



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**EXTENSÃO LONGITUDINAL DAS ONDAS DE CHOQUE  
INTERPLANETÁRIAS ATRAVÉS DA OBSERVAÇÃO DE MÚLTIPLOS  
SATÉLITES NA HELIOSFERA INTERNA**

Felipe Gomes Lutzolff

Relatório de Iniciação Científica do  
Programa PIBIC, orientada pelo Dr  
Alisson Dal Lago e pela Dra Aline  
de Lucas

IFSP  
JACAREÍ - SP  
2021



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**EXTENSÃO LONGITUDINAL DAS ONDAS DE CHOQUE  
INTERPLANETÁRIAS ATRAVÉS DA OBSERVAÇÃO DE MÚLTIPLOS  
SATÉLITES NA HELIOSFERA INTERNA**

Felipe Gomes Lutzolff

Relatório de Iniciação Científica do  
Programa PIBIC, orientada pelo Dr  
Alisson Dal Lago e pela Dra Aline  
de Lucas

IFSP  
Jacareí - SP  
2021

## RESUMO

Choques interplanetários são estruturas de larga escala que se propagam como resultado da passagem de estruturas magnéticas oriundas da superfície solar, que viajam com velocidades superiores a velocidade do meio. Dentre as principais estruturas de origem solar estão as ICMEs que foram as únicas geradoras de choques consideradas neste projeto. Com órbitas a 1 AU, ou seja, na mesma órbita da Terra, as STEREOs A e B se distanciaram em longitude, provendo uma oportunidade única de observar o mesmo choque a distâncias angulares distintas, mas com mesma distância radial. O objetivo deste estudo foi estudar qual é o alcance máximo obtido por um choque na heliosfera interna, região delimitada pela órbita da Terra. Como pontos de observação, foram utilizados três pontos de observação: um na STEREO A, outro na STEREO B e outro nos satélites ACE ou WIND. A partir de suas observações seria possível associar quando o choque foi observado em mais de um ponto no espaço e, conseqüentemente, qual é extensão angular mínima da estrutura de choque.

## SUMÁRIO

	<b><u>Pág.</u></b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	4
1.1. Objetivo geral	4
1.2. Objetivos específicos	4
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	5
<b>3. RESULTADOS OBTIDOS</b>	8
<b>4. CONCLUSÃO</b>	11
<b>5. REFERÊNCIAS</b>	12

## 1. INTRODUÇÃO

Durante as fases ascendente, descendente e de máximo da atividade solar, Ejeções Coronais de Massa Interplanetárias (ICMEs) dominam os eventos solares que ocorrem na superfície do Sol. As ICMEs são caracterizadas por carregarem enormes quantidades de massa solar na direção radial, além da geração de ondas de choque no meio interplanetário, pois estão associadas a velocidades que variam desde 200 até mais de 2.000 km/s (SCHWENN, 2006). Quando as ICMEs guiando choques são direcionadas para a Terra, podem interagir com o campo geomagnético causando diversos fenômenos observados na Terra, modificando as populações de partículas nas diferentes regiões da magnetosfera, podendo danificar os satélites em órbita, além da intensificação das correntes magnetosféricas, que podem causar danos econômicos severos às redes elétricas, além de afetar as informações de geoposicionamento (DAGLIS, 2004). Em 2006, dois satélites foram enviados ao espaço a fim de acompanhar a origem das ICMEs, além de promover uma visão única e revolucionária do sistema Sol-Terra. Tais satélites ficaram conhecidos como missão STEREO (Solar Terrestrial Relation Observatory) (KAISER et al., 2008). E além de ajudar a entender sobre as ICMEs, o STEREO traz alertas precisos sobre as Ejeções Solares direcionadas à Terra.

**1.1. OBJETIVO GERAL:** estudar a extensão longitudinal dos choques dentro da órbita da Terra com a observação de três satélites, entre os anos de 2007 e 2019.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Selecionar as listas de todos os eventos que serão utilizadas neste estudo;
- Criar algoritmos utilizando a linguagem de programação Python para leitura das listas e dos dados medidos pelos satélites utilizados;
- Construir os gráficos temporais dos eventos, incluindo todos os parâmetros de interesse;
- Identificar os eventos observados por mais de um satélite na heliosfera;
- Identificar a região de onde a CME que guiou o choque no meio interplanetário se originou;

- Calcular a distância longitudinal entre os satélites nos eventos selecionados;
- Caracterizar a amostra de eventos encontrada dando a sua distribuição em relação à distância angular máxima obtida;
- Calcular o erro na estimativa.

