



Comportamento sazonal de Bolhas de Plasma na região equatorial do Brasil observado pelo imageamento do airglow na emissão do OI 630,0 nm

Igo Paulino^{1,2}, Amauri Fragoso de Medeiros², Ricardo Arlen Buriti²

¹ Aluno de PIBIC

² Universidade Federal de Campina Grande

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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

The study of the ionospheric irregularities or plasma bubbles is very important for to understand the dynamics process of the high atmosphere. The variability is a determined element in the preview of the space weather, thus the short time preview of the behavior of the bubbles is indispensable for the plain of the activities and the system of special application. In this paper we present results of two years (from September 2000 to 1 August 2002) of observations of the plasma bubbles through imager all sky data localized placed at São João do Cariri (7°13'S; 35°52'W). The plasma bubble showed a seasonal behavior characterized by appear between moths September and March of the two years observed, while in the others moths we detect few times the plasma bubble. However, we can see too that during the equinox moths the occurrence peak of the bubbles happened more early (~20:30 LT) than summer moths where the occurrence peak was around of 21:30 until 23:30 LT (Local Time). In the summer the plasma bubble occurrence was larger than equinox moths. The dynamics conditions of ionospheric plasma are dominated by electromagnetic drift **ExB** and depended of the conductivity across field magnetic lines in the E conjugates regions and, thus, the alignment between the magnetic meridian and the solar terminate is the responsible by bubble seasonal variation, as well as, by major occurrence this phenomenon in the summer moths

Resumo

O estudo das irregularidades ionosféricas ou bolhas de plasma é muito importante para se entender os processos dinâmicos da alta atmosfera. A sua variabilidade é um elemento determinante na previsão do clima espacial, portanto a previsão em curto prazo do comportamento das bolhas é essencial para planejamentos de atividades e de sistemas de aplicações espaciais. Neste trabalho apresentamos resultados de dois anos (Setembro de 2000 à Agosto de 2002) de observações de bolhas de plasma através de dados coletados por um imageador "all sky" instalado em São João do Cariri (7°13'S; 35°52'W). As bolhas de plasma apresentaram um comportamento sazonal caracterizado pelo surgimento entre os meses de Setembro e Março dos dois anos observados, corroborando com resultados anteriores (Pimenta, 2003; Sahai et al., 2000) sendo que nos outros meses foram poucas as vezes que

detectamos bolhas. Por outro lado, podemos ver também que durante os meses de equinócio o pico de ocorrência das bolhas aconteceu mais cedo (~20:30 às 21:30 LT) do que nos meses do verão onde o pico de ocorrência ficou por volta das 21:30 às 23:30 LT (hora local). Durante o verão a ocorrência de bolhas de plasma foi mais acentuada do que nos meses do equinócio. As condições dinâmicas do plasma ionosférico são dominadas pela deriva eletromagnética **ExB** e dependem da condutividade ao longo das linhas de campo entre as regiões E conjugadas (latitudes conjugadas). Desta forma, o alinhamento entre o meridiano magnético e o terminador solar é o responsável pela variação sazonal das bolhas, bem como pela maior ocorrência deste fenômeno durante os meses de verão, com discutiremos mais abaixo.

Introdução

As bolhas de plasma constituem regiões onde a densidade do plasma ionosférico é fortemente reduzida. O comportamento das bolhas de plasma tem sido estudado através de várias técnicas de observações ópticas e de rádio (Pimenta, 2003; Takahashi et al., 2001; Sahai et al., 2000; Sobral et al. 1980a e 1980b; Weber et al., 1978).

Além disso, a generalização do comportamento das bolhas de plasma tem servido de objeto de estudos teóricos e experimentais (Heelis et al., 2004; Harendel et al., 1992 e 1973; Tingley et al., 1973; Hanson et al., 1969).

A radiação solar é a principal fonte de energia da ionosfera e produz um efeito de dissociação que produz o chamado plasma ionosférico e, sendo assim, a região da ionosfera terrestre apresenta características bem peculiares no seu comportamento e dinâmica. As interações coulombianas predominam sobre as interações gravitacionais e colisionais e, com isso, o movimento do plasma ionosférico será controlado pela deriva eletromagnética **ExB**. Esta deriva durante o dia é causada por campos elétricos zonais associados às marés atmosféricas na região E e à noite os campos elétricos passam a serem principalmente verticais e controlados pelos ventos termosféricos (Pimenta 2003).

