

DETERMINAÇÃO DE SÉRIES TEMPORAIS DAS EJEÇÕES DE MASSA CORONAL

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Angélica Baumann Cardoso (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: angelicacardosdp@gmail.com

Nivaor Rodolfo Rigozo (CRS/INPE, Orientador)
E-mail: nivaor.rigozo@crs.inpe.br

Julho de 2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) pelos recursos financeiros e a possibilidade de exercer essa tarefa de pesquisa, sendo meu processo o número 100978/2012-6.

RESUMO

Este trabalho, iniciado em janeiro de 2012, teve como objetivo determinar e estudar o comportamento das Ejeções de Massa Coronal (EMC's) com o aumento e diminuição da atividade solar. Para isto, os dados foram obtidos através do banco de dados da NASA: 1) SOHO CATALOG; 2) NOAA. Com a utilização dos dados coletados, foram determinadas séries temporais diárias, mensais e anuais das EMC's e também das Manchas Solares para o período de 1996 a 2009.

Através das séries obtidas, foram construídos gráficos para análise da relação entre as EMC's e as Manchas Solares, estes gráficos mostram o coeficiente de correlação entre as duas séries, se este coeficiente for entre 0,5 e 1, significa que existe uma relação considerável entre estas séries, portanto, quando o número de EMC's aumenta o número de Manchas Solares também aumenta e vice-versa. Foi observado, que quando há um grande número de Manchas Solares e EMC's temos um período de máxima atividade solar e quando este número é pequeno temos um período de mínima atividade solar; estes períodos de máxima e mínima atividade solar determinam o ciclo solar.

DETERMINATION OF TIME SERIES OF CORONAL MASS EJECTIONS

ABSTRACT

This work, begun in January 2012, aimed to determine and study the behavior of Coronal Mass Ejections (CME's) and decreased with increasing solar activity. For this, data were obtained from the NASA database: 1) SOHO CATALOG, 2) NOAA. With the use of collected data, time series were determined daily, monthly and annual EMC's Sunspot and also for the period 1996 to 2009. Through the series obtained, plots were constructed to analyze the relationship between EMC's and Sunspots, these graphs show the correlation coefficient between the two series, if this coefficient is between 0.5 and 1 means there is a significant relationship between these series, so that when the number of EMC's increases the number of Sunspots also increases and vice versa. It was observed that when a large number of Sunspots and EMC's have a period of maximum solar activity and this number is small when we have a period of minimum solar activity, these periods of maximum and minimum solar activity determine the solar cycle.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1–Estrutura Solar..... | 02 |
| Gráfico 4.1 – Demonstração da variação do número de EMC's e Manchas Solares mensais..... | 07 |
| Figura 4.2 – Demonstração da variação do número de EMC's do tipo Halo e Manchas Solares mensais..... | 08 |
| Figura 4.3 – Demonstração da variação do número de EMC's e Manchas Solares anuais..... | 08 |
| Figura 4.4 – Demonstração da variação do número de EMC's do tipo Halo e Manchas Solares anuais..... | 09 |
| Figura 4.5 - Índice de correlação entre as EMC's e Manchas Solares mensais..... | 10 |
| Figura 4.6 - Índice de correlação entre as EMC's do tipo Halo e as Manchas Solares mensais..... | 10 |
| Figura 4.7 - Índice de correlação entre as EMC's e as Manchas Solares anuais..... | 11 |
| Figura 4.8 - Índice de correlação entre as EMC's do tipo Hao e as Manchas Solares anuais..... | 11 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|-------------------------------------|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 01 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 02 |
| | <i>2.1 O Sol.....</i> | <i>02</i> |
| | 2.1.1 Núcleo..... | 03 |
| | 2.1.2 Zona Radiativa..... | 03 |
| | 2.1.3 Zona de Convecção..... | 03 |
| | 2.1.4 Atmosfera Solar | 03 |
| | 2.1.4.1 Fotosfera..... | 03 |
| | 2.1.4.2 Cromosfera..... | 03 |
| | 2.1.4.3 Coroa..... | 04 |
| | <i>2.2 Fenômenos Solares.....</i> | <i>04</i> |
| | 2.2.1 Ejeções de Massa Coronal..... | 04 |
| | 2.2.2 Manchas Solares..... | 05 |
| 3 | MÉTODOS | 06 |
| 4 | RESULTADOS..... | 07 |
| 5 | ETAPAS A SEGUIR..... | 13 |
| | REFERÊNCIAS..... | 14 |

1 – Introdução

Atualmente a área do clima espacial vem tendo um grande crescimento nos últimos anos no mundo inteiro. Na tentativa de se conhecer melhor os fenômenos físicos gerados no Sol e suas consequências no meio interplanetário e principalmente no planeta Terra. Fenômenos como a interação do vento solar com o campo magnético da Terra, as variações no fluxo de partículas e energia que ocorrem no Sol e suas consequências na atmosfera e clima da Terra (HoytandSchatten, 1997). A preocupação do estudo do clima espacial é da coleta de dados de fenômenos provenientes do Sol e da magnetosfera da Terra, para que se possa fazer uma previsão desses fenômenos antes que eles ocorram.