A partir da análise e comparação entre as observações dos satélites STEREO e ACE/WIND para um mesmo evento de choque durante o período de interesse, será possível identificar as diferenças entre as variações nos parâmetros medidos pelos instrumentos nos satélites, bem como estimar a extensão angular das estruturas de choque no meio interplanetário. Com os resultados obtidos, será possível complementar os resultados previamente encontrado por De Lucas et al. (2011).

Neste projeto, a tecnologia mais utilizada foi a linguagem Python que ajudou na obtenção, no tratamento e na análise dos dados devido a sua imensa biblioteca com diversas funções. Outra parte importante para a realização deste trabalho foi o site <https://cdaweb.gsfc.nasa.gov>, onde tinham todos os dados de cada satélite.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os choques interplanetários foram selecionados no período da missão STEREO, de 2007 a 2019. A lista dos choques observados pelas STEREOs estava disponível em [https://stereo-ssc.nascom.nasa.gov/data/ins\\_data/impact/level3/STEREO\\_Level3\\_Shock.pdf](https://stereo-ssc.nascom.nasa.gov/data/ins_data/impact/level3/STEREO_Level3_Shock.pdf) e foi complementada com as observações no ponto Lagrangeano L1, em frente à Terra, através das missões ACE e WIND. Através das datas em que os choques ocorreram, foi possível associar as observações identificadas em mais de um ponto no espaço atribuídas ao mesmo evento.

A partir da leitura da lista de choques da STEREO A, que é a mais longa de todas, foram construídos os gráficos com os dados de plasma e campo magnético de cada choque dentro de um período de 3 dias antes e 3 dias depois do choque. A lista da STEREO A está disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1EFfsYJOUcaC0IxLvS1QWAKkLPWVXxWtb/view?usp=sharing>.

Após diversos estudos sobre Machine Learning e Data Science, disponibilizados na internet, e análise de diversas bibliotecas dentro da linguagem Python, optou-se por utilizar a biblioteca Pandas que permite importar dados de vários tipos de arquivo como arquivos de texto, Microsoft Excel, SQL, JSON etc., e permite fazer diversas manipulações com os dados como filtrar os dados que estão com problemas ou que dificultam a análise de dados nos gráficos.

Com a escolha da biblioteca, foi estudado qual seria a maneira de ler e importar os dados do site da CDAWeb, e após muito estudo sobre bibliotecas e ferramentas de importação de dados, a melhor opção foi por meio do código da origem da página, e retirar o link que dava acesso ao arquivo que continha os dados analisados. Então as datas são retiradas da lista fornecidas, e o ano, mês e dia são armazenados separadamente em um vetor e essas variáveis são utilizadas dentro do link para a CDAWeb para acessar os arquivos baseados nas datas fornecidas.

Os arquivos retirados da página são lidos e transformados em um DataFrame Pandas, onde são tratados e são separados o ano, mês, dia, hora e minuto de cada dado e são armazenados em um array para que possa se calcular o tempo que auxilia na geração de gráficos. Após esse cálculo de tempo os dados que interessam na identificação dos choques interplanetários, são lidos e armazenados em um array.

A partir disso, com os dados tratados e armazenados, os gráficos são gerados e a Figuras 1 e 2 mostram o que foi gerado.



