



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**FRENTES DE ONDA NA TERMOSFERA OBSERVADAS COM O
IMAGEADOR ALL-SKY NA LINHA DE EMISSÃO OI 630nm NO
SETOR BRASILEIRO DE BAIXAS LATITUDES**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)

Danielle Cristina de Moraes Amorim (EETEP Faculdades, Bolsista
PIBIC/CNPq)

E-mail: danielle@laser.inpe.br

Dr. Alexandre Alvares Pimenta (DAE/CEA/INPE, Orientador)

E-mail: pimenta@laser.inpe.br

Julho de 2007

RESUMO

Com imagens obtidas pelo imageador all-sky, observou-se movimentos de frentes de onda incomuns na linha de emissão OI 630nm ocorridas no setor brasileiro de baixas latitudes. Nas noites de 31 de agosto de 1987, 30 e 31 de agosto de 1995 e 18 e 19 de julho de 1998, o imageador all-sky coletou imagens da referida emissão em Cachoeira Paulista (22.7°S, 45°O, declinação magnética 20°O), no Brasil. Essas imagens mostram frentes de ondas escuras que atravessam o imageador, propagando-se do sudeste para o noroeste. Tais frentes de onda são possivelmente formadas na região de médias latitudes. Observações feitas também com digissonda registraram em alguns eventos, espalhamento F quando essas frentes de onda passaram sobre Cachoeira Paulista. Vale ressaltar, que esses eventos termosféricos não estão relacionados a distúrbios geomagnéticos, uma vez que as noites para as quais os dados foram apresentados estão geomagneticamente tranquilas ($K_p < 2$). Neste relatório apresentamos as primeiras observações dessas frentes de ondas termosféricas e como continuação do trabalho de iniciação científica, será feito um estudo sobre os efeitos da ionização em sua propagação na atmosfera noturna.

UNUSUAL THERMOSPHERIC DARK BAND STRUCTURES OBSERVED THROUGH ALL-SKY OI 630nm EMISSION OVER THE BRAZILIAN LOW-LATITUDE SECTOR

ABSTRACT

Using ground-based measurements we investigate unusual observations of moving dark wide-band structures in the OI 630 nm nightglow emission all-sky images that occurred in the Brazilian low-latitudes region. On the nights of August 30, 1987, August 30-31, 1995, July 18-19, 1998, the all-sky imaging observations of the OI 630 nm emission, carried out at Cachoeira Paulista (22.7°S, 45°W, magnetic declination 20°W), Brazil, showed dark band structures, stretched across the entire imager, propagating from southeast to northwest. The observed band structures are possibly formed in the mid-latitude region and move into the field of view. Also, digisonde observations, available for some events, registered spread-F when the low intensity band passed over Cachoeira Paulista. It should be pointed out that these thermospheric events are not related to geomagnetic disturbed conditions, as the nights for which data are presented are geomagnetically quiet ($K_p < 2$). In this work, we present the first observations of these unusual thermospheric dark band structures and in the future, we will study about the effects of the ionization on its propagation in the nighttime ionosphere.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	05
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	06
CAPÍTULO 2 LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA DA REGIÃO F	07
2.1 Luminescência Atmosférica	07
2.2 OI 630 nm.....	07
CAPÍTULO 3 INSTRUMENTAÇÃO	09
3.1 O imageador all-sky.....	09
CAPÍTULO 4 TÉCNICAS DE OBSERVAÇÃO E MEDIÇÃO	13
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

LISTA DE FIGURAS

1-Imageador “All-Sky” com câmara fotográfica.....	10
2-Diagrama em blocos do imageador “All-Sky” com câmara CCD.....	10
3-Imageador CCD all-sky sendo: (1) lente do tipo all-sky ; (2) rack; (3) sistema telecêntrico de lentes; (4) roda de filtros de interferência ótica; (5) sistema de reconstrução da imagem; (6) câmara CCD; (7) sistema de refrigeração da câmara CCD e (8) microcomputador.	11
4- Imagem da emissão OI 630nm obtida pelo imageador all-sky em Cachoeira Paulista, Brasil, em 27 de Setembro de 1987, às 00:00 (Hora local) com seu respectivo campo de visão (considerando uma altura de emissão por volta de 275 km).	13
5- DBS observada na emissão OI 630nm na noite de 19 de julho de 1998, das 26:00 às 27:20 (hora local) em Cachoeira Paulista. Note que as frentes de onda termosféricas foram divididas em uma série de cristas de ondas ($\lambda_h = 98$ km) às 26:40 e, mais tarde foi totalmente dissipada. As setas vermelhas indicam as estruturas de ondas nas imagens.....	15
6- DBS observada durante emissão de OI 630 nm na noite de 13 de julho de 1999, das 21:47 às 23:55 em Cachoeira Paulista usando o imageador all-sky.....	15
7- (A) Altura de pico da camada F ($h_m F_2$) e altura de base($h'F$) em 13 e 14 de julho de 1999, usado para análise de wavelet. (B) Observações com digissonda de $f_o F_2$ (densidade elétrica). (C) O espectro local de $h_m F_2$ de wavelet usando Morlet wavelet. ..	15
8- Imagens da emissão OI 630 nm obtidas nos dias 30 e 31 de agosto de 1995, das 22:40 às 25:00. Nesta imagem, as DBS entraram do sudeste e atravessaram o campo de visão do imageador seguindo para noroeste, com velocidade aproximada de 250 m/s.	15

