

Estudo das propriedades da região C ionosférica utilizando a rede SAVNET

Gavilán, H. R., CRAAM/EE, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, SP, Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil.

Raulin, J.-P., CRAAM/EE, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, SP, Brasil.

Bertoni, F. C. P., CRAAM/EE, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, SP, Brasil.

Dal Lago, A., Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil.

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th 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 paper we use the Very Low Frequency (VLF) diagnostic provided by the South America VLF Network (SAVNET) to study the temporal characteristics of the transient ionospheric C-region. We have measured for about 2 years the morning phase advances (Δ) of long-distance propagated waves revealing the presence of an excess of ionization below the normal D-region. We find that Δ presents a slow and smooth variation between March and October which can be understood in terms of the speed of the solar illumination along the VLF path. However, during the whole period October - March Δ does present strong variations on consecutive days, which cannot be explained by solar, geomagnetic or cosmic ray activities. We will show that the disturbed period when the morning phase advance is highly variable corresponds to the (Northern hemisphere) winter anomaly during which the ionospheric temperature and nitride oxide concentration do vary similarly.

Introdução

A existência de uma região ionosférica abaixo de 70 km de altura, entre os 65 e 69 km, conhecida como região C, foi cogitada há alguns anos. As evidências de sua existência estão baseadas em medidas de densidade eletrônica por meio de foguetes (ver Mechtly et al., 1967 e Mechtly et al., 1969) assim como na propagação de ondas VLF (ver Moler et al. 1960 e Chilton et al., 1964). A explicação mais divulgada sobre a origem desta região ionosférica é que sua formação depende da radiação de raios cósmicos, embora também fosse proposta a ocorrência de processos de separação associativa com o oxigênio atômico, que é um dos processos responsáveis da formação de ozônio.

A diferença de fase que é produzida pela aparição da região C mostra uma dependência com o ângulo que faz o trajeto de propagação com o terminadouro, atingindo seus máximos avanços de fase quando o trajeto de propagação é paralelo com o terminadouro. Kuntz et. al 1991 utilizou o trajeto de propagação VLF GBR – ATI

(Grã Bretanha - Atibaia) para comparar a resposta da região C ionosférica em períodos de máximo e mínimo solar do ciclo de atividade solar 21, através de médias mensais obtidas entre os meses de novembro e fevereiro, quando esta diferença de fase é máxima. Seus resultados mostraram que a diferença de fase entre o mínimo e o máximo de atividade solar é de 5,7 graus/Mm, além de mostrar que as diferenças de fase são menores durante o máximo de atividade solar.

Método

A rede SAVNET é um projeto internacional liderado pelo Brasil e inclui a colaboração de Argentina e Peru, com locações espalhadas pela América do Sul. A SAVNET tem como objetivos monitorar a atividade solar em escalas de tempo curtas e longas e estudar a estrutura espacial da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. (ver Raulin et. al, 2009). Outros objetivos incluem o estudo de fenômenos atmosféricos e investigar efeitos eletromagnéticos, na baixa ionosfera, relacionados com terremotos.

Utilizamos dados da rede SAVNET obtidos a partir de maio de 2006, período que abarca o mínimo de atividade solar do ciclo 23, para os diferentes trajetos de propagação entre as estações receptoras de Piura (PIU, Peru), Punta Lobos (PLO, Peru) e Casleo (CAS, Argentina) e as estações transmissoras de VLF NAA (Boulder, EUA) e NDK (Dakota do Norte, EUA). Na nossa base de dados descartamos os dias onde aconteceram explosões solares maiores que B5, durante a aparição da região C e aqueles com índice geomagnético Kp maior que 4.