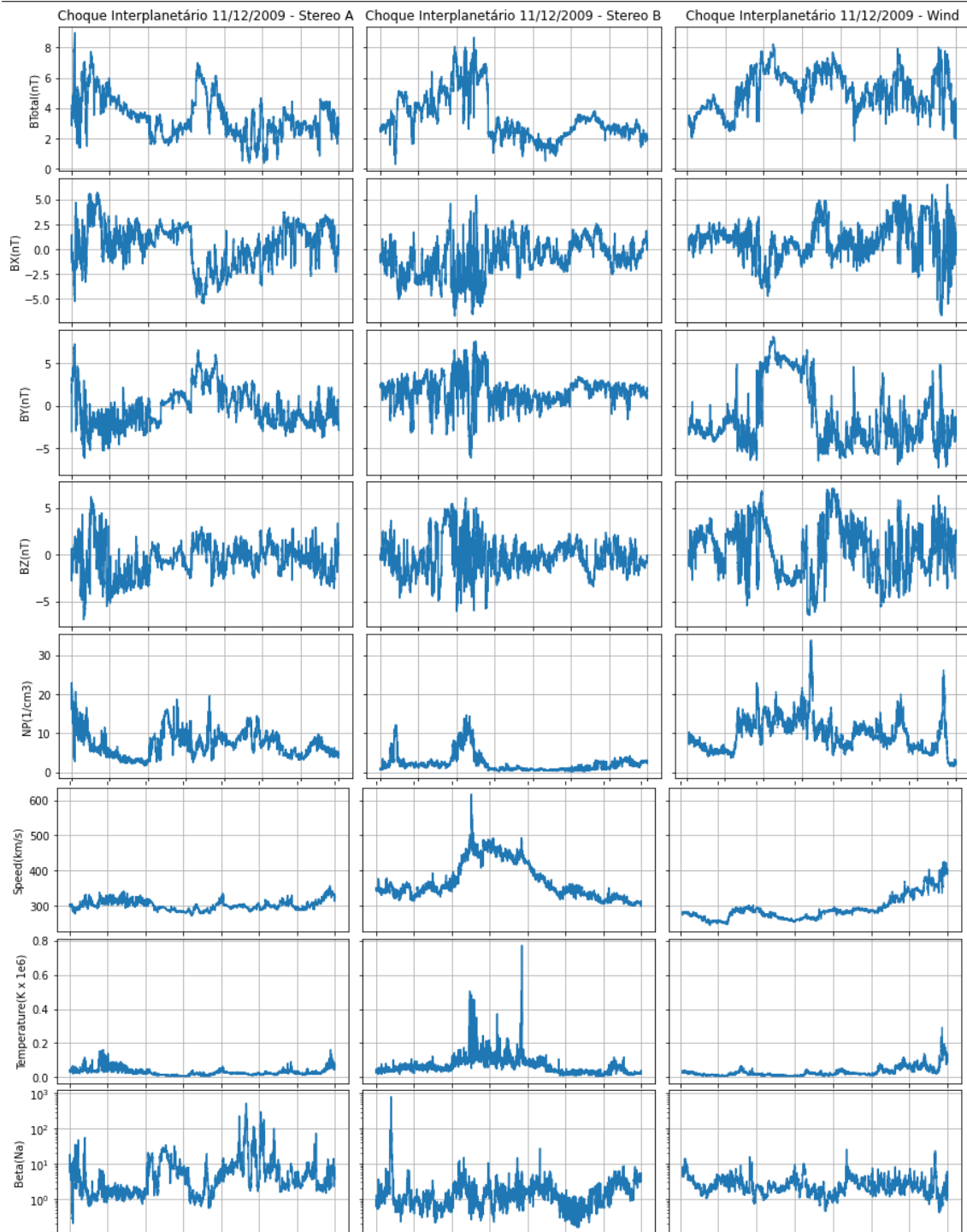


Figura 1 – Coordenadas do vetor campo magnético e magnitude do vetor, além de densidade, velocidade e temperatura do vento solar e beta de plasma, de acordo com as observações da STEREO A (primeira coluna de dados),

STEREO B (segunda coluna) e WIND (terceira coluna), para o choque interplanetário observado em 11 de dezembro de 2019.

### **3. RESULTADOS OBTIDOS**

Até o presente momento, foram concluídas as seguintes etapas:

- Revisão bibliográfica;
- Escrita dos algoritmos para leitura e tratamento dos dados;
- Automatização do acesso aos dados de todos os satélites de interesse;
- Representação das séries temporais dos dados de plasma e campo magnético para os choques de interesse;
- Painéis com todos os dados de um mesmo evento plotados ao mesmo tempo.

#### **4. CONCLUSÃO**

Neste relatório, foram apresentadas as etapas que já foram concluídas até o presente momento. O bolsista iniciará fazendo estágio remunerado e precisa se desvincular da bolsa. Mas isso não afetará o andamento das próximas etapas que envolvem a análise final da separação dos choques, construção da distribuição da separação angular dos choques, bem como da determinação do intervalo de confiança para cada separação angular.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COORDINATED DATA ANALYSIS WEB (CDAWeb) (<https://cdaweb.gsfc.nasa.gov/index.html/>). Acessado em: Nov. 2020.

DAGLIS, I. et al. Effects of space weather on technology infrastructure, Space Weather, 2, 2004.

DE LUCAS, A.; SCHWENN, R.; DAL LAGO, A.; MARSCH, E.; Gonzalez, A. Interplanetary shock wave extent in the inner heliosphere as observed by multiple spacecraft. JASTP, v. 73. 1281-1292. Doi: 10.1016/j.jastp.2010.12.011. Acessado em: Dez. 2020.

KAISER, M. L.; KUCERA, T. A.; DAVILA, J. M.; ST. CYR, O. C., GUHATHAKURTA, M.; CHRISTIAN, E. The STEREO Mission: An Introduction. Em: Russell C.T. (eds) The STEREO Mission. Springer, New York, NY. 2008. Acesso: [https://doi.org/10.1007/978-0-387-09649-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-0-387-09649-0_2). Acessado em: Mar. 2021.

SCHWENN, R. Space Weather: The Solar Perspective, Living Rev. Sol. Phys., 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.12942/lrsp-2006-2>. Acessado em: Nov. 2020.

STEREO (<https://stereo.gsfc.nasa.gov/>). Acessado em: Nov. 2020.