Dentre os principais fenômenos solares, as ejeções de massa coronal são as principais causadoras de tempestades magnéticas intensas na Terra (Gosling et al., 1990, 1991). Estas ejeções lançam enormes quantidades de matéria do Sol para o meio interplanetário (Hundhausen, 1997 e referências daquele texto), as quais possuem características bastante distintas do Vento Solar normal quando observadas nas proximidades da Terra, como por exemplo, menor temperatura de prótons, campo magnético mais intenso e suave, entre outras. É bastante comum observar essas ejeções de massa coronal se propagando desde o Sol até a Terra com velocidade superior a velocidade magnetossônica do Vento Solar normal, produzindo uma onda de choque, a qual pode produzir efeitos de compressão e intensificação do campo magnético do Vento Solar, tornando-o eficiente para causar tempestades geomagnéticas intensas (Tsurutani et al., 1988, Tsurutani et al., 1992). Portanto, se quisermos prever a ocorrência e a intensidade de tempestades geomagnéticas, temos que prever a ocorrência das EMC's. Para isso, serão obtidas séries temporais das ocorrências das EMC's segunda a base de dados da NASA.

Assim, o objetivo deste projeto de pesquisa é estudar e observar a ocorrência das EMC's e das manchas Solares para fim de determinar sua relação entre elas e determinar a atividade solar. No decorrer desse trabalho será feita uma revisão bibliográfica acerca do Sol, dos fenômenos em questão analisados (Ejeções de Massa Coronal e Manchas Solares). Em seguida são apresentados em detalhes os métodos utilizados no projeto. Após isso serão relatados os resultados com uma demonstração dos métodos utilizados. E por fim, as considerações finais sobre o trabalho e os passos que devem ser tomados para dar continuidade a este projeto de pesquisa.

2 –Revisão Bibliográfica

No presente trabalho o interesse de estudo são as Ejeções de Massa Coronal, do inglês Coronal Mass Ejections (CMEs). Para entender esse fenômeno é necessário compreender outros componentes das relações de interação Sol-Terra, e é nesse fato que esse capítulo se baseia.

2.1 – Sol

A estrutura interna do Sol é basicamente dividida em quatro regiões (Kivelson e Russel, 1995): núcleo, zona radioativa, zona de convecção e a atmosfera solar (Rigozo, 2010). A Figura 2.1 mostra um desenho esquemático das regiões do Sol.

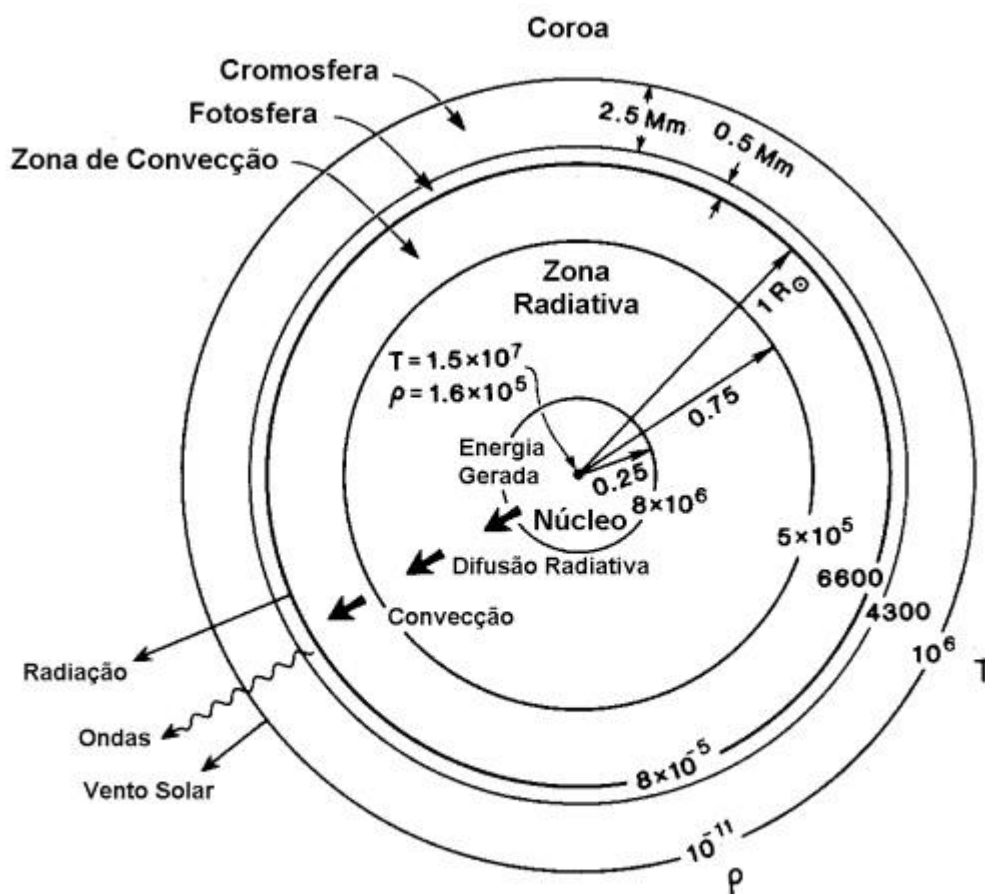


Figura 2.1- Estrutura Solar

FONTE:Kivelson e Russel (1995, p.61)

