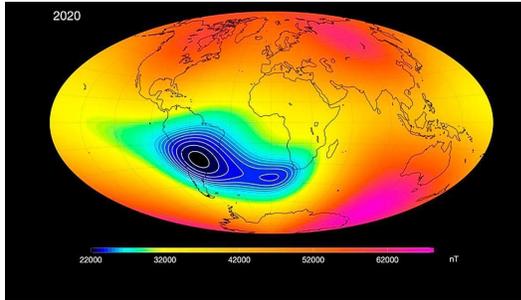
$$F = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{\frac{1}{2}}. \tag{14}$$

### C. Origem e evolução da SAMA

O CMT tem apresentado mudanças ao longo do tempo. Desde 1550, dados são coletados e registrados por navegadores. Essa compilação de dados possibilitou a criação de um apêndice de modelos a partir de 1600. A partir desses, o geofísico D. R. Barraclough, reuniu ferramentas de medição aprimoradas o que proporcionou o estabelecimento de novos observatórios e resultou na produção de modelos de campo magnético mais precisos. Atualmente, existem dois modelos principais utilizados para descrição do CMT: o *World Magnetic Model* (WMM) e o *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF). O modelo WMM faz simulações sobre o modelo atual do campo magnético e caracteriza a sua intensidade em diferentes locais do planeta enquanto o modelo IGRF compila e analisa dados através de uma modelagem matemática, com a ajuda de softwares os dados obtidos por satélites e observatórios são estudados.

Tanto os modelos do CMT e dados observacionais apontam a existência da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (SAMA). Esta anomalia é descrita como uma baixa intensidade do campo magnético na região do Atlântico Sul e parte da América do Sul. Na Figura 2, é apresentada uma simulação gráfica da intensidade do CMT realizada pela NASA no ano de 2020, é possível observar a região da SAMA destacada em tons de azul. Conforme indicado pela escala de cores, essa é a região de menor intensidade do CMT; as regiões nas quais o CMT possui maior intensidade estão coloridas de vermelho e rosa.

Figure 2. Simulação computacional gráfica do CMT no ano de 2020



Fonte: (ESA, 2020)

Estudos na área de Geofísica indicam que anomalias magnéticas tais como a SAMA sejam resultantes de variações na química ou magnetismo das rochas que compõem o núcleo do planeta. As mudanças na composição e estrutura do núcleo terrestre podem alterar a intensidade do campo, sendo as responsáveis por agravar ou atenuar anomalias magnéticas ou mesmo por sua migração para novas regiões (HARTMANN, 2005).

A análise de cartas isomagnéticas de diferentes épocas, em comparação com simulações computacionais recentes, sugerem que a SAMA tem se deslocado para o oeste a partir de seus focos centrais ao longo do tempo. Esse movimento se deve a parte não-dipolar do CMT, que apresenta grandes variações direcionais nos últimos 150 anos (HARTMANN, 2006). Bullard et. al (1950) verificaram que esse campo moveu-se para oeste  $0,18^\circ$  por ano, entre 1907 e 1945. G. Hartmann (2006), apresenta dados que corroboram esta mudança e indicam que entre 1900 e 2005 o deslocamento da SAMA foi de  $0,43^\circ$  ao ano em direção a oeste do planeta. Dados registrados por navegadores que usavam bússolas para orientação durante as Grandes Navegações indicam ainda que a SAMA existia na África do Sul já no século XVI; no entanto, seu tamanho era aproximadamente um décimo do que é hoje. Para alguns especialistas, este fato pode indicar que a anomalia se originou em outro lugar e está se movimentando através do Oceano Atlântico a uma taxa de aproximadamente 20 quilômetros por ano (TERRA-NOVA, 2017). Pesquisadores franceses e brasileiros apontam ainda que a SAMA não se desloca a uma velocidade constante e em linha reta como previsto anteriormente. Segundo o estudo de Trindade et. al (2018), a SAMA teria se deslocado há cerca de 80 anos para o sul do Oceano Atlântico (partindo do continente Africano, e, em seguida, para leste décadas depois). Após essa variação no deslocamento, o seu movimento retornou para oeste, como previsto.

