



## Variação sazonal do airglow do sódio mesosférico em 7,4°S em torno da atividade solar máxima 23.

Gomes<sup>1</sup>, F.E., Buriti<sup>1</sup>, R.A., Medeiros<sup>1</sup>, A.F. Takahashi<sup>3</sup>, H. Aluno PIBIC - Universidade Federal de Campina Grande<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais<sup>2</sup>

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

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

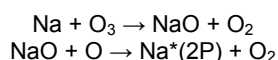
Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic 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 mesospheric sodium airglow emission occurs when the sodium atom decay from excited level <sup>2</sup>S to level <sup>2</sup>P, emitting at the line D in  $\lambda=589.3\text{nm}$ . Measurements of the emission nocturnal intensity have been carried by a multichannel photometer installed at S. J. do Cariri (7,38°S;36,5°O) since 1998. In this work was analyzed a data set correspondent to a period from 1998 to 2003, in order to study the emission seasonal comportament. The analyses showed that a strong seasonal variation. The results are in accordance to others studies realized at equatorials regions. The relationship between solar activity and NaD emission showed a concordance during ascendancy and decay of the solar activity, but have discrepance during peak of the solar activity.

### Introdução

O átomo de sódio surge na mesosfera a partir da pulverização de meteoróides que penetram na atmosfera, formando uma camada entre 80km e 120km de altura. A emissão do airglow que é observada ocorre na linha D, centrada em  $\lambda=589.3\text{nm}$ . As reações que excitam o sódio mesoferico foram propostas por Hunten (1967):



onde (\*) representa o estado excitado do sódio. Portanto, a taxa de emissão do NaD é proporcional à concentração de sódio e ozônio. A concentração de ozônio é controlada principalmente pela radiação solar e por processos de mistura vertical e transporte horizontal (Takahashi *et al*, 1992). De acordo com medidas a bordo de foguete (Greer e Best, 1967) e (Stegman e Witt, 1977), o pico de emissão do NaD está situado próximo a 89 km de altura.

A variação sazonal da emissão do sódio (referido como NaD) e sua dependência latitudinal já foram apresentadas e discutidas em alguns trabalhos anteriores. Wiens e Weill (1973) apontaram que de baixas para medias latitudes, há uma variação predominantemente semi-anual, com máximos em abril e outubro. Porém, para altas latitudes, a variação muda de semianual para anual com máximo no inverno e mínimo no verão. Takahashi *et al*. (1995), com cinco anos de

dados de Cachoeira Paulista (22.7°S, 45.0°O) e Fortaleza (3.9°S, 38.4°O), região de baixa latitude e região equatorial, respectivamente, apontaram que há uma forte variação semianual com máximos nos equinócios e mínimo nos solstícios, diferindo levemente na fase de máximo que no outono em Fortaleza é em março, enquanto que, em C. Paulista, é no fim de abril, sendo que a amplitude em Fortaleza é cerca de 40% da amplitude em C. Paulista.

A emissão do OH (6,2) tem seu pico situado em torno de 87km de altura, portanto próximo ao NaD, também envolve em suas reações o ozônio. Trabalhos envolvendo estas duas emissões com relação a concentração de ozônio já foram publicados anteriormente (Takahashi *et al*, 1992; Wiens e Weill, 1973; Thomas, 1990).

Neste trabalho apresentaremos os dados das observações do NaD realizadas na região equatorial de S. J. do Cariri no período de 1998 a 2003. Estes dados dão uma razoável significância estatística. O período das observações corresponde à ascensão e declínio da atividade solar #23, tratando-se portanto, de medidas inéditas.

### Metodologia

As medidas do airglow do NaD são realizadas utilizando-se um fotômetro multicanal, denominado de Multi-3, com filtro de interferência inclinável. O equipamento conta com cinco filtros de interferência utilizados para medir, além do NaD, a intensidade do OI5577, OI6300, OH(6,2) e O<sub>2</sub>(0,1), e ainda a temperatura rotacional do OH(6,2) e O<sub>2</sub>(0,1); cada filtro tem 62,5mm de diâmetro. O Multi-3 tem uma abertura de 50mm de diâmetro o que corresponde a um campo de visão de dois graus. O equipamento está instalado no OLAP (Observatório da Luminescência atmosférica da Paraíba) localizado em S. J. do Cariri (7.38°S;36,54°O), onde opera desde 1998. São feitas observações noturnas durante um período de treze dias por mês em torno da Lua Nova. O processo de aquisição e armazenamento de dados e o controle do equipamento são feitos por um microcomputador. Mais informações sobre as características do fotômetro e os procedimentos de aquisição e análise dos dados podem ser obtidos em Takahashi *et al*, 1989.