2.1.1 – Núcleo

Ele apresenta uma raio de 0,25 Raios Solares (Rs), sua energia é gerada por processos de fusão nuclear, sua temperatura pode chegar a ordem de $1,5 \times 10^7 K$ e é extremamente denso (Rigozo, 2010).

2.1.2 – Zona Radiativa

Surge após o Núcleo e se estende até 0,75 Rs, sua temperatura varia de $8 \times 10^6 K$ a $5 \times 10^5 K$

2.1.3 – Zona de Convecção

Surge após a Zona Radiativa se estendendo de 0,75 Rs a 1,00 Rs e sua temperatura varia entre $5 \times 10^5 K$ e $6600 K$.

2.1.4 – Atmosfera Solar

Por causa dos fenômenos físicos envolvidos e à suas características morfológicas, dividimos a atmosfera solar em três partes: fotosfera, cromosfera e coroa.

2.1.4.1 – Fotosfera

Possui uma espessura de $0,5 \times 10^6 m$. Sua temperatura diminui à medida que se afasta do núcleo, podendo ter uma variação de $2300 K$.

2.1.4.2 – Cromosfera

Ela tem uma espessura de $2,5 \times 10^6 m$. A temperatura na Cromosfera aumenta à medida que se afasta do Núcleo, podendo varia de $4300 K$ até $10^6 K$.

2.1.4.3 – Coroa

Ela se estende do limite da Cromosfera, e se confunde com o meio interplanetário.

“A coroa é a região da atmosfera solar de maior importância para os fenômenos físicos do meio interplanetário, pois seu material se dissipa formando o vento solar (fluxo de partículas carregadas), que arrasta o campo magnético solar através do meio interplanetário aos confins do sistema solar.

Na coroa ainda ocorrem às ejeções de material do Sol, chamadas de Ejeções de Massa Coronal a altas velocidades, da ordem de 2000 km/s, nos quais estão relacionadas fenômenos geomagnéticos, tais como as tempestades geomagnéticas e a variabilidade do clima espacial. O grande aumento da temperatura que ocorre da fotosfera (6600K) até a coroa (milhões de K) ainda não é bem compreendida.” (Rigozo, 2010)

2.2 – Fenômenos Solares

A fonte motivacional no estudo de fenômenos solares está na relação direta entre eles e suas consequências no meio interplanetário e, principalmente, na Terra. Com o objetivo maior desse trabalho são as Ejeções de Massa Coronal seguiremos para a explicação do dado fenômeno.

2.2.1 – Ejeções de Massa Coronal

Consiste em uma grande estrutura contendo plasma e campos magnéticos que são expelidos do Sol para a heliosfera. Podem atingir o campo magnético terrestre, causando as auroras boreais e austrais e, quando mais intensas, podem causar danos às redes de energia elétrica, induzindo voltagens de milhares de volts e queimando transformadores, aumentam também a incidência de radiação ionizante nas pessoas, principalmente em vôos de alta altitude, como vôos supersônicos e astronáuticos, entre outros. Recentemente as CMEs têm sido divididas em dois tipos principais (Sheeley et al., 1999):

- (1) CMEs Graduais, aparentemente formadas pela elevação de proeminências e suas cavidade, vindas da baixa coroa, apresentando aceleração gradual até valores máximos da ordem de 400-600 km/s.

- (2) CMEs Impulsivas, que são associadas a explosões solares e a ondas observadas no comprimento de onda do ultravioleta, não apresenta aceleração e com velocidade iniciais maiores que 750 km/s.

2.2.2- Manchas Solares

O fenômeno fotosférico mais notável é o das manchas solares, regiões irregulares que aparecem mais escuras do que a fotosfera circuncidante e que muitas vezes podem ser observadas mesmo a olho nu, embora olhar para o Sol só não é perigoso quando ele está no horizonte. As manchas foram registradas na China já no ano 28 A.C., mas seu estudo científico começou com o uso do telescópio, sendo observadas (por projeção da imagem do Sol) por Galileu e Thomas Harriot (1560-1621), já em 1610, e por Johannes (1587-1616) e David Fabricius (1564-1617) e por Christoph Scheiner (1575-1650) em 1611. São constituídas de duas partes: a umbra, parte central mais escura, com temperaturas em torno de 3800 K, e a penumbra, região um pouco mais clara e com estrutura radial em torno da umbra. As manchas solares tendem a se formar em grupos, e estão associadas a intensos campos magnéticos no Sol. As manchas solares seguem um ciclo de 11 anos em que o número de manchas solares varia entre máximos e mínimos, descoberto em 1843 pelo astrônomo alemão Samuel Heinrich Schwabe (1789-1875).

