

11º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2020

DO SOL À TERRA: ESTUDO DOS PRINCIPAIS EFEITOS DO EVENTO DE ST. PATRICK NO CLIMA ESPACIAL

Luís Eduardo¹, Tardelli Stekel

1 Graduando em Tecnologia de Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Jacareí, luis.eduardo@ifsp.edu.br.

2 Doutor em Geofísica Espacial, Professor EBTT, IFSP, Campus Jacareí, stekel@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.07.02.09-1 Geofísica Espacial

RESUMO: No dia 17 março de 2015, foi registrada a supertempestade do dia de *St. Patrick*, com índice $Dst = -223$ nT. Supertempestades magnéticas tendem a gerar diversas perturbações na magnetosfera terrestre, devido a longa e intensa energização da cavidade magnetosférica. Neste trabalho, o evento de *St. Patrick* será analisado desde sua origem na superfície solar, com as observações da atmosfera do Sol, onde a ejeção coronal de massa (CME) é identificada. Na sequência, a propagação e a expansão da estrutura no meio interplanetário serão analisadas através de dados pelos satélites STEREO, ACE, SDO e SOHO. Posteriormente, um estudo dos seus efeitos na ionosfera será apresentado de forma a quantificar a intensidade de interação com o ambiente magnetosférico terrestre.

PALAVRAS-CHAVE: supertempestades magnéticas; flare solar; meio interplanetário.

FROM SUN TO EARTH: STUDY OF MAIN EFFECTS OF THE ST. PATRICK EVENT IN SPACE WEATHER

ABSTRACT: On March 17, 2015, the St. Patrick's Day superstorm was recorded, with index $Dst = -223$ nT. Magnetic superstorms tend to generate several disturbances in the Earth magnetosphere, due to the long and intense energization of the magnetospheric cavity. In this work, the St. Patrick event will be analyzed from its origin on the solar surface, with observations of the Sun's atmosphere, where the coronal mass ejection (CME) is identified. Then, the propagation and expansion of the structure in the interplanetary medium will be analyzed through the dataset from the STEREO, ACE, SDO and SOHO satellites. Subsequently, a study of its effects on the ionosphere will be presented in order to quantify the intensity of interaction with the Earth's magnetospheric environment.

KEYWORDS: magnetic superstorms; solar flare; interplanetary medium.

INTRODUÇÃO

Durante décadas acreditou-se que os flares eram os principais responsáveis pela ocorrência das tempestades magnéticas. Com o advento dos novos coronógrafos, mostrou-se que as CMEs estão geralmente associadas à ocorrência de flares solares (KAHLER, 1992), embora existam casos em que não há a ocorrência simultânea de ambos. No entanto, quando ambos o flare e a CME são produzidos em conjunto, o que se observa é que eles compartilham, em suas origens, dos mesmos processos energéticos tanto para acelerar a CME como para liberar a energia do flare (ZHANG, 2004).

O efeito de estruturas magnéticas na ionosfera terrestre tem sido estudado intensivamente para fins científicos, tecnológicos e econômicos, devido a sua capacidade de afetar os processos de telecomunicações e navegações (ASTAFYEVA, 2014).

Este trabalho tem como principal objetivo fazer um estudo do evento de tempestade magnética de *St. Patrick*, ocorrido em 17 de março de 2015, com base nas análises realizadas por Wu et al. (2016). A partir deste estudo, seria possível identificar a região no disco solar onde ocorreu o flare, a estrutura solar que deu origem ao evento, a trajetória e velocidade de propagação no espaço interplanetário.

MATERIAL E MÉTODOS

Para uma melhor observação do evento ocorrido no dia 17 de março, foram desenvolvidos algoritmos para pré processamento e pós processamento de dados com auxílio de framework.

Para isso, foram utilizadas a linguagem Python e o Framework, de código aberto, Sunpy, aproveitando-se dos diversos exemplos disponibilizados na documentação para construção de rotinas que coletam dados de séries temporais, constroem gráficos para os mesmos, adquirem imagens de satélites nos mais diversos comprimentos de ondas entre outras funções.

