



Estudo de pulsações, Pc 5-6, em um perfil perpendicular ao dip equatorial.

Werneck de Carvalho, V.J.O., Benyosef, L.C.C., (Observatório Nacional, ON), A. S. de Assis, (Universidade Federal Fluminense, UFF).

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August, 2017.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

In this study geomagnetic pulsations Pc 5-6 (~1-6 mHz), were analyzed considering three geomagnetically disturbed days using data from VSS, TTB and SJG magnetic observatories. Spectral analyzes were performed using the Wavelet Morlet techniques. The results were analyzed and compared showing the effects of latitudes and the EEJ and AMAS on the results.

Resumo

Neste estudo são analisadas pulsações geomagnéticas contínuas Pc5-6 (~1-6 mHz), durante três dias geomagneticamente perturbados usando registros dos observatórios magnéticos de VSS, TTB e SJG. Foram realizadas análises espectrais usando Wavelet Morlet, Os valores foram comparados e analisados mostrando os efeitos da latitude e do EEJ e da AMAS nos resultados.

Introdução

Pulsações magnéticas, ou micropulsações, são flutuações no campo geomagnético de período curto, com amplitudes típicas menores que uma parte em 10^4 do campo principal, possui efeito transitório, com períodos entre 0,2 segundos a 17 minutos (Jacobs et al 1964). Sabe-se que as pulsações registradas tanto no solo quanto na magnetosfera têm origem nas manifestações de ondas de plasma, conhecidas como ondas hidromagnéticas de ultra-baixa frequência (ULF), que ocorrem na magnetosfera, resultado de complexas interações entre o vento solar e a magnetosfera terrestre. Também podem ser originadas (ou afetadas) por inícios súbitos de tempestades (SSC) e impulsos repentinos (SI), embora seja difícil de confirmação.

As micropulsações são classificadas em duas grandes classes, dependendo da forma da onda e do período de

duração. Esta classificação foi decidida, em 1963, pela Associação Internacional de Geomagnetismo e Aeronomia (IAGA). As pulsações geomagnéticas com forma de onda quasi-sinusoidal são chamadas de pulsações contínuas (Pc), e aquelas com padrão de onda irregulares de pulsações Irregulares (Pi). Cada classe principal é subdividida em bandas ou períodos, que separam cada tipo particular de pulsações, dentro destas classes.

As pulsações do tipo Pc5-6 (f~1-6 mHz) são mais facilmente encontradas em altas latitudes, devido à natureza do seu mecanismo gerador (Walker et al., 1992; Dunlop et al., 1994), mas também podem ser observadas em baixas latitudes (Lilley e Bennett, 1973).

O objetivo deste estudo é apresentar resultados parciais da tese em andamento, analisando as peculiaridades das pulsações contínuas Pc5-6, em dias magneticamente perturbados, em um perfil perpendicular ao dip equatorial e situados em diferentes latitudes. Dessa maneira, foram escolhidos registros de três observatórios magnéticos. Os observatórios de Vassouras (VSS), situado na borda AMAS; o segundo de Tatuoca (TTB), localizado na ilha de mesmo nome e localizado sob o EEJ e o terceiro de San Juan de Porto Rico (SJG), que além de estar localizado no hemisfério norte, não está sob as influências magnéticas presentes nos dois anteriores.

Metodologia

A apresentação esquemática dos observatórios utilizados neste trabalho, suas coordenadas geográficas e geomagnéticas podem ser visualizadas na figura 1 e na tabela 1, respectivamente. Foram selecionados três dias sob tempestades geomagnéticas moderadas que foram os dias: 9, 17 e 26 de setembro de 2011. Para classificação destes dias, foram utilizados os índices ΣKp e A_p e ainda com o diagrama musical de Bartels.

Para destacar somente as pulsações contínuas dos tipos Pc5-6 e identificar os valores, pico a pico, para a componente H em cada um dos dias selecionados, os dados foram processados utilizando filtros do tipo Passa Banda.

