

Caracterização de nuvens magnéticas nos ciclos 23 e 24

Livia Geovana da Silva,¹ Marcos W. S. Oliveira,² Rosemeire A. Rosa Oliveira
Grupo de Pesquisa em Matemática Científica e Computacional, Instituto Federal de São Paulo IFSP-SJC

Essa pesquisa em desenvolvimento caracteriza nuvens magnéticas (MCs), a partir de dados do satélite *Advance Composition Explorer* (ACE) de 1999 a 2020. O período de estudo compreende os ciclos solares 23 e 24, com máxima atividade solar em 2000 e 2014, e mínima em 2009. Com isso, objetiva-se neste trabalho analisar a relação entre as ocorrências desses eventos e os ciclos solares.

As Ejeções de Massa Coronal Interplanetária (ICMEs) são grandes quantidades de plasma solar resfriado pela expansão sofrida da baixa coroa para o meio interplanetário [6]. A interação das ICMEs com o sistema magnetosférico da Terra pode desencadear processos de reconexão magnética, causando tempestades geomagnéticas. Esses eventos apresentam MCs quando verifica-se baixa velocidade térmica dos íons, maior intensidade de campo magnético, rotação suave do vetor campo e valores de beta de plasma menores que o ambiente [1].

A caracterização de MC, importante para prever reconexão magnética, é realizada neste trabalho com o auxílio do *software* AMCDA - *Automatic Magnetic Cloud Data Analization* [7], baseado no modelo livre de força [2] e no método de mínima variância (MVA) [6]. Ou seja, considera-se que a MC assume uma forma cilíndrica ou helicoidal das linhas de campo formando o chamado tubo de fluxo e simula-se o ajuste do campo magnético interplanetário (IMF) a esse modelo.

Especificamente, aplicando MVA aos dados de IMF medidos pelo satélite, analisa-se a orientação do eixo do tubo de fluxo associado à MC a partir de seus ângulos latitudinal (θ) e longitudinal (ϕ) classificando-o em dois grupos: bipolares e unipolares. Os unipolares representam MCs que não mudam de polaridade durante sua passagem pelo satélite, enquanto nas bipolares ocorre essa mudança. Segundo [3], os tubos de fluxo unipolares ao norte são identificados por ENW e WNE, enquanto unipolares ao sul são ESW e WSE. De modo similar os bipolares orientados de sul para norte são identificados por SWN e SEN, enquanto os de norte para sul são NWS e NES. Em [4], tipos bipolares são agrupados em SN ou NS e os unipolares são identificados apenas por N e S.

Por outro lado, o *software* AMCDA apresenta quatro telas de visualização. A tela inicial contém oito gráficos obtidos diretamente dos dados do satélite sem pré-processamento. Outra tela resulta do processamento do MVA sobre os componentes do campo magnético, bem como do modelo livre de força e suas rotações, considerando as correções do MVA. Na sequência, observa-se as coordenadas do campo magnético do evento comparado às duas rotações do modelo. No programa também visualiza-se uma tabela de resultados quantitativos e qualitativos do processamento.

Cada um dos 330 eventos do catálogo online baseado em [5] foi caracterizado individualmente. A frequência absoluta dos tipos obtidos foi compilada na Figura 1, na qual verifica-se que os tipos S (tons azuis) são predominantes dentre os tipos unipolares; enquanto NS (tons vermelhos) são predominantes dentre os tipos bipolares. Ainda na Figura 1, observa-se uma maior ocorrência de eventos nos intervalos de 1999-2003 e 2011-2015, correspondendo aos intervalos de máxima atividade solar nestes ciclos.

Além disso, identificou-se maior ocorrência de MC bipolares SN (tons roxos) e menor de NS próximo ao máximo solar, enquanto as unipolares são menos frequentes em 2009. Também, ocorreram apenas NS nos anos que precederam o mínimo solar (2006-2009).

