



# Imageamento do Airglow em Cachoeira Paulista (23° S, 45° W)

Amauri Fragoso de Medeiros, Hisao Takahashi, Paulo Prado Batista e  
Delano Gobbi

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - Brasil

## Abstract

Um sistema de imageamento instalado em Cachoeira Paulista (22.7° S, 45.0°) usando uma câmera CCD com quatro filtros de interferência realiza medidas rotineiramente durante 15 dias de cada mês. São imageados o OI 557,7 nm, o OI 630,0 nm, a banda de Meinel OH(6,2) na região do infravermelho próximo (<930 nm) e o background contínuo em 578 nm. Foram observadas estruturas de ondas na emissão do OH e em alguns períodos bolhas de plasma no OI 557,7 nm e OI 630,0 nm. Apresentaremos e discutiremos algumas destas imagens.

## INTRODUÇÃO

Observações da luz do céu noturno, denominado *nightglow*, têm sido realizadas durante muito anos, mas é relativamente recente a utilização de instrumentação sofisticada como foguetes, satélites e sensoriamento remoto no solo para a investigação detalhada das propriedades do *nightglow*. Estes estudos têm revelado que existem muitas emissões noturnas que resultam de reações de quimiluminescência na alta atmosfera da terra. Muitas destas emissões acontecem na região da mesosfera e baixa termosfera (MLT) - altitude entre ~80-100 km - como um fina camada de largura aproximadamente entre 6 e 10 km.

Historicamente, as primeiras emissões estudadas foram as linhas de emissão no visível do OI(557,7 nm), que apresenta um pico de emissão em aproximadamente 96 km e a linha de emissão do sódio (NaD) centrada em 589,2 nm com pico de emissão em torno de aproximadamente 90 km. Todavia, estudos dos anos 50 revelaram uma nova fonte de emissão, da hidroxila (OH) denominada banda de Meinel, com pico em aproximadamente 87 km, e que emite num intervalo do espectro entre 0,4-4,0  $\mu\text{m}$  principalmente na região do infravermelho próximo (NIR). Através de estudos anteriores utilizando fotômetros descobriu-se que estas camadas de emissões não eram uniformes e apresentavam irregularidade, denominadas "estruturas". A maioria destas estruturas apresentavam comportamento aleatório, mas em algumas ocasiões a intensidade de emissão variava ordenadamente sugerindo um comportamento semelhante ao movimento de ondas. Com o aperfeiçoamento dos equipamentos nos últimos 25 anos, as observações de airglow tem aumentado bastante, e atualmente já está estabelecido que muitos destes movimentos de ondas são causados pela passagem de ondas internas de gravidade de curto período (< 1 h) através da camada de emissão.

Em particular, o desenvolvimento de sistemas de imageamento tem sido de importância fundamental para o estudo da ocorrência, propagação e dissipação de ondas de gravidade na MLT. Estes estudos sugerem as ondas de gravidade como importantes fontes de flutuações de mesoescala na atmosfera. Em determinadas alturas mesosféricas, as ondas saturam e depositam energia e momento no fluxo médio, um processo que passa a ser um importante fator na escala de circulação global da alta atmosfera. Ondas de pequenas escalas detectadas por imageamento do airglow (comprimento de onda variando de várias dezenas de quilômetros e períodos menores do que uma hora) são responsáveis por 70% do balanço de momento (Garcia et al., 1997). Muitas destas ondas são geradas por perturbações na troposfera, tais como tempestades, regiões de convecções profundas, frentes, e por forçantes orográficas devido ao fluxo de ventos sobre montanhas. Estas ondas propagam-se através das camadas do airglow e provocam significativas perturbações na densidade e na temperatura que afetam a química local. Estas variações são sentidas no solo através das variações da intensidade do airglow.