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As Perturbações Ionosféricas Propagantes (TIDs – traveling ionospheric disturbances) têm sido observadas através de várias técnicas desde os anos 50. (Hunsucker 1982). As TIDs, baseadas unicamente em seus períodos (mesmo que geradas de mecanismos diferentes), podem ser definidas como sendo de larga escala (LSTIDs) e média escala (MSTID). LSTIDs são ondas com períodos de 30-60 min. até algumas horas, enquanto MSTIDs são descritas como possuindo períodos de 10 à 40-60 min. Medições ópticas de TIDs na atmosfera neutra são comparativamente raras e somente recentemente suas assinaturas espaciais em médias latitudes (usando a emissão OI 630nm) têm sido registradas.

Iniciado a pouco menos de três meses, este trabalho de iniciação científica, intitulado “Frentes de onda na termosfera observadas com imageador All-sky na linha de emissão OI 630nm no setor brasileiro de baixas latitudes”, ainda se encontra em sua fase inicial, onde está sendo realizado um estudo estatístico da frequência de ocorrência dessas ondas atmosféricas na região F assim como sua direção preferencial de propagação.

Imagens na linha de emissão OI 630 nm, obtidas através do imageador “All-sky”, instalado em Cachoeira Paulista, do ano de 2005, têm sido analisadas com o intuito de localizar frentes de ondas atmosféricas na região F da ionosfera, seus períodos e épocas de maior ocorrência. Após a conclusão da análise de dados do ano de 2005, será iniciado um estudo sobre os efeitos da ionização em sua propagação noturna pela ionosfera.

Neste trabalho, trataremos da fundamentação teórica e descrição dos resultados obtidos durante as análises de dados para épocas anteriores. O capítulo 2 introduz conceitos básicos sobre luminescência atmosférica, destacando a linha de emissão OI 630 nm. No capítulo 3 encontra-se a descrição do equipamento utilizado para captura de imagens, o imageador all-sky, no capítulo 4 serão descritas observações e análises de dados para imagens obtidas em 1987, 1995 e 1997 e, por fim, no capítulo 5, encontram-se as primeiras conclusões obtidas sobre esse fenômeno.

CAPÍTULO 2

LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA NA REGIÃO F

2.1 Luminescência Atmosférica

Na atmosfera, durante a noite, íons e elétrons se recombinam formando átomos excitados, os quais liberam energia na forma de fótons. O resultado desse fenômeno é o que conhecemos por luminescência atmosférica ou aeroluminescência (airglow). A aeroluminescência também é chamada de “dayglow” durante o dia, “nightglow” à noite e “twilight” durante o crepúsculo. Ela pode ser observada em qualquer latitude e existe em vários comprimentos de onda, sendo definida como radiação eletromagnética, tênue, amorfa e constante, cuja emissão se dá principalmente em altitudes entre 80 km e 400 km.

A aeroluminescência é identificada por sua intensidade luminosa, medida em Rayleigh (10^6 fótons $\text{cm}^{-3} \text{s}^{-1}$) e comprimento de onda (da ordem de ângstrons Å).

As emissões noturnas na região F da ionosfera mais estudadas são: OI 630 nm; OI 577,7 nm e OI 777,4 nm. Neste estudo serão analisadas emissões de OI 630 nm.

2.2 OI 630nm

Trata-se de uma luz vermelha, gerada em uma camada de aproximadamente 50km de espessura na termosfera a uma altura de aproximadamente 250km, com intensidade entre 50 e 100 Rayleighs.