Para obtenção das informações sobre os espectros do período das pulsações, foram utilizadas técnicas de análise espectral com Wavelets. Pela conveniência foi

escolhida a Wavelet do tipo Morlet, que proporciona considerável resolução em período/frequência, permitindo a nítida identificação do tipo de onda e seu período, além de revelar em qual parte do sinal analisado ocorre o transporte de energia e suas frequências associadas.

A Wavelet de Morlet consiste em uma onda plana, modulada pela função Gaussiana:

$$\psi(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} \left[\exp(i\beta t) - \exp\left(-\frac{\beta^2}{2}\right) \right] \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right),$$

Onde β é adimensional. Essa função Wavelet é uma função complexa, que permite analisar a fase e o módulo do sinal composto (Castilho et al., 2012).

Os horários se encontram na escala de tempo ZULU (ou + 3 horas do horário de Brasília e + 5 horas do horário de San Juan - Porto Rico).

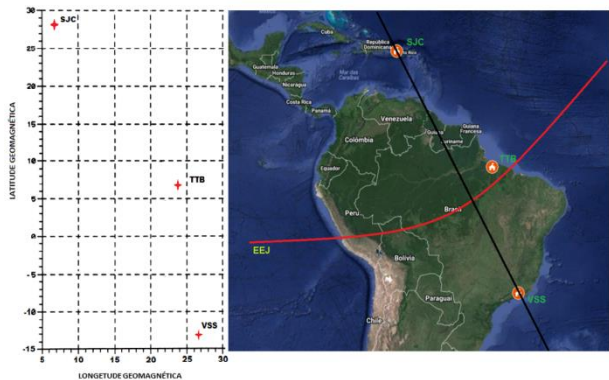


Figura 1. Observatórios magnéticos de SJC, TTB e VSS

Tabela 1. Lista de Estações

Obs.	Abr.	Geog.(GD)		Geom.(Dip)	
		lat.	Long(°E)	Lat.	Long(°E)
San Juan	SJG	08.46	66.11	28.17	06.72
Tatuoca	TTB	-01.20	48.50	07.85	24.09
Vassouras	VSS	-22.40	43.66	-13.52	27.19

Resultados

Durante os dias 09, 17 e 26 foram registradas atividades geomagnéticas de níveis G3, G2 e G4 respectivamente,

em uma escala que varia entre G1(menor intensidade) e G5(maior intensidade). As figuras 1 a 3 mostram as pulsações Pc5, (1.6-7.0) mHz, enquanto as figuras 4 a 7 ilustram as pulsações do tipo Pc6, (1.0-1.6) mHz. Os trens de ondas foram registrados entre (12-22) UT nos dias 9 e 26, porém no dia 17, foram observados entre 03-20 UT.

No dia 9, figura 2, observou-se pacotes de ondas bem definidas simultaneamente em todos os observatórios. As maiores amplitudes ficaram localizadas entre (12-14) UT, decaindo sua intensidade a partir das 18 UT.

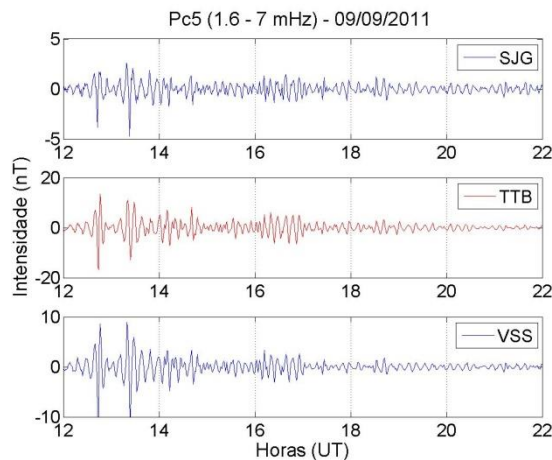


Figura 2. Pulsações filtradas (1.6 – 7.0) mHz nos observatórios de SJC, TTB e VSS, em 09/09/11.