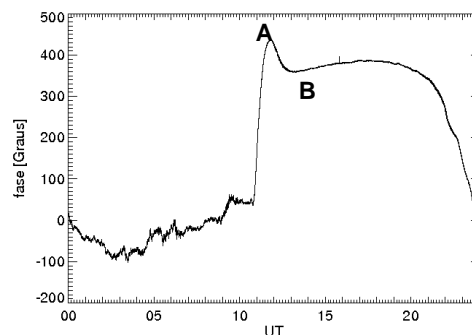


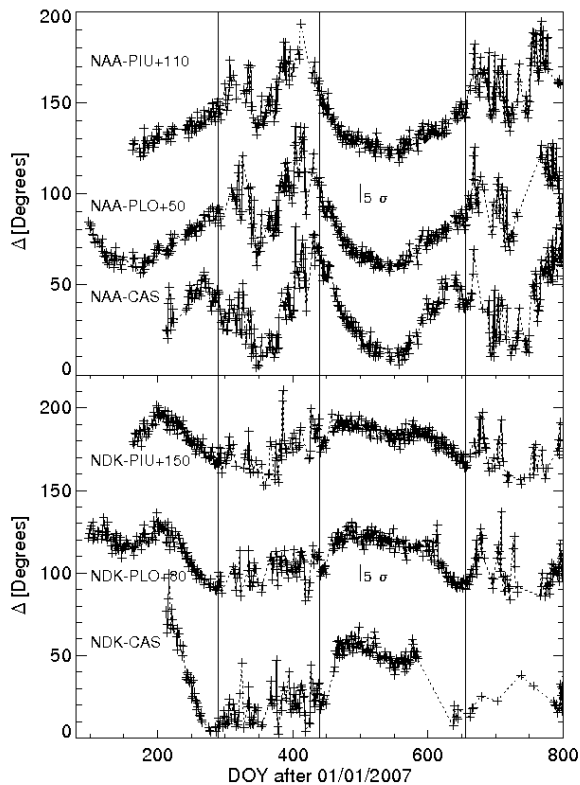
Figura 1: Variação da fase diurna no trajeto de propagação NAA – CAS.

Na figura 1, mostramos um perfil de variação de fase diurna, onde identificamos o aumento de fase produzido pela aparição da região C. O ponto A mostra o máximo de fase produzido após o amanhecer, conhecido também como PSRH, e o ponto B mostra o mínimo atraso da fase após o PSRH.

O parâmetro Δ (Comarmond, 1977, Kuntz et al. 1991) é utilizado para caracterizar a região C, como a diferença entre o máximo de fase produzido após o amanhecer, conhecido também como PSRH (Post SunRise Hump) e o mínimo após o PSRH.

Resultados

Na figura 2, mostramos a variação do parâmetro Δ para os trajetos de propagação VLF desde o transmissor NAA (quadro superior) e desde o transmissor NDK (quadro inferior), onde identificamos dois períodos bem diferenciados em cada trajeto: um período transiente que acontece entre os meses de março até outubro e um período perturbado, com súbitos aumentos do parâmetro Δ , que acontece entre outubro e março. Figura 2:



Varição do parâmetro Δ observada em diferentes trajetos VLF da rede SAVNET.

Na figura 3, comparamos a variação do parâmetro Δ , observada nos trajetos de NAA-PLO e NDK-PLO, com a rapidez com que o terminadouro atravessa cada trajeto de propagação. Notamos que a variação lenta de Δ (+) reflete bem as variações da velocidade de deslocamento do terminadouro, V (linha), e que durante o ano, existem dois períodos de tempo onde V é máxima e o efeito da região C é bem notável.