O oxigênio atômico se origina na recombinação dissociativa do íon O_2^+ com elétrons livres da região F, resultando na seguinte expressão:



Onde,

O_2^+ = íon do oxigênio molecular;

O^* = átomo de oxigênio excitado;

e = elétron;

$h\nu$ = energia do fóton.

A recombinação dissociativa do íon molecular O_2^+ pode produzir os seguintes produtos:



Se a equação (2.1) resultar na equação (2.2), teremos que o átomo de oxigênio excitado passa para o estado fundamental, resultando na aeroluminescência OI 630nm com um tempo de vida estimado em 110 segundos:



Onde:

$O(^1D)$ = estado excitado do átomo do oxigênio;

$O(^3P)$ = estado fundamental do átomo do oxigênio.

CAPÍTULO 3 INSTRUMENTAÇÃO

3.1 O Imageador “All-Sky”

Iniciando suas operações nos anos 80, com o propósito de investigar emissões com origem na região auroral, o imageador “All-sky” é composto por uma lente (denominada “all-sky”) em sua parte superior, a qual proporciona um campo de visão de 180°, de onde se obtém uma imagem completa do céu local. Existe ainda uma lente de campo que garante que toda a luz vinda da lente “all-sky” incida na lente colimadora.

Este sistema óptico utiliza ainda um filtro de quatro polegadas de diâmetro com largura de faixa de 1,35 nm, centrada no comprimento de onda em 630 nm. Filtros de interferência com banda estreita (bastante seletivo) são necessários, pois as intensidades de determinadas linhas do espectro eletromagnético de luminescência atmosférica noturna, tais como OI 630,0 nm e OI 777,4 nm, possuem intensidades relativamente baixas.

Como na região próxima ao equador magnético o conteúdo eletrônico é ainda mais baixo devido à anomalia equatorial, um intensificador de imagem foi acrescentado ao sistema de forma a amplificar a intensidade da emissão. O registro das imagens monocromáticas é feito por uma câmara convencional (filmes de 35mm) em intervalos de 20 minutos e tempo de exposição de 32 segundos.

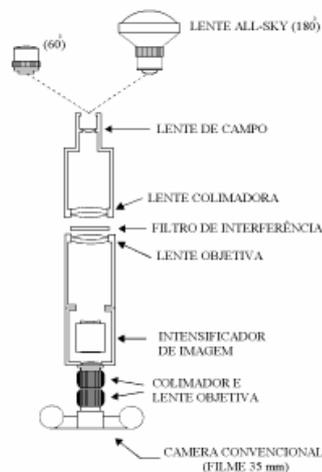


Fig. 1-Imageador “All-Sky” com câmara fotográfica.

FONTE: Mendillo et al. (1982)

Atualmente, as imagens são digitais e a câmara convencional foi substituída por câmaras CCD (Charge Coupled Device). Os imageadores, então, são constituídos por uma lente tipo “all-sky”, um sistema telecêntrico, uma roda de filtros de interferência, um sistema de re-imageamento, uma câmara CCD, um sistema de refrigeração e um microcomputador.

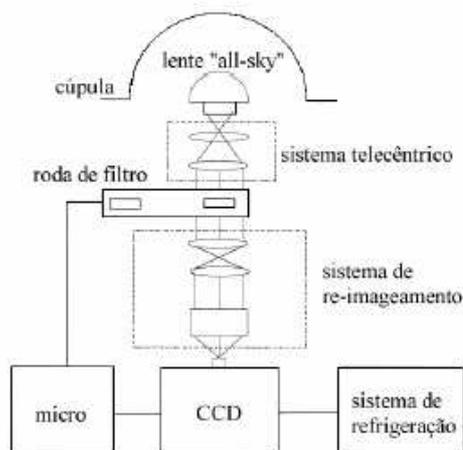


Fig. 2-Diagrama em blocos do imageador “All-Sky” com câmara CCD.

FONTE: Medeiros (1999)



Fig. 3-Imageador CCD all-sky sendo: (1) lente do tipo all-sky ; (2) rack; (3) sistema telecêntrico de lentes; (4) roda de filtros de interferência ótica; (5) sistema de reconstrução da imagem; (6) câmara CCD; (7) sistema de refrigeração da câmara CCD e (8) microcomputador.

FONTE: laboratório LUME.

Conforme mencionado, a lente proporciona um campo de visão de 180° do céu noturno. Esse tipo de lente introduz efeitos de compressão e curvatura da imagem, conforme se aproxima das bordas da mesma.