O aparecimento das irregularidades ionosféricas deve-se aos efeitos da condutividade entre as regiões E e F. estas regiões são acopladas através das linhas de campo magnético, durante o dia existe uma alta condutividade na região E e fecha-se um circuito com a região F através das linhas de campo magnético, ao cair à noite a condutividade na região E diminui e o circuito é interrompido (Figura 1).

Conseqüentemente, a defasagem na interrupção desses circuitos provocarão, em efeitos distintos nas aparições das bolhas e é o que vai caracterizar a sazonalidade das bolhas de plasma como veremos a posterior.

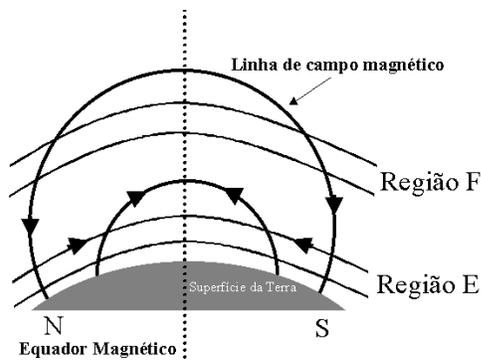


Figura 1 - Esquema do circuito formado entre a região E e a região F da ionosfera através das linhas do campo magnético.

Neste trabalho apresentamos resultados de dois anos de observações de bolhas de plasma na emissão do OI 6300,0 nm na região equatorial do Brasil. Veremos (Mostraremos) que existe uma preferência sazonal na aparição das bolhas de plasma entre os meses de Setembro a Março e isto concorda com outros estudos realizados em outras localidades [Pimenta (2003), Sahai et al (2000)].

Observações

O imageador “all sky” é um instrumento óptico utilizado para fazer medições do airglow em diversos comprimentos de onda, ele é formado por uma lente olho de peixe que fornece um campo de visão de aproximadamente 180°, uma roda de filtros que seleciona o filtro para emissão desejada, um sistema telescópico que direciona a luz para a câmara CCD (matriz de células fotossensíveis) que reproduz as imagens das células, além disso, todo o processo de captação das imagens é controlado por um microcomputador (Medeiros 2002).

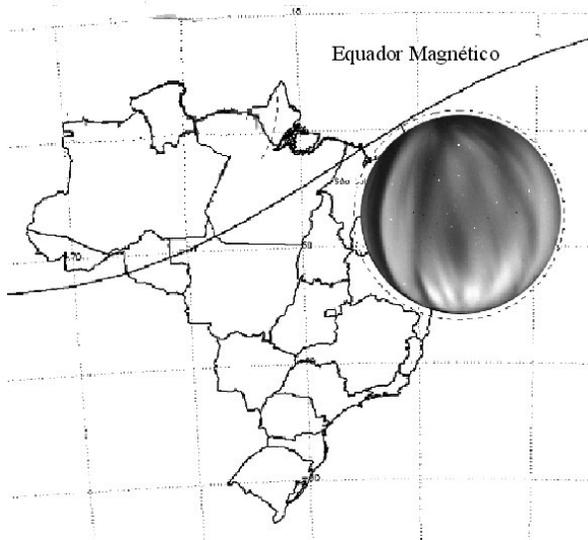


Figura 2 - Projeção da imagem do OI 630,0 nm observada em São João do Cariri na altura do pico de emissão da camada sobre o mapa do Brasil.

Desde de Setembro de 2000 são feitas observações do airglow com um imageador “all sky” no OLAP

(Observatório de Luminescência Atmosférica da Paraíba) situado em São João do Cariri (7°13’S; 35°52’W).

Essas observações são feitas em média 13 (treze) dias por mês em torno da lua nova, são observadas algumas emissões do airglow que destacamos neste trabalho a emissão do OI 630,0 nm na qual fizemos os nossos estudos das bolhas. A Figura 2 mostra um exemplo da projeção de bolhas de plasma observadas pelo imageador “all sky” na emissão do OI 630,0 nm na noite do dia 01 de Fevereiro de 2003 em São João do Cariri.