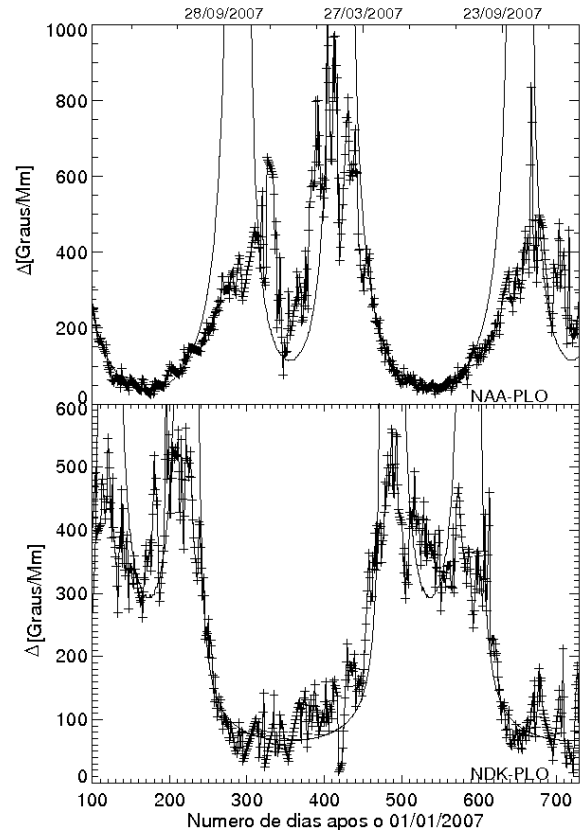


Figura 3: Comparação entre a variação do parâmetro Δ e a velocidade do terminadouro.

Ao observarem-se variações rápidas e grandes entre os meses de outubro e março, cogitou-se a possibilidade de haver influência da anomalia de inverno, em função do período das flutuações, além de que este tipo de perturbações não têm relação com fenômenos solares. A anomalia de inverno é mais intensa no hemisfério norte que no hemisfério sul, além de que tem lugar em latitudes medias.

Utilizamos os dados proporcionados pelo TIMED-SABER para comparar as variações de temperatura (Figura 4b) e da radiação de NO (Figura 4c), que atua como um proxy da concentração de NO, entre os 30 e 70 km de altitude. A partir da Figura 4 (b e c), podemos conferir que há súbitos aumentos de temperatura e da radiação de NO entre os meses de outubro e março (que corresponde com os dias 285 a 440) que coincidem com as variações do parâmetro Δ (Figura 4a). Uma análise mais aprofundada dos perfis de variação diurna é mostrada na Figura 5, onde observa-se a variação matinal de fase nos trajetos NAA – PLO (esquerda) e NAA – CAS (direita) para os dias 6, 8 e 12 de fevereiro de 2008. Durante estes dias, o parâmetro Δ apresentou uma variação de até 80 %, onde fica claro na que a variação do parâmetro Δ traduz de fato uma variação da largura L do PSRH.

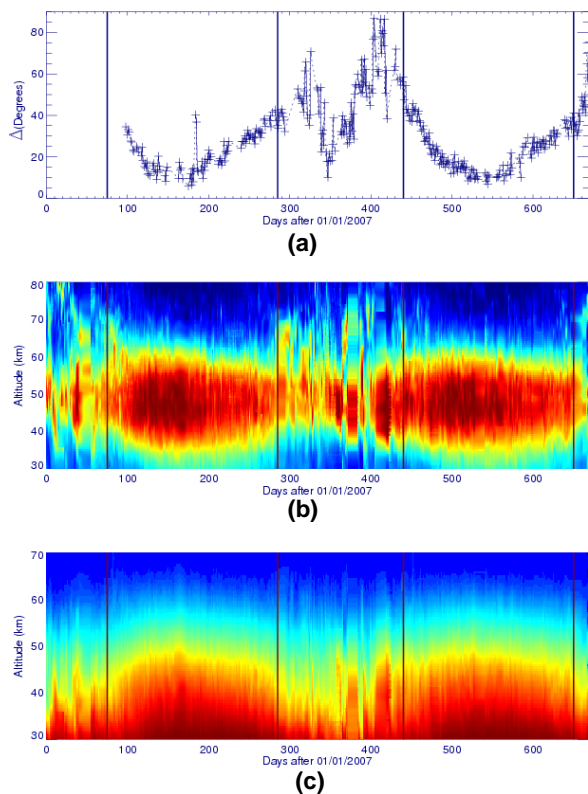


Figura 4: Comparação do parâmetro Δ com variações de temperatura e de NO na vizinhança da estação transmissora de NAA.