A roda de filtros de interferência possui cinco filtros que giram automaticamente, sendo que cada um se destina a uma aeroluminescência, OI 630 nm, OI 557,7 nm, OH, O₂ e fundo (background), respectivamente. A roda de filtros é gerenciada pelo programa de aquisição de dados. O sistema telecêntrico de lentes torna os feixes perpendiculares à roda de filtro, evitando, assim, o deslocamento na linha de emissão selecionada.

A câmara de detecção CCD é uma matriz de dimensões 1024x1024 pixels, tendo área de 6,54 cm². As imagens foram re-amostradas para 512x512 pixels de forma a melhorar a relação sinal/ruído. A câmara possui tempo de exposição de 90 segundos e registra imagens digitais em intervalos de tempo de 7,15 minutos. Sua resolução é determinada por sua geometria. Um pixel pode variar de poucos micrômetros a 48 μm e área total de 1 a 24 cm².

O sistema de refrigeração reduz a temperatura da câmara CCD, de forma a minimizar o ruído térmico gerado pelos componentes elétricos e eletrônicos da própria

câmara. Já o microcomputador é usado no controle da roda de filtros e no processo de aquisição de dados.

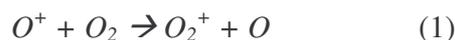
O imageador CCD “All-sky” necessita de céu claro para operar. Devido a isso, seu período de observação é de aproximadamente 13 dias por mês, durante o período das luas nova e minguante. Se as condições meteorológicas não forem boas neste período, o imageador não opera.

Seu campo de cobertura corresponde ao setor sudeste e parte do setor sul brasileiro e também a uma área equivalente sobre oceano atlântico.

CAPÍTULO 4

TÉCNICAS DE OBSERVAÇÕES E MEDIÇÕES

Na região de baixas latitudes, a recombinação dissociativa do O_2^+ na região F é um processo dominante para a produção de átomos de oxigênio excitados, os quais ao decaírem para o estado fundamental transformam o excesso de energia em luminescência noturna OI 630 nm. As reações químicas que geram a emissão OI 630 nm na região F são as seguintes:



O pico da emissão OI630nm ocorre na parte inferior da região F, em torno de 220-300 Km.

As imagens da emissão OI 630nm apresentadas em 30 e 31 de agosto de 2005 e 19 de julho de 1998 foram obtidas pelo imageador all-sky e foram registradas em um intervalo de 20 min e com 40 s de exposição. A figura 4 mostra o campo de visão do imageador instalado em Cachoeira Paulista.

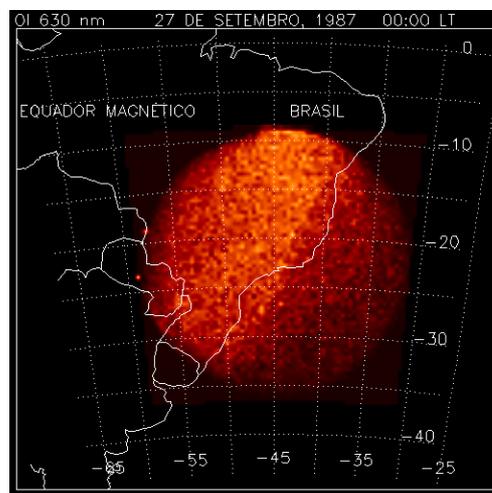


Fig. 4- Imagem da emissão OI 630nm obtida pelo imageador all-sky em Cachoeira Paulista, Brasil, em 27 de Setembro de 1987, às 00:00 (Hora local) com seu respectivo campo de visão (considerando uma altura de emissão por volta de 275 km).

A figura 5 mostra uma seqüência de imagens obtidas pelo all-sky na emissão OI 630nm em Cachoeira Paulista das 26:00 às 27:20 em 19 de julho de 1998, que exhibe a repentina aparição de uma espécie de DBS às 26:40. Às 26:00; o imageador all-sky (Figura

5A) mostra regiões aparentemente escuras (indicadas com setas) que se parecem com uma estrutura de onda.

Entretanto, às 26:40, a figura 5B mostra uma estrutura de onda na imagem all-sky. Parece que a DBS às 26:00 foi parcialmente dissipada (os comprimentos de onda maiores) dando origem a uma estrutura de onda com comprimento de onda horizontal de $\lambda_h \approx 100$ km (TIDs de meia escala – MSTIDs) e depois foi totalmente dissipada, conforme indicado na imagem às 27:20 (Figura 5C).