O Multi-3 fornece a intensidade de emissão do sódio mesosférico (medido em Rayleigh,  $1\text{R}=10^6$  fótons/cm<sup>2</sup>.s.coluna). De cada noite de observação foi calculada a intensidade média de emissão e também a intensidade média mensal. Cada ponto corresponde à intensidade média de uma noite. O conjunto de dados analisados neste trabalho foi obtido entre 1998 e 2003.

A Figura 1 mostra um exemplo da medida da intensidade noturna do airglow do NaD realizada pelo Multi-3 em função da hora local. O eixo da direita mostra a variação do “back ground” (BG), que é um parâmetro utilizado para medir a radiação de fundo que contamina a emissão. Podemos perceber que quando há variações na intensidade do BG, a emissão do NaD também varia. Isso indica que a emissão está com contaminação espectral, e esses dados não representam a verdadeira emissão do NaD. Os pontos nos quais essa situação ocorre são retirados e não fazem parte da análise feita neste trabalho.

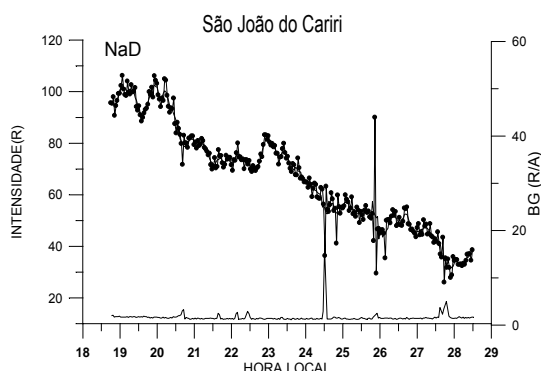


Fig.1-Exemplo de medida da intensidade do sódio pelo fotômetro no dia 28/03/98 versus a hora local em S.J.do Cariri. O eixo da direita mostra a variação do BG.

**Resultados**

Na Figura 2 foram plotadas as intensidades médias noturnas de emissão do NaD em função do dia do ano. A variação da emissão mostrou uma forte oscilação semianual com máximos nos equinócios e mínimos nos solstícios.

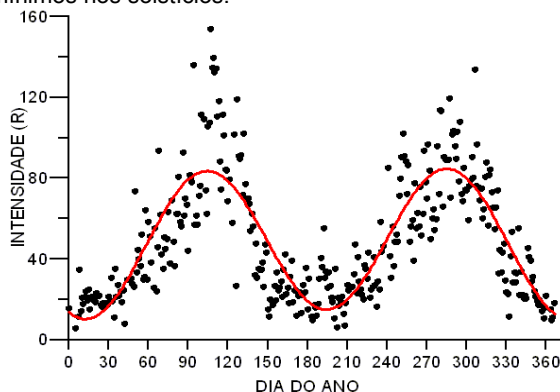


Fig.2- Variação sazonal da intensidade media noturna do airglow do NaD em função do dia do ano e curva de ajuste (linha continua).

A fim de determinar a amplitude e a fase dos componentes anuais e semianuais, utilizamos a análise harmônica, descrita pela seguinte equação:

$$y = A + B * \cos\left(\frac{2\pi * x}{360} - C\right) + D * \cos\left(\frac{2\pi * x}{182.5} - E\right)$$

onde *A* é uma constante, *B* e *D* são as amplitudes das componentes semianuais e anuais e *C* e *E* são suas respectivas fases.

Na Tabela 1 são listados os componentes anuais e semianuais da emissão em S. J. do Cariri, e para comparação, em Fortaleza e C. Paulista.