3 – Métodos

Este trabalho apresenta um estudo de séries temporais das Ejeções de Massa Coronal (EMC's) e das Manchas Solares. Séries determinadas através dos dados obtidos pelo SOHO CATALOG e NOAA, construídas no período de 1996 a 2009, utilizando-se o aplicativo Microsoft Office Excel 2007. Com a utilização do SOHO CATALOG (este disponibiliza apenas dados diários sobre as EMC's) determinou-se uma série diária das EMC's, e então a partir da série diária construiu-se as séries mensais e anuais. Já para as Manchas Solares, utilizamos o NOAA, que disponibiliza dados mensais e anuais, tornando possível construir diretamente as séries mensais e anuais das Manchas Solares. Foi determinada também, através do SOHO CATALOG, uma série diária de Ejeções de Massa Coronal de um tipo específico, o tipo Halo, e a partir desta série diária construiu-se as séries mensais e anuais para a mesma.

Com estas séries prontas, utilizou-se então um programa para construção de gráficos, e foram feitos gráficos das seguintes maneiras:

- (1) Ejeção de Massa Coral X Manchas Solares (Um para as séries mensais e um para anuais).
- (2) Ejeções de Massa Coronal do Tipo Halo X Manchas Solares (Um para as séries mensais e um para anuais).

Através destes gráficos, calculou-se o coeficiente de correlação entre estes eventos, para ter precisão na relação das duas.

Foram construídos mais outros 4 (quatro) gráficos, para melhor visualização desta relação. Estes foram construídos das seguintes maneiras:

- (1) EMC's X Tempo (Anos) X Manchas Solares.
- (2) EMC's do tipo Halo X Tempo (Anos) X Manchas Solares.
- (3) EMC's X Tempo (Meses) X Manchas Solares.
- (4) EMC's do tipo Halo X Tempo (Meses) X Manchas Solares.

4 – Resultados

Quando analisamos as séries temporais obtidas, podemos observar que existe uma relação entre elas. Nas figuras que seguem, podemos analisar qual é esta relação, e estas figuras demonstram os dados das séries obtidas.

Seguem-se abaixo, as figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, que demonstram a relação entre as EMC's e as Manchas Solares durante o período de tempo designado na pesquisa.

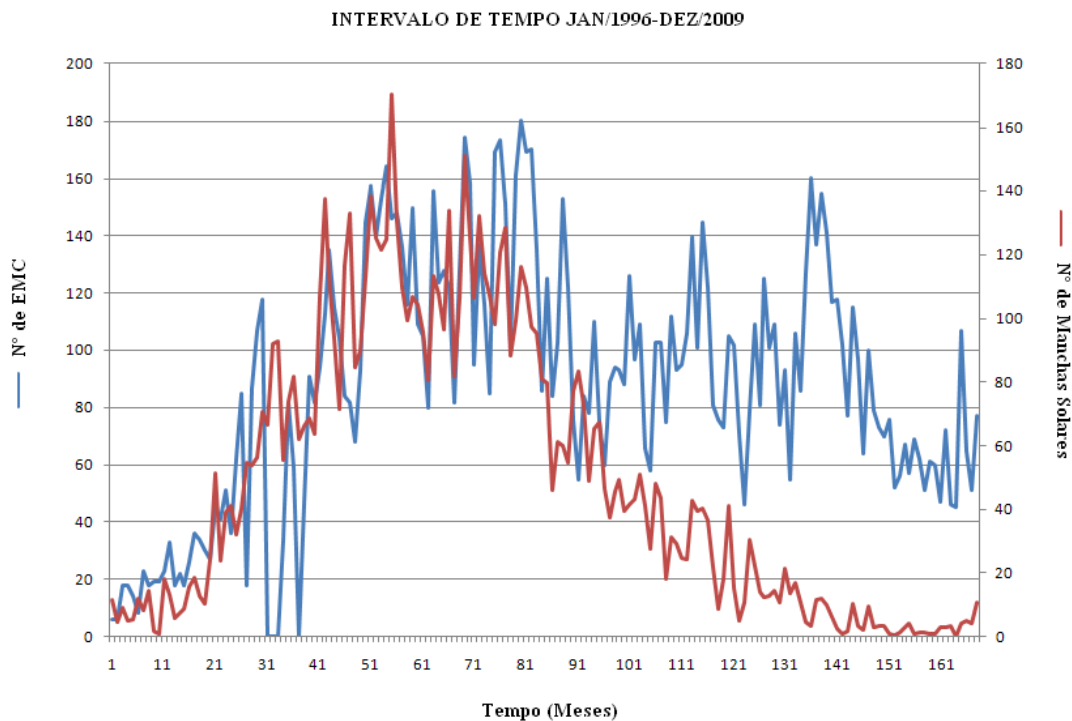


Figura4.1 – Demonstração da variação do número de EMC's e Manchas Solares mensais.

