

1. Publicação nº <i>INPE-2449-PRE/147</i>	2. Versão	3. Data <i>Junho, 1982</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DGA/DOA</i>	Programa <i>LIDA</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>MARÉS ATMOSFÉRICAS</i> <i>SÓDIO MESOSFÉRICO</i>			
7. C.D.U.: 523.4-853			
8. Título <i>MARÉ SOLAR NA CAMADA ATMOSFÉRICA DE SÓDIO</i>		10. Páginas: 24	
		11. Última página: 17	
9. Autoria <i>P.P. Batista</i> <i>B.R. Clemesha</i> <i>V.W.J.H. Kirchhoff</i> <i>D.M. Simonich</i>		12. Revisada por  <i>I.J. Kantor</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor	
14. Resumo/Notas <p><i>São mostrados resultados das observações da camada de sódio mesosférico feitas durante o dia e a noite com o uso de um radar de laser em São José dos Campos, SP (23°12'S, 45°51'W). A variação média da camada em 24 horas mostra a propagação de oscilações com períodos de 12 e 24 horas. Uma teoria de propagação de ondas atmosféricas sobre camadas de constituintes minoritários é invocada para interpretar os resultados. É feita uma separação das oscilações em componentes de 24 h e 12 h. O componente de 24 horas mostra uma fase fixa com a altura, com máxima densidade ocorrendo às 3 h, com características de modo evanescente. O componente de 12 horas mostra fase se propagando com a altura com comprimento de onda vertical de - 54 km.</i></p>			
15. Observações <i>Este trabalho foi parcialmente apoiado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico através do convênio 537/CT e submetido para apresentação na 34ª Reunião Anual da SBPC, 6 a 14 de Julho de 1982, Campinas - SP.</i>			

#### ABSTRACT

Mesospheric sodium layer observations obtained during day and night with INPE's laser radar at São José dos Campos, SP ( $23^{\circ}12'S$ ,  $45^{\circ}51'W$ ) are presented. The average variation of the layer during 24 hours displays oscillations with 12 h and 24 h periods. The results are interpreted with the aid of a theory of atmospheric wave propagation for minor constituent layers. Oscillations are separated into 24 h and 12 h components. The 24 h component shows the characteristics of an evanescent mode with maximum density occurring at 3 h. The 12 h component shows propagation of phase with height and a vertical wavelength of  $\sim 54$  km.



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	v
1. <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2. <u>RESULTADOS EXPERIMENTAIS</u> .....	2
3. <u>DISCUSSÃO</u> .....	3
4. <u>CONCLUSÕES</u> .....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	17



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Densidade média de sódio para um período de aproximadamente vinte dias entre abril e agosto de 1981 .....	3
2 - Contornos de densidade constante de sódio em unidades de átomos por metro cúbico (a); variação da altura do centróide com o tempo (b); variação da abundância com o tempo (c) para quatro dias em maio/81 .....	4
3 - Contornos de densidades (em $10^9$ átomos por metro cúbico) em função do tempo e altura para a média abril-agosto de 1981..	5
4 - Variação diurna da altura do centróide (a) e variação diurna da abundância (b) para a média abril-agosto de 1981 .....	6
5 - Efeito esquemático de um movimento vertical sobre as densidades dos constituintes majoritários (N) e minoritários (n) ..	8
6 - Fator de amplificação $-(1/(\gamma-1)) (1 + \gamma H_0 \cdot 1/n_0(z) \cdot dn_0(z)/dz)$ onde $n_0$ é o perfil médio da Figura 1 .....	11
7 - Variação temporal das densidades de sódio em diferentes alturas, normalizadas pela média de 24 horas em cada altura de 2 em 2 quilômetros .....	12
8 - Fases dos componentes diurno (a) e semidiurno (b) da variação da densidade de sódio em cada altura de 1 em 1 km .....	14
9 - Amplitudes de variação da densidade atmosférica, inferidas pela divisão das amplitudes ajustadas de sódio pelo fator de amplificação .....	15

