



Determinação do espectro azimutal de ondas de gravidade por meio de imagens da aeroluminescência.

Vargas, F. A.; Gobbi, D.; Takahashi, H., Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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

Study of mesospheric gravity waves spectra has been performed using OH airglow Meinel bands image data observed at Cachoeira Paulista (23°S, 45°O), during 1999. In order to remove spectral ambiguity, tridimensional Fourier analysis was used. The azimuthal spectra were computed for bands-type and ripple-type waves, which represent different groups of gravity waves with horizontal scale of 20-100 and 5-20 km, respectively. Seasonal analysis showed a preferential direction of propagation. This work present the technique used to compute the azimuthal spectra of gravity waves, observed on the night of July 9th, 1999.

Introdução

As ondas de gravidade atmosféricas são perturbações de um movimento intrínseco do meio no qual se propagam. Elas são geradas como resposta da atmosfera ao desequilíbrio entre a força gravitacional e o gradiente de pressão atmosférico.

Estas ondas desempenham um papel importante na dinâmica da alta atmosfera, pois podem transferir energia e momento de uma região para outra da atmosfera, ocasionando diversos efeitos notáveis na média atmosfera, tais como turbulência, mistura de constituintes, aceleração do fluxo médio dos ventos e geração de instabilidades (Beer, 1974; Murayama *et al.*, 1992).

O transporte de momento, de energia e de constituintes atmosféricos por ondas de gravidade de pequena escala tem uma influência importante na circulação atmosférica de larga escala e na estrutura da região da alta atmosfera. Estima-se que 70% do fluxo de momento na mesosfera são devidos às ondas de gravidade com períodos menores do que 1 hora (Fritts e Vincent, 1987). Logo, a determinação do fluxo de momento e energia transportados por ondas de gravidade é de importância fundamental na compreensão desta região.

A observação destas ondas por meio de dispositivos opto-eletrônicos possibilitou um grande avanço na determinação dos parâmetros dinâmicos das ondas de gravidade (Taylor, 1997). Com o emprego de imageadores equipados com dispositivos CCD de alta

sensibilidade e resolução espacial, tornou-se possível o estudo de ondas de gravidade através de imagens das diversas emissões da aeroluminescência. Estas emissões acontecem em camadas localizadas na região da mesosfera e baixa termosfera, situada entre 80-100 km de altura. Pode-se, desta forma, conhecer diretamente alguns parâmetros intrínsecos das OGI (ondas de gravidade internas), tais como o comprimento de onda horizontal, o período e a sua velocidade de fase. As imagens da aeroluminescência são gravadas digitalmente em forma de arquivos de computador. Eventualmente, as imagens registram estruturas ondulatórias de diversas escalas, provavelmente associadas com a passagem de ondas de gravidade pela região, como mostra a Figura 1. Estas ondas são geradas na baixa atmosfera por efeitos orográficos ou convectivos, e se propagam até a região emissora, onde são observadas.

Método

Com a utilização de imagens de aeroluminescência, podemos conhecer a distribuição espectral das OGI, tanto em número de onda horizontal como em azimute. Através do espectro podemos extrair informações sobre quaisquer OGI presentes nas imagens, não somente em relação a eventos quase monocromáticos, que em geral são visíveis nas imagens (Coble *et al.*, 1998).

O espectro das ondas de gravidade mostra muitas características interessantes. Uma característica importante é o comportamento quase-universal do espectro horizontal, comprovado por medidas de diversos instrumentos. Já distribuição azimutal de energia das OGI por meio de uma série extensiva de dados, foi explorada em dois trabalhos, Vargas (2003) e Maekawa (2000).

O cálculo do espectro bidimensional das ondas de gravidade consiste em transformar uma série temporal de imagens para o domínio de frequências espaciais pela utilização da transformada de Fourier. No entanto, o espectro bidimensional tem como característica a ambigüidade no sentido da propagação, o que impossibilita a correta determinação da distribuição azimutal das ondas. Esta ambigüidade é eliminada ao aplicar a transformada de Fourier na direção temporal na série de imagens, e integrar o espectro resultante no intervalo de frequências negativas. Desta forma, obtém-se o espectro bidimensional não-ambíguo do conjunto de imagens, conforme mostrado na Figura 2.

