



PERFIL DO NÚMERO DE ONDA VERTICAL DE UMA POROROCA MESOSFÉRICA

Cosme Alexandre O. B. Figueiredo¹, Ricardo Arlen Buriti da Costa²

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar a pororoca observada no dia 20/10/2006 por um imageador "all-sky" e por um fotômetro multi-canal. Dados de vento entre 80 e 100km de altitude, obtidos por um radar meteorológico e dados de temperatura obtidos pelo satélite TIMED - SABER para esse dia também foram incluídos neste trabalho. A região de observação foi São João do Cariri (7°23'S; 35°52'O). A pororoca surgiu no lado Oeste às 22h58min e passou pelo zênite às 23h41min Hora Local. Foi registrado um aumento de ~50% na intensidade do OH(6,2) no momento da passagem da frente pelo zênite, porém não foi registrado qualquer variação na intensidade do OI5577 pelo fotômetro. O vento meridional, por outro lado, mostrou uma variação muito forte de Norte para Sul com uma taxa de 21,7 m/s/h em torno da meia-noite e a pororoca teve uma velocidade de fase de $46,8 \pm 0,8$ m/s, período de observação $12,2 \pm 1,4$ min e a direção de propagação $63,4^\circ$ o perfil de número de onda vertical (m^2) mostrou que a pororoca tem um ducto que rebaixou a camada do OH(6,2).

Palavras-chave: ondas de gravidade; pororoca mesosférica; mesosfera.

PROFILE NUMBER OF WAVE VERTICAL MESOSPHERIC BORE

ABSTRACT

The goal of this work is to study the bore observed in October 20th, 2006 registered by an all-sky imager and a multi-channel photometer. Wind data between 80 and 100km of altitude observed by a meteor radar and temperature data obtained by the satellite TIMED - SABER on that day were also included in this work. The site of observation was São João do Cariri (7°23'S; 35°52'W). The bore appeared at the West side at 22:58 local time and passed by the zenith region at 23:11 Local Time. There was an increase of ~50% on OH(6,2) intensity while the bore passed by the zenith region, however any significant variation was not registered on OI5577 intensity. The wind, on the other hand, showed a very strong variation to southward of 21.7 m/s/h around midnight and the bore had a speed of phase of 46.8 ± 0.8 m/s, observation period 12.2 ± 1.4 min and the direction of propagation $63.4^\circ \pm 1.8$, the profile of number of vertical wave (m^2) it showed that the bore has a duct that down the layer of OH(6,2).

Keywords: gravity waves; mesospheric bore; mesosphere.

INTRODUÇÃO

A atividade química da alta atmosfera tem sua origem através da radiação solar, pois componentes atmosféricos (átomos, moléculas, etc.) podem ser afetados por reações químicas ao interagir com radiação solar, promovendo fenômenos como: dissociação, ionização ou excitação, no qual o excesso de energia é liberado através de emissões de fótons, dando origem à luminescência mesosférica em altitudes entre 80 e 100 km, aproximadamente.

A luminescência mesosférica, também conhecida como airglow, é uma luz oriunda da alta atmosfera que pode ocorrer durante o dia (dayglow), no entardecer (twilightglow) ou à noite (nightglow). A princípio, ela pode ser confundida com auroras, que surgem como consequência da interação do campo magnético terrestre com o vento solar e só ocorrem em altas latitudes.

¹ Aluno do Curso de Física, Depto. De Física, UFCG, Campina Grande, PB, E-mail: abarros@df.ufcg.edu.br

² Física, Prof. Doutor, Depto. de Física, UFCG, Campina Grande, PB, E-mail: rburiti@df.ufcg.edu.br

A observação rotineira do airglow é uma técnica bastante utilizada para estudar tanto a química como a física da alta atmosfera. Isto se deve ao fato do airglow responder as variações de temperatura assim de pressão. Fenômenos já conhecidos como, ondas de gravidade, ondas de marés, têm sido estudadas desde a década de 70 (Krassovsky, 1970). Em meados da década de 90, Taylor (1995a) observou nas imagens do airglow do OH, um fenômeno denominado de "bore", até então desconhecido pela comunidade científica.

Em 2001, Medeiros (2001) observou pela primeira vez este fenômeno através de uma imageador "all-sky" e adotou, em vez de "bore", a palavra pororoca mesosférica. Nome bastante sugestivo, pois lembra uma pororoca de rio, muito comum na Amazônia. Baseando-se no modelo de pororocas no rio, Dewan e Picard (1998) propuseram um modelo matemático para explicar a pororoca observada por Taylor.

