

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE SÉRIES TEMPORAIS DO CONTEÚDO ELETRÔNICO TOTAL OBTIDOS EM S. J. CAMPOS E BELÉM

Daniel Petramale¹, Maurício J. A. Bolzan², Fábio Becker-Guedes², Paulo R. Fagundes², Valdir G. Pillat²

¹Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo/UNIVAP, dpetramale_sjc@yahoo.com.br

²Laboratório de Física e Astronomia/IP&D/UNIVAP, bolzan@univap.br

Resumo- O uso de séries temporais do Conteúdo Eletrônico Total (VTEC) para estudo das relações Sol-Terra tem se tornado importante. Neste trabalho são analisadas duas séries temporais anuais (ano 2006) de VTEC obtidas em duas localizações geográficas distintas, são elas: S. J. Campos – SP e Belém – PA. O uso de técnicas estatísticas permitiu caracterizar diferenças entre as séries temporais de ambas localidades. Uma explicação física, em termos de processos não-lineares, é utilizada para explicar os valores de curtoses.

Palavras-chave: Estatística, Turbulência, Geomagnetismo.

Área do Conhecimento: Geofísica

Introdução

O estudo da influência dos fenômenos solares sobre a Terra tem atraído o interesse da comunidade científica mundial. Isto se deve as conseqüências destes fenômenos sobre as atividades humanas tais como telecomunicações, linhas de transmissão de energia e etc.

Recentemente, o uso de satellites de posicionamento global (GPS na sigla em ingles) permitiu realizar estudos sobre as condições geomagnéticas dadas as conseqüências sobre o ambiente geomagnético (AFRAIMOVICH, 2002). Por isso, vários modelos semi-empíricos e empíricos foram desenvolvidos para realizar previsões de curto e longo alcance do VTEC tais como o modelo IRI (BILITZA, 2001). Entretanto, estas previsões têm boa concordância somente em condições de calma na atividade solar. Também, há a ausência de poucos estudos estatísticos sobre uma região de grande importância no mundo que se refere à Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul. Para aumentar a sensibilidade destes modelos se faz necessário estudar em maiores detalhes os fenômenos intermitentes presentes no sistema geomagnético.

Alguns estudos recentes como o trabalho de Krankowski et al. (2005) que, usando a Transformada em Ondeleta (TO), conseguiram compreender melhor a variabilidade temporal dos principais períodos presentes em série temporal do VTEC, obtido na região européia.

O problema da acuracidade anteriormente mencionada é devido ao fato do sistema geomagnético ser um sistema complexo que apresenta duas observações contrastantes, são elas: um estado global auto-organizado (SO na sigla em inglês) e; um comportamento repetitivo

promovido possivelmente pelo ciclo de sub-tempestades. (VALDIVIA et al., 2005). Portanto, para estudar este sistema geomagnético se faz necessário utilizar ferramentas estatísticas para caracterizar os fenômenos intermitentes que influenciam diretamente as medidas oriundas de GPS (AFRAIMOVICH, 2002; BURLAGA, 1991; WRASSE et al., 2007). Muitos autores têm utilizado as chamadas Funções de Densidade de Probabilidade (PDFs na sigla em inglês) em muitos tipos de series temporais obtidos desde ambientes espaciais (BURLAGA, 1991; BOLZAN et al, 2005a and others) até ambientes hidrodinâmicos (CASTAING et al., 1990; BOLZAN et al., 2002). Este trabalhos têm mostrado a importância de estudar a forma destas PDFs que podem fornecer importantes informações sobre o comportamento dinâmico do sistema. Chang et al. (2006), que fizeram uma excelente revisão sobre a complexidade do plasma espacial, disseram que as flutuações que são induzidas pelas chamadas Estruturas Coerentes (ECs) no plasma são fortes e bem localizadas. Tais flutuações são registradas nas “asas” das PDFs com o formato exponencial.

Uma maneira mais quantitativa em caracterizar estes fenômenos intermitentes é dada pelo quarto momento estatístico, mais conhecida como a curtoses (FRISCH, 1995). Portanto, números estudos estatísticos sobre series temporais obtidos em ambientes espaciais, mostraram a importância deste tópico para compreender melhor como ocorre a interação no sistema Sol-Terra. Entretanto, existem poucos estudos estatísticos utilizando dados de GPS (WRASSE et al., 2007) e, principalmente, não há nenhum estudo deste tipo sobre o Hemisfério Sul, especialmente o Brasil (CHU et al., 2005, WRASSE et al., 2007). Portanto, o presente trabalho é importante porque

é o primeiro a realizar um estudo estatístico sobre o Brasil e em duas localizações distintas. Assim, neste trabalho será obtidos o parâmetro curtoses e a inclinação do espectro de potência em duas séries temporais de VTEC de modo a caracterizar possíveis distinções entre estas.