Vários instrumentos, incluindo fotômetros, interferômetros, espectrômetros e imageadores, têm sido usados para investigar este fenômeno. Em particular, a alta resolução dos imageadores com CCD permitem que estes sejam utilizados regularmente para obter informações detalhadas da ocorrência destas ondas, bem como comprimento de onda e velocidade de fase. No passado, o imageamento do airglow era realizado com instrumentos de estreito ângulo ótico (30°-40°). Este tipo de imagem tem a vantagem de apresentar pequena distorção ótica, mas oferece uma informação restrita do campo da onda. Os sistemas de imageamento *all-sky* monocromático oferecem um campo de visão (180°) muito maior. Com o aperfeiçoamento dos detectores CCD, estes sistemas são capazes de obter um campo de visão na mesosfera sobre uma área geográfica muito grande (até 1.000.000 km<sup>2</sup> em 96 km de altitude) (Garcia et al., 1977). Estes sistemas oferecem uma alta sensibilidade espectral e um campo de visão máximo para medidas no solo. No entanto, o formato da imagem não é imediatamente disponível para um padrão de duas dimensões para análise espectral. O nosso trabalho apresentará imagens obtidas em Cachoeira Paulista (22.7° S, 45.0° W).

## O EQUIPAMENTO

O imageador é composto basicamente de um sistema ótico e uma câmara CCD. O mesmo é capaz de detectar variações do airglow noturno e registrá-las através de imagens como arquivos digitais. Especificamente podemos obter com imageador: i) registrar imagens do céu todo das emissões do airglow 557,7 nm, 630,0 nm, do OH banda (6,2) e do background do céu noturno; ii) monitorar as variações do airglow em tempo real. O sistema consiste de uma lente olho de peixe (Canon FD 15 mm/F2.8) com um campo de visão de  $180^{\circ}$ , obtendo uma imagem completa do céu local. Esta imagem passa através de um sistema ótico telescêntrico. A trajetória a ótica é interrompida por uma roda de filtros composta de orifícios nos quais se encontram quatro filtros de interferência, para o OI 557.7 Nm, para o OI 630.0 nm, para o background em 578.0 nm e um filtro passa banda colorido no infravermelho entre 715 e 930 nm sem transmissão para a banda do  $O_2$  (0,1) em 865 nm. O sistema tem a capacidade de trocar de filtro automaticamente via microcomputador.

A tabela 1 mostra as características dos filtros

Tabela 1 – Características dos Filtros e Alturas Médias das Camadas do Airglow

Filtro	Comprimento de Onda (nm)	Largura de banda (nm)	Altura Média da Camada (km)
OI	557.7	1,5	~96
OI	630.0	1,5	~275
Background	578.0	10	-
OH	715-930	215	~87

A imagem filtrada passa através de um outro sistema de lentes que reproduz a imagem no CCD. O CCD (*coupled charge device*) vem sendo usado há mais de 15 anos em câmaras de vídeo. Um CCD é basicamente uma matriz de células sensíveis à luz. À imagem é captada por uma célula individual à qual é dado o nome de píxel. O píxel pode ser comparado ao grão do filme, embora esta analogia não seja completamente verdadeira, pois o píxel tem sempre o mesmo tamanho. A quantidade de píxeis num CCD determina a sua complexidade, tamanho e preço. Quanto maior o CCD, mais píxeis e melhor a qualidade da imagem, quanto maior a quantidade de píxeis, maior a qualidade da imagem. Porém, quanto maior a imagem, maior o tamanho do arquivo que deve ser guardado a cada imagem, ou seja, quanto maior a qualidade da imagem, maior o tempo para transferi-la do CCD para a memória ou disco e maior deverá ser o tamanho da memória. Os primeiros testes foram realizados em fevereiro de 1996, mas as medidas regulares só tiveram início em outubro de 1997.