Dentre as rotinas desenvolvidas ao longo deste trabalho, uma delas identificou a região de surgimento das estruturas de flare solar e CME na superfície solar, conforme mostrado na Figura 1, onde o painel à esquerda é uma imagem do instrumento AIA na frequência de 193 Angstrom, a bordo do SDO, e à direita é uma imagem do instrumento HMI, a bordo do SDO. A CME guiou uma onda de choque no meio interplanetário que se propagou até atingir a Terra e causar a tempestade magnética de *St. Patrick's*. A Figura 2 trata-se de um zoom na região 12297, onde surgiu-se as estruturas magnéticas que deram origem a onda de choque.

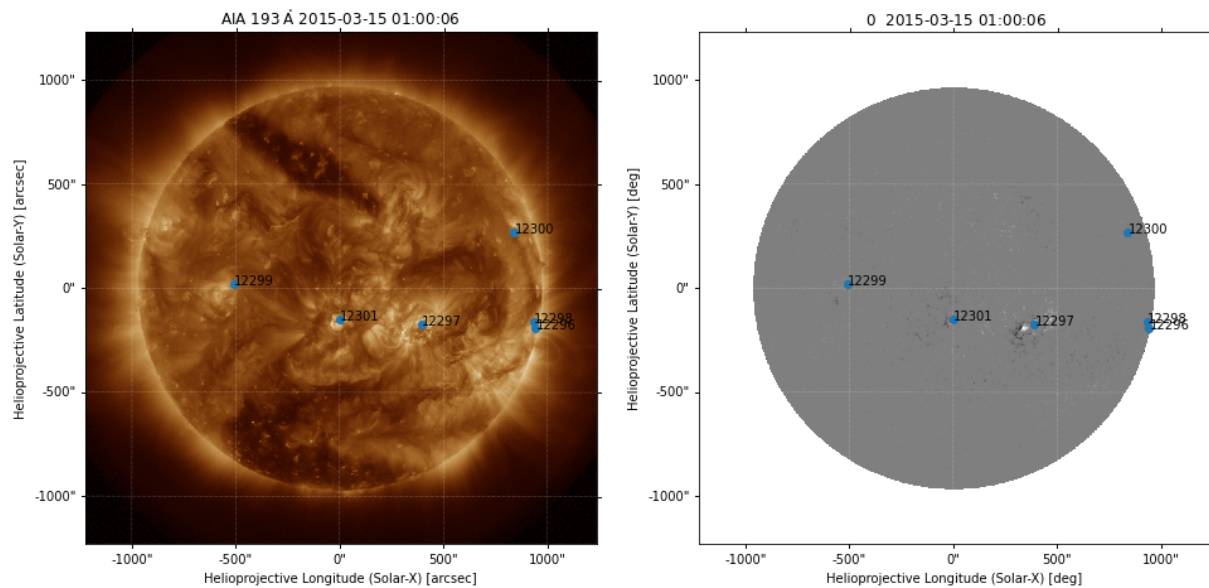


FIGURA 1. Mapa do disco solar no dia 15 de março de 2015 às 01h00 UT.