	<i>A</i> <sub>0</sub>	Anual		Semi-anual	
		<i>B</i> (%)	<i>C</i> (nº dia)	<i>D</i> (%)	<i>E</i> (nº dia)
S.J.C.	48,7R	2,4R (5)	233	35,8R (74)	116
FZ	11R	2,6R(24)	254	9,8R(89)	96
CP	33R	9,2R(28)	192	16,3R(49)	109

Tabela1. Componentes anual e semi-anual do NaD observados em S. J. do Cariri, Fortaleza e C.Paulista. Os valores entre parênteses são as amplitudes expressas como uma porcentagem da média anual.

Estes primeiros resultados estão de acordo com os resultados obtidos em Fortaleza e C. Paulista por Takahashi *et al.* (1995), que também mostram uma oscilação predominantemente semianual. No entanto, há algumas diferenças quanto à intensidade média absoluta, amplitude de oscilação e fase de máximo. Uma comparação entre os resultados apresentados na tabela 1, permite perceber que em S. J. do Cariri a oscilação semi-anual é mais acentuada que em Fortaleza e C. Paulista, e que a fase de máximo ocorre mais tarde em S. J. de Cariri que em Fortaleza e C. Paulista, bem como a intensidade absoluta é mais elevada em S.J. do Cariri.

Medidas da concentração de sódio realizadas em São José dos Campos (23,2°S; 45,9°O) (Takahashi *et al.*, 1992) mostraram uma moderada variação anual com máximo no inverno e mínimo no verão. Por outro lado, a variação sazonal da concentração de ozônio, medida também em São José dos Campos por Kirchhoff *et al.* (1981), mostra que o O<sub>3</sub> tem uma variação semi-anual com máximos bem definidos nos equinócios. Como foi dito anteriormente, a taxa de emissão do NaD é proporcional à concentração de Na e O<sub>3</sub>, então, a variação semi-anual do NaD deve-se provavelmente à variação semi-anual da concentração de ozônio. Como não dispomos de medidas de concentração do sódio e ozônio, não foi possível fazer uma análise semelhante.

Da Figura 2 podemos ver que o máximo de intensidade de emissão do NaD é mais elevado no primeiro equinócio que o no segundo. Porém, devido ao fato da concentração de pontos no segundo equinócio ser maior, o pico da variação anual no primeiro equinócio não está sendo evidenciado no ajuste apresentado no gráfico da Figura 2. Os valores anuais apresentados na Tabela 1 podem não estar refletindo o verdadeiro comportamento observado. O fato do segundo equinócio (primavera) apresentar mais pontos deve-se a escassez de chuva neste período em S. J. do Cariri. Por outro lado, a variação sazonal da intensidade do OH(6,2), observada no mesmo site de observação e apresentada por Buriti *et al.* (2001) durante o período do PSMOS, também mostrou este aspecto, com o máximo no primeiro equinócio mais elevado que no segundo. Esta é uma evidência da forte relação entre as emissões do NaD e

do OH(6,2), uma vez que nas duas emissões está presente nos processos de excitação o ozônio.

Como dito anteriormente, a taxa de emissão do NaD depende da concentração de Na e O<sub>3</sub>, mas a concentração Na depende da quantidade de meteoros que penetram na atmosfera terrestre, que por sua vez, não depende da atividade solar. Mas a concentração de O<sub>3</sub> é controlada pela atividade solar. A fim de observar a relação entre a emissão do NaD e a atividade solar, plotamos o número médio mensal de manchas (linha contínua) e uma curva de ajuste para o período da atividade solar (linha azul), de janeiro de 1998 a dezembro de 2003. Juntamente, também foi plotada a intensidade média do NaD (linha pontilhada) e uma curva de ajuste para o período da atividade solar (linha vermelha) ao longo desse período. Calculamos a média mensal a cada seis meses para uma melhor comparação. Estes resultados são mostrados na Figura 3.