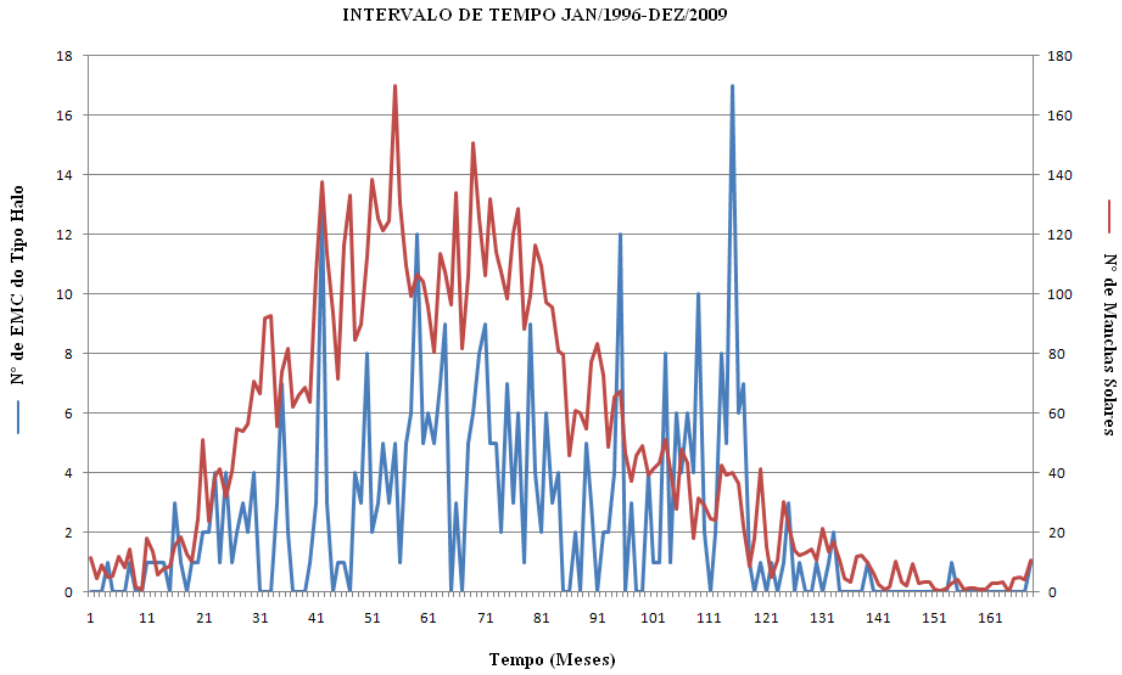


Figura4.2 – Demonstração da variação do número de EMC's do tipo Halo e Manchas Solares mensais.

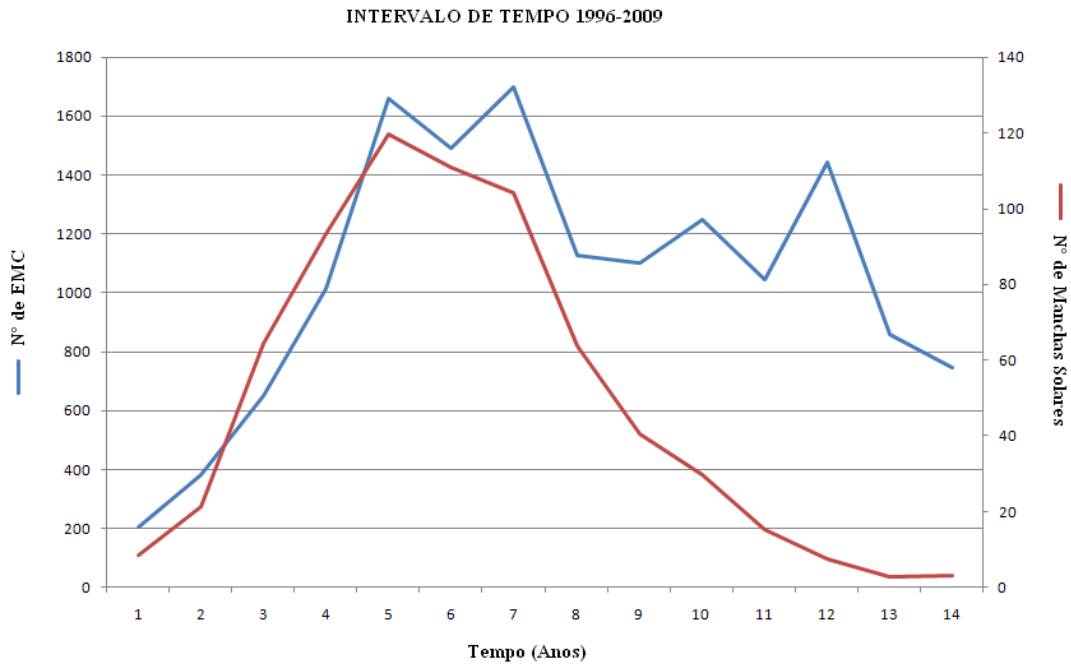


Figura4.3 – Demonstração da variação do número de EMC's e Manchas Solares anuais.