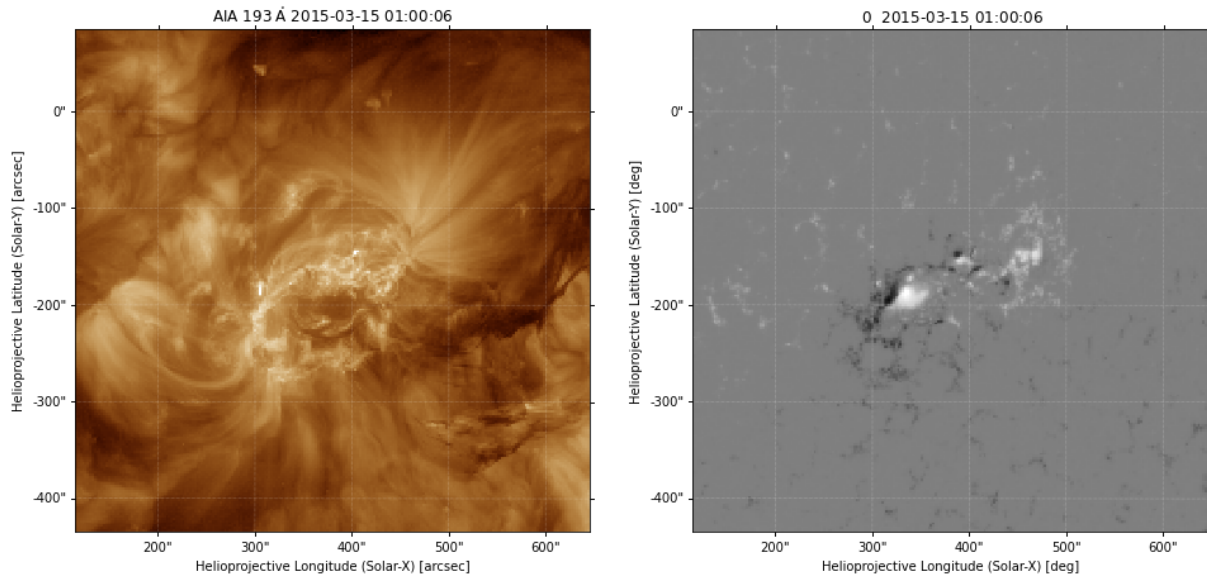


FIGURA 2. Mapa identificando a região ativa de onde surgiram as estruturas magnéticas que dirigiram o choque interplanetário causador da primeira parte da tempestade, no dia 15 de março de 2015 às 01h00 UT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Até o presente momento as rotinas desenvolvidas foram utilizadas principalmente para compreensão e assimilação do bolsista sobre os Frameworks e bibliotecas que disponibilizam e facilitam o acesso aos dados obtidos por satélites, porém possibilitando o adiantamento da aquisição de imagens e informações que serão utilizadas em etapas futuras deste projeto.

Essa tempestade geomagnética teve como precursores um flare solar classe C9.1 acompanhado uma CME, que deu origem a uma onda de choque interplanetária além de explosões de rádio de classes 2 e 4. As estruturas magnéticas citadas acima se originaram na região ativa 12297.

A tempestade pode ser dividida em dois passos, sendo que a primeira parte teve início às ~ 04h30 UT com a mudança de direção do campo magnético interplanetário (IMF), voltando-se ao sul, e atingindo o limite de -73 nT pelo índice Dst (do inglês, Disturbance Storm Time) às ~10h00 UT. Tais variações no campo magnético estão associadas à passagem da bainha magnética, região turbulenta de intensos e comprimidos campos magnéticos, localizada entre o choque IP (à frente da estrutura) e a CME guiando o choque.

Aos poucos, o IMF volta-se ao norte diminuindo a intensidade da tempestade até -44 nT pelo índice Dst às ~13h00 UT, contudo o IMF voltou-se ao sul novamente possibilitando a passagem da nuvem magnética (MC) pela Terra. Com isso, dá-se início a segunda parte da super tempestade geomagnética, que aumentou gradativamente sua intensidade até atingir o menor valor igual a -223 nT, às ~23h00UT. Apesar da fase mais intensa da tempestade geomagnética ter durado algumas horas, seus efeitos no campo geomagnético durou em torno de duas semanas. Figura 3 mostra a variação do índice Dst ao longo do mês de março de 2015.

