

ESTUDO DOS ASPECTOS (MULTI)FRACTAIS DO CAMPO MAGNÉTICO INTERPLANETÁRIO

Alexandre Tardelli¹, Maurício José Alves Bolzan²

¹Engenharia Elétrica, FEAU, Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, São José dos Campos, SP, 12244-000, email: jcat76@bol.com.br

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

Resumo- O uso de técnicas estatísticas para descrever a turbulência Magnetohidrodinâmica (MHD) tem auxiliado na compreensão dos fenômenos intermitentes presentes na relação Sol-Terra [1,2,6,7]. Por isso, neste trabalho utilizou-se o chamado expoente das funções estruturas que fornece a característica (multi)fractal do sistema físico em análise. Os resultados indicaram que, após o distúrbio solar, o campo magnético interplanetário apresenta característica multifractal mais evidente do que o período que antecede o distúrbio, corroborando resultados de Kiani e colaboradores [7]. Tal fato indica que o sistema físico pós-distúrbio busca o retorno ao estado básico através de características geométricas mais eficientes para a dissipação de energia. Este processo já foi observado também em dados de campo geomagnético antes e depois de distúrbio solar [6].

Palavras-chave: Turbulência, Relação Sol-Terra, Multifractal.

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra

Introdução

Hoje em dia, o estudo da influência da atividade solar no clima da Terra tem se tornado importante. O estudo das relações Sol-Terra é atualmente uma área de pesquisa muito ativa. Nesta, o estudo da turbulência Magnetohidrodinâmica (MHD) tem atraído o interesse de muitos pesquisadores. Entretanto, para estudar a turbulência dos fenômenos solares para posterior correlação com as atividades geomagnéticas, é necessário recorrer a ferramentas estatísticas. Diversos trabalhos têm utilizado esta abordagem para o estudo das relações Sol-Terra.

O uso de técnicas estatísticas na turbulência se iniciou com o trabalho de Kolmogorov de 1941 [3], a famosa teoria K41. Kolmogorov propôs que a energia em um sistema turbulento é transferida no domínio espectral a uma taxa constante dentro do chamado subdomínio inercial (SI). Esta cascata de energia é auto-similar devido à necessidade de alguma característica espacial dentro do SI. Esta hipótese de Kolmogorov o levou a propor que os momentos das funções estruturas da velocidade são dados por [4]:

$$S_l^n = \langle |v(r+l) - v(r)|^n \rangle \propto (cl)^{n/3}, \text{ onde } n \text{ é}$$

o n ésimo momento, l é uma escala espacial e ε representa a taxa de transferência de energia. Porém, resultados experimentais não confirmaram esta hipótese de Kolmogorov [referências internas].

Tais discrepâncias nos resultados foram responsáveis por fenômenos mais tarde chamados de intermitentes. Neste contexto, este trabalho visa caracterizar estatisticamente a influência de um distúrbio solar, considerado um fenômeno intermitente; neste estudo utilizamos a componente sul do campo magnético interplanetário (CMI). Para isso, usamos as chamadas funções estruturas para fornecer o possível caráter (multi)fractal em dois períodos distintos da série temporal escolhida, a saber: antes e depois do distúrbio solar.

Este trabalho está organizado na seguinte forma: na seção 2 são descritas os aspectos gerais das séries aqui estudadas; na seção 3 descreve-se a metodologia utilizada e, finalmente, na seção 4 são apresentados os resultados e conclusões.

Dado utilizado

Neste trabalho foi utilizado uma série temporal do campo magnético interplanetário obtido pelo satélite ACE no endereço [http://www.srl.caltech.edu/ACE/]. A série temporal foi obtida a uma amostragem de uma medida a cada dezesseis segundos durante o mês de novembro de 2003. A razão da escolha deste período de dados se deve ao fato de ter ocorrido uma forte tempestade solar com consequências danosas à Terra. A Figura (1) mostra a série temporal mencionada anteriormente. É importante

mencionar que foi escolhida a componente sul do campo magnético interplanetário por esta permitir a reconexão com o campo magnético terrestre.