A figura 6 mostra outra seqüência de imagens da emissão OI 630 nm obtidas pelo imageador all-sky em 13 de Julho de 1999, das 21:47 até 23:55. Neste exemplo, uma larga frente de onda entra do sudeste e se move através do campo de visão para o noroeste com uma velocidade média de fase em torno de $210\text{m/s} \pm 10\text{m/s}$ (obtida pela seqüência de imagens) e passando sobre Cachoeira Paulista às 23:55. Devida à larga frente de onda, não foi possível medir o comprimento de onda horizontal com as imagens do all-sky. Entretanto, observações com digissonda (Figura 7) registraram aumentos abruptos no pico de altura da camada F (h_mF_2) e na altura de base ($h'F$) por volta das 23:30, quando a banda de baixa intensidade passou sobre Cachoeira Paulista.

Este comportamento é claramente relacionado aos eventos de DBS, os quais empurram o plasma da camada F para alturas mais elevadas ao longo das linhas de campo geomagnético, assim causando a redução da intensidade da aeroluminescência OI 630nm. Considerando a larga frente de onda com velocidade de fase de 210 m/s (obtido através de seqüências de imagens do all-sky) e o período de aproximadamente 4,5 horas (por medidas feitas pela digissonda), estimamos o comprimento de onda horizontal da DBS como sendo em torno de 3400 km.

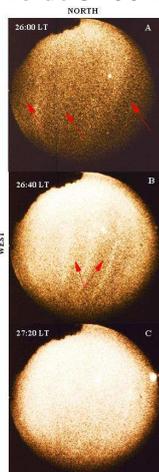


Figura 5

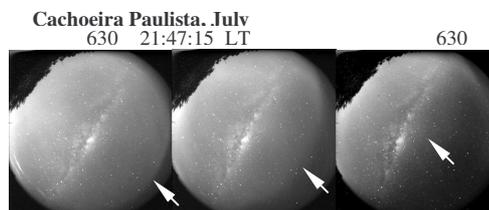


Figura 6

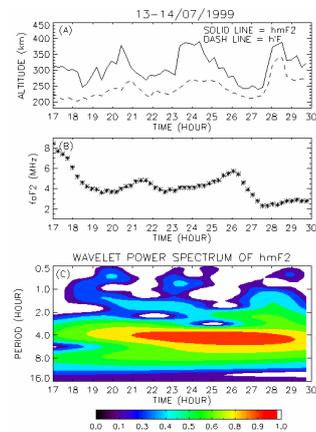


Figura 7

Fig. 5- DBS observada na emissão OI 630nm na noite de 19 de julho de 1998, das 26:00 às 27:20 (hora local) em Cachoeira Paulista. Note que a frente de onda termosféricas foram divididas em uma série de cristas ($\lambda_h = 100$ km) às 26:40 e, mais tarde foi totalmente dissipada. As setas vermelhas indicam as estruturas de ondas nas imagens.

Fig. 6- DBS observada durante emissão de OI 630 nm na noite de 13 de julho de 1999, das 21:47 às 23:55 em Cachoeira Paulista usando o imageador all-sky.

Fig. 7- (A) Altura de pico da camada F ($h_m F_2$) e altura de base ($h'F$) em 13 e 14 de julho de 1999, usado para análise de wavelet. (B) Observações com digissonda de $f_o F_2$ (densidade eletrônica). (C) Análise de ondaletas.

Em 30 e 31 de agosto de 1995 (figura 8), temos um evento espetacular de DBS nas imagens all-sky. É possível ver a passagem, através da emissão OI 630 nm de uma frente escura atravessando o campo de visão, propagando-se do sudeste para noroeste com velocidade média em torno de 250 m/s em uma altitude de 220-300 km.