Recentemente, dados de observação têm apontado ainda o surgimento de um novo centro da SAMA a sudoeste da África. Para a Agência Espacial Europeia (ESA) o surgimento deste novo foco indica que a SAMA

pode se dividir em duas células separadas (ESA, 2020). No entanto, para Terra-Nova (2017) este fato pode estar relacionado ao começo de uma nova fase da anomalia, reforçando a hipótese anterior de que a SAMA se sucede: a anomalia nasce, cresce, desaparece e ressurgue novamente em outra região (TRINDADE et. al 2018). Se esta previsão estiver correta, o foco atual da SAMA, que cobre o Brasil, irá desaparecer, restabelecendo a intensidade do CMT na região.

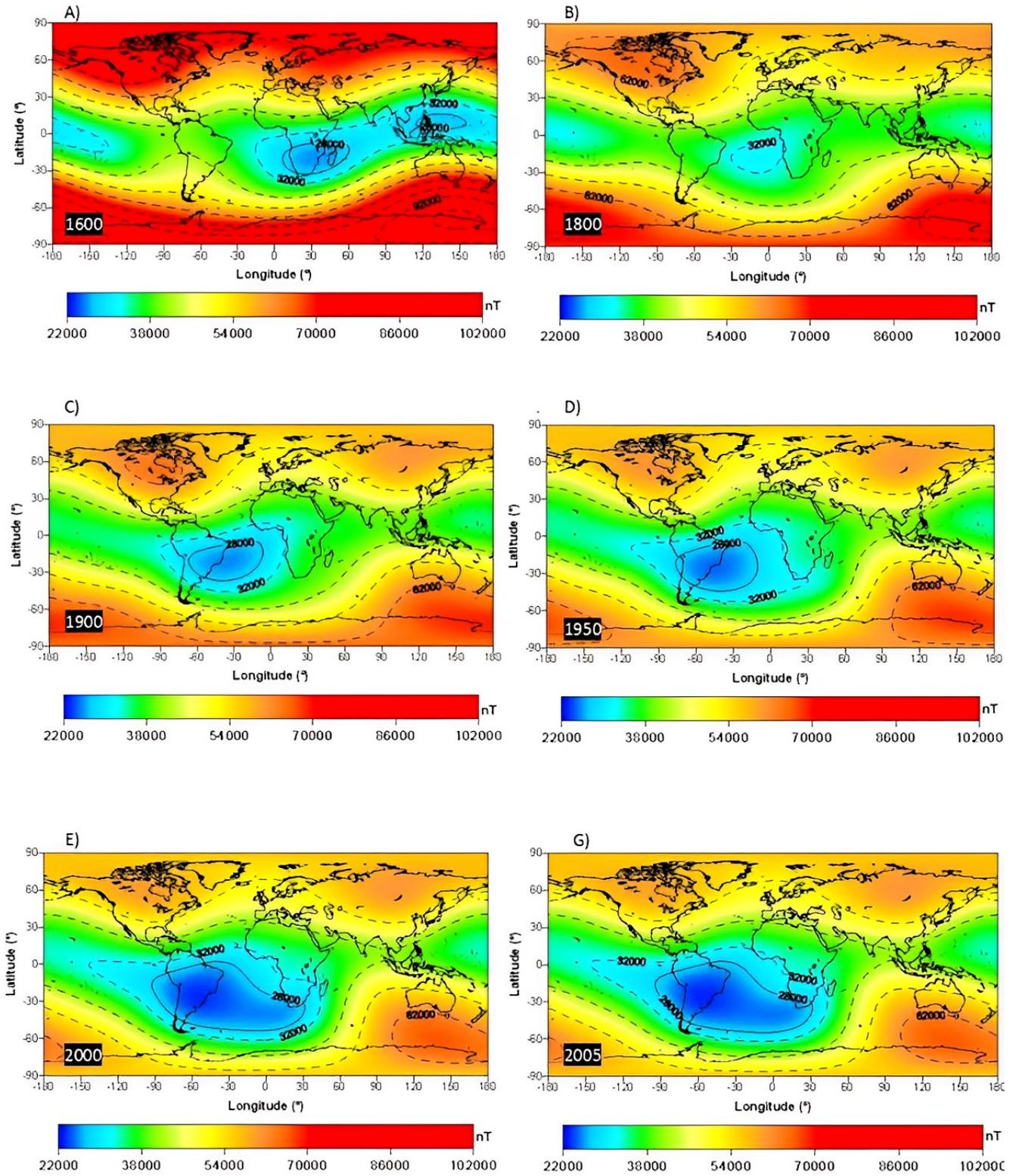
#### D. Mapeamento e monitoramento da SAMA