A pororoca pode ser descrita como sendo uma frente propagando-se numa determinada direção sendo seguida por sucessivas ondulações. Acredita-se que a pororoca ocorra devido à formação de um ducto relacionado como o vento e com a temperatura em altitudes variando entre 80 e 100km.

O estudo do airglow é realizado a partir de observações utilizando instrumentos óticos: fotômetro, imageador, etc, instalados no solo, em satélites ou em aviões. Através da medida da intensidade de determinadas emissões, podemos obter vários parâmetros físicos e químicos da alta atmosfera. Uma das técnicas mais utilizada no momento é o imageador "all-sky" que fotografa a forma da intensidade do airglow num ângulo de visão de aproximadamente 180°, por isso é chamado desta forma. Esta técnica possibilita acompanhar a formação, propagação e até o desaparecimento de, por exemplo, ondas de gravidade e pororocas presentes nas camadas de emissão do airglow. As medidas são feitas sempre à noite devido à baixa intensidade das emissões. Luzes naturais tais como auroras (para regiões de altas latitudes) e Lua cheia são prejudiciais às observações. Também é importante que as observações sejam feitas o mais afastado da contaminação espectral proveniente de fontes artificiais de luz, por exemplo: carro, poste de iluminação pública e iluminação da cidade (refletida pelas nuvens).

INSTRUMENTOS E MÉTODOS

A medição da luminescência noturna é feita utilizando um imageador "all Sky" e um fotômetro, que estão localizados no Observatório de Luminescência Atmosférica da Paraíba (OLAP) na cidade de São João do Cariri (7°23'S; 35°52'O) e também pelo satélite TIMED-SABER que está na órbita terrestre.

A metodologia usada para o desenvolvimento deste trabalho consiste em analisar dados obtidos pelo fotômetro, radar meteorológico, SABER e imagens captadas pelo imageador.

O imageador "all-sky"

O imageador instalado no OLAP, São João do Cariri (7°23'S; 35°52'O), registra imagens do céu noturno nas emissões do OI557, 7 nm, OI630, 0 nm, O₂(0,1) (865,0 nm) e OH (715,0-930,0 nm), além do fundo luminoso (578,0 nm). A tabela 1 mostra as principais características dos filtros de interferência usados no imageador

Tabela 1 – Características dos filtros de interferência.

Fonte: Medeiros (2001).

Filtro	Comp. de Onda (nm)	Largura da Banda (nm)	Altura Média (km)
OI	630,0	3,3	275
OI	557,7	2,65	96
O ₂ (0,1)	865,5	12,0	94
OH	715,0 - 930,0 ¹	215,0	87
Fundo luminoso	578,0	2,67	90 - 100

1- com corte em 865,5nm.

O sistema ótico do imageador é composto por uma lente olho de peixe com um campo de visão de 180°; um conjunto de lentes telecêntricas, o sistema de filtros de interferência, uma lente acromática e uma objetiva. A luz emitida pelo airglow incide na lente olho de peixe e passa pelo sistema ótico citado acima, para depois ser projetada na área do detector CCD (charge coupled device).

O CCD do imageador de São João do Cariri consiste de uma área coletora de 6,45 cm² com uma matriz de 1024X1024 com píxeis de 14 bits. Apresenta uma alta eficiência quântica (80% no visível), baixa corrente de fundo (0,5 elétrons/píxel/s), baixo ruído de leitura (15elétrons rms) e alta linearidade (0,05%). A câmera, que usa uma lente telecêntrica (f/4) de varredura completa do céu, é capaz de obter uma alta

relação sinal-ruído (20:1) das imagens de estrutura de ondas. As imagens são agrupadas para 512x512 píxeis para melhorar a relação sinal-ruído. A figura 1 mostra o esquema do imageador.

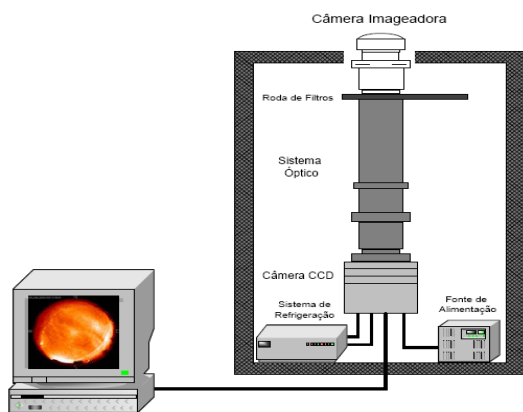


Figura 1. Esquema do imageador.
Fonte: Wrasse (2004).

