

ESPECTRO CRUZADO DE ONDELETA APLICADA NA VARIAÇÃO SOLAR MEDIDA PELO SATÉLITE SOHO

Paulo César Vieira¹, Mauricio José Alves Bolzan²

¹ Aluno (Mestrado em Física e Astronomia), Universidade do Vale do Paraíba, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, São José dos Campos, SP, 12244-000, email: pcvieira@univap.br

² Orientador, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, São José dos Campos, SP, 12244-000, email: bolzan@univap.br

Palavras-chave: Vento Solar, densidade, prótons, ondeletas, anisotropia

Área do Conhecimento: I - Ciências Exatas e da Terra.

Resumo - Neste trabalho, utilizou-se o Espectro Cruzado de Ondeleta (CWP) aplicado a dados geofísicos obtidos pelo satélite SOHO. O objetivo foi estudar a correlação tempo-escala entre velocidade do vento solar e densidade de prótons, no período de 2001-2002, e averiguar se os distúrbios solares ocorridos neste período aumentam a correlação entre ambas as variáveis. Resultados preliminares confirmam esta hipótese. Além disso, uma explicação em termos de Estruturas Coerentes na turbulência será apresentada.

Introdução

Recentes análises realizadas com transformada de Ondeleta de Morlet, aplicada a componente H do campo geomagnético, mostraram como os distúrbios são importantes para as pequenas escalas (períodos $\ll 1$ dia) e importantes se comparada com as variações do período diurno (Bolzan et al., 2005). Estes distúrbios também são observados utilizando-se dados de satélite como o vento solar e a densidade de prótons. Além disso, são importantes fontes de intermitência no sistema geomagnético. O uso de Espectro Cruzado de Ondeleta, aplicada em ambas as variáveis, é interessante para averiguar a correlação entre tais variáveis de um sistema complexo ainda pouco estudado.

Neste trabalho, usou-se uma série temporal da velocidade do vento solar e densidade de prótons, medidas pelo satélite SOHO, a uma taxa de amostragem de 1 medida por hora, durante o período 2001-2002. Foi escolhido este período devido à presença de grande concentração de distúrbios solares.

Materiais e Métodos

Foi utilizada a aplicação da Transformada de Ondeletas em cada série temporal. Assim, é interessante fazer uma breve introdução teórica desta ferramenta matemática. As Ondeletas indicam um conjunto de funções no formato de

pequenas ondas criadas por dilatações, $\Psi(t) = \Psi(2t)$, e translações, $\Psi(t) = \Psi(t+1)$, da simples função geradora, $\Psi(t)$, chamada Ondeleta Mãe. Matematicamente, a função de Ondeleta na escala a e posição b é dada por:

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

onde a e b são reais e $a > 0$. A Transformada de Ondeleta é definida por:

$$W_{\Psi} f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt,$$

onde $f(t)$ é uma função temporal qualquer.

Existem dois tipos para as funções de Ondeleta: a contínua e a discreta, cada qual responsável para uma dada necessidade (Torrence e Compo, 1998; Bolzan, 2004). Neste trabalho, utilizou-se a função de Morlet que é dada por:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt[4]{\pi}} e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2}$$

onde $\varpi_0 = 5$. A Figura 1 mostra o gráfico da parte real desta função ondeleta.

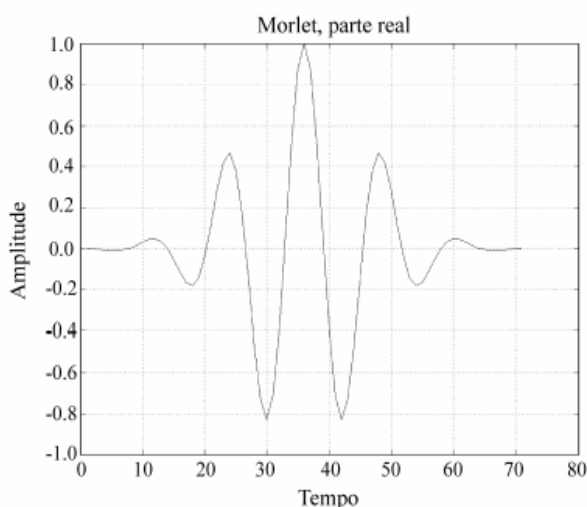


Figura 1: Função Ondeleta de Morlet.

O Espectro Cruzado de Ondeletas (CWP) de duas séries temporais x_n e y_n é definida como $W_{xy} = W_x W_y^*$, onde $*$ denota o complexo conjugado. Assim, utilizou-se a definição da CWP como $|W_{xy}|$ dada por Grinsted et al. (2004).