No dia 17 foi observado um pulso de onda isolado, provavelmente em resposta a uma SSC registrada naquele horário entre (03-04) UT, e a intensidade mais forte foi registrada em VSS. Foi registrado mais um pulso de onda isolado, porém com uma duração superior ao primeiro, entre (07-10) UT. Após esse horário, registrou-se atividade intensa apenas em TTB, terminando aproximadamente as 20 UT.

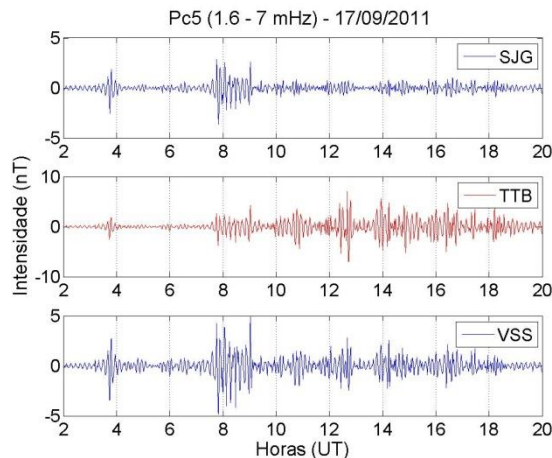


Figura 3. Pulsações filtradas, (1.6 – 7.0)MHz, nos observatórios de SJG, TTB e VSS, em 17/09/11.

A figura 3, mostra o registro de um pacote de ondas isolado entre (3-4)UT e (6-10)UT, sendo que TTB continuou a registrar atividades consideravelmente intensas, após as 10 UT, quando comparado a SJG e a VSS.

No dia 26, as pulsações se concentraram no começo da tarde entre (12-14)UT, registrando um pico de onda em torno das 17 UT e retornando ao período noturno a partir das 19 UT até às 20 UT.

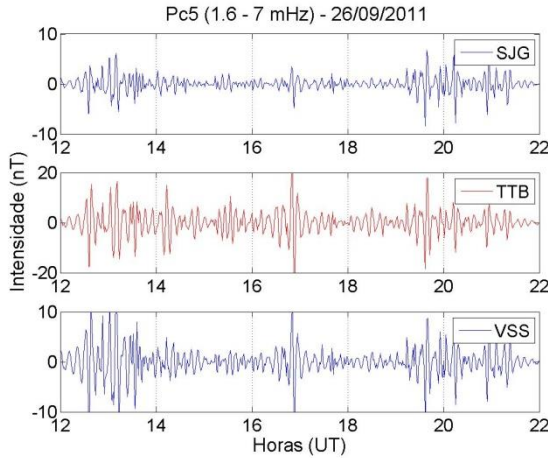


Figura 4. Pulsações filtradas (1.6 – 7.0)MHz, nos observatórios de SJG, TTB e VSS, em 26/09/11.

No dia 26, as Pc5 foram sentidas com maior amplitude no período entre (12-14)UT, (16-18)UT e (19-22)UT, com destaque para o pulso de onda aproximadamente às 17UT nos observatórios.

As figuras 5 a 7 mostram as pulsações do tipo Pc6. O comportamento destas ondas se assemelharam aos da Pc5, ocorrendo nos mesmos horários e apresentando intensidades muito próximas.

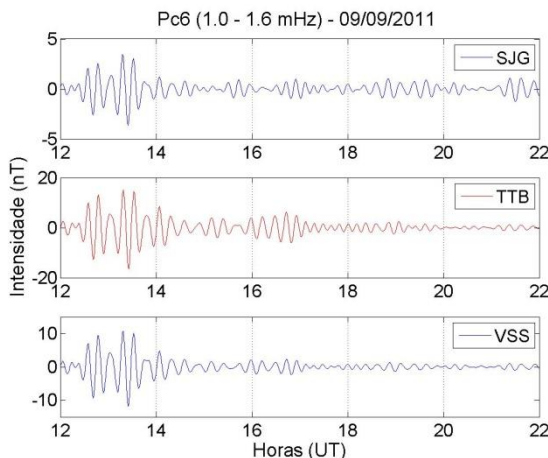


Figura 5. Pulsações filtradas (1.0 – 1.6) mHz nos observatórios de SJG, TTB e VSS, em 09/09/11.