•

## 1. INTRODUÇÃO

O aquecimento pelo sol provoca oscilações na atmosfera terrestre com período fundamental de 24 horas. A função forçante destas oscilações, constituída principalmente pela absorção de radiação solar pelo ozônio e vapor d'água na atmosfera, é razoavelmente simples e bem conhecida. A insolação varia com o cosseno do ângulo zenital do sol durante o dia, e durante a noite é igual a zero. A distribuição vertical deste aquecimento é função das distribuições verticais do ozônio e vapor d'água. A resposta da atmosfera a esta oscilação, por outro lado, é bastante complexa e ainda imperfeitamente conhecida. A complexidade desta resposta deve-se ao grande número de possíveis modos de oscilação da atmosfera, à sua dependência nas distribuições verticais de temperatura, densidade e ventos, à dissipação devida à viscosidade da atmosfera e às não-linearidades que resultam das grandes amplitudes alcançadas pelas oscilações na alta atmosfera. Em analogia com as marés marítimas, estas oscilações também se chamam marés; é importante lembrar, porém, que a contribuição dos efeitos gravitacionais do sol e da lua às marés atmosféricas são desprezíveis em comparação ao efeito térmico do sol.

A amplitude destas oscilações perto da superfície da terra é pequena, da ordem de 0,1%, para a variação na pressão, mas esta amplitude cresce com a altura, chegando a 30% ou mais em 100 km. Por causa deste crescimento, resultado da conservação de energia por unidade de volume numa atmosfera onde a densidade cai exponencialmente com a altura, a maré solar tem um efeito muito importante sobre a alta atmosfera. O propósito deste trabalho é investigar este efeito através de medidas das variações diurnas de sódio atmosférico.

A camada atmosférica de sódio, que se situa entre 80 e 106 km, provavelmente deve sua origem à deposição de material meteórico na alta atmosfera. É possível medir a concentração de sódio atmosférico e as suas variações espaciais e temporais utilizando-se a técnica de radar de laser. Uma vez que a distribuição vertical de sódio é

perturbada pelas marés atmosféricas, as medidas de sódio podem ser usadas para estudar estas oscilações.

A técnica de radar de laser baseia-se na medida da energia retroespalhada de um pulso de radiação eletromagnética na faixa óptica, de curta duração e grande intensidade. Esta técnica tornou-se viável somente depois do desenvolvimento do laser pulsado sintonizável, que forneceu pela primeira vez uma fonte de luz monocromática e coerente de potência suficientemente elevada para possibilitar a detecção da pequena fração da energia retroespalhada. Mesmo com o uso de um laser de alta energia, o sinal recebido da camada de sódio - cuja densidade máxima é somente da ordem de  $5 \times 10^3$  átomos  $\text{cm}^{-3}$  - é extremamente fraco. A luz solar fornece um "ruído" muito forte durante o dia, e apenas recentemente tem sido possível refinar a técnica do radar de laser a ponto de possibilitar extensas medidas durante o dia (Clemesha et alii, 1982; Granier and Megie, 1982). Medidas contínuas da distribuição vertical de sódio têm possibilitado um estudo das perturbações atmosféricas provocadas por marés durante vários ciclos completos de 24 horas. A seguir apresenta-se uma análise destas perturbações.

## 2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Na atmosfera, as marés manifestam-se nos campos de densidade, pressão, temperatura e ventos. Entre estes parâmetros o radar de laser é diretamente sensível apenas à densidade, e é neste parâmetro que se devem procurar os efeitos da maré. A distribuição vertical da densidade de sódio é mostrada na Figura 1. A camada estende-se desde aproximadamente 80 até 106 km, e sua densidade máxima ocorre em torno de 93 km. Procuram-se os efeitos da maré em termos de perturbações deste perfil. Na Figura 2 é mostrado o comportamento da camada durante um intervalo de 4 dias, a Figura 2(a) mostra os contornos de densidade constante; a Figura 2(b) mostra a altura do centro de gravidade da camada; e a Figura 2(c) mostra a abundância colunar total. Além das variações aparentemente aleatórias, é possível distinguir na Figura 2(a) oscilações verticais com período regular de 12 horas. Esta oscilação

fica bem mais nítida nas variações de abundância, onde é possível distinguir uma oscilação semidiurna com máximos aproximadamente às 03 e 15 horas e mínimos às 10 e 20 horas. O centro de gravidade, mostra, além da oscilação semidiurna, um período de 24 horas, com altura mínima perto de meio dia.