Resultados

Nos dois gráficos acima da Figura 2, são apresentadas, respectivamente, séries temporais do vento solar e densidade de prótons para o período 2001-2002. No gráfico de baixo da mesma Figura, é apresentado o chamado periodograma da CWP onde, o eixo x denota-se a escala temporal em dias, o eixo y denota-se os períodos presentes nas séries-temporais e, finalmente, a barra de cor indica a intensidade da correlação entre ambas as variáveis. A linha branca é chamada de cone de influência, onde se consideram apenas os acontecimentos ocorridos na região de dentro do cone. Qualquer acontecimento fora deste não tem confiança estatística.

Pode-se notar uma intensa atividade solar de abril a julho de 2001. Esta atividade provocou uma alta correlação entre as variáveis. Outros distúrbios ocorreram novamente, de outubro de 2001 à novembro de 2002, aumentando a correlação entre as variáveis no período de aproximadamente de 27 dias. Além disso, no período em que não há uma correlação entre as variáveis, está associada a um período de calmaria de distúrbios solares.

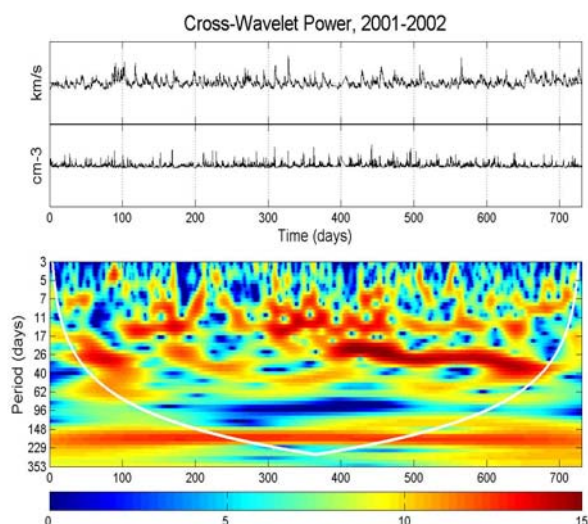


Figura 2: Dois gráficos acima mostram a presença do vento solar e densidade de prótons, abaixo o periodograma do Espectro Cruzado de Ondeleta (CWP).

O comportamento acima mencionado pode ser explicado em termos da anisotropia. Quando ocorre um evento (distúrbio solar), a energia gerada nas grandes escalas se transfere para as pequenas escalas, através do fenômeno da cascata de energia proposto por Kolmogorov (1941). Um caminho eficiente para esta transferência de energia seria dado pelo aumento da correlação entre as variáveis. Esta correlação entre as variáveis promoveria o surgimento das chamadas Estruturas Coerentes (CS), de acordo com Robinson (1991). Esta será uma eficiência do sistema para o retorno ao estado básico (sem distúrbio) como mostrado por Bolzan et al. (2005). Depois que a energia das grandes escalas é transferida para as pequenas escalas, através do processo acima mencionado, a correlação entre as variáveis diminui, como se pode observar no período entre julho e outubro de 2001.

Conclusão

Através do Espectro Cruzado de Ondeleta (CWP) aplicada as séries-temporais da velocidade do vento solar e densidade de prótons, medidas no período de 2001-2002, observou-se que ambas as variáveis tiveram aumento nas correlações no período entre 1 a 30 dias. Além disso, estas correlações foram promovidas por distúrbios solares ocorridos entre abril e julho de 2001, e outubro de 2001 à novembro de 2002. As correlações apresentadas acima estão associadas as chamados de Estruturas Coerentes (CS). Tais estruturas seriam um mecanismo que transferiria energia das grandes escalas para as pequenas escalas.

Referências

[1] BOLZAN, M. J. A., 2004, Análise da Transformada em Ondeletras Aplicada em Sinal Geofísico, Revista Brasileira para o Ensino de Física, Vol. 26, No. 1, p.37-41.

[2] BOLZAN, M. J. A.; SAHAI, Y.; FAGUNDES, P. R.; ROSA, R. R.; RAMOS, F. M.; ABALDE, J. R., 2005, Intermittence Analysis of Geomagnetic Storm Time-series Observed in Brazil, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, in press.

[3] GRINSTED, A.; MOORE, J. C.; JEVREJEVA, S., 2004, Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. Nonlinear Processes in Geophysics, Vol. 11, p.561-566.

[4] KOLMOGOROV, A. N., 1941. The local structure of turbulence in an incompressible viscous flow for very high Reynolds numbers. Dokl. Acad. Nauk. SSSR, Vol. 30, p.301-305.

[5] ROBINSON, S. K., 1991, Coherent motions in the turbulent boundary layer. Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 23, p.601-639.

[6] TORRENCE, C.; COMPO, G. P., 1998, A practical guide to wavelet analysis. Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 79, No. 1, p.61-78.

[7] MTOF/PM Data by Carrington Rotation, Internet site address: <http://umtof.umd.edu/pm/crn/> acessado em 01/03/2005.