Percebe-se que as Pc6 apresentam uma suavização superior a Pc5, devido por ser uma onda com períodos mais longos.

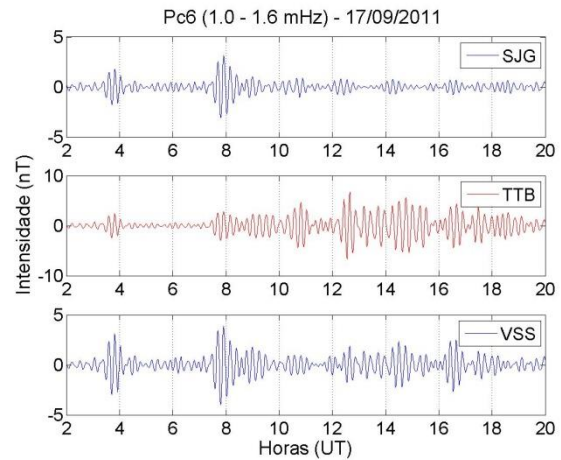


Figura 6. Pulsações filtradas, (1.0 – 1.6) MHz, nos observatórios de SJG, TTB e VSS, em 17/09/11.

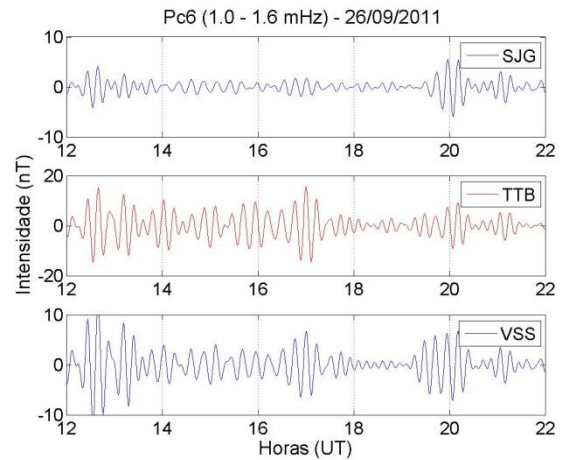


Figura 7. Pulsações filtradas (1.0 – 1.6) MHz, nos observatórios de SJG, TTB e VSS, em 26/09/11.

Nas figuras 8 a 16 pode-se observar os espectros das pulsações Pc5-6, (2.5 – 20)min, em SJG, TTB e VSS. Os espectros dimensionam o nível de energia que cada observatório ficou submetido durante as tempestades. Na figura 8, pode-se ver que SJG pouco sentiu a atividade das pulsações, quase não registrando as ondas Pc5-6, diferentemente de TTB e VSS. As atividades se concentraram entre (12-18)UT.

No dia 17, as pulsações foram sentidas apenas no período entre (3-10)UT em SJG; já em TTB e VSS, as mesmas foram registradas de maneira mais uniforme durante o dia, entre (3-21)UT. TTB chamou a atenção, pois o pico de energia sentido por volta de 4UT, não foi

sentido na mesma intensidade que em SJG e VSS, apesar de estar perto do EEJ.

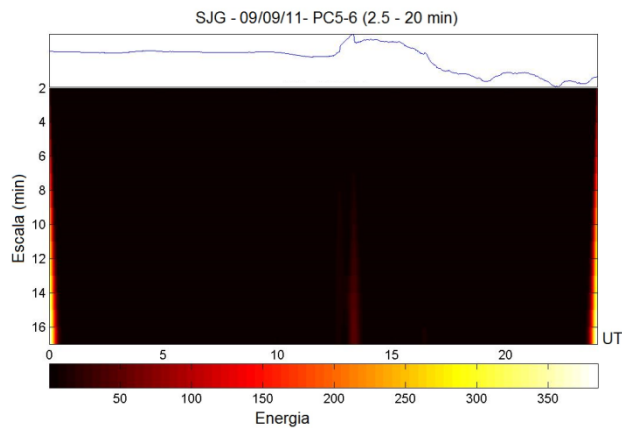


Figura 8. Espectros das pulsações geomagnéticas na componente H entre (1.0 – 7.0) MHz, em SJG, no dia 09/09/11.