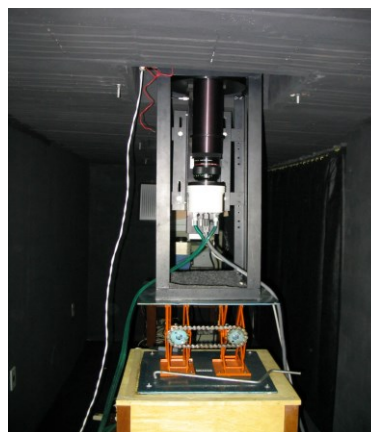


Figura 2. Imageador localizado em São João do Cariri-Pb.

Fotômetro

O fotômetro é um equipamento relativamente simples, com alta sensibilidade ótica, e tem como elemento ótico dispersivo um filtro de interferência que pode fazer uma varredura no comprimento de onda através da inclinação do seu eixo ótico, por meio de um espelho. Ele é composto por uma lente convergente, um diafragma (a fim de procurar manter uma resolução em comprimento de onda constante sobre uma varredura espectral de 100 \AA e limitar o ângulo sólido) e um fotodetector. Paralelo a estes, estão um motor de passo, que é responsável pela inclinação do filtro de interferência, uma fonte de alta-tensão para alimentar o fotodetector e um computador que gerencia todo o funcionamento eletromecânico do equipamento. Na figura 3 esta representada a estrutura simplificada do fotômetro.

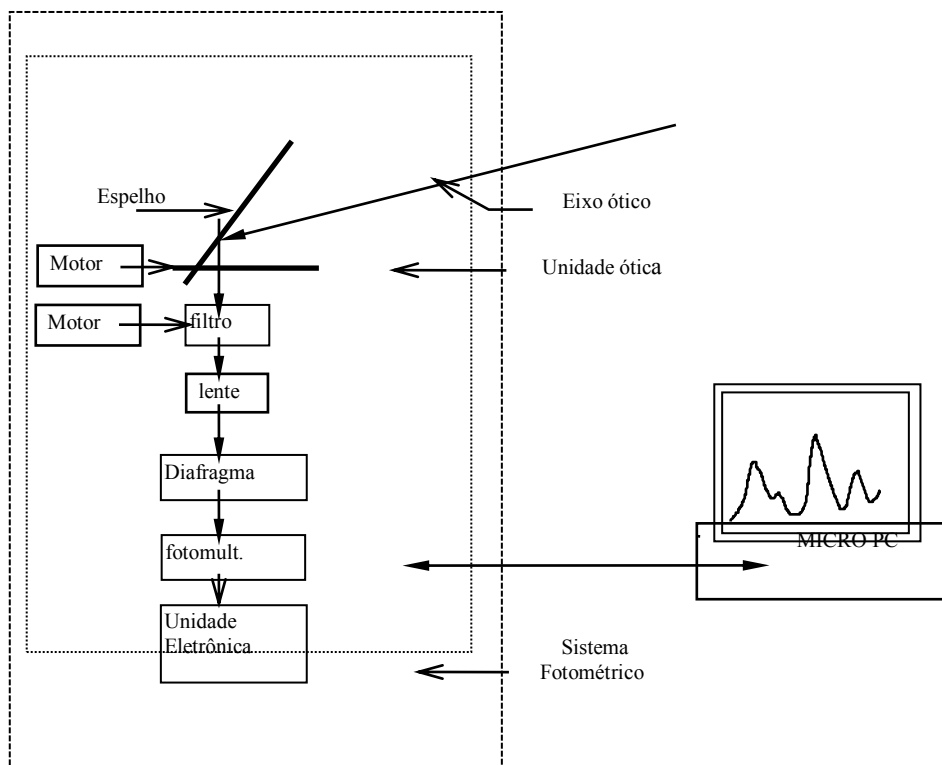


Figura 3. Representação simplificada do conjunto que integra o fotômetro.

Tabela 2. Características do fotômetro.

Abertura (diâmetro)	6,2 cm
Campo de visão	2,9 ⁰ x 0.6 ⁰
Dimensão da fenda (diafragma)	2x10 mm ²
Dimensão do espelho	15x20 cm ²
Comprimento focal da lente	20 cm
Resolução espectral	1,15 nm
Varredura espectral	848-838 nm
Detector de fótons	Fotomultiplicadora (Hamamatsu 943-2)
Varredura espacial	Através de espelho giratório
Ângulo zenital de observação	60 e 65 ⁰
Raio de observação a 90 km altitude	151 e 186 km
Resolução temporal (1 volta completa)	6 min
Tempo de varredura espectral	43 s



Figura 4. Fotômetro que opera em São João do Cariri-Pb.

SABER

SABER (Sounding of the Atmosphere using Broadband Emission) tem como o objetivo principal analisar a dinâmica da mesosfera e da baixa termosfera.