Foram dois anos de observações das bolhas de Setembro de 2000 até Agosto de 2002, dentre os quais apenas em dois meses (Março e Novembro de 2001) não foram registradas imagens. Apresentamos na Tabela 1 um resumo das observações feitas nestes dois anos.

	Total Observado	Presença de Bolhas
Meses	22	14
Dias	220	110
Horas	1567:28:00	140:31:18

Tabela 1 - Resumo dos dados observados na emissão do OI 630,0 nm entre os meses de Setembro de 2000 à Agosto de 2002 em São João do Cariri.

Resultados

Na Figura 3 são plotadas as informações referentes ao total de dias observado em cada mês durante o período de observação.

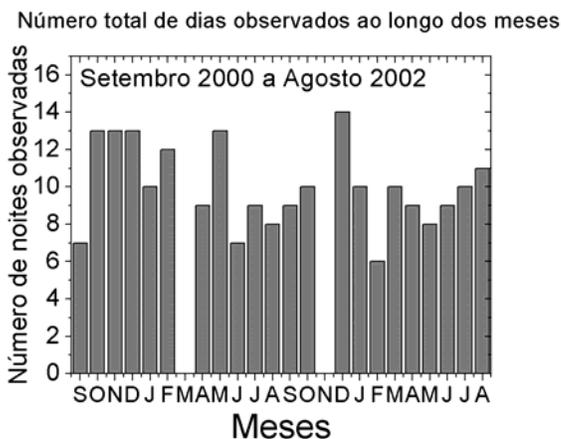


Figura 3 - Total de noites observadas em cada mês Durante o período de Setembro de 2000 a Agosto de 2002.

Observando a Figura 3 percebemos que o número de noites observadas é considerável em cada mês e, então, podemos com boa precisão generalizar observações feitas neste período quando comparamos com outros trabalhos semelhantes feitos em outras localizações.

Na Figura 4 apresentamos a porcentagem de ocorrência das bolhas de plasma nos meses observados. Essa porcentagem foi obtida dividindo o número total de dias de cada mês em que foram detectadas as bolhas de plasma pelo total de dias em que tiveram observações no mês.

Notamos que existe uma preferência na aparição das bolhas de plasma entre Setembro e Março de cada ano,

sendo mais acentuado o surgimento nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro de cada ano. Estes resultados concordam com outros trabalhos realizados anteriormente por Pimenta et al., (2003) e Sahai et al., (2000), nestes trabalhos os autores fazem uma caracterização do comportamento sazonal das bolhas tanto para períodos de atividade solar alta como para períodos de atividade solar baixa e os resultados do período de aparição são bastante semelhantes com os nossos encontrados na região equatorial.

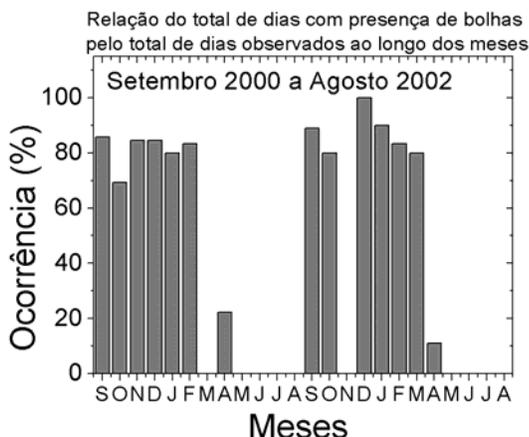


Figura 4 - Porcentagem de ocorrência de bolhas de plasma durante os meses observados

Uma tentativa de refinamento deste resultados foi verificar como se comporta a aparição das bolhas de plasma em relação ao total de horas observadas e, analogamente, fizemos a mesma relação para as horas e apresentamos nas Figuras 5 e 6.