Dados

Foram usadas series temporais do ano inteiro de 2006 obtidos para duas localizações geográficas, foram elas: S. J. Campos – SP; e Belém – PA. A série temporal em São José dos Campos foi obtida pelo sistema GPS da UNIVAP e tomada em uma amostragem de uma medida a cada cinco (5) segundos. Posteriormente, a amostragem foi reduzida para uma medida a cada um minuto. A série temporal em Belém foi obtida pelo sistema GPS da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) pertencente ao IBGE. Esta série teve amostragem de uma medida a cada quinze segundos.

O motivo da escolha destas duas localidades está no fato de que cada uma está no hemisfério oposto em relação ao campo magnético terrestre, conforme é mostrado na Figura 1.

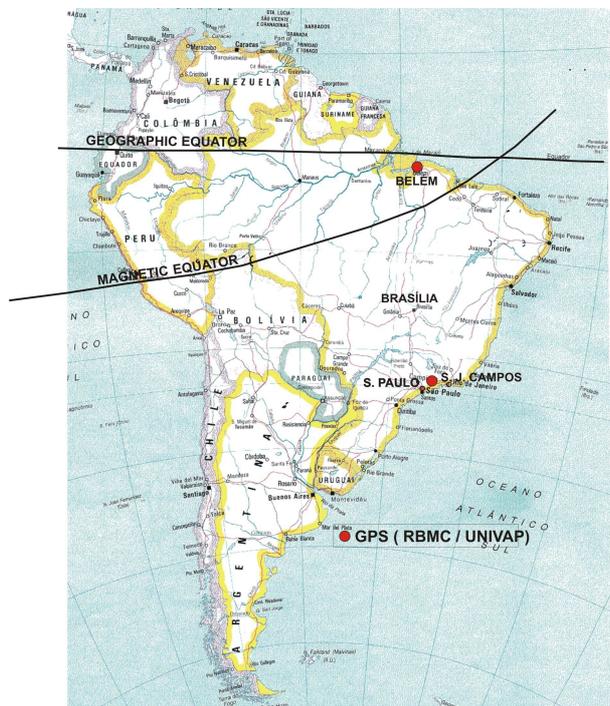


Figura 1- Localização de S. J. Campos e Belém em relação ao equador magnético terrestre.

O fato de ambas as localizações estarem em latitudes bem distintas já se reflete na pronunciada variabilidade sazonal na amplitude da série temporal de VTEC em S. J. Campos em relação à

série temporal de Belém, conforme é mostrado na Figura 2.

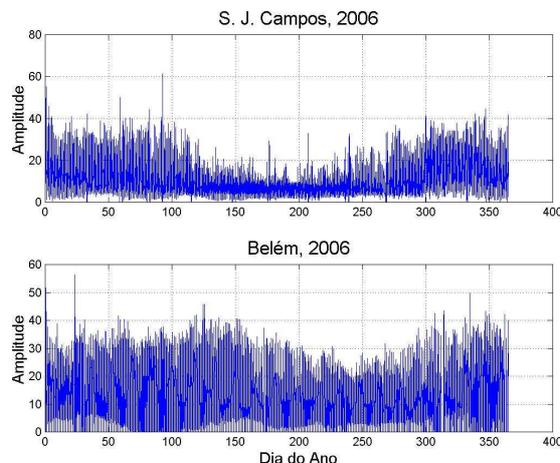


Figura 2- (gráfico superior) série temporal de VTEC de S. J. Campos e; (gráfico inferior) série temporal de VTEC de Belém.

Metodologia

Com o objetivo de caracterizar estatisticamente ambas as séries temporais e procurar averiguar possível influência de ambos hemisférios magnéticos, foi utilizado o conceito da curtose e o valor da inclinação do espectro de potência. Por isso, a seguir será dada uma pequena introdução sobre estes dois tópicos.

Frisch (1995) propôs uma maneira para quantificar o grau do desvio da Gaussianidade para as PDFs, isto é, o nível de intermitência em diferentes escalas. Para isso, se faz necessário calcular a curtoses da diferença entre dois pontos da série temporal como:

$$K = \frac{\langle \overline{\delta V_r(t)^4} \rangle}{\langle \overline{\delta V_r(t)^2} \rangle^2}, \quad (1)$$

onde $\delta V_r(t) = V(t+r) - V(t)$ e r representa uma escala de incremento. Para processos normalmente distribuídos, a curtose assume valor três (3). A presença de fenômenos intermitentes implica em um aumento nos valores da curtose em cada escala r .