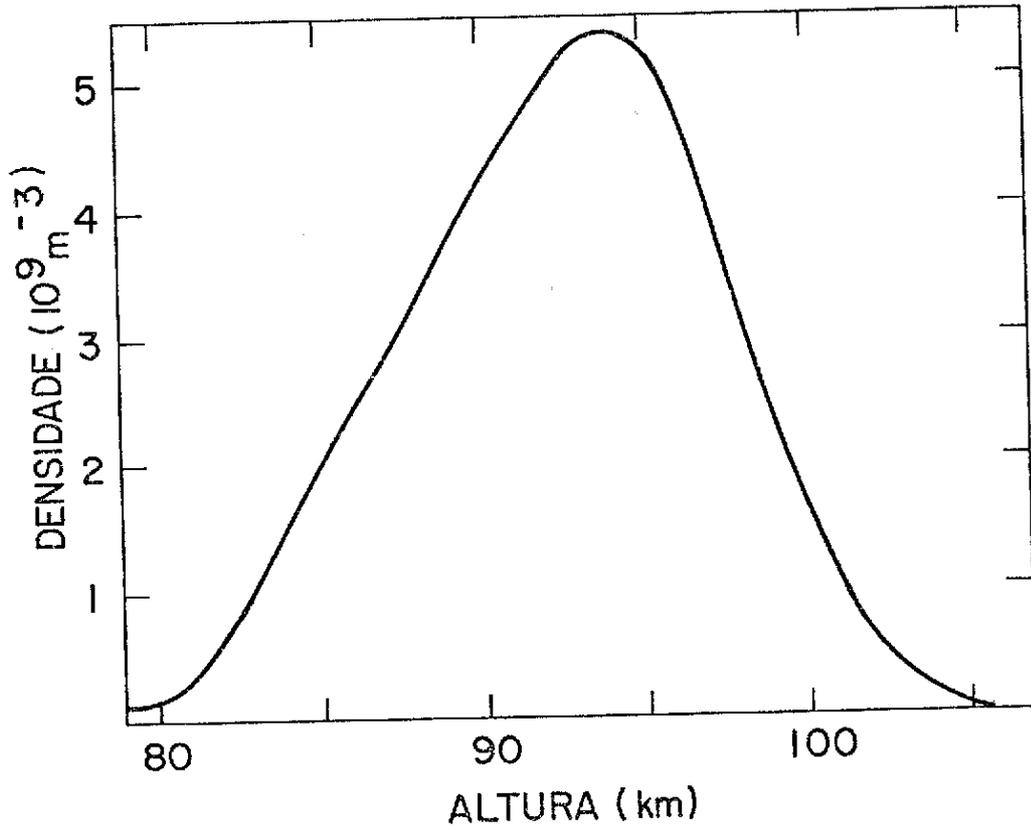


Fig. 1 - Densidade média de sódio para um período de aproximadamente vinte dias entre abril e agosto de 1981.