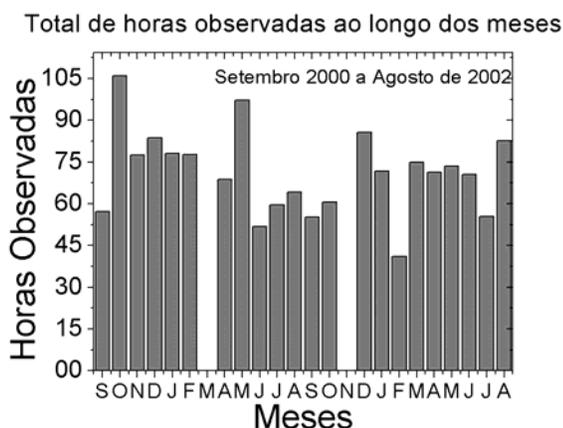


Figura 5 - Total de horas observadas nos meses de investigação

Na Figura 5 contamos o total de todas as horas observadas em cada mês e plotamos em função do período dos dois anos.

A Figura 6 traz a porcentagem de ocorrência das bolhas de plasma em relação às horas observadas durante o período especificado, ou seja, dividimos a quantidade de horas em que as bolhas de plasma foram visíveis em cada mês pelo total de horas observadas no mês e plotamos em função dos meses observados.

Podemos ver na Figura 6 que a porcentagem do surgimento de bolhas de plasma em relação ao número de horas observadas preserva a forma da porcentagem do surgimento das bolhas em relação aos dias observados. Por outro lado, na Figura 6, percebemos um aumento da presença das bolhas nos meses de verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) com relação aos meses de equinócio.

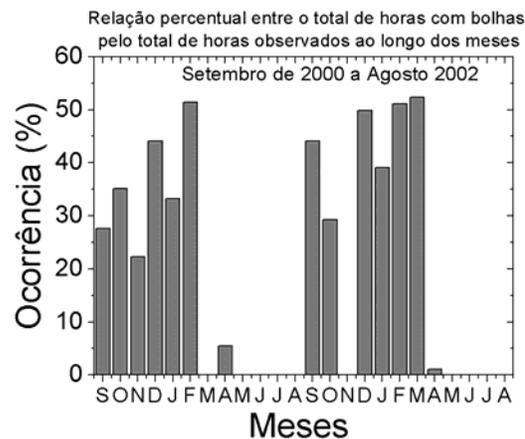


Figura 6 - Porcentagem de ocorrências das bolhas de plasma no meses observados em relação as horas de observações.

Este aumento na presença das bolhas nos meses do verão nos levou a fazer outra investigação que consiste em observamos como é o comportamento da presença das bolhas de plasma ao longo da noite nos meses de verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) e dos meses de equinócio (Setembro, Outubro, Novembro e Março) e na Figura 7 mostramos o comportamento das bolhas ao longo da noite para os meses de equinócio e para os meses de verão.

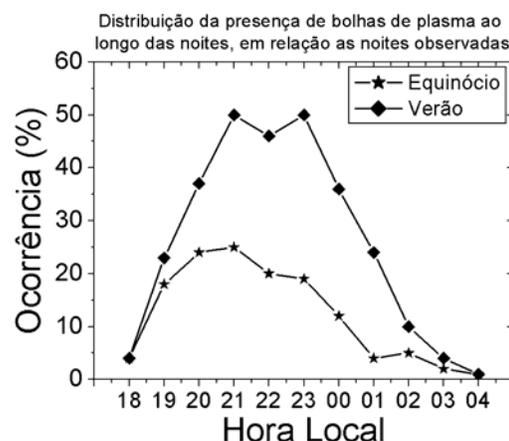


Figura 7 - Número de ocorrência de bolhas de plasma ao longo da noite.

Na confecção da Figura 7 fizemos uma contagem da quantidade de noites que apresentavam bolhas de plasma em cada hora da noite.

Nos meses do equinócio o pico de presença das bolhas ficou situado por volta das 20:30 as 21:30 LT. Já para os meses de verão o pico da presença das bolhas fica entre as 21:00 e 23:30 LT, Pimenta, (2003) também encontrou

resultados semelhantes aos nossos, só que fazendo a distinção entre o período de atividade solar alta e de atividade solar baixa. Também podemos ver que existe um maior número de noites com bolhas presentes entre 21:00 e 23:00 nos meses do verão.

Discussão

A freqüência sazonal de ocorrência das bolhas de plasma pode ser interpretada em função da variação de condutividade ao longo das linhas de campo entre regiões E conjugadas, tratadas nos trabalhos de Tsonuda (1985) e Batista et al. (1986). Estes autores mostraram que o comportamento apresentado pelas derivas verticais do plasma (que está intimamente relacionada com a sazonalidade da freqüência de ocorrência das bolhas) deve-se ao fato das diferenças entre o alinhamento das linhas de campo magnético e o terminadouro solar relativo ao meridiano magnético, Pimenta (2003) também usou estes resultados em seu trabalho.