O espectro de potência é uma ferramenta que fornece não somente as principais frequências presentes na série como, também, fornece uma importante informação sobre a intermitência. Kolmogorov (1941) propôs a idéia da cascata de energia que concebe três regiões distintas no espectro turbulento e admite um sentido para o

fluxo espectral: das escalas maiores para as menores. A primeira região, denominada de Região de Produção (de energia cinética turbulenta), é aquela em que se encontram os maiores vórtices da turbulência e onde toda a energia cinética turbulenta é produzida a partir do cisalhamento vertical do escoamento médio. É uma região anisotrópica devido à existência de taxa de deformação do escoamento médio que gera a ECT injetada no mesmo. Uma outra região do espectro turbulento é o Subdomínio Inercial. É a parte central da cascata de energia, em que a ECT é conservada. Kolmogorov definiu-a como sendo a região onde o espectro de energia possui inclinação de $-5/3$ em gráfico do tipo loglog, através de uma relação do tipo:

$$E(k) \approx \varepsilon^{2/3} k^{-5/3} \quad (2)$$

obtida via análise dimensional, em que ε é a taxa de dissipação média de energia cinética turbulenta por unidade de massa e k é um número de onda. Por último, o espectro turbulento possui a Região de Dissipação, onde a energia cinética é convertida em calor através da dissipação viscosa.

Resultados experimentais têm mostrado que a inclinação do espectro é distinta do teórico ($-5/3$). Tal afastamento do valor foi creditada a presença destes mesmos fenômenos intermitentes.

Neste trabalho, portanto, serão utilizados estes dois parâmetros para a medida da intermitência de ambas as séries, quais sejam: o valor da inclinação do espectro e a curtoses. A seguir serão apresentados os resultados.

Resultados

O parâmetro estatístico curtose foi calculado para cinco incrementos de escalas r que foram: 2, 20, 80, 120 e 200 pontos. Este procedimento foi aplicado em ambas às séries temporais. A Figura 3 mostra o resultado para ambas as séries de VTEC.

Nota-se em ambas as figuras que os valores da curtose diminui com o aumento dos valores dos incrementos de escalas r . Este comportamento mostra que o nível de intermitência é maior nas menores escalas de ambas as séries.

Comparando ambas as localidades fica evidente, através dos altos valores da curtose, que a série temporal de VTEC de Belém é mais intermitente do que para S. J. Campos. É possível conjecturar que o motivo seja que Belém, por estar mais próxima do equador magnético, sofra mais a ação das chamadas Bolhas Ionosféricas do que a

série obtida em S. J. Campos. Entretanto, falta mais estudo para averiguar se isso representa a física do problema.

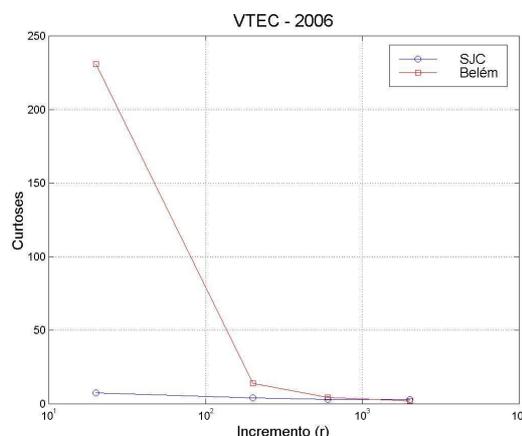


Figura 3- Valores de curtoses para a série temporal de VTEC de S. J. Campos (linha azul) e de Belém (linha vermelha).

De maneira geral, este resultado da curtose já mostra que em Belém o VTEC sofre mais a ação de fenômenos intermitentes do que em S. J. Campos, provavelmente oriundo das conhecidas bolhas ionosféricas.

O segundo método para o estudo da intermitência consiste no cálculo do valor da inclinação do espectro de potência em ambas as séries. A Figura 5 mostra o espectro de potência de ambas as séries e a região do subdomínio inercial onde foi realizado o cálculo da inclinação.

Os valores da inclinação do espectro de potência obtidos para S. J. Campos e Belém foram, em módulo, 1.8 e 1.9, respectivamente, conforme é mostrado na Tabela 1.