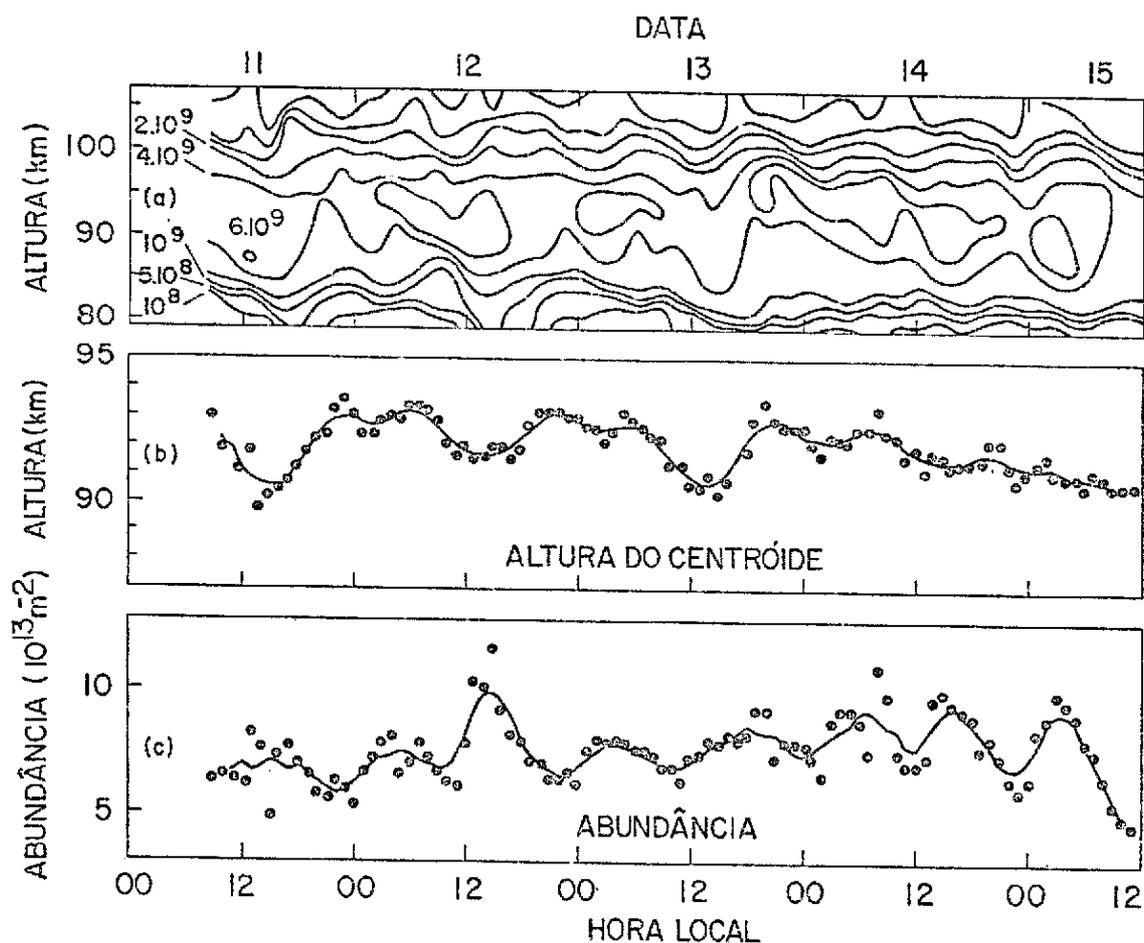


Fig. 2 - Contornos de densidade constante de sódio em unidades de átomos por metro cúbico (a); variação da altura do centróide com o tempo (b); variação da abundância com o tempo (c) para quatro dias em maio/81.

Uma vez que existem variações aparentemente aleatórias na camada de sódio, é difícil medir com precisão o efeito da maré nos dados de um só dia. Para minimizar os efeitos de perturbações irregulares pode-se fazer a média dos dados de vários dias. Isto foi feito na Figura 3, onde são mostrados os contornos de densidade média baseados em 24 dias de medidas entre abril e agosto de 1981. Para minimizar os efeitos de oscilações rápidas, foi feita uma média móvel sobre 3 km de altura e 5 horas em tempo. A Figura 3 mostra uma forte oscilação vertical semidiurna em todas as alturas, e uma oscilação diurna que fica aparente somente abaixo de 85 km. A progressão de fase da oscilação semidiurna mostra uma propagação vertical no sentido descendente. Na Figura 4 são mostradas as variações médias de altura do centróide e a abundância para os mesmos dados da Figura 3, porém sem fazer média móvel. A oscilação na altura do centro de gravidade tem período principal de 24 horas, sua excursão vertical é da ordem de 2 km, e sua altura mínima ocorre logo depois do meio-dia. A oscilação da abundância é quase exclusivamente semidiurna, e sua excursão total é da ordem de 20%, com abundância máxima perto de 03 horas e 15 horas.