O gráfico superior da Figura (1) representa a série temporal do mês de novembro inteiro. O gráfico do meio representa os primeiros quinze dias do mês e, o gráfico inferior representa os últimos nove dias do mesmo mês. O motivo desta divisão é caracterizar a diferença nos expoentes das chamadas funções estruturas, ou seja, caracterizar o aspecto (multi)fractal em dois períodos: durante o mês todo e após o distúrbio solar (últimos 9 dias do mês). Com isso, será possível averiguar se ocorre diferença significativa entre estes períodos. Para melhor entendimento sobre a ferramenta estatística a ser utilizada, na próxima seção, daremos uma introdução teórica sobre o assunto.

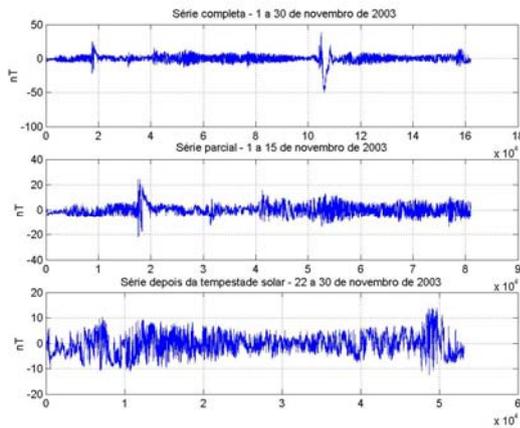


Figura 1: Série temporal do campo magnético interplanetário, componente sul, de novembro de 2003 obtido pelo satélite ACE.

Metodologia

Para a caracterização do aspecto (multi)fractal de séries temporais, se faz necessário a obtenção dos expoentes ζ_p da função estrutura do campo magnético interplanetário através da seguinte relação [4]:

$$\left\langle (\delta B(r))^p \right\rangle \propto r^{\zeta_p} \quad (1)$$

onde $\delta B(r) = |B(t+r) - B(t)|$ representa a diferença temporal da componente sul do campo magnético interplanetário.

Resultados e Discussão

Foram obtidos os expoentes ζ_p para ambos os períodos estudados. A Figura 2 mostra os resultados experimentais, bem como os resultados de modelos teóricos como o K41, Log-Poisson, modelo β e bifractal. É importante mencionar que os resultados experimentais obtidos foram interpolados por uma função quadrática para caracterizar melhor os resultados, mostrado em linha contínua vermelha.

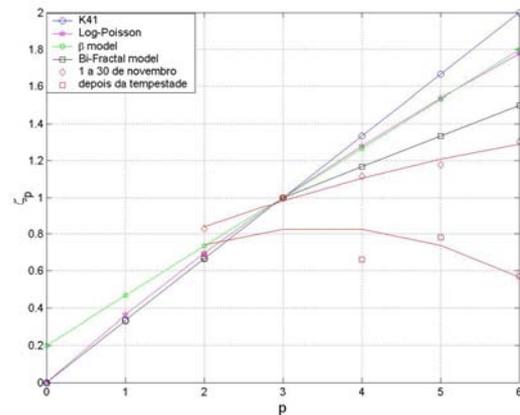


Figura 2: Expoentes das funções estruturas para os dados experimentais e modelos teóricos, mostrados na legenda.