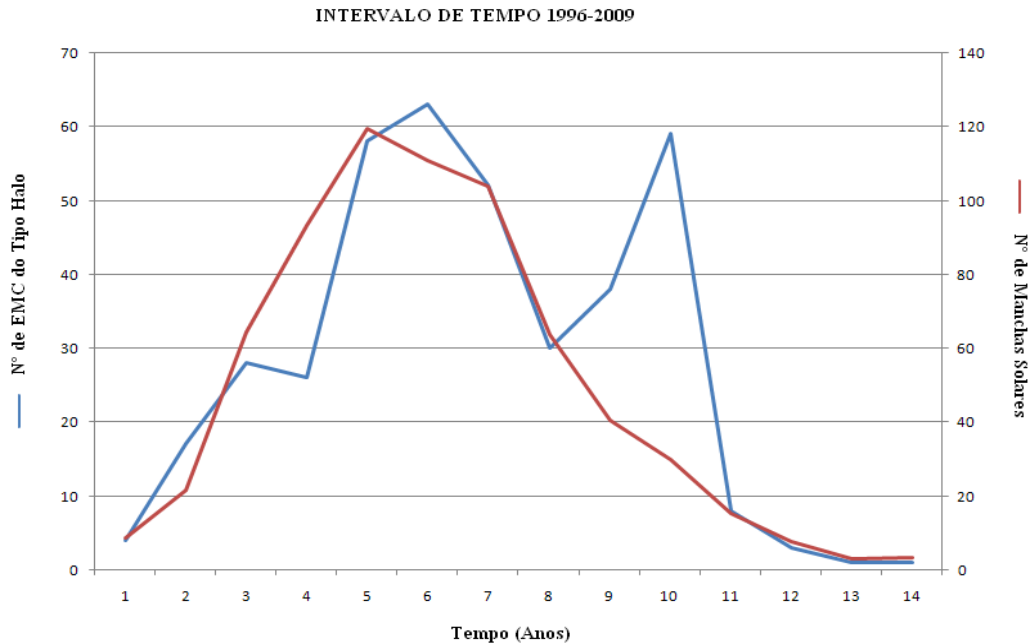


Figura4.4 – Demonstração da variação do número de EMC's do tipo Halo e Manchas Solares anuais.

Quando analisamos as quatro figuras acima, podemos verificar visivelmente que há uma relação significativa entre as EMC's e as Manchas Solares. Vemos que à medida que o número de EMC's aumentam, o número de Manchas Solares também aumentam, assim também à medida que o número de EMC's diminui, o número de Manchas Solares também diminui. Isto ocorre praticamente na mesma proporção, havendo apenas, em alguns intervalos de tempo, uma pequena variação entre as EMC's e as Manchas Solares.

O resultado obtido através dos gráficos também nos mostra que em um determinado período, temos um maior número de EMC's e Manchas Solares, havendo assim um máximo da atividade Solar, da mesma maneira, quando temos um menor número destas, há o que denominamos de mínimo da atividade Solar.

Para se ter maior certeza dos resultados analisados através das figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4, foram obtidos gráficos que demonstram os índices de correlação entre as EMC's e as Manchas Solares.

Segue-se abaixo as figuras 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, que expõem os índices de correlação (r), entre as séries mensais e anuais obtidas para todos os casos.