Consiste de um radiômetro multi-espectral operando no infravermelho próximo entre 1,27 μm e 17 μm capaz de medir perfis verticais de emissões de vários gases da atmosfera terrestre. Através de uma visada de limbo o SABER é capaz de sondar continuamente a atmosfera terrestre durante o dia e a noite, permitindo assim o estudo da variabilidade diária dos principais parâmetros atmosféricos, dentro de uma cobertura global.

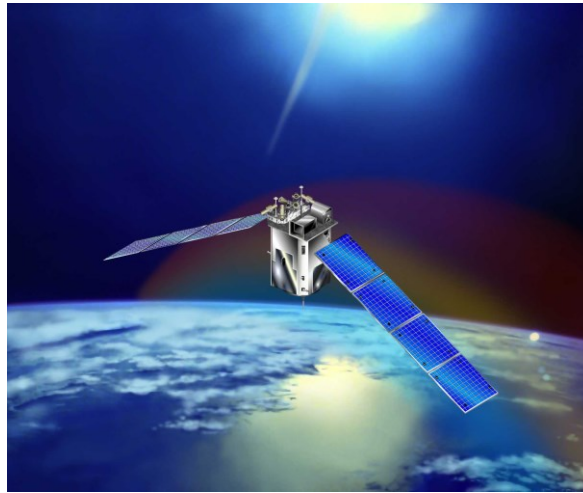


Figura 5. Concepção artística do satélite TIMED em órbita da Terra.
Fonte: TIMED Web Site (2009).

Radar Meteórico

O radar SKiMET (VHF All-Sky Interferometric Meteor Radar), está localizado no OLAP e foi projetado para operar em alta taxa de repetição de pulso. O radar usa uma única antena transmissora Yagi de três elementos, com cinco antenas receptoras dispostas no solo formando uma cruz assimétrica. As distâncias entre os dois pares de antenas das extremidades e a antena central medem 2.0λ e 2.5λ . Mostrado na figura 6.

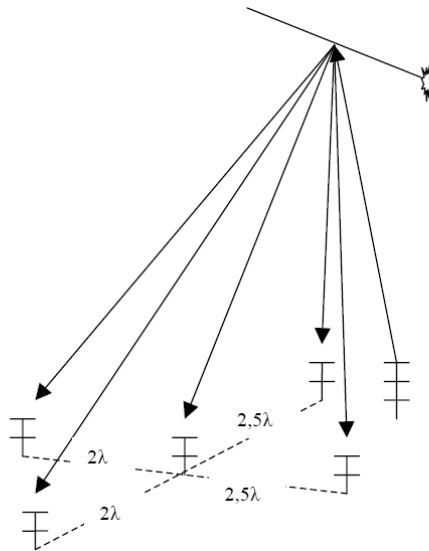


Figura 6. Configuração das antenas receptoras e transmissora do SKiMET.
Fonte: Lima (2004).

Esta configuração permite a determinação da trilha meteórica e reduz a ambigüidade no ângulo de chegada. (Hocking et al., 2001).

O equipamento opera na frequência de 35,24MHz, emitindo uma radiação com pulso de $13,5\mu\text{s}$ e taxa de pulso de 2144pps (pulso por segundo), e um pico de potência de 12KW.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pororoca mesosférica observada pelo imageador “all-sky” é considerada especial devido ao fato desta, diferente da maioria observada pelos equipamentos óticos, provocou um aumento consideravelmente elevado (~50%) na intensidade do OH (6,2) quando esta passou pelo campo de visão do fotômetro em torno de meia-noite do dia 20 de outubro de 2006 e a pororoca teve uma velocidade de fase de $46,8 \pm 0,8 \text{ m/s}$ com um periodo de observação $12,2 \pm 1,4 \text{ min}$ e a direção de propagação $63,4^\circ \pm 1,8$. Sucessivas imagens mostram que esta pororoca forma uma clara separação entre o que está a sua frente e o que vem atrás da frente de onda. O que pode ter causado o aumento da intensidade foi um ducto sobre a camada do OH e do

OI5577nm que rebaixou a camada deixando mais densa e quente conseqüentemente aumentou a intensidade do OH, como previsto por Dewan e Picard (1998).

Análise da pororoca do dia 20/10/2006, observada em São João do Cariri (7°23'S; 35°52'O), nas emissões OH e OI5577nm.