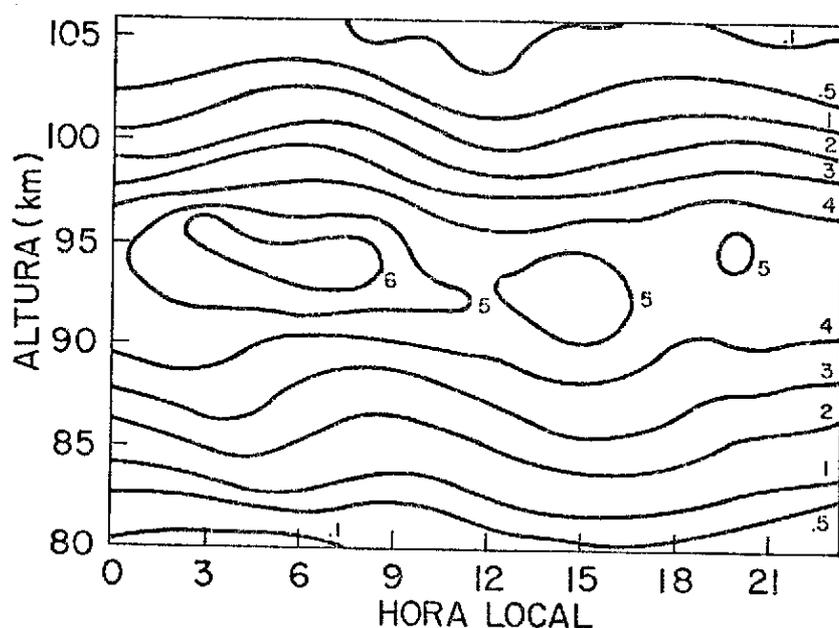


Fig. 3 - Contornos de densidades (em  $10^9$  átomos por metro cúbico) em função de tempo e altura para a média abril-agosto de 1981.

É feita uma média móvel de 3 pontos em altura e 5 pontos em tempo.