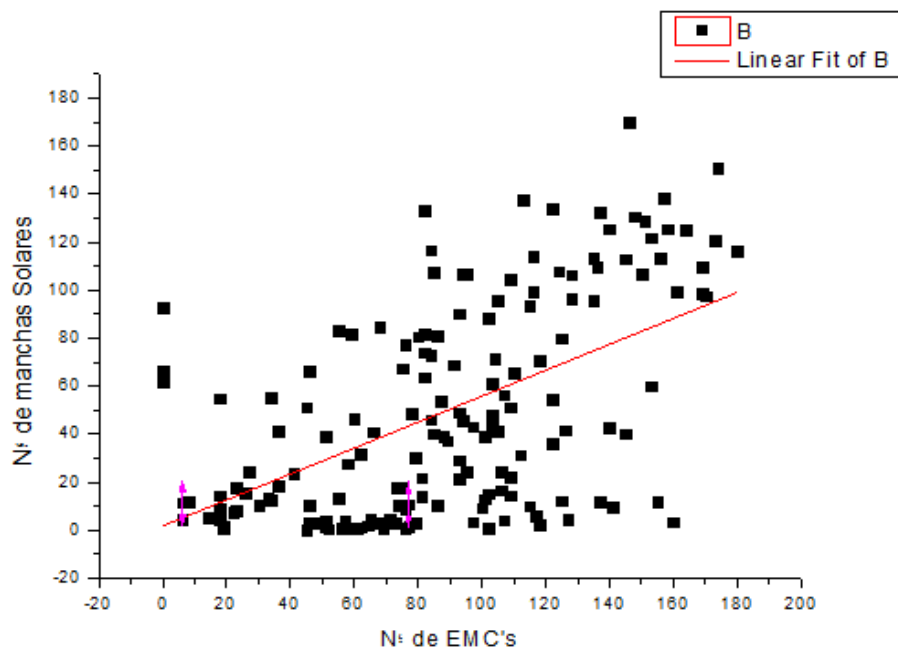
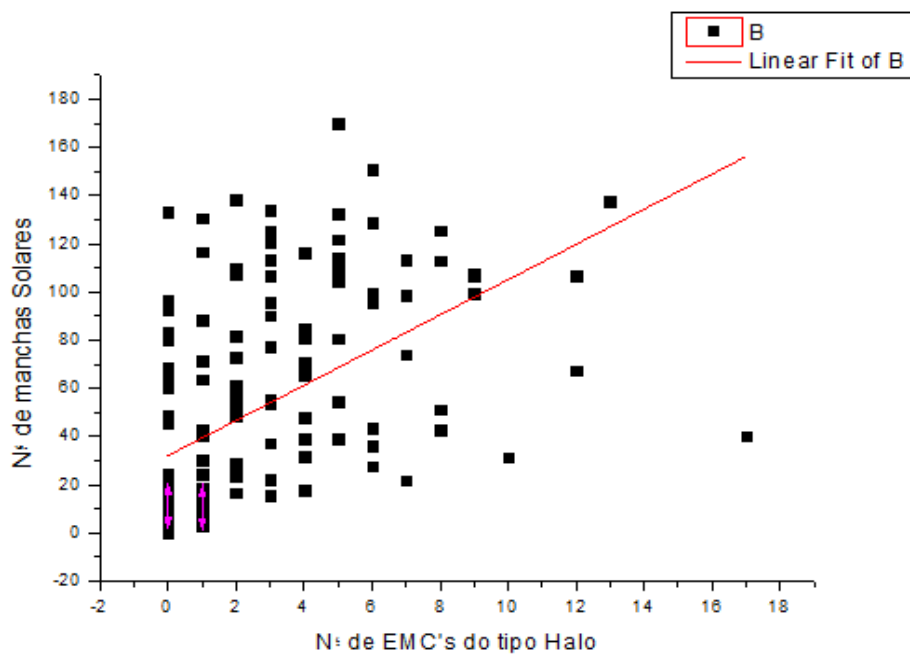


Figura 4.5 - Índice de correlação entre as EMC's e Manchas Solares mensais. ($r = 0,5393$)



Fígura 4.6 - Índice de correlação entre as EMC's do tipo Halo e as Manchas Solares mensais. ($r = 0,5063$)

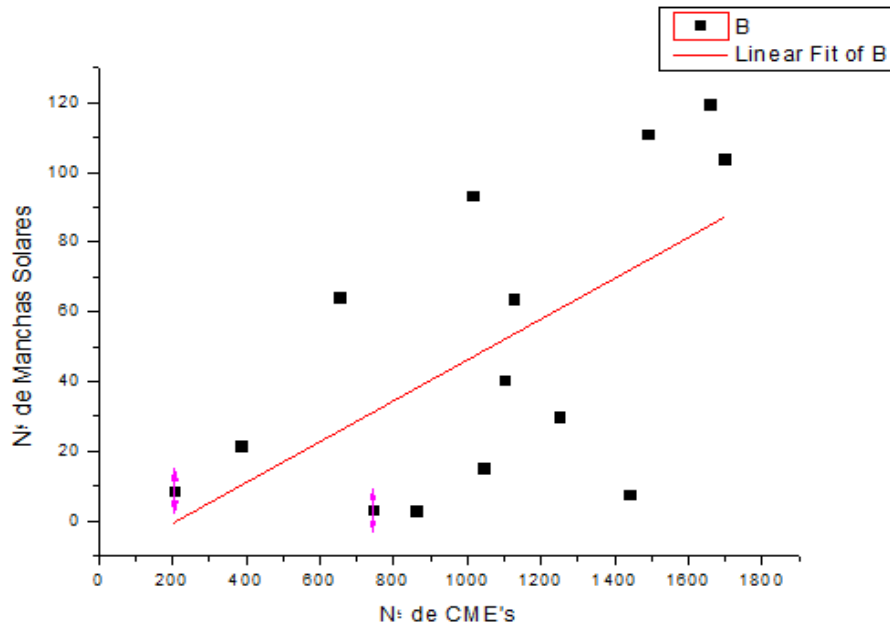


Figura 4.7 - Índice de correlação entre as EMC's e as Manchas Solares anuais. ($r = 0,6108$)