Imageador

As observações óticas foram realizadas entre 18h11min Hora Local e 04h16min do dia 21/10/2006. As imagens do OH mostraram bandas propagando-se para Nordeste das 19h30min até 22h57min. A pororoca, com frente clara e sinuosa, surgiu nas imagens do OH em torno das 22h58min, propagando-se para Nordeste e chegou à região zenital em torno das 23h41min. A presença do trem de onda, também sinuoso, logo atrás da frente de onda era facilmente observada. A pororoca deixou de ser observada pelo imageador em torno das 00h44min (HL). Na emissão OI5577nm, foram observadas bandas e bolhas de plasma propagando-se para Nordeste até 23h02min (HL). A pororoca apareceu com frente clara e também sinuosa propagando-se para Nordeste, semelhante ao observado nas imagens de OH, porém, com uma nitidez bem inferior.

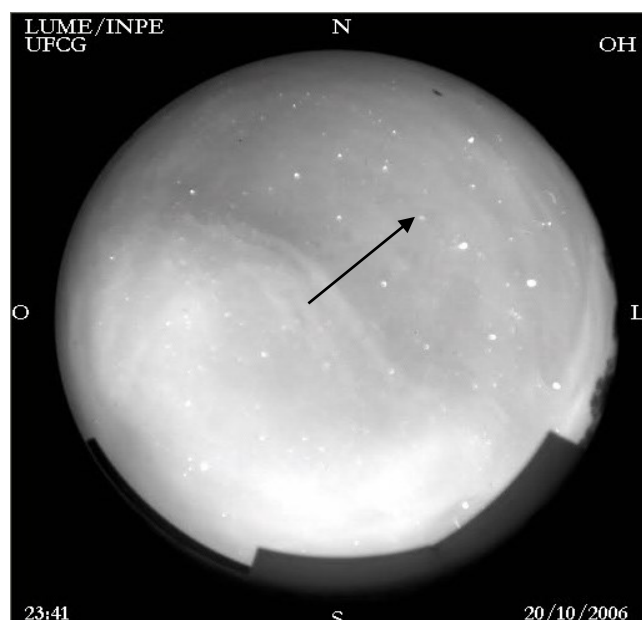


Figura 7. Imagem da pororoca 23h41min (HL) na emissão do OH (6,2), passando pelo zênite e propagando-se para Nordeste (indicado pela seta).

Fotômetro

Como o fotômetro observa só a região zenital numa área equivalente a 2x8 km², o efeito da pororoca só foi registrado por volta das 23h41min na intensidade do OH (6,2) quando ocasionou um aumento na sua intensidade de 2840R para 4224R ou ~50% em aproximadamente dezessete minutos (Figura 8) caindo em seguida para (2745R) em torno de 1h da manhã do dia 21. Não foi registrado qualquer efeito desta pororoca na intensidade do OI5577; com relação à temperatura, não foi observada qualquer variação que fosse atribuída à passagem da pororoca pelo zênite (Figura 8). Tanto o mecanismo de excitação do sódio, como o do OH, envolve o constituinte hidrogênio. Assim, podemos perceber que a intensidade do sódio também responde a passagem da pororoca, principalmente após o valor máximo (216R) registrado em torno de meia-noite para chegar a um valor de (29,6R) à 1h. Após este horário, a presença de nuvens no campo de visão do fotômetro perturbou as observações óticas. Registro da presença de nuvens pode ser vista no gráfico do BG (luz de fundo) entre 1h e 2h: 30min.