Ambos os períodos apresentaram aspectos multifractais, dado o afastamento dos resultados experimentais com os modelos teóricos apresentados. Entretanto, nota-se claramente uma grande diferença entre os períodos aqui estudados, ou seja, o período pós-distúrbio apresentou característica multifractal mais evidente do que o período todo (o mês inteiro). O aspecto multifractal dos resultados experimentais sugere a complexidade de fenômenos físicos pós-distúrbio solar. Bolzan e colaboradores, utilizando o expoente de Hölder, caracterizou diferenças entre antes e depois o distúrbio solar sobre o campo geomagnético. Segundo eles, esta diferença está associada a fenômenos físicos que ocorrem pós-distúrbio geomagnético de modo que o sistema geomagnético retorne ao estado básico. Do mesmo modo, Kiyani e colaboradores detectaram características multifractais sobre o campo magnético interplanetário para o período de mínima e máxima atividade solar. De acordo com eles, a característica multifractal obtida durante o mínimo solar se deve ao fato de as linhas de campo magnético da coroa solar serem topologicamente bem ordenadas. Entretanto, como o período aqui analisado corresponde à fase descendente do máximo solar, uma mistura de fenômenos podem estar ocorrendo. Portanto, a característica multifractal bem evidente para o período pós-distúrbio reflete o fato do retorno ao estado básico já detectado por Bolzan e

colaboradores bem como a fase descendente do ciclo de atividade solar máxima, com uma somatória de estado bem ordenado de estruturas magnéticas coronais e outros fenômenos físicos como as chamadas estruturas coerentes magnéticas, corroborando os resultados de Kiyani e colaboradores [8].

Conclusão

O uso de técnicas estatísticas para descrever a turbulência na Magnetohidrodinâmica (MHD) tem auxiliado na compreensão dos fenômenos intermitentes presentes na relação Sol-Terra. Uma maneira de estudar os fenômenos intermitentes, é através de análises estatísticas de medidas obtidas no tempo. Neste trabalho, foi utilizada o chamado expoente das funções estruturas, que fornece a característica (multi)fractal do sistema físico em análise. Os resultados indicaram que, após o distúrbio solar, o campo magnético interplanetário apresenta característica multifractal mais evidente do que o período que antecede o distúrbio, corroborando resultados de Kiani e colaboradores [8]. Tal fato indica que o sistema físico pós-distúrbio busca o retorno ao estado básico através de características geométricas mais eficientes para a dissipação de energia. Este processo já foi observado também em dados de campo geomagnético antes e depois de distúrbio solar [7].

Referências

- Lui, A. T. Y. Multiscale phenomena in the near-Earth magnetosphere. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v. 64, p. 125-143, 2002.
- Hnat, B.; Chapman, S. C.; Rowlands, G.; Watkins, N. W.; Freeman, M. P. Scaling of solar wind epsilon and the AU, AL and AE indices as seen by WIND. *Geophysical Research Letters*, v. 29, n. 22, Art. No. 2078, 2002.
- Kolmogorov, A. The local structure of turbulence in incompressible viscous fluid for very large Reynolds number. *Dokl. Akad. Nauk. SSSR*, v. 30, p. 9-13, 1941 (reimpresso no *Proc. R. Soc. Lond. A*, v. 434, p. 9-13, 1991).
- Frisch, U. *Turbulence*. Cambridge University Press, UK, Cambridge, 1995.
- Anselmet, F.; Gagne, Y.; Hopfinger, E. J.; Antonia, R. A.. High-order velocity structure functions in turbulent shear flows. *Journal of Fluid Mechanics*, v. 140, p. 63-89, 1984.
- Becker-Guedes, F.; Sahai, Y.; Fagundes, P. R.; Espinoza, E. S.; Pillat, V. G.; Lima, W. L. C.; Basu, S.; Otsuka, Y.; Shiokawa, K.; Mackenzie, E. M.; Pi, X.; Bittencourt, J. A. The ionospheric response in the Brazilian sector during the super geomagnetic storm on 20 November 2003. *Annales Geophysicae*, v. 25, n. 4, p. 863-873, 2007.
- Bolzan, M. J. A.; Sahai, Y.; Fagundes, P. R.; Rosa, R. R.; Ramos, F. M.; Abalde, J. R. Intermittency analysis of geomagnetic storm time-series observed in Brazil. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v. 67, n. 14, p. 1365-1372, 2005
- Kiyani, K.; Chapman, S. C.; Hnat, B.; Nicol, R. M. Self-similar signature of the active solar corona within the inertial range of solar-wind turbulence. *Physical Review Letters*, v. 98, n. 21, Art. No. 211101, 2007