Para a nossa região (território brasileiro) a declinação magnética é elevada ($\sim 20^\circ$) e a defasagem entre o horário do pôr-do-sol nas duas regiões E conjugadas causará taxas distintas de condutividade. Quando o meridiano magnético e o terminadouro solar estão menos desalinhados o circuito mostrado na Figura 1 é interrompido simultaneamente nas duas extremidades e a deriva do plasma passa a ser vertical e controlado pelos ventos termosféricos da região F que estava ligada às regiões E conjugadas através das linhas de campo magnético. Nesta região de interesse o alinhamento acontece em torno dos meses do verão. Por outro lado, quando o meridiano magnético e o terminadouro solar estão muito desalinhados o circuito é interrompido em apenas uma das extremidades das regiões E conjugadas, sendo que na outra extremidade o circuito permanecerá fechado e servirá para neutralizar os campos de polarização dessa região. Esta maior defasagem acontece justamente em torno dos meses de inverno e, por isso, como mostra as Figuras 4 e 6 não aparecem bolhas de plasma nestes meses. Na Figura 8 apresentamos um esquema mostrando como é o alinhamento do terminadouro solar em relação ao meridiano magnético.

Como a ocorrência de bolhas de plasma está relacionada com a deriva vertical do plasma que depende do alinhamento entre o terminadouro solar e o meridiano magnético Batista et al. (1986) mostrou que a velocidade vertical do plasma durante os meses de equinócio a velocidade possui uma intensidade mais baixa e mais duradoura do que nos meses de verão e por isso é que as bolhas durante os meses verão possuem um pico de ocorrência mais tarde do que as bolhas nas noites de equinócio.

A ionosfera terrestre é influenciada diretamente pelas condições geomagnéticas a que esteja sujeita, por isso, pode ser encontrada bolhas de plasma durante os meses de inverno. Na literatura os mecanismos de geração e propagação de bolhas de plasma mais aceitos são a deriva eletromagnética \mathbf{ExB} e a teoria de instabilidade Rayleigh-Taylor (RT). Para teoria linear RT as condições necessárias para a formação de bolhas são que a camada deve estar suficientemente alta ou o gradiente de ionização elevado para superar os efeitos os efeitos

de recombinação, sendo assim, sempre que essas condições forem satisfeitas haverá crescimento de flutuações de plasma na base da camada F e estas condições podem favoreceras por distúrbios que aconteçam na magnetosfera causados por tempestades geomagnéticas.

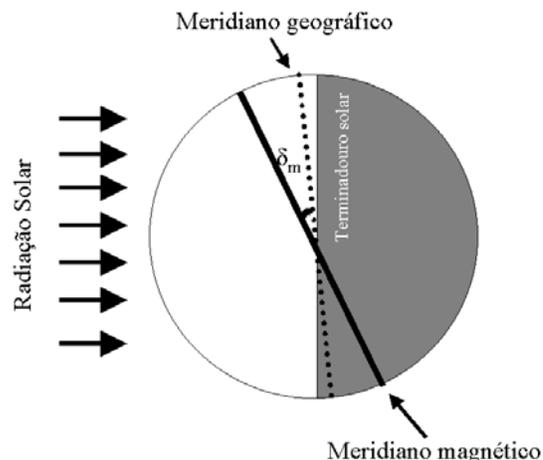


Figura 8 - Esquema mostrando ao alinhamento entre o terminadouro solar e o meridiano magnético. A linha tracejada representa o meridiano geográfico, a linha contínua o meridiano magnético, a fronteira entre a região clara e a região escura representa o terminadouro solar e δ_m é declinação magnética. Adaptação da figura de Pimenta (2003).

Nos trabalhos citados acima foram considerados anos de atividade solar alta e de atividade solar baixa e feitas comparações das presenças das bolhas nestes anos e observadas diferenças significantes entre os resultados. Este tipo de trabalho pode também ser feito para a região equatorial para podemos ver se há também diferenças expressivas para a região equatorial.