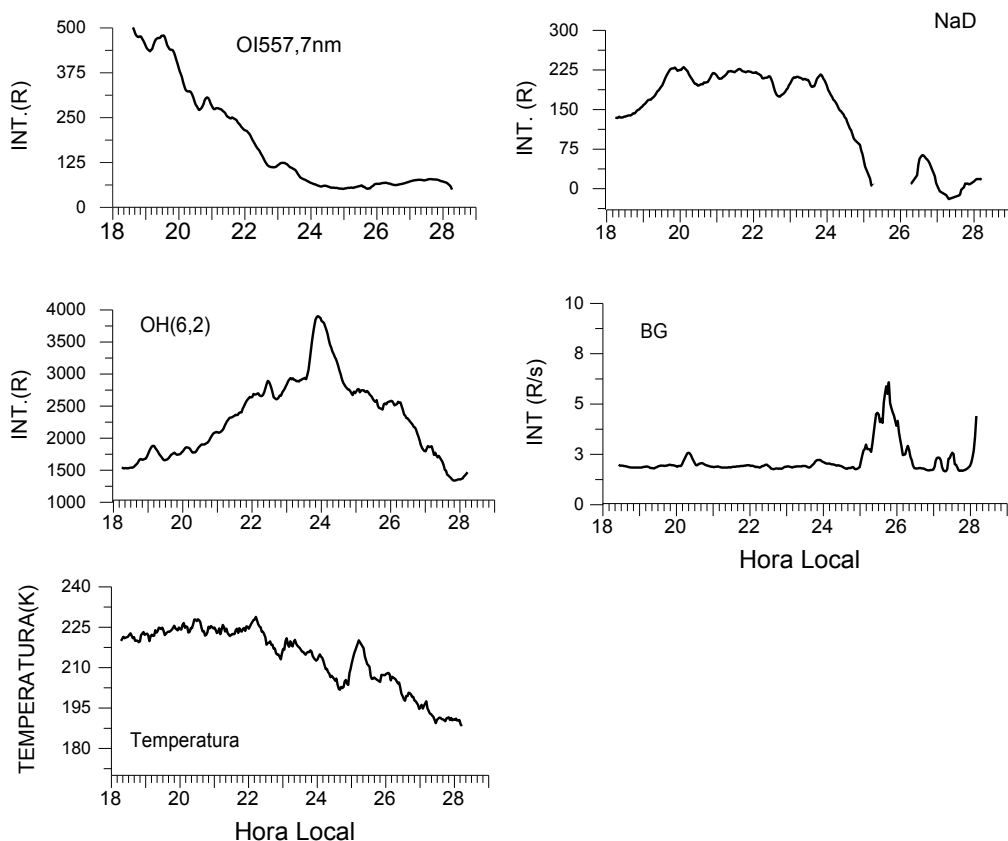


Figura 8. Gráficos, de cima para baixo e da esquerda para direita da intensidade do OI5577, NAD, OH (6,2), “back-ground” e a temperatura rotacional do OH para o dia 20/10/2006. 26 e 28 horas que aparecem nas abscissas correspondem a 2 e 4 horas da manhã do dia seguinte, respectivamente.

Vento

Existe uma forte relação da intensidade e direção do vento, juntamente com o perfil de temperatura, com a presença de pororoca nas camadas de emissão do airglow.

O radar meteorológico registrou entre os dias 20 e 21 do mês de outubro de 2008 uma variação muito forte do vento meridional próximo das 24 horas. A velocidade do vento meridional passou de 53m/s em torno das 22h para -80 m/s (menos significa sentido Norte-Sul) em seis horas (Figura 9). A variação da velocidade foi de 21,7 m/s/h. Esta variação é considerada muito forte e isto pode ter contribuído para o comportamento da pororoca observada. O vento zonal, por outro lado, foi muito fraco durante a noite de 20/10 e que ocasionou um vento predominantemente meridional. Do dia 18 para o dia 19/10/2006 também foi registrado uma variação do vento meridional bem superior, mas, não foi possível fazer qualquer investigação com relação à pororoca visto que não foi possível realizar observações óticas nesse dia.

A direção do vento às 22 horas estava entre Noroeste e Norte, foi mudando e a meia-noite o vento estava praticamente para Oeste (Figura 10).

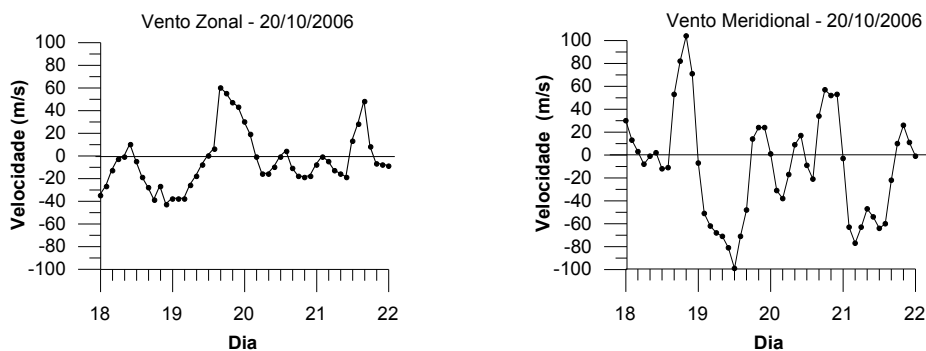


Figura 9. Gráfico do vento zonal (esquerda) e meridional (direita) entre os dias 18 e 22 de outubro de 2006.

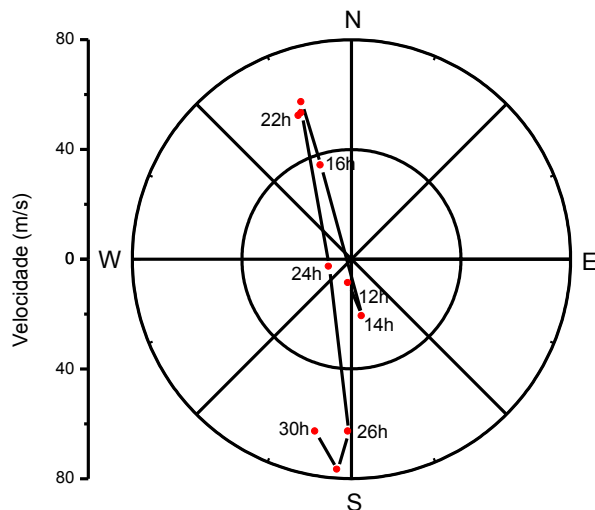


Figura 10. Gráfico polar da direção do vento das 12 horas do dia 20/10/2006 até as 6 horas do dia 21/10/2006.