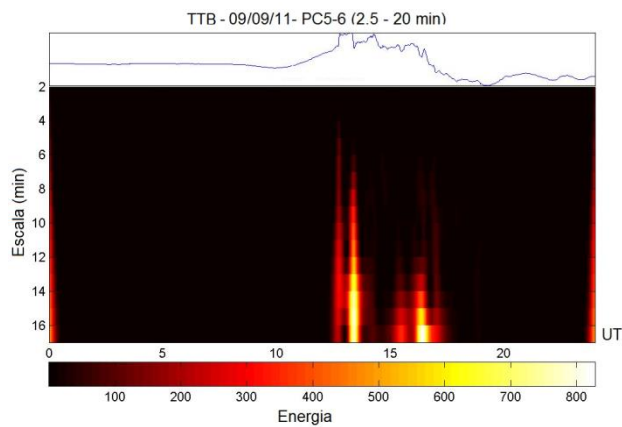


Figura 9. Espectros das pulsações geomagnéticas na componente H entre (1.0 – 7.0)MHz, em TTB, no dia 09/09/11.

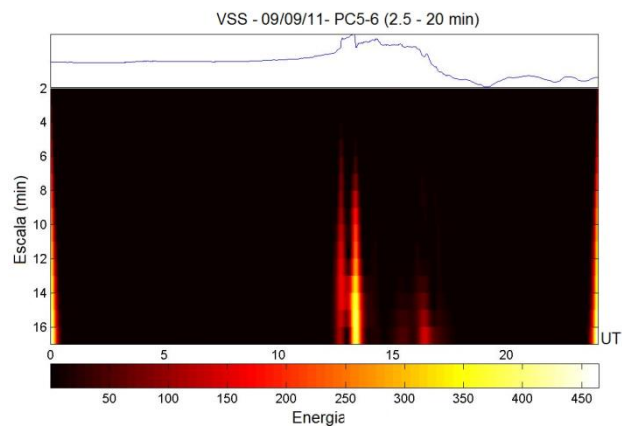


Figura 10. Espectros das pulsações geomagnéticas na componente H entre (1.0 – 7.0)MHz, em VSS, no dia 09/09/11.

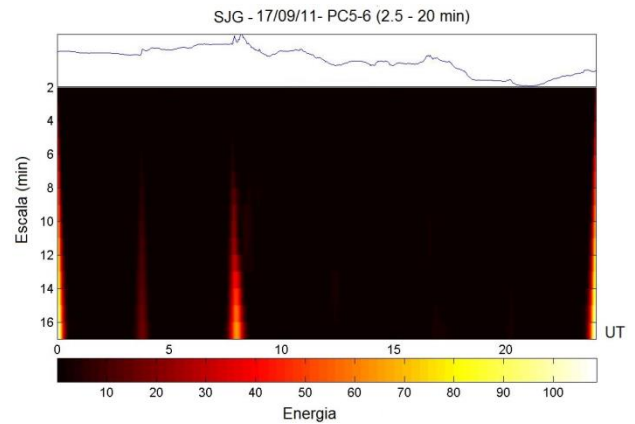


Figura 11. Espectros das pulsações geomagnéticas na componente H entre (1.0 – 7.0) mHz, em SJG, no dia 17/09/11.