## ALGUMAS IMAGENS

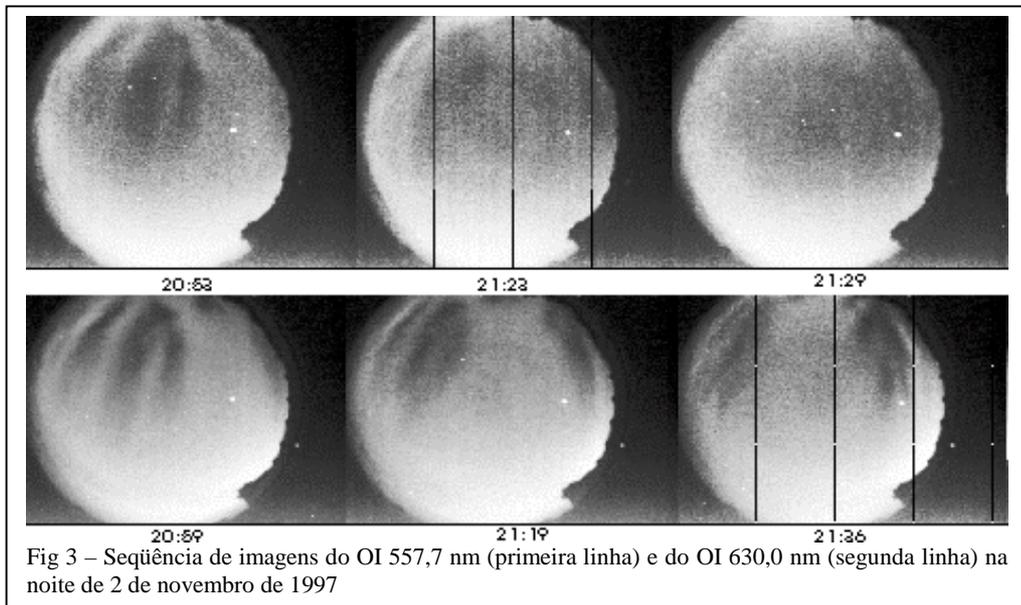
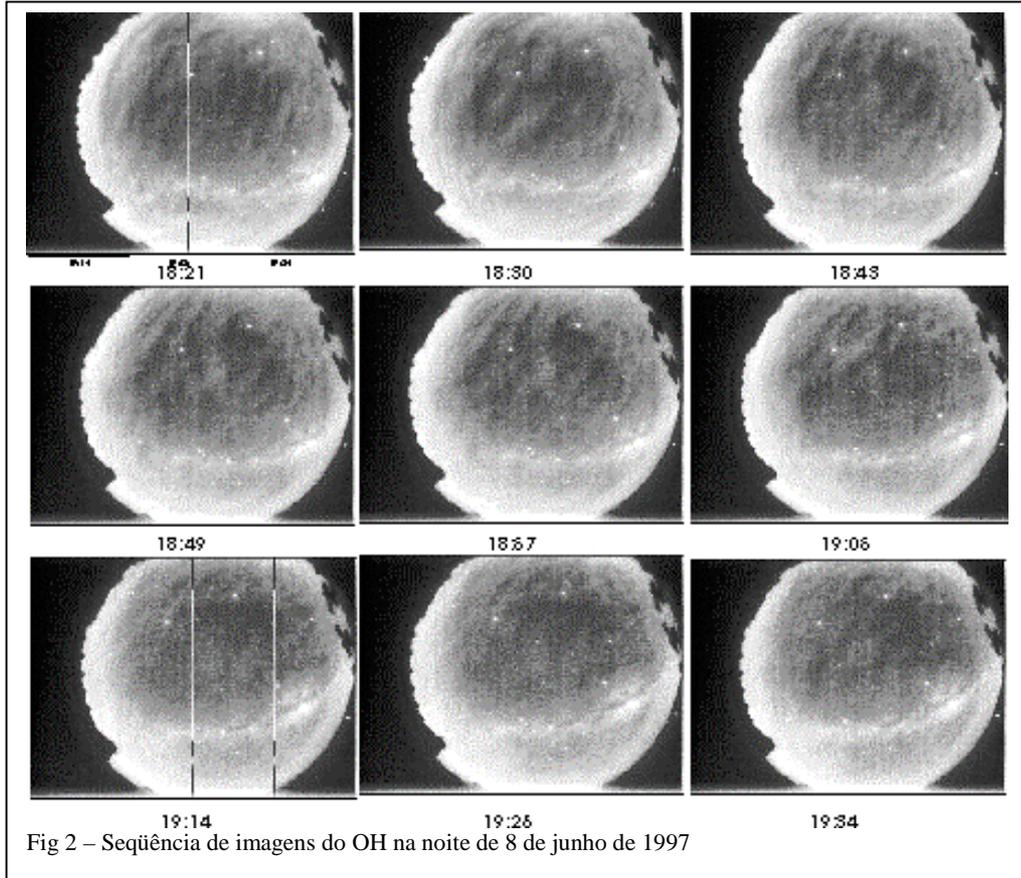
A Figura 1 mostra um exemplo de onda de gravidade registrada na imagem do OH em Cachoeira Paulista na noite de 6 de novembro de 1996. A imagem apresenta 512 X 480 píxeis. Fica evidente um padrão de onda de larga escala, como registrado por Garcia et al. (1997), que toma quase todo o campo de visão. Este padrão de onda ilustra o problema associado com o uso de lentes olho de peixe para o estudo de airglow, o que faz com que padrões de ondas lineares se apresentem curvados e comprimidos para pequenos ângulos de elevação. Isto ocorre porque a lente projeta a imagem no CCD como se cada píxel apresentasse o mesmo ângulo em relação ao céu.