Perfil número de onda vertical

Para sabermos se uma pororoca é propagante, evanescente ou existe um ducto, precisamos de características da onda como: velocidade de fase, período, comprimento de onda horizontal e direção de propagação; e com esses dados nos podemos calcular o m^2 (número de onda vertical) utilizando programas desenvolvidos pelo grupo de pesquisa (Aerolume). Quando o $m^2 > 0$ pode dizer que a pororoca é propagante e $m^2 < 0$ é dita evanescente.

Com base nos resultados que obtemos podemos plotar um gráfico com o m^2 e o vento médio na direção da onda (Figura11).

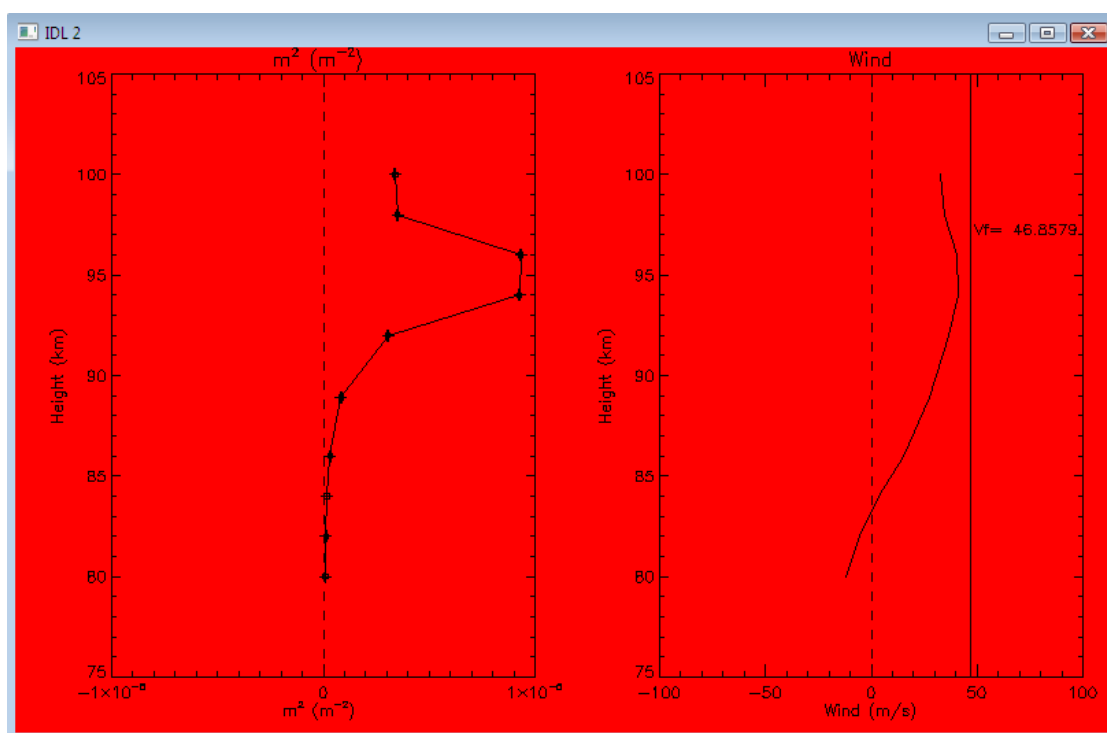


Figura 11. Gráfico do perfil do número de onda vertical m^2 (lado esquerdo) e gráfico do vento na direção da onda, onde v_f (velocidade de fase).

Com base na figura 11, lado esquerdo, pode afirmar q existe um ducto (ocasionado provavelmente pelo vento) entre 85 a 97 km, acima da camada do OH(6,2) que a rebaixou provocando o aumento na sua intensidade.