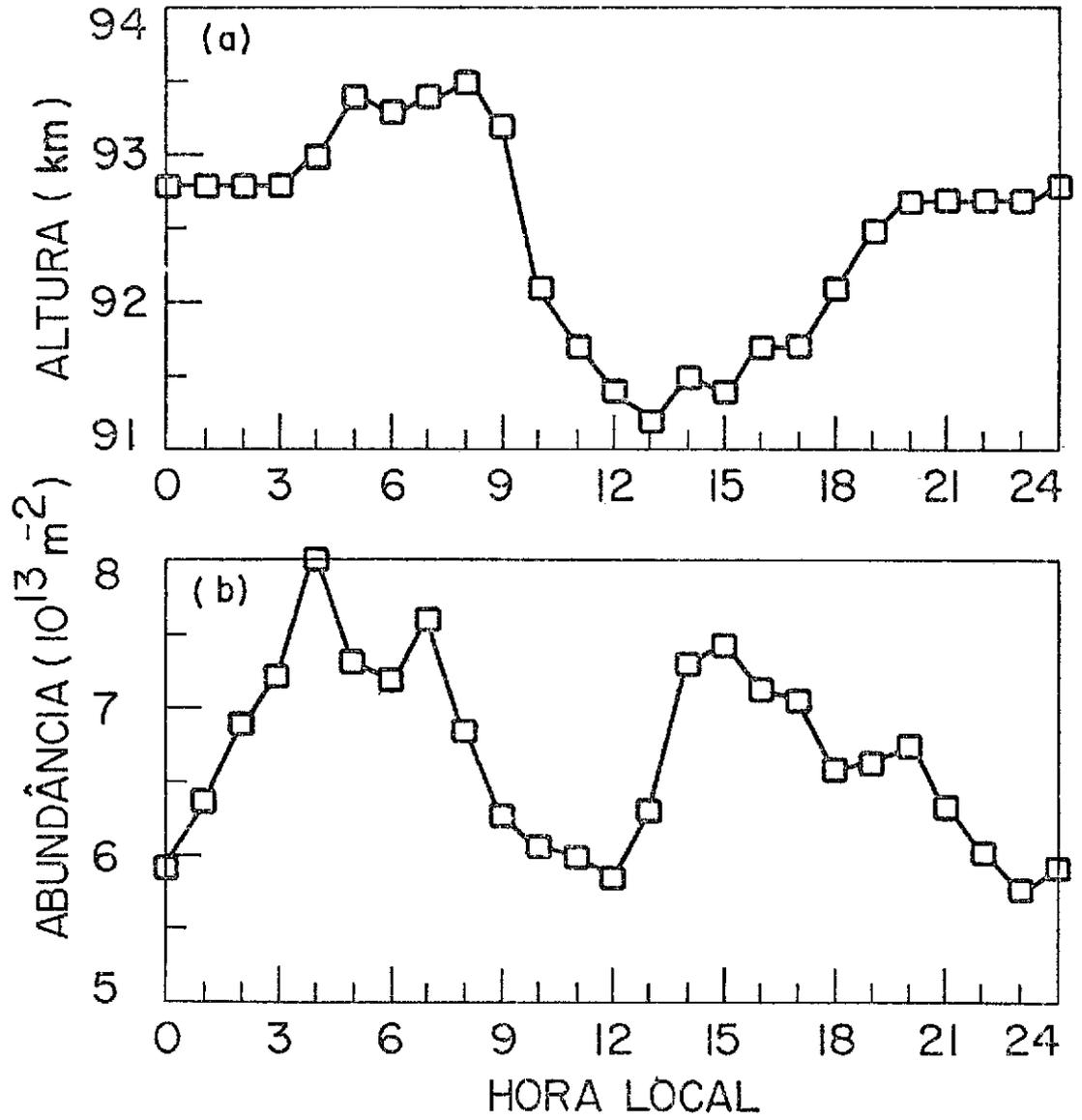


Fig. 4 - Variação diurna da altura do centróide (a) e variação diurna da abundância (b) para a média abril-agosto de 1981.

### 3. DISCUSSÃO

À primeira vista, supondo a difusão de sódio na atmosfera lenta em comparação aos períodos das marés, pode-se imaginar que as variações fracionais de densidade registradas no sódio representariam diretamente as variações de densidade dos constituintes principais da atmosfera. Este raciocínio, porém, despreza o efeito de movimentos verticais na presença de um gradiente de densidade. As perturbações causadas pela maré resultam não somente em variações de densidade, mas também em deslocamentos horizontais e verticais de uma parcela de ar. Os deslocamentos horizontais têm pouco efeito sobre a densidade, uma vez que os gradientes horizontais são pequenos. As oscilações verticais têm pouco efeito sobre a densidade dos constituintes principais, que se mantêm quase em equilíbrio hidrostático, mas têm um grande efeito sobre a densidade de sódio. Ilustra-se este efeito na Figura 5, onde se considera uma parcela de ar que se desloca de uma distância  $\Delta Z$ , da altura  $Z_1$  até  $Z_2$ . Sobre este intervalo de altura a densidade da atmosfera em equilíbrio hidrostático diminui por um fator de  $N_2/N_1 = \exp(-\Delta Z/H)$ , onde  $H = -N/(dN/dz)$  é a escala de altura da atmosfera. Desprezando-se os efeitos inerciais e de difusão, diminuem-se as densidades dos constituintes majoritários e minoritários ( $n'_1/n_1$ ) da parcela de ar na mesma razão  $N_2/N_1$ . Na altura fixa  $Z_2$ , o deslocamento vertical resulta então em uma diminuição na densidade do constituinte minoritário ( $n'_1/n_2$ ) por um fator  $(n_1/n_2) \exp(-\Delta Z/H)$ , onde tanto o fator  $n_1/n_2$  como o fator  $\exp(-\Delta Z/H)$  são menores que um. Desta maneira o deslocamento vertical resulta em uma grande diminuição da densidade do constituinte minoritário no lado inferior da camada. Na Figura 5, o efeito do deslocamento vertical sobre o perfil de sódio é obtido através de um deslocamento do perfil numa direção paralela ao perfil de densidade atmosférica.