Os trabalhos de McRae e Thompson (2000) e Pacini & Raulin (2006) mostraram que há uma diferença de 1 km na altura de referência, o que equivale a 3.64 graus/Mm, entre os períodos de mínimo e máximo de atividade solar, mostrando que os resultados de Kuntz foram superestimados, devido a que eles foram efetuados durante o período onde acontecem estas variações.

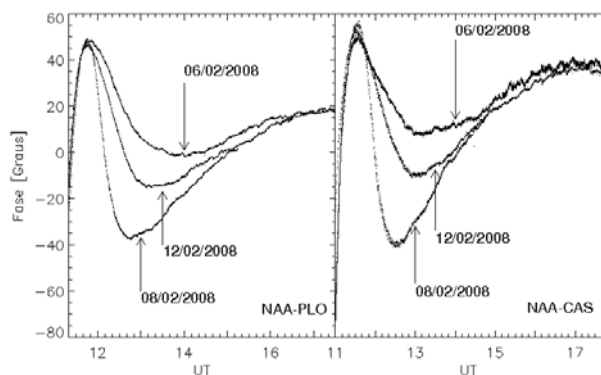


Figura 5: Variação de fase matutina nos dias 06/02/2008, 08/02/2008 e 12/02/2008 observadas nos trajetos de propagação VLF de NAA-PLO e NAA-CAS

Conclusões

Nossos resultados mostram que o parâmetro Δ apresenta dois períodos bem diferenciados: um período com variação lenta que acontece entre março e outubro, influenciado pela velocidade do terminadouro. Entre os meses de outubro até março o parâmetro Δ experimenta flutuações intensas e rápidas as quais podem estar vinculadas a mudanças de temperatura decorrentes da anomalia de inverno.

Agradecimentos

O projeto SAVNET é apoiado pela agencia FAPESP (06/09279-0) e a fundação Mackpesquisa, com recursos adicionais do CNPq e do CNRS (França). H.R.G. agradece ao CNPq (133655/2007-5) e ao DGE-INPE, J.P.R agradece ao CNPq (304433/2004-7) e FCPB agradece a FAPESP (2007/05630-1).

Referências

- Chilton, C. J.; Diede, A. H.** Transequatorial reception of a very-low-frequency transmission. *Journal of Geophysical Research*, v. 69, n. 7, p. 1319 – 1328, 1964.
- Comarmond, J. M.** Contribution a l'étude de la basse ionosphère par des mesures de phase et d'amplitude d'ondes électromagnétiques à très basse fréquence. Dissertação de doutorado de estado pela Universidade Pierre et Marie Curie, Julho 1977.
- Kuntz, V. L. R.; Piazza, L. R.; Kaufmann, P.** C-layer dependence on solar cycle and southern latitude observed by VLF propagation. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, v. 53, n. 5, p. 419 – 423, 1991.
- Mc Rae, W. M.; Thompson, N. R.** VLF phase and amplitude: daytime ionospheric parameters. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v. 62, p. 609 – 618, 2000.
- Mechtly, E. A. E.; Smith, Bowhill, S. A.** Lower ionosphere electron concentration and collision frequency from rocket measurements of Faraday rotation, differential absorption, and probe current. *Journal of Geophysical Research*, v. 72, p. 5239 – 5245, 1967.
- Mechtly, E. A. E.; Smith, L. G.** Growth of the D-region at sunrise. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, v. 30, p. 363-369, 1968.
- Moller, W. F.** VLF propagation effects of a D-region layer produced by cosmic rays. *Journal of Geophysical Research*, v. 65, n. 5, p. 1459 – 1468, 1960.
- Pacini, A. A. & Raulin, J. P.** Solar X-ray flares and ionospheric sudden phase anomalies relationship: A solar cycle phase dependence. *Journal of Geophysical Research*, v. 111, Issue A9, A09301, 2006.
- Raulin, J.P.; David, P. C. M.; Hadano, R.; Saraiva, A. C. V.; Correia, E.; Kaufmann, P.** The South America VLF Network (SAVNET). *Earth, Moon and Planets*, 104, 247-261, 2009. doi 10.1007/s11038-008-9269-4.