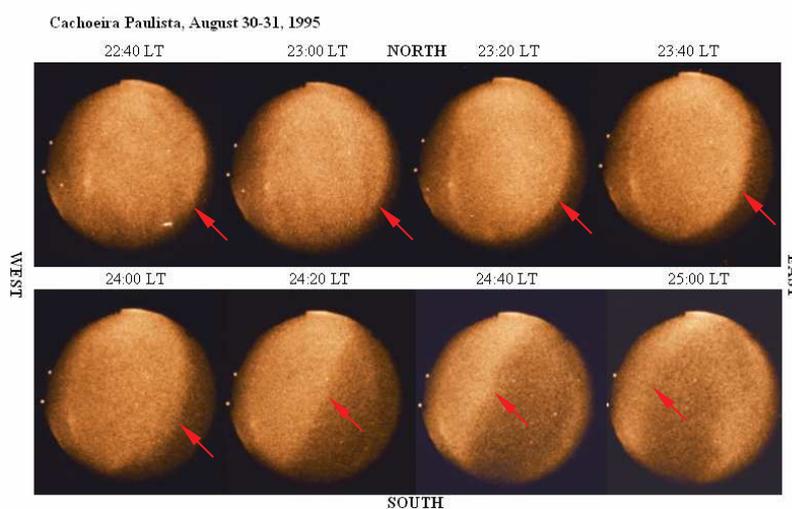


Fig. 8- Imagens da emissão OI 630 nm obtidas nos dias 30 e 31 de agosto de 1995, das 22:40 às 25:00. Nesta imagem, as DBS entraram do sudeste e atravessaram o campo de visão do imageador seguindo para noroeste, com velocidade aproximada de 250 m/s.

No momento estamos supondo que a instabilidade Perkins pode estar envolvida com a formação de estruturas DBS. A mais notável característica das estruturas relatadas aqui é sua tendência de alinhar-se com o nordeste e sudoeste, propagando-se para o noroeste. Perkins, (1973), criou um modelo para estudar uma possível instabilidade da ionosfera em médias latitudes.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Medidas de propriedades bidimensionais das bandas escuras (DBS) na termosfera/atmosfera noturna são apresentadas. As características observadas nas DBS podem ser numeradas conforme segue:

1- A característica mais notável das estruturas é sua tendência de alinhar de nordeste para sudoeste, propagando-se para o noroeste a uma altitude de aproximadamente 220-350 km.

2- Deve-se ressaltar que esses eventos termosféricos não estão relacionados às condições de distúrbios geomagnéticos.

3- Supõe-se que a instabilidade Perkins pode estar envolvida com a formação de estruturas DBS. Entretanto, serão necessárias mais observações, as quais esclarecerão o mecanismo de geração das DBS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GARCIA, F.J., M.C. KELLEY, AND J.J. MAKELA. **Airglow observations of mesoscale low-velocity traveling ionospheric disturbances at mid-latitudes.** Journal of Geophysical Research, p. 18,407-18415, 2000.

HAMZA, A.M. **Perkins instability revisited.** Journal of Geophysical Research, v.104, p. 22,567-22,575, 1999.

HUNSUCKER, R.D. **Atmospheric gravity waves generated in the high latitude ionosphere: A review,** Res. Geophys., 20, 293-315, 1982.

HINES, C.O. **Discussion of ionization effects on the propagation of acoustic-gravity waves in the ionosphere.** Journal of Geophysical Research, v.75, p. 2563-2567, 1970.

KELLEY, M.C., C.A. MILLER. **Electrodynamics of mid-latitude spread-F, 3, Electrohydrodynamic waves? A new look at the role of electric fields in thermospheric wave dynamics.** Journal of Geophysical Research, v.102, p. 11,539-11,547, 1997.

KIRCHHOFF, V.W.J.H. **Introdução à Geofísica Espacial.** São Paulo: Nova Stella, Editora da Universidade de São Paulo: FAPESP, 1991. 152p.

MEDEIROS, A.F. **Observações de ondas de gravidade através do imageamento da aeroluminescência.** 2004. 187p. (INPE-10478-TDI/932). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2001.

MENDILLO, M.; BAUMGARDNER, J. **Airglow characteristics of equatorial plasma depletions.** Journal of Geophysical Research, v.87, no. A9, p. 7641-7647, 1982.

PERKINS, F. **Spread F and ionospheric currents.** Journal of Geophysical Research, v.78, p. 218-226, 1973.

PIMENTA, A.A. **Estudo da deriva zonal e dinâmica das bolhas de plasma na região tropical.** 2003. 194p. (INPE-9546-TDI/827). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2002.

PIMENTA, A.A., FAGUNDES, P.R., BITTENCOURT, J.A., SAHAI, Y., GOBBI, D., MEDEIROS, A.F., TAYLOR, M.J., TAKAHASHI, I. **Ionospheric plasma bubble zonal drift: a methodology using OI630 nm all-sky imaging systems.** Adv. Space Res. Vol. 27, n 6-7, p. 1219-1224, 2001.

SANTANA, D.C. **Estudos da evolução temporal/espacial das derivas das depleções do plasma ionosférico por imagens digitais da aeroluminescência OI 630 nm noturna.**

2001. 131p. (INPE-8179-TDI/759). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2000.