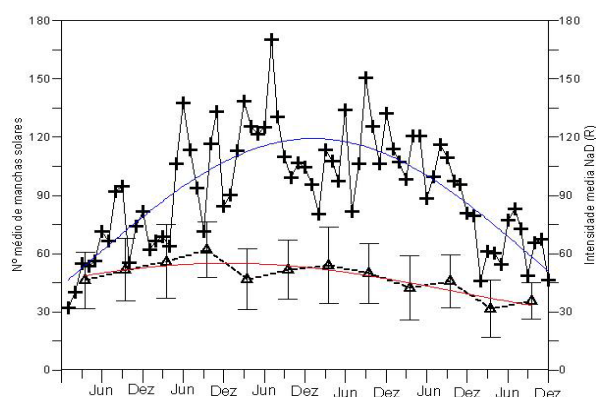


Fig. 3- Número médio mensal de manchas solares (direita) e intensidade média do NaD (esquerda), de janeiro de 1998 a dezembro de 2000.

Podemos perceber que existe uma tendência na emissão do NaD de acompanhar a ascensão e o declínio da atividade solar durante este período, entretanto, há uma discrepância quando a atividade solar alcança seu pico, quando há uma queda na emissão do NaD. É provável que uma análise envolvendo um ciclo solar possa ser evidenciado este comportamento entre atividade solar e intensidade do airglow do sódio.

### Conclusões

Medidas da intensidade de emissão do NaD foram realizadas por um fotômetro multicanal instalado em S.J. do Cariri(7.38°S;36,54°O) durante seis anos, de 1998 a 2003. As análises mostram que há uma acentuada oscilação semi-anual com máximos nos equinócios e mínimos nos solstícios. Estes resultados estão de acordo com outros estudos realizados em regiões equatoriais. A relação da emissão do NaD com a atividade solar mostrou uma concordância durante a ascensão e declínio da atividade solar, entretanto, no pico da atividade solar foram observadas discrepâncias.

### Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo

apoio financeiro através do programa PIBIC/CNPq/UFMG.

### Referências

- Buriti, R. A., Takahashi, H., Gobbi, D., Medeiros, A. F., Nepomuceno, A. A., Lima, L. M. Semiannual oscillation of mesospheric airglow at 7.4°S during the PSMOS observation period of 1998-2001. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, Vol.66, Pp.567-572, 2004.
- Hunten, D. M. Spectroscopic studies of the twilight airglow. *Space Sci. Rev.* 6, 493-576, 1967.
- Kirchhoff, V. W. J. H., Clemesha, R. B., Simonich, D. M. Seasonal variation of ozone in the mesosphere. *Journal of Geophysical Research*. Vol.86, N°A3, Pp.1463-14466, 1981.
- Greer, R. G., Best, G. T. A rocket-borne photometric investigation of the oxygen lines at 5577Å and 6300Å, the NaD lines and continuum at 5300Å in the night airglow. *Planet Space Science*. Vol. 15, Pp. 1857-1881, 1967.
- Stegman, J., Witt, G. Rocket-borne sodium nightglow measurement during post-auroral conditions. *Space Res.* Vol 17, Pp. 287-290, 1997.
- Takahashi, H., Sahai, Y., Clemesha, R. B., Simonich, D., Teixeira, N. R., Lobo, R. M., Eras, A. Equatorial mesospheric and F-region airglow emissions observed from latitude 4° south. *Planet Space Science*, Vol. 37, Pp. 649-655, 1989.
- Takahashi, H., Clemesha, R. B., Sahai, Y., Batista, P.P., Simonich, D. Seasonal variations of mesospheric hydrogen and ozone concentrations derived from ground-based airglow and lidar observations. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 97, N° D5, Pp. 5987-5993, 1992.
- Takahashi, H., Clemesha, R. B., Batista, P.P. Predominant semi-annual oscillation of the upper mesospheric airglow intensities and temperatures in the equatorial region. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, Vol 57, N° 4, pp.407-414, 1995.
- Thomas, R.J. Seasonal ozone variations in the upper mesosphere. *J. Geophys. Res.*, 95, pp. 7395-7401, 1990.
- Wiell G. M. Airglow observations near the equator. In *aurora and airglow*, B. M. McCormac (ed), pp. 407-418. Reinhold, New York, 1967.
- Wiens R. H. and Wiell G. Diurnal, annual and solar cycle variations of hydroxyl and sodium nightglow intensities in the Europe-Africa sector. *Planet Space Sci.* 21, 1011-1027, 1973.