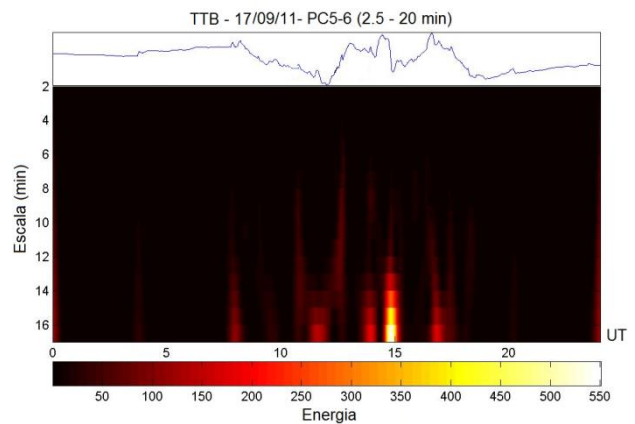


Figura 12. Espectros das pulsações geomagnéticas na componente H entre (1.0 – 7.0)mHz em TTB no dia 17/09/11.

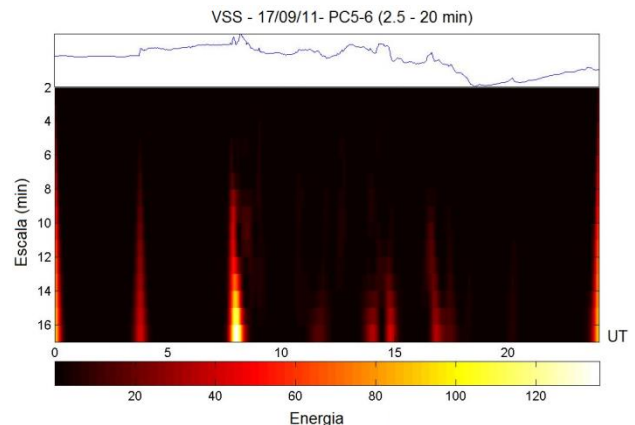


Figura 13. Espectros das pulsações geomagnéticas na componente H entre (1.0 – 7.0)mHz, em VSS, no dia 17/09/11.

No dia 26 foi registrada a tempestade mais severa entre os dias estudados, de nível G4, com isso os níveis de energia foram bem intensos nos observatórios, porém, os registros de SJG mostram um baixo sinal para estas pulsações. Entretanto os registros tanto de TTB, quanto de VSS, foram de bom nível especialmente entre (12–22)UT. Estando em TTB o sinal mais intenso.

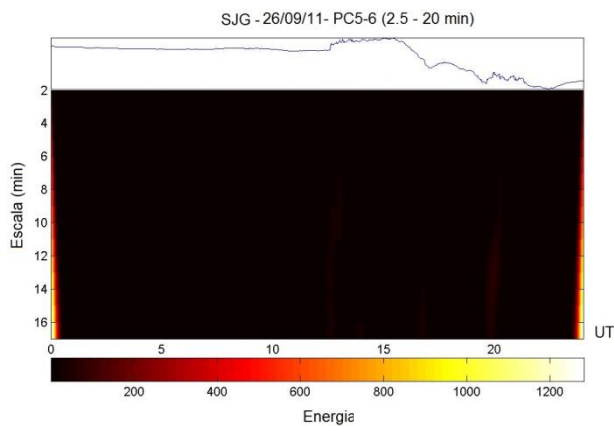


Figura 14. Espectros das pulsações geomagnéticas na componente H entre (1.0 – 7.0)mHz, registrado em SJG no dia 26/09/11.

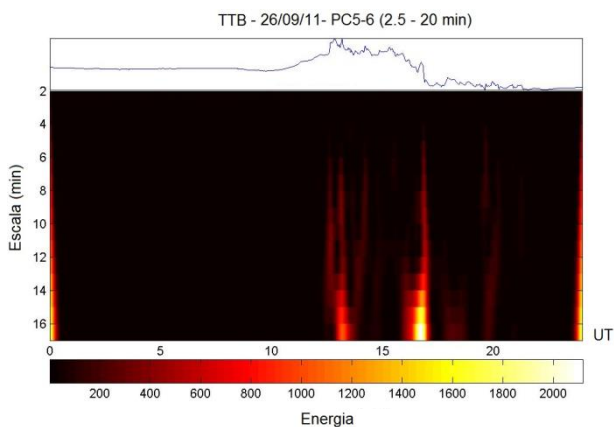


Figura 15. Espectros das pulsações geomagnéticas na componente H entre (1.0 – 7.0)mHz, em TTB, no dia 26/09/11.