A Figura 2 mostra uma seqüência de imagens da noite de 8 de junho de 1997, as imagens mostram estruturas de banda com pequenos comprimentos de onda. Estas estruturas de banda de pequenos comprimentos de onda foram as características mais marcantes até agora nas imagens do OH.

Em outubro de 1997 o sistema passou a operar rotineiramente com imagens do OI 55.7 nm e OI 630.0 nm. Estas emissões têm origem da recombinação dissociativa do  $O^+$ . Estas imagens oferecem informações sobre o estado da ionosfera. Um fenômeno importante nas regiões equatoriais é o surgimento de "bolhas de plasma", as quais são regiões de redução acentuada na densidade eletrônica (Fagundes et al., 1995). De outubro a março, é freqüente o aparecimento de um grande número destas bolhas nas imagens. A Figura 3 mostra um exemplo deste fenômeno para ambas as emissões. Similares padrões de redução são vistas nas duas emissões. A redução é mais acentuada nas imagens do OI 630.0 nm do que no OI 557.7 nm, pois o OI 557.7 nm tem contribuição da mesosfera (~100 km) e também da componente da região F. Do nosso conhecimento, esta é a primeira vez que as emissões do OI 557.7 nm e OI 630.0 nm mostrando bolhas foram imageadas simultaneamente.



Figura 1 – Imagem do céu todo mostrando estrutura de onda de gravidade de larga escala na emissão do OH



## SUMÁRIO

O sistema de imageamento do céu todo instalado em Cachoeira Paulista tem oferecido imagens com qualidade que podem ser comparadas com as de outros pesquisadores no mundo. Durante o curto período de operação os principais padrões de ondas detectados por outros pesquisadores também foram observados pelo sistema. Medidas rotineiras durante o período de lua nova continuam sendo realizadas, pois se faz necessário um período de muito anos para que se possa estudar um comportamento médio das características das ondas. Um estudo quantitativo das imagens, no que se refere a períodos dominantes, direção de propagação das ondas e variação sazonal está em curso.

## REFERENCES

Garcia F. J., Taylor M. J. and Kelle M. C. *Two-dimensional spectral analysis of mesospheric airglow data*, *Applied Optics*, pp. 7274, v. 36, n. 29. 1997.

Fagundes P. R., Sahay Y., Bittencourt and Takahashi H. *Relationship Between Generation of Equatorial F-Region Plasma Bubbles and Thermospheric Dynamics*. *Adv. Space Res.* pp. 117, v. 16, n. 5, 1995

Taylor, M. J. and Hapgood, M. A. *Identification of thunderstorm as a source of short period gravity waves in the upper atmospheric nightglow emissions*, *Planet Space Sci.* pp. 975-985, v. 36, n. 10, 1988.

Taylor, M. J. *A review of advances in imaging techniques for measuring short period gravity waves in the mesosphere and lower termosphere*, *Adv. Space Res.*, pp. 667-676. 1997.