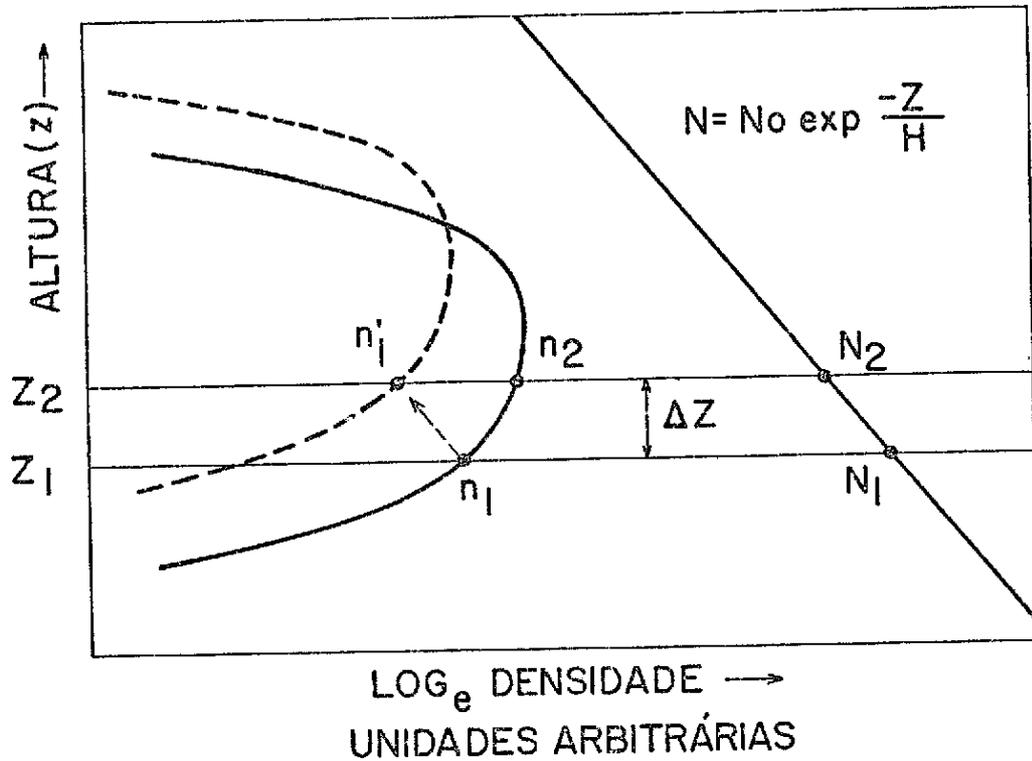


Fig. 5 - Efeito esquemático de um movimento vertical sobre as densidades dos constituintes majoritários (N) e minoritários (n).

Pode-se analisar o efeito do deslocamento vertical em termos da equação da continuidade, a qual, sem processos de produção e perda, pode ser escrita como:

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{V}n) = 0 \quad (1)$$

onde  $n$  representa a densidade de sódio,  $\vec{V}$  é a velocidade de transporte e  $t$  é o tempo. Supondo que não existam gradientes horizontais, pode-se reescrever esta equação como:

$$\frac{\partial n}{\partial t} + V_z \frac{\partial n}{\partial z} + n \nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (2)$$

onde  $z$  representa a coordenada vertical, e  $V_z$  é a velocidade vertical.

Para o constituinte majoritário, de densidade  $N$ , tem-se que a equação da continuidade fica:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + V_z \frac{\partial N}{\partial z} + N \nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (2a)$$

onde a suposição de que a difusão do sódio na atmosfera é lenta em comparação com os períodos das marés permitiu escrever a mesma velocidade nas Equações 2 e 2a. Eliminando-se  $\nabla \cdot \vec{V}$  das Equações 2 e 2a, tem-se que:

$$\frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{N} \frac{\partial N}{\partial t} + \left( \frac{1}{N} \frac{\partial N}{\partial z} - \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial z} \right) V_z \quad (3)$$

Assim, pela Equação 3, vê-se que a variação fracional de  $n$  não é igual a variação fracional de  $N$ . Pode-se ver que o efeito do termo entre parênteses na Equação 3 depende dos gradientes relativos dos constituintes majoritários e minoritários. O termo  $(1/N)dN/dz$  é sempre negativo e aproximadamente independente de altura. Na parte inferior da camada  $\partial n/\partial z$  é positivo, de tal maneira que o termo entre parênteses é sempre negativo e relativamente grande. Logo acima do pico da camada há um ponto onde o termo se anula; acima dele  $\partial n/\partial z$  é negativo, de tal maneira que o termo se torna positivo. Nesta região, o valor absoluto do termo é menor que do lado inferior da camada, devido ao fato de  $\partial N/\partial z$  e  $\partial n/\partial z$  terem o mesmo sinal.

A análise apresentada acima não inclui os efeitos inerciais envolvidos no deslocamento vertical de uma parcela de ar. A inclusão de tais efeitos envolve a teoria de ondas de gravidade internas (Hines, 1960), através da qual é possível relacionar as amplitudes das oscilações de densidade, pressão, temperatura e velocidade em uma onda atmosférica.