Ao longo do tempo, diversas estratégias têm sido elaboradas para mapeamento e monitoramento da SAMA. A primeira delas consiste na observação, medição e registro das mudanças do CMT por meio de cartas isomagnéticas. A segunda estratégia, adotada por pesquisadores nas últimas décadas, é o uso de simulação computacional para desenvolver modelos que representem o CMT no passado e permitam compreender como ele evoluiu para a configuração atual.

Agências internacionais tais como a NASA, USGS e ESA possuem atualmente programas inteiros dedicados a estudar o CMT e suas alterações. Dentre as iniciativas, destaca-se a missão Swarm da ESA que começou a operar em 2013 fazendo uso de um conjunto de satélites dotado de poderosos magnetômetros e outros instrumentos no intuito de fazer um levantamento altamente detalhado do CMT e sua evolução temporal, bem como do campo elétrico na atmosfera (ESA, 2017, 2020). Nos últimos anos, os dados coletados pela missão Swarm são compilados e usados pela Agência Nacional de Inteligência Geoespacial (NGA) dos Estados Unidos e do Centro Geográfico de Defesa do Reino Unido (DGC) para construir conjuntamente o WMM. Além disso, novas mudanças detectadas na SAMA são reportadas por essas agências anualmente em um relatório (*State of the Geomagnetic Field*) e têm se constituído como uma importante ferramenta para estudo da evolução da anomalia.

No Brasil, uma importante frente de pesquisa e monitoramento da SAMA foi instalada no Laboratório de Ionosfera e Rádio Propagação, pelo Observatório Espacial do Sul em colaboração com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A proposta envolve a instalação de riômetros na região da cidade de São Martinho da Serra, Rio Grande do Sul (RS), para monitorar a variação de absorção ionosférica e o movimento do plasma ionosférico na região da SAMA (JASKULSKI et al, 2006). Pesquisadores do INPE também têm se dedicado a testar equipamentos e sistemas que são expostos à radiação ionizante em determinadas regiões da SAMA no intuito de estabelecer medidas protetivas e minimizar os danos causados a esses equipamentos (CARMO; MANEA, 2020).

Figure 3. Mapa de intensidade total do CMT para diferentes épocas, obtidas através dos modelos IGRF



Fonte: (HARTMANN, 2005)

Nos últimos anos, pesquisadores do grupo USPMAG - IAG da Universidade de São Paulo (USP) desenvolveram uma extensa pesquisa com o intuito de criar uma linha do tempo sobre a história magnética no país e deram importantes contribuições para o estudo da SAMA. Hartmann (2005) usou dados observacionais acerca do padrão evolutivo e deslocamento anômalo da SAMA para catalogar os estágios da evolução dessa anomalia entre os anos de 1600 e 2005 (Figura 3).

Os mapas na Figura 03 mostram nitidamente a mudança na intensidade do CMT (mudança de cor das isolinhas) com o passar do tempo. Como indica a figura, a SAMA pode ser tratada como uma característica antiga e longa do CMT. Além disso, é nítido o caráter cíclico da anomalia: em 1600 (Figura 3a), a anomalia possuía um centro sob a África e outro sobre a Ásia com uma intensidade média de 28000 nT; dois séculos mais tarde (Figura 3b), a anomalia enfraquece, começa a se deslocar em direção a América do Sul e a região atingida é reduzida; a partir de 1900 (Figura 3c-e), a anomalia começa a expandir novamente, se movendo sobre a América do Sul e se torna mais intensa com um campo de intensidade média de 28000 nT em 2005, tal qual aquele observado em 1600.