Conclusões

Esses resultados podem ser vistos como um fortalecimento para construção de uma climatologia de bolhas de plasma sobre a região do Brasil quando juntamos a outros trabalhos de sazonalidade de bolhas de plasma como é o caso dos trabalhos de Pimenta (2003) e Sahai et al. (2000). Fica bem evidente que o período de presença de bolhas de plasma, em condições normais, no céu noturno do Brasil está compreendido entre os meses de Setembro a Março.

As condições para formação das bolhas de plasma podem ser afetadas por irregularidades que venham a acontecer na região da ionosfera terrestre, por exemplo, em noite de tempestades magnéticas podem surgir bolhas durante o inverno (foram observadas tanto por Pimenta (2003), Sahai et al., (2000) como também em São João do Cariri).

Portanto, de maneira geral, a ocorrência das bolhas de plasma depende do alinhamento entre o terminadouro solar e o meridiano magnético que liga duas regiões E conjugadas a região F. Este alinhamento também é

determinante para estabelecer o pico de ocorrência das bolhas ao longo das noites.

Agradecimentos

Este trabalho é financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

Referências

- BATISTA, I. S.; MEDEIROS, R. T.; ABDU, M. A.; SOUZA, J. R.; BALLEY, G. J.; de PAULA, E. R. Equatorial ionospheric plasma drift model over the Brazilian region. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, no. A11, pp. 10887-10892, 1986.
- HANSON, H. B. Radiative recombination of atomic oxygen ions in the nighttime F region. **Journal of Geophysical Research**, v. 74, no. 14, pp. 3720-3722, 1969.
- HARENDEL, G., J. V. ECCLES, S. CAKIR, Theory of modeling the equatorial evening ionosphere and origin of the shear in the horizontal plasma flow, **J. Geophys. Res.**, 97, 1209-1223, 1992.
- HARENDEL, G. **Theory Equatorial spread-F**, report. Berlin: Max Planck Institute fur Extraterrestrial Physics, 1973.
- HEELIS., R. A., Electrodynamics in the low and middle latitude ionosphere: a tutorial. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**. 66. pp. 825-838, 2004.
- MEDEIROS, A. F., **Observações de ondas de gravidade através do imageamento da aeroluminescência**. São José dos Campos. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002.
- PIMENTA, A. A. **Estudos da deriva zonal e Dinâmica das Bolhas de Plasma na região tropical**. São José dos Campos. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2003.
- SARAI, Y., FAGUNDES, P. R., BITTENCOURT, J. A., Transequatorial F- region ionosphere plasma bubbles: solar cycle effects. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics** 62, 1377-1383, 2000.
- SOBRAL, J. H. A., M. A. ABDU, and I. S. BATISTA, Emission studies on ionosphere dynamics over low latitude in Brazil, **Annales Geophys.**, 36(2), 199-504, 1980a.
- SOBRAL, J. H. A., M. A. ABDU, I. S. BATISTA, and C. J. ZAMLUTTI, Association between plasma bubble irregularities and emission disturbances over Brazilian low latitudes, **Geophys. Res. Lett.**, 11(7), 980-982, 1980b.
- TAKAHASHI, H., TAYLOR, M. J., SOBRAL, J. H. A., MEDEIROS, A. F., GOBBI, D., SANTANA, D.C., Fine structure of the ionospheric plasma bubbles observed by the OI 6300 and 5577 airglow images. **Adv Space Res**. Vol. 27, No 6-7, pp. 1189-1194, 2001.
- TINLEY, B. A., CHRISTENSEN, A. B., BITTENCOURT, J. A., GOUVEIA, H., ANGREJI, P. D., TAKAHASHI, H. Excitation of oxygen permitted line emission in the tropical nightglow. **Journal of Geophysical Research**, v. 78, no. 7 pp. 1174-1186, 1973.
- TSONUDA, R. T. Control of seasonal and longitudinal occurrence of equatorial scintillations by longitudinal gradient in integrated E region Pedersen conductivity. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, no. A1 pp. 447-456, 1985.
- WEBER, E. J., BUCHAU, R. H. EATHER, and S. B. MENDE, North-south aligned airglow depletions, **J. Geophys. Res.** 83, 712, 1978.