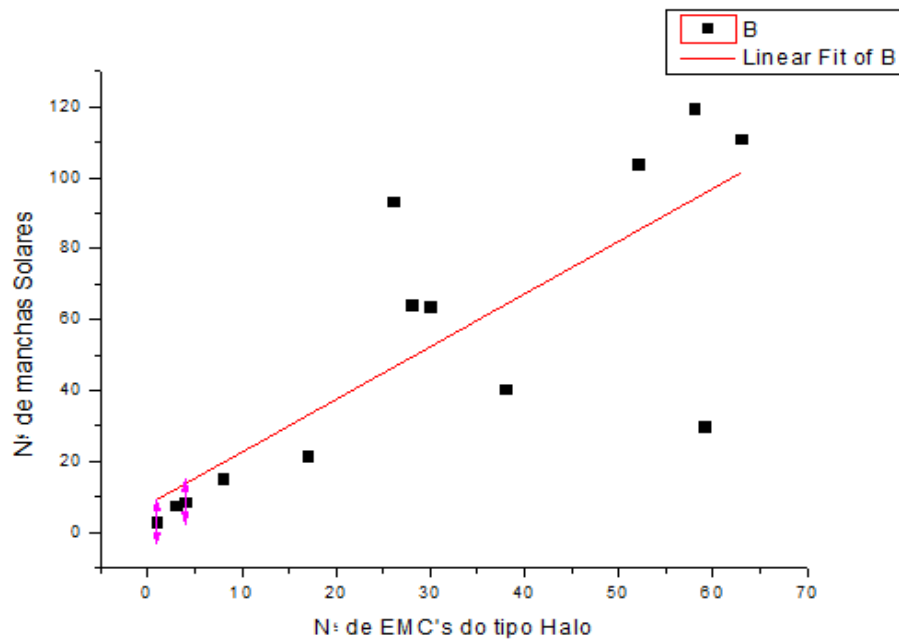


Figura 4.8 - Índice de correlação entre as EMC's do tipo Hao e as Manchas Solares anuais. ($r = 0,7972$)

Analisando as figuras 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8, vemos mais uma vez que a relação entre as EMC's e as Manchas Solares torna-se visível. Os índices de correlação obtidos ficam entre 0,5063 e 0,7972, na teoria para que haja uma relação considerável o índice deve estar entre 0,5 e 1, portanto para os resultados obtidos neste trabalho, podemos ver que há uma relação muito significativa entre o número de Ejeções de Massa Coronal e o surgimento das Manchas Solares. Logo, no período de máxima atividade solar, ocorre um aumento dos eventos de EMC e no período de mínima atividade solar ocorre uma diminuição dos eventos de EMC.

5 –Etapas a Seguir

Então, a partir dos resultados obtidos, verificamos que há uma grande ligação dos fenômenos solares estudados com o ciclo solar de 11 anos. Esta relação pode ser observada apenas com a construção das séries, mas pode ser mais bem visualizada com o auxílio dos gráficos.

Para a continuação desse projeto deverá ser feita o estudo do comportamento de Ejeções de Massa Coronal e de Manchas Solares de anos posteriores a 2009, onde serão determinadas novas séries temporais para que haja ainda mais clareza sobre a relação destas com o ciclo solar. Neste estudo será utilizada a mesma metodologia apresentada neste relatório.

Referências

- Gosling, J. T., S. J. Bame, D. J. McComas, and J. L. Phillips, Coronal mass ejections and large geomagnetic storms, *Geophys. Res. Lett.*, 17, 901-904, 1990.
- Hoyt, D. V. and Schatten, K. H.: 1997, *The Role of the Sun in climate change*, Oxford University Press.
- Hundhausen, A. J. An introduction. In: Crooker, N.; Joselyn J. A.; Feynman, J. ed. *Coronal mass ejections*, Washington, DC: AGU, 1997. v. 99, p.1-7.
- Kivelson, M. G.; e Russell, C. T. *Introduction to Space Physics*. Los Angeles: Cambridge University Press, 1995. 568p.
- Rigozo, N.R.; O número de Manchas Solares, Índice da atividade no Sol. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos – 2003.
- Sheeley, N. R. et al. Continuous tracking of coronal outflows: two kinds of coronal mass ejections. *J. Geophys. Res.* v.104, n.A11, p.24739-24767, 1999.
- Tsurutani, B. T., W. D. Gonzalez, F. Tang, and Y. T. Lee, Great magnetic storms, *Geophys. Res. Lett.*, 19, 1, 73-76, 1992.
- Tsurutani, B. T.; Gonzalez, W. D.; Tang, F.; Akasofu, S. I.; Smith, E. J. Origin of interplanetary southward magnetic field responsible for major magnetic storms near solar maximum (1978-1979). *J. Geophys. Res.*, v.93, n.A8, p.8519-8531, Aug. 1988.
- Rigozo, N.R.; Reconstruction of wolf sunspot numbers on the basis of spectral characteristics and estimates of associated radio flux and solar wind parameters for the last millennium. Instituto Nacional de pesquisas Espaciais, São José dos Campos – 2001.
- Gosling, J.T., D.J. McComas, J.L. Phillips, and S.J. Bame, Geomagnetic activity associated with earth passage of interplanetary shock disturbances and coronal mass ejections, *J. Geophys. Res.* 96, 7831-7838, 1991.