¹livia.geovana@aluno.ifsp.edu.br

²oliveiramw@ifsp.edu.br

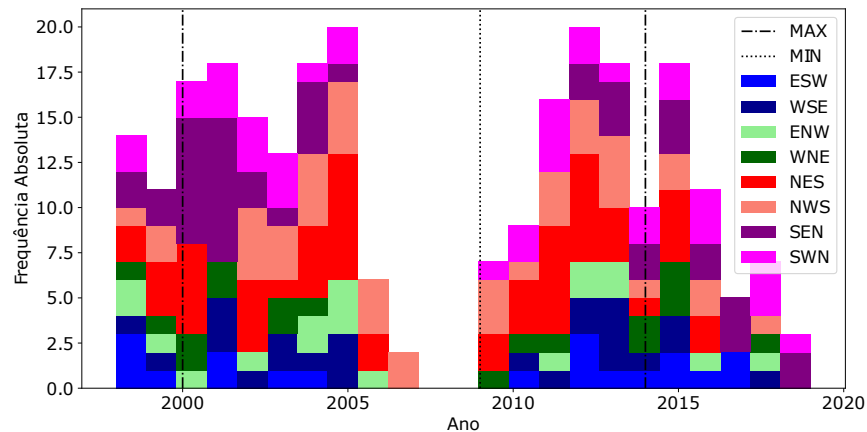


Figura 1: Frequência absoluta de tipos de nuvens magnéticas ocorridos entre 1999 e 2020.

Desse modo, conclui-se que a polaridade dos eventos está relacionada ao ciclo solar. Outrossim, os resultados da inspeção estão coerentes com a pesquisa apresentada por [4], ainda que neste caso tenham sido utilizados outros satélites e referências para caracterização de nuvens magnéticas.

Agradecimentos

L.G.S. agradece apoio institucional do IFSP-SJC via programas PIVICT-2021 e PIBIFSP-2022.

Referências

- [1] L. Burlaga et al. “Magnetic loop behind an interplanetary shock - Voyager, Helios, and IMP 8 observations”. Em: **J. Geophys. Res.** 86 (ago. de 1981), pp. 6673–6684. DOI: 10.1029/JA086iA08p06673.
- [2] C. J. Farrugia, V. A. Osherovich e L. F. Burlaga. “Magnetic flux rope versus the spheromak as models for interplanetary magnetic clouds”. Em: **J. Geophys. Res.** 100 (jul. de 1995), pp. 12293–12306. DOI: 10.1029/95JA00272.
- [3] K. E. J. Huttunen et al. “Properties and geoeffectiveness of magnetic clouds in the rising, maximum and early declining phases of solar cycle 23”. Em: **Ann. Geophys.** 23 (fev. de 2005), pp. 625–641. DOI: 10.5194/angeo-23-625-2005.
- [4] Y. Li, J. G. Luhmann e B. J. Lynch. “Magnetic Clouds: Solar Cycle Dependence, Sources, and Geomagnetic Impacts”. Em: **Sol. Phys.** 293, 135 (out. de 2018), p. 135. DOI: 10.1007/s11207-018-1356-8.
- [5] I. G. Richardson e H. V. Cane. “Near-Earth Interplanetary Coronal Mass Ejections During Solar Cycle 23 (1996 - 2009): Catalog and Summary of Properties”. Em: **Sol. Phys.** 264 (jun. de 2010), pp. 189–237. DOI: 10.1007/s11207-010-9568-6.
- [6] R. A. Rosa Oliveira. “Caracterização geométrica de nuvens magnéticas interplanetárias por meio de experimentos computacionais”. Tese de doutorado. IP&D/UNIVAP, São José dos Campos, 2021.
- [7] R. A. Rosa Oliveira et al. “Resolving the Ambiguity of a Magnetic Cloud’s Orientation Caused by Minimum Variance Analysis Comparing it with a Force-Free Model.” Em: **Sol. Phys.** 296 (2021), p. 182. DOI: 10.1007/s11207-021-01921-2.