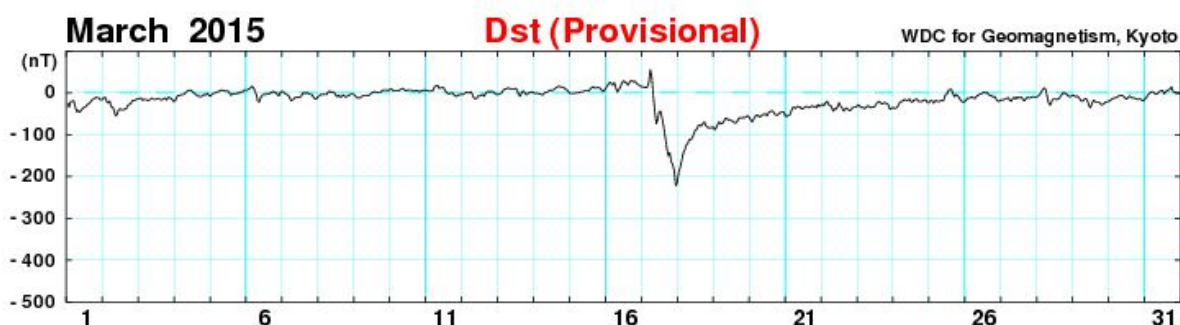


FIGURA 3. Índice Dst do mês de março de 2015.
 FONTE: WDC Kyoto.

Além do que foi obtido até o momento para análises do comportamento das estruturas e suas interações com a ionosfera e a magnetosfera terrestre, está sendo trabalhado o desenvolvimento de uma rede neural para classificação de flares solares. Tendo como bases os trabalhos de (YANG, 2019) e (RAFAL, 2020).

CONCLUSÕES

A partir do entendimento da dinâmica dos eventos solares, pela leitura das bibliografia, e da visualização de vídeos, imagens disponíveis pode-se compreender o comportamento das interações e os efeitos do evento de St. Patrick. Dentre eles a formação e a evolução tanto das estruturas que dirigiram a tempestade quando do próprio evento na cavidade magnético-terrestre. Como uma próxima etapa do trabalho será feita uma rede neural para predição de flares solares.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a NGDC (National Geophysical Data Center), ASC (ACE Science Center), JSOC (Joint Science Operations Center) e a plataforma VSO (Virtual Solar Observatory) pelo uso dos dados das missões GOES, ACE, SDO e dados do DRMS (Data Record Management System), STEREO e SOHO, respectivamente. Também agradecem à Universidade de Kyoto por disponibilizar o índice Distúrbio Storm-Time (DST), ao SWPC (Space Weather Prediction Center) pelas listas de regiões ativas, flares solares e outros dados utilizados e ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) pelos dados e informações disponibilizados pelo EMBRACE.

REFERÊNCIAS

- ASTAFYEVA, E., YASYUKEVICH, Y.; MAKSIKOV, A.; ZHIVETIEV, I. **Geomagnetic storms, super-storms, and their impacts on GPS-based navigation systems**, Space Weather, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/263895192_Geomagnetic_storms_super-storms_and_their_impacts_on_GPS-based_navigation_systems> Acesso em: 16 jun. 2020.
- KAHLER, S. W. **Solar flares and coronal mass ejections**. Annu. Rev. Astron. Astrophys., 1992. Disponível em: <http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1992ARA%26A..30..113K&defaultprint=YES&filetype=pdf> Acesso em: Acesso em: 16 jun. 2020.
- RAFAL, A. et al. **Multivariate time series dataset for space weather data analytics**, Georgia State University. 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/342840471_Multivariate_time_series_dataset_for_space_weather_data_analytics> Acesso em: 21 ago. 2020.
- WU, C.-C.; LIOU, K.; LEPPING, R.; HUTTING, L.; PLUNKETT, S.; HOWARD, R.; SOCKER, D. **The first super geomagnetic storm of solar cycle 24: “The St. Patrick’s day event (17 March 2015)”**. Earth, Planets and Space. 2016. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/307611232_The_first_super_geomagnetic_storm_of_solar_cycle_24_The_St_Patrick's_day_event_17_March_2015> Acesso em: 28 fev. 2020.

YANG, C. et al. **Identifying Solar Flare Precursors Using Time Series of SDO/HMI Images and SHARP Parameters**. University of Michigan, Ann Arbor. 2019. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2019SW002214>> Acesso em: 10 maio. 2020.

ZHANG, J.; DERE, K. P.; HOWARD, R. A.; VOURLIDAS, A. **A study of the kinematic evolution of coronal mass ejections**. *Astrophys. J.* 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/230960418_A_Study_of_the_Kinematic_Evolution_of_Coronal_Mass_Ejections> Acesso em: 15 jun. 2020.