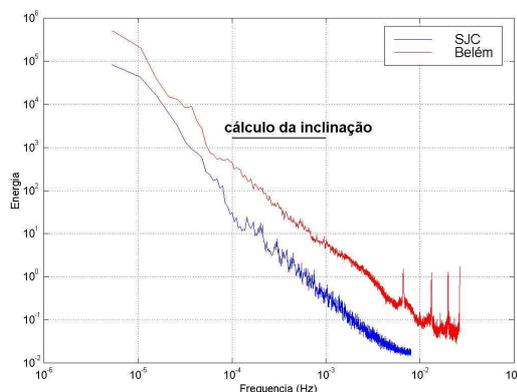


Figura 5- Espectro de potência de ambas as séries temporais indicadas na legenda.

Tabela 1- Valor da inclinação para o espectro de potência de ambas as séries temporais.

Local	Valor
S. J. Campos – SP	-1,80
Belém – PA	-1,90

Agradecimentos: D. Petramale agradece ao CNPq e os demais autores à FAPESP.

Conclusão

Neste trabalho foram analisadas séries temporais de conteúdo eletrônico total vertical (VTEC) obtidas em duas localidades distintas: Belém e S. J. Campos. O motivo desta escolha foi por estarem em hemisférios magnéticos opostos e averiguar possíveis diferenças na estatística devido a esta geografia. Neste sentido, o uso do quarto momento estatístico, conhecido também por curtose, e a inclinação do espectro de potência, permite quantificar o grau de intermitência presente em cada uma das séries temporais analisadas.

Resultados da curtose mostraram que VTEC de Belém é mais intermitente do que a série de VTEC de S. J. Campos. Este resultado também foi corroborado pelo valor da inclinação do espectro de potência. É possível conjecturar que a presença de estruturas coerentes tais como as bolhas ionosféricas podem ser responsáveis para o nível de intermitência da série temporal do VTEC de Belém seja mais elevado, se comparado com a série temporal de VTEC obtida em S. J. Campos. Entretanto, se faz necessário utilizar outras medidas, como imageadores, para detectar bolhas e caracterizar se estas são responsáveis pela elevada intermitência nos períodos onde há a presença destas.

Referências

- AFRAIMOVICH, E. L., 2002. Degradation of signals and operation failures of radio engineering satellite systems during geospace disturbances accompanied by abrupt changes in the geomagnetic field. **arXiv:physics/0212046v3**.
- BILITZA, D., 2001. International reference ionosphere 2000. **Radio Science**, 36(2), 261-275.
- BOLZAN, M. J. A.; RAMOS, F. M.; SÁ, L. D. A.; RODRIGUES NETO, C.; ROSA, R. R., 2002. Analysis of fully developed turbulence above and

inside Amazon forest canopy by means of a generalized entropy theory. **Journal of Geophysical Research**, 107, D20, doi:10.1029/2001JD000378.

- BOLZAN, M. J. A.; SAHAI, Y.; FAGUNDES, P. R.; ROSA, R. R.; RAMOS, F. M.; ABALDE, J. R., 2005. Intermittency analysis of geomagnetic storm time-series observed in Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, 67(14), 1365-1372.

- BURLAGA, L. F., 1991. Intermittent turbulence in the solar wind. **Journal of Geophysical Research**, 96, 5847.

- CASTAING, B.; GAGNE, Y.; HOPFINGER, E. J., 1990. Velocity probability density-functions of high Reynolds-number turbulence. **Physica D**, 46(2), 177-200.

- CHU, F. D.; LIU, J. Y.; TAKAHASHI, H.; SOBRAL, J. H. A.; TAYLOR, M. J.; MEDEIROS, A. R., 2005. The climatology of ionospheric plasma bubbles and irregularities over Brazil. **Annales Geophysicae**, 23(2), 379-384.

- FRISCH, U. **Turbulence**, Cambridge University Press, Cambridge, 296 p., 1995.

- KRANKOWSKI, A.; KOSEK, W.; BARAN, L. W.; POPINSKI, W., 2005. Wavelet analysis and forecasting of VTEC obtained with GPS observations over European latitudes. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, 67(12), 1147-1156.

- WRASSE, C. M.; FECHINE, J.; TAKAHASHI, H.; DENARDINI, C. M.; WICKERT, J.; MLYNCZAK, M. G.; RUSSEL, J. M.; C. L. BARBOSA, 2007. Temperature comparison between CHAMP radio occultation and TIMED/SABER measurements in the lower stratosphere. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, to appear.

- VALDIVIA, J. A.; ROGAN, J.; MUÑOZ, V.; GOMBEROFF, L.; KLIMAS, A.; VASSILIADIS, D.; Uritsky, V.; Sharma, S.; Toledo, B.; Wastavino, L., 2005. The magnetosphere as a complex system. **Advances in Space Research**, 35, 961-971.