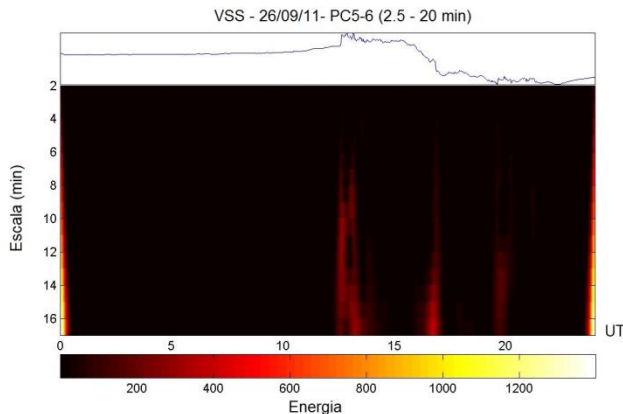


Figura 16. Espectros das pulsações geomagnéticas na componente H entre (1.0 – 7.0) mHz, em VSS, no dia 26/09/11.

Conclusões

Os resultados das análises mostram que há um aumento significativo de energia das micropulsações sob diferentes níveis de tempestade geomagnética,

sobretudo nas vizinhanças do EEJ e da AMAS, perto do meio dia local. O aumento da intensidade nas Pc5-6 no período diurno na região equatorial, provavelmente está relacionado com a influência dos efeitos de condutividade de Cowling. Entretanto os mecanismos desse efeito ainda não são totalmente compreendidos.

Um comportamento similar também foi evidenciado em estudos anteriores para Pi2 e Pc3-4 (Jain and Srinivasacharya, 1975; Sastry et al., 1979, 1983; Saka et al., 1988; Sarma et al., 1991; Sarma and Sastry, 1995; Shinohara et al., 1998).

Nossos resultados nas figuras 8, 11 e 14 mostram que as pulsações Pc5-6 quase não foram sentidas em SJG, apresentando baixos níveis de energia, mesmo em dias de tempestades magnéticas severas (G3 e G4). Esse resultado levanta hipótese que a região é pouco reativa a este tipo de micropulsações, possivelmente por não estar sob influência de nenhuma anomalia magnética (EEJ ou AMAS). Os observatórios de TTB e VSS registraram grandes quantidades de pulsações, com alto grau energético. Uma possível explicação para tal resultado é a proximidade de TTB ao EEJ e de VSS a AMAS. TTB apresentou valores de energia nas Pc5-6 quase duas vezes superiores ao de VSS, o que é corroborado através de estudos anteriores.

De acordo com Sidney Chapman (1951), a magnitude da componente H próximo ao equador magnético, sofre um aumento da ordem de 2,5 vezes superior ao observado em estações mais afastadas do equador. O observatório de VSS, também apresentou valores energéticos consideráveis, possivelmente devido à ionização extra existente na camada E da ionosfera, o que aumentaria a condutividade dentro e ao redor da AMAS (Abdu et al., 2005).

Acknowledgments.

Agradeço a CAPES pelo suporte financeiro, ao INTERMAGNET, pelos dados fornecidos para análises e a todos os envolvidos no projeto REBOM.

Referências

Abdul M.A., I.S. Batista, A.J. Carrasco, C.G.M. Brum, South Atlantic magnetic anomaly ionization: A review and a new focus on electrodynamic effects in the equatorial ionosphere, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 67 (2005) 1643–1657.