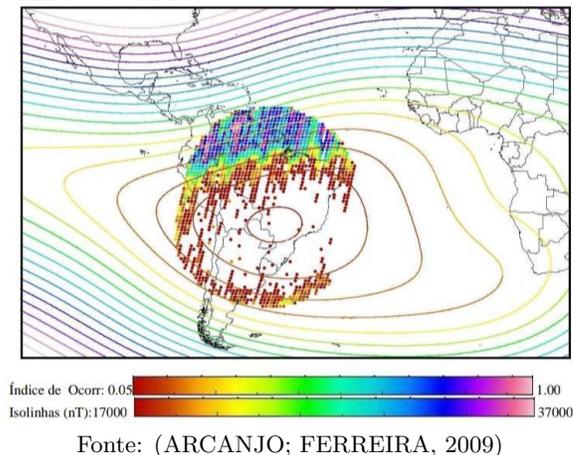
### E. Efeitos e danos causados pela SAMA

A crescente expansão da SAMA, documentada nas últimas pesquisas, causa preocupação: a redução na intensidade do CMT nessa região, reduz a blindagem contra a radiação cósmica, o que pode resultar em graves danos a sistemas eletrônicos de equipamentos nas regiões de incidência da anomalia.

As partículas cósmicas e a radiação que atravessam a magnetosfera, ao entrar em contato com equipamentos eletrônicos podem causar mau funcionamento destes, principalmente naqueles em órbita na atmosfera, tais como satélites e estações espaciais. Os problemas envolvem principalmente erros na transmissão de dados e o surgimento de correntes elétricas incomuns nos equipamentos. Ao interagir com a superfície das espaçonaves, as partículas altamente energéticas nessa região podem ainda iniciar processos oxidativos que causam a corrosão das estruturas externas (CARMO; MANEA, 2020). Além disso, também há riscos para a saúde e segurança dos tripulantes dos veículos espaciais (HARTMANN, 2005), dado o alto poder de penetração da radiação ionizante. Sendo assim, veículos espaciais precisam tomar precauções ao passar por essas regiões. Essas precauções podem variar desde o uso de uma blindagem extra aos equipamentos mais sensíveis a radiação (sensores, placas eletrônicas, computadores, etc.) a bordo das aeronaves e/ou até mudança na altitude em que eles trafegam (ARCANJO; FERREIRA, 2009).

Em um estudo recente, o INPE analisou o comporta-

Figure 4. Ocorrência de perda de dados de sensores de estrelas e isolinhas da SAMA



mento de sensores de altitude do satélite CBERS-2B na região de maior impacto da SAMA. O estudo mostrou que os dados coletados pelos sensores são fortemente influenciados pela anomalia (ARCANJO; FERREIRA, 2009).

A Figura 4, mostra que o índice de ocorrência de eventos (como a perda de dados) nos sensores do CBERS-2B se concentram nas proximidades do centro da SAMA. Arcanjo e Ferreira (2009), sugerem que uma opção para evitar essa perda de dados no futuro seria a inserção de algoritmos de detecção e correção de erros nos sistemas de operação e controle dos sensores.

Pesquisadores brasileiros descobriram outro importante efeito da SAMA. Lima, Frigo e Ranzeira (2014), detectaram uma correlação entre a SAMA e as alterações em comportamentos meteorológicos no sul do país (região que coincide com o centro da anomalia). Dados das estações meteorológicas situadas no Rio Grande do Sul, coletados entre 1932 e 2009, sugerem que o aumento do fluxo de raios cósmicos (derivados de tempestades solares) na região coincide com os picos de temperatura das estações analisadas. O que indica que a anomalia SAMA, que cobre a região, está atuando como a porta de entrada para essa radiação e as consequentes alterações no clima local; com alterações na anomalia nesse período, refletindo nos dados (LIMA; FRIGO; RAZEIRA, 2014).