Já a distribuição azimutal é determinada tomando-se o espectro não-ambíguo, representado em coordenadas polares por $F_{OH}(h, \phi)$, e integra-lo numericamente em todos os números de onda h presentes, como expresso na equação a seguir:

$$F_{OH}(\phi) = \int_{h_{\min}}^{h_{\max}} F_{OH}(h, \phi) dh$$

Desta forma, obtemos o espectro azimutal $F_{OH}(\phi)$ das ondas de gravidade, que fornece informação a respeito da direção de propagação preferencial das ondas presentes no conjunto de imagens analisadas. Os limites da integral podem ser escolhidos de forma a separar o espectro azimutal total em suas contribuições para ondas do tipo bandas e do tipo *ripples*.

Resultados

A técnica de determinação do espectro azimutal de ondas de gravidade foi aplicada a imagens observadas no dia 09 de junho. A análise revelou uma distribuição azimutal sem uma clara direção preferencial. No entanto, as ondas presentes nas imagens mostram forte tendência em diferentes direções.

A Fig. 3 apresenta o espectro angular calculado com base nos limites estabelecidos anteriormente para bandas e *ripples*. Pode-se notar uma certa direcionalidade das bandas para norte-noroeste e sudoeste, sugerindo grande atividade de ondas de gravidade nestas direções. De fato, algumas ondas nas direções indicadas estão presentes na imagem da Figura 1. O espectro dos *ripples* apresenta uma significativa tendência nas mesmas direções descritas, apesar da energia associada a uma dada direção ser menor se comparada com a energia das bandas na mesma direção.

Conclusão

Neste trabalho, analisamos imagens do dia 09 de junho de 1999, para mostrar a aplicação da técnica da transformada de Fourier aplicada a uma série temporal de imagens. Através deste método, obteve-se o espectro bidimensional não-ambíguo e, conseqüentemente, o espectro unidimensional angular, a partir das imagens de aeroluminescência. O espectro angular das bandas e dos *ripples* não apresentou clara direção preferencial, mas a maior parte da energia do espectro encontra-se distribuída mais notadamente na direção oeste.

Através do espectro bidimensional, pode-se também determinar o espectro horizontal, que fornece informações a respeito da distribuição da energia das ondas de gravidade referente a sua escala horizontal. O estudo do espectro das ondas de gravidade utilizando imagens de aeroluminescência é uma técnica relativamente nova, e com ela é possível estudar o espectro de frequência temporal, que deve também apresentar uma característica quase-universal. Esta técnica foi utilizada pela primeira vez na análise de dados do hemisfério sul por Vargas (2003). Porém, questões como a investigação do fluxo de momento transportado por ondas a partir de imagens de aeroluminescência, devem ainda ser abordadas por meio desta técnica. Esta investigação provavelmente nos ajudará a entender melhor a climatologia e a morfologia das ondas de gravidade observadas nesta latitude.

Referências

- Beer, T. Atmospheric Waves. London: Adam Hilger LTD, 1974, 300p.
- Coble, M. R.; Papen, G. C.; Gardner, C. S. Computing two-dimensional unambiguous horizontal wavenumber spectra from OH airglow images. IEEE Geosc. Rem. Sen., v.36, n.2, p. 368-382, 1998.
- Fritts, D. C.; Vincent, R. A. Mesospheric momentum flux studies at Adelaide, Australia - Observations and a gravity wave-tidal interaction-model. J. Atmos. Sci., v.44, n.3, p. 605-619, 1987.
- Maekawa, R. Observation of Gravity Waves in the Mesopause Region by Multicolor Airglow Imaging. Kyoto, Japan. 64p. Master Thesis - Kyoto University, 2000.
- Murayama, Y.; Tsuda, T.; Yamamoto, M.; Nakamura, T.; Sato, T.; Kato, S.; Fukao, S. Dominant vertical scales of gravity waves in the middle atmosphere observed with the MU radar and rocket sondes. J. Atmos. Terr. Phys., v.54, n.3/4, p. 339-346, 1992.
- Taylor, M. J. A review of advances in imaging techniques for measuring short period gravity waves in the mesosphere and lower thermosphere. Adv. Space Res., v.19, p. 667-676, 1997.
- Vargas, Fábio Augusto Estudo do espectro das ondas de gravidade observadas em Cachoeira Paulista (23°S). 113p. - São José dos Campos -SP. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.