Dunlop, I. S., F. W. Menk, H. J. Hansen, B. J. Fraser, and R. J. Morris, A multistation study of long period

- geomagnetic pulsations at cusp and boundary layers latitudes, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 56, 667–679, 1994.
- Jain, A. R. and K. G. A. Srinivasacharya, Study of magnetic pulsations in the Indian equatorial region, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 37, 1477–1483, 1975.
- Kitamura, T. I., O. Saka, M. Shimoizzumi, H. Tachihara, T. Oguti, T. Araki, N. Sato, M. Ishitsuka, O. Veliz, and J. B. Nyobe, Global mode of Pi2 waves in the equatorial regions—difference of Pi2 mode between high and equatorial latitudes, *J. Geomag. Geoelectr.*, 40, 621–634, 1988.
- Lilley, F. E. M. and D. J. Bennett, Micropulsations recorded by an array of magnetic variometers, *J. Geophys. Res.*, 78, 1603–1607, 1973.
- Liu, J. Y., Y. N. Huang, and F. T. Berkey, The phase relationship between ULF geomagnetic pulsations and HF Doppler frequency shift oscillations on March 24, 1991, *J. Geomag. Geoelectr.*, 45, 109–114, 1993.
- McHarg, M. G., J. V. Olson, and P. T. Newell, ULF cusp pulsations: diurnal variations and interplanetary magnetic field correlations with groundbased observations, *J. Geophys. Res.*, 100, 19729–19742, 1995.
- Olson, J. V. and G. Rostoker, Longitudinal phase variations of PC4-5 micropulsations, *J. Geophys. Res.*, 83, 2481–2488, 1978.
- Otnes, R. K. and L. Enochson, *Applied Time Series Analysis, V.1 Basic Techniques*, 449 pp., Wiley-Interscience, New York, 1978.
- Rao, D. R. K., A result on Pc3–4 waves in the Indian equatorial region, *J. Geomag. Geoelectr.*, 48, 1443–1449, 1996.
- Rastogi, R.G. Nature* **268**, 422 - 424 (04 August 1977); doi:10.1038/268422a0.
- Saito, T., Resonance model on Pc3 sub-tropic region, in *Contribuciones Cientificas para Conmemorar el 75 Aniversario del Observatorio del Ebro*, pp. 175–180, 1983.
- Saka, O., T. I. Kitamura, M. Shimoizzumi, T. Araki, T. Oguti, O. Veliz, and M. Ishitsuka, The effects of Non-Uniform Ionosphere on the Equatorial PC Pulsations, *J. Geomag. Geoelectr.*, 40, 635–643, 1988.
- Samson, J. C., B. G. Harrold, J. M. Ruohoniemi, R. A. Greenwald, and A. D. M. Walker, Field line resonances associated with MHD waveguides in the magnetosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 19, 441–444, 1992.
- Sarma, S. V. S. and T. S. Sastry, On the equatorial electrojet influence on geomagnetic pulsation amplitudes, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 57, 749–754, 1995. Sarma, S. V. S., T. S. Sastry, and Y. S. Sarma, On the latitudinal variation of magneto-telluric source field in the equatorial region of India, *J. Geomag. Geoelectr.*, 43, 677–684, 1991.
- Sastry, T. S., Y. S. Sarma, and S. V. S. Sarma, Equatorial electrojet effects on geomagnetic pulsations, *Ind. J. Radio Space Phys.*, 8, 249–253, 1979.
- Sastry, T. S., Y. S. Sarma, and S. V. S. Sarma, Daytime Pi-pulsations in the equatorial region of India, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 45, 733–741, 1983.
- Schott, J. J., N. G. Kleimenova, J. Bitterly, and O. V. Kozyreva, The strong Pc5 geomagnetic pulsations in the initial phase of the great magnetic storm of March 24, 1991, *Earth Planets Space*, 50, 101–106, 1998.
- Shinohara, M., K. Yumoto, N. Hosen, A. Yoshikawa, H. Tachihara, O. Saka, T. I. Kitamura, N. B. Trivedi, J. M. Da Costa, and N. J. Schuch, Wave characteristics of geomagnetic pulsations across the dip equator, *J. Geophys. Res.*, 103, 11745–11754, 1998.
- Sorokin, V. and G. V. Fedorovich, Propagation of short period waves in the ionosphere, *Izv. VUZov (Radiofizika)*, 25, 495–507, 1982.