## III. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contínua expansão da SAMA e o enfraquecimento da intensidade do CMT tem gerado preocupações na comunidade científica principalmente nos setores aeroespacial e meteorológico. Por possuir impactos tanto em missões espaciais quanto em atividades humanas (clima e tráfego aéreo, por exemplo), novas estratégias para estudo e monitoramento da SAMA devem ser consideradas. Tendo em vista que esta seja uma das anomalias mais

significativas do CMT e seu ápice seja predominantemente em território brasileiro, espera-se que autoridades e pesquisadores brasileiros se atentem a este problema e fortaleçam as iniciativas e os grupos de pesquisa nacionais já atuantes na área e subsidiem novos projetos com esta finalidade.

#### IV. REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023. Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.
- ARCANJO, J. S.; FERREIRA, N. C. R. Comportamento do sensor de estrelas a bordo do satélite CBERS-2B na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS). In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Anais. Rio Grande do Norte: INPE, 2009, p. 1935-1941.
- BARRACLOUGH, D. R. Spherical Harmonic Analyses of the Geomagnetic Field for Eight Epochs between 1600 and 1910. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 36, 497-513, 1974.
- BERRA, E. F. Pulsações Geomagnéticas de Períodos Longos (1.0 a 10mHz) na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Rio Grande do Sul, p. 62, 2005.
- BLOXHAM, J.; GUBBINS, D.; JACKSON, A. Geomagnetic Secular Variation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, series A, Mathematical and Physical Sciences*. London: 1989. p. 302 a 415.
- BULLARD, E. C. et al. The westward drift of the Earth's magnetic field. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, série A, Ciências Matemáticas e Físicas*. London: 1950. p. 67 a 92.
- CARMO, T. A.; MANEA, S. Efeitos da anomalia do atlântico sul (aas) em satélites de órbita baixa. In: Simpósio Internacional De Projetos Em Engenharia E Tecnologia. Anais. INPE, 2020, p.6.
- CHAPMAN, S.; BARTEL, J. Geomagnetism, vol.2: Analysis of the data, and physical theories. *Geomagnetism*, 1940.
- ESA - European Space Agency. Unravelling Earth's Magnetic Field (<http://www.esa.int>. Acessado em: 10/01/2023)
- HARTMANN, G. A. A Anomalia Magnética do Atlântico Sul: Causas e Efeitos. 2005. Dissertação (Mestrado em Geofísica) - Faculdade de Geofísica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- HEIRTZLER, J. R. The Future of the South Atlantic Anomaly and implications for radiation damage in space. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, p.8, 2002.
- IGRF - International Geomagnetic Reference Field. "Geomagnetic Field Modeling" (<http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html>. Acessado em: 10/01/2023)
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (<http://www.inpe.br>. Acessado em: 10/01/2023)
- JASKULSKI, T. et al. Estudo do plasma ionosférico da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) utilizando Riômetros. p. 54. 2006.
- LIMA, P. C. M.; FRIGO, E.; RAZEIRA, M. Possível influência de raios cósmicos galácticos sobre a variação de temperatura na latitude de 30°S no estado do Rio Grande do Sul no último século. In: VI Simpósio Brasileiro de Geofísica. Anais. SBGf Porto Alegre, 2014, p.5.
- MIRANDA, J. M. "Introdução ao geomagnetismo", Universidade de Lisboa. Lisboa, 2011.
- NASA - National Aeronautics and Space Administration. "MISR Shows South Atlantic Anomaly", (<http://www.nasa.gov/>. Acessado em: 10/01/2023)
- SILVA, G. P. "Construção de um Atlas Geomagnético para o Estado de Pernambuco e suas Contribuições às Pesquisas e Estudos Ambientais". *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 15, n. 1, p. 16-32, 2009.
- TERRA-NOVA, F. et al. Relating the South Atlantic anomaly and geomagnetic flux patches. *Phys Earth Planet Inter*. p. 26, 2017.
- TRINDADE, R. I. F. et al. Speleothem record of geomagnetic South Atlantic Anomaly recurrence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, p. 6, 2018.
- WMM - World Model Magnetic, "World Magnetic Model News" (<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/index.html>. Acessado em: 10/01/2023)