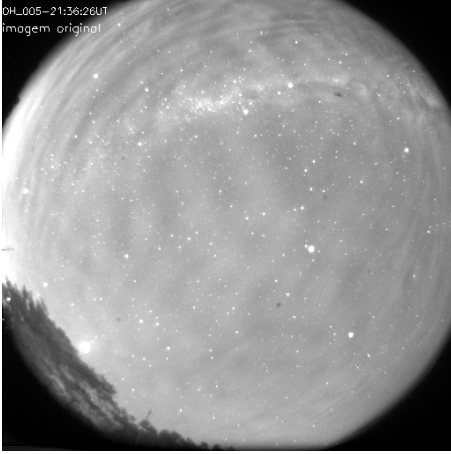


Fig 1 – Imagem da aeroluminescência da molécula de OH do dia 09 de junho de 1999.

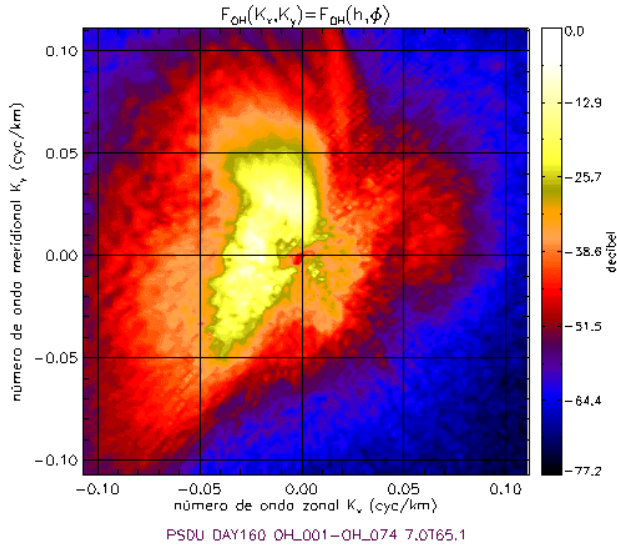
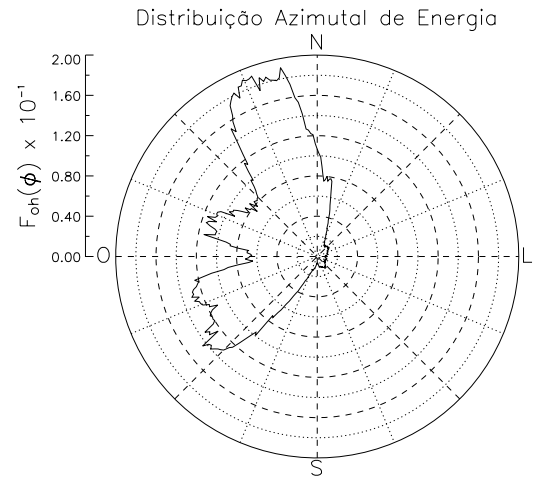
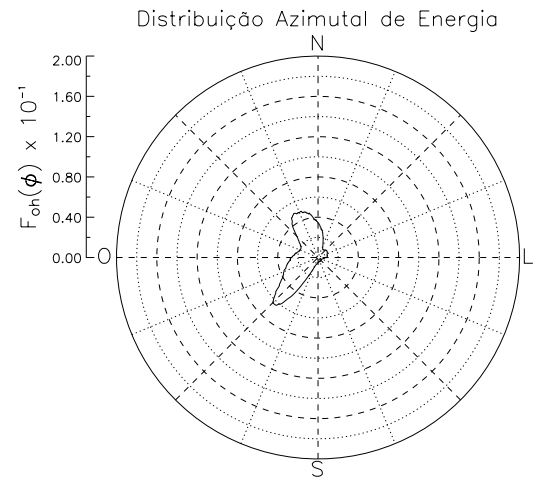


Fig. 2 – Espectro não-ambíguo calculado para imagens do dia 09 de junho de 1999.



(a) BANDAS DAY160 OH_001–OH_074



(b) RIPPLES DAY160 OH_001–OH_074

Fig. 3 – Espectro unidimensional angular calculado a partir do espectro bidimensional não-ambíguo para imagens do dia 09 de junho de 1999. As bandas (a) apresentam um espectro com maior direcionalidade, indicando forte atividade de ondas na direção norte-noroeste e sudoeste. Os ripples (b) apresentam menor potência espectral, mas mostram a mesma direcionalidade das bandas.