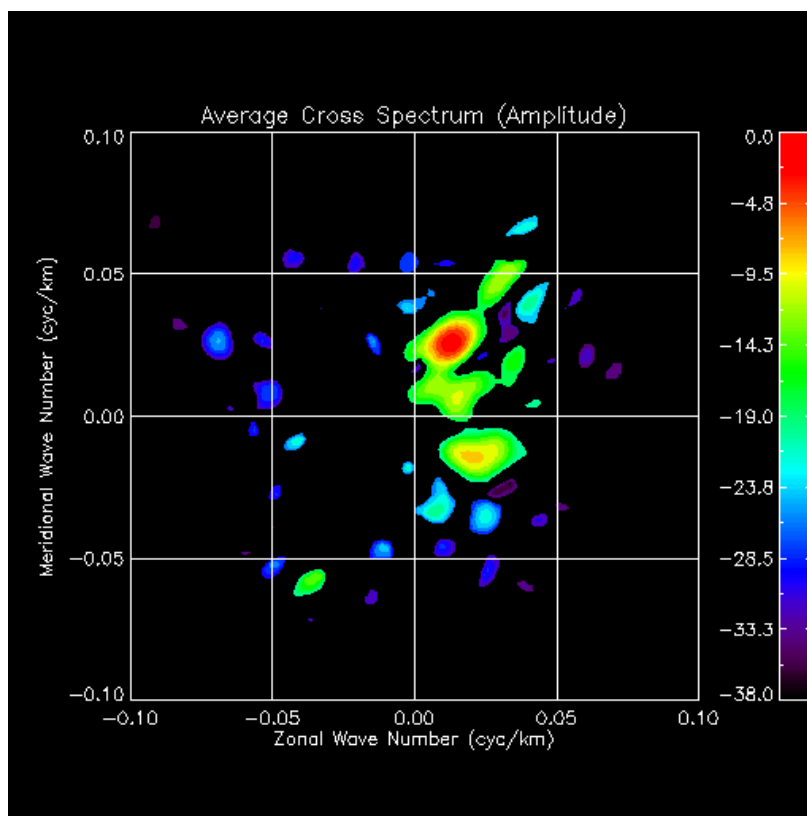


Figura 12. Gráfico da intensidade da pororoca e vento, onde a legenda de cores representa a intensidade.

CONCLUSÕES

A presença de uma pororoca mesosférica no airglow do OH foi registrada por uma imageador “all-sky” e por um fotômetro multi-canal. A presença da pororoca não foi observada pelo fotômetro no airglow do OI5577 nem do O2 atmosférico, porém, ocorreu uma forte variação da intensidade do airglow do sódio quase que simultaneamente com a intensidade do OH (6,2). Uma forte subida de ~50% da intensidade do OH (6,2) em apenas 17 minutos foi observado pelo fotômetro quando a frente da pororoca passava pelo zênite. O vento meridional predominou durante a noite e teve uma variação significativa de 21,7 m/s/h, enquanto que o vento zonal não teve mudanças significativas na sua direção. Com o perfil do número de onda vertical podemos identificar a presença um ducto propagante que rebaixou a camada do OH(6,2) concordando com a análise dos outros instrumentos, provavelmente o que pode ter contribuído foi o vento para a formação de ducto e consequentemente o surgimento da pororoca.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEWAN, E.M., Picard, R. H. Mesospheric bores. **Journal of Geophysics Research**. V.103, p.6295-6305, 1998.

HOCKING, W. K.; FULLER, B.; VANDEPEER, B. Real-time determination of meteor-related parameters utilizing modern digital technology. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v.63, n.2-3, p.155-169, 2001.

KRASOVSKY, V. I. Infrasonic variations of OH emissions in the upper atmosphere. **Ann. Geophys.**, 28(4): p.739-746, 1972

LIMA, L. M. **Observações de ondas planetárias na região da mesopausa equatorial e de baixas latitudes do hemisfério sul.** Tese de doutorado em geofísica espacial, INPE, 2004.

MEDEIROS, A. F. **Observações de ondas de gravidade através do imageamento da aeroluminescência.** Tese de doutorado em Geofísica especial, INPE, 2001.

MEDEIROS, A. F.; TAYLOR, M. J.; TAKAHASHI, H.; BATISTA, P. P.; GOBBI, D. A unusual airglow wave event observed at Cachoeira Paulista 23oS. **Advances in Space Research**, v.27, p.1749 - 1754, 2001.

TAYLOR, M. J.; TURNBULL, D. N.; LOWE, R. P. Spectrometric and imaging measurements of a spectacular gravity wave event observed during the ALOHA-93 campaign. **Geophysical Research Letters**, v.20, p.2849 - 2852, 1995a.

WRASSE, C. M., **Estudos de geração e propagação de ondas de gravidade atmosféricas**, tese de doutorado em Geofísica Espacial, INPE, 2004.

TIMED-SABER. Disponível em:<<http://www.timed.jhuapl.edu/images/with.jpg>>. Acesso em: 29 Julho 2009.