Uma análise do comportamento de camadas de constituintes minoritários na presença de uma onda atmosférica foi apresentada por Chiu and Ching (1978), mostrando que o efeito da onda pode ser convenientemente representado em termos de um fator de amplificação que relaciona a amplitude da oscilação da densidade do componente minoritário à amplitude da oscilação na densidade dos constituintes principais:

$$\frac{\tilde{n}}{n_0} / \left( \frac{\tilde{N}}{N_0} \right) = \frac{-1}{\gamma-1} \left\{ 1 + \frac{\gamma H_0}{n_0} \frac{dn_0}{dz} \right\} \quad (4)$$

onde

$\tilde{n}$  = amplitude da oscilação na densidade,  $n_0$ , do componente minoritário;

$\tilde{N}$  = amplitude da oscilação na densidade,  $N_0$ , dos constituintes principais;

$\gamma$  = razão dos calores específicos;

$H_0$  = escala de altura da atmosfera =  $-1 / \left( \frac{1}{N_0} \frac{dN_0}{dz} \right)$ .

A relação da Equação 4 é baseada na teoria de propagação de ondas de gravidade internas e pressupõe certas condições não inteiramente satisfeitas no caso de marés atmosféricas; entretanto esta relação será utilizada como primeira aproximação para comparar as observações da camada de sódio com a teoria de marés na atmosfera. Antes de prosseguir com esta comparação, é interessante investigar como varia o

fator de amplificação com a altura, no caso da camada média de sódio da Figura 1. Mostra-se esta variação na Figura 6, onde se pode ver que este fator é negativo e muito grande no limite inferior da camada, onde  $dn_0/dz$  é grande e  $n_0$ , que aparece no denominador da expressão para o fator de amplificação, é pequeno. O fator chega a zero um pouco acima do pico da camada, onde  $\gamma H_0/n_0 \cdot dn_0/dz = -1$ , e passa a ser positivo em alturas maiores.

Com o intuito de comparar os dados experimentais com os resultados esperados com base na Equação 4, plotam-se, na Figura 7, as variações relativas de densidade de sódio,  $\tilde{n}/n_0$ , em função da altura e tempo, utilizando os mesmos dados usados na confecção da Figura 4. Os resultados são exatamente os esperados. A amplitude da oscilação é maior perto do limite inferior da camada, cai a zero perto do pico, e aumenta novamente, mas com fase invertida, acima do pico. A inversão da fase correspondente à inversão do sinal do fator de amplificação visível na Figura 6.

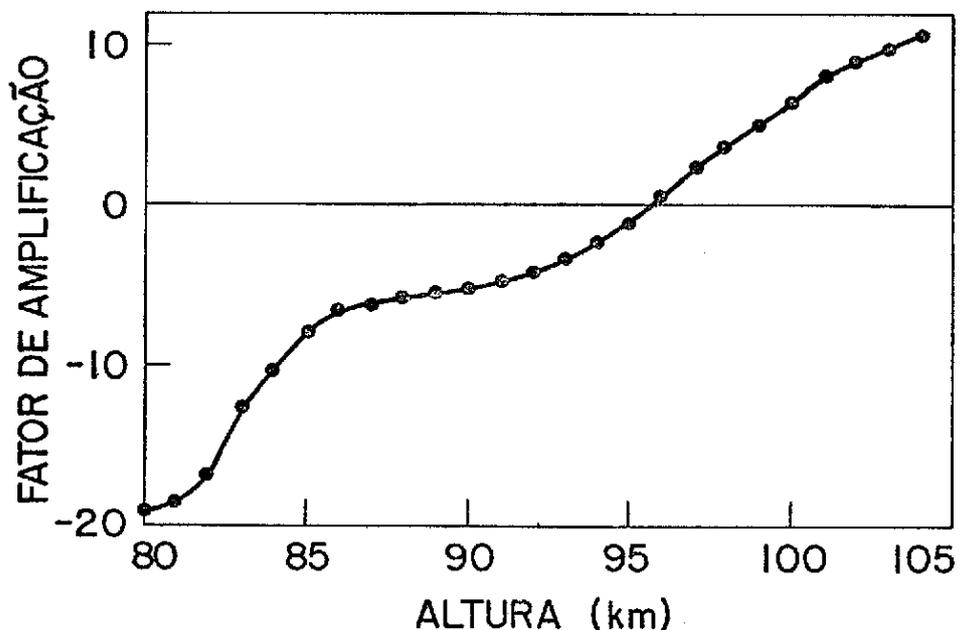


Fig. 6 - Fator de amplificação  $-(1/(\gamma-1)) (1 + \gamma H_0 \cdot 1/n_0(z) \cdot dn_0(z)/dz)$  onde  $n_0(z)$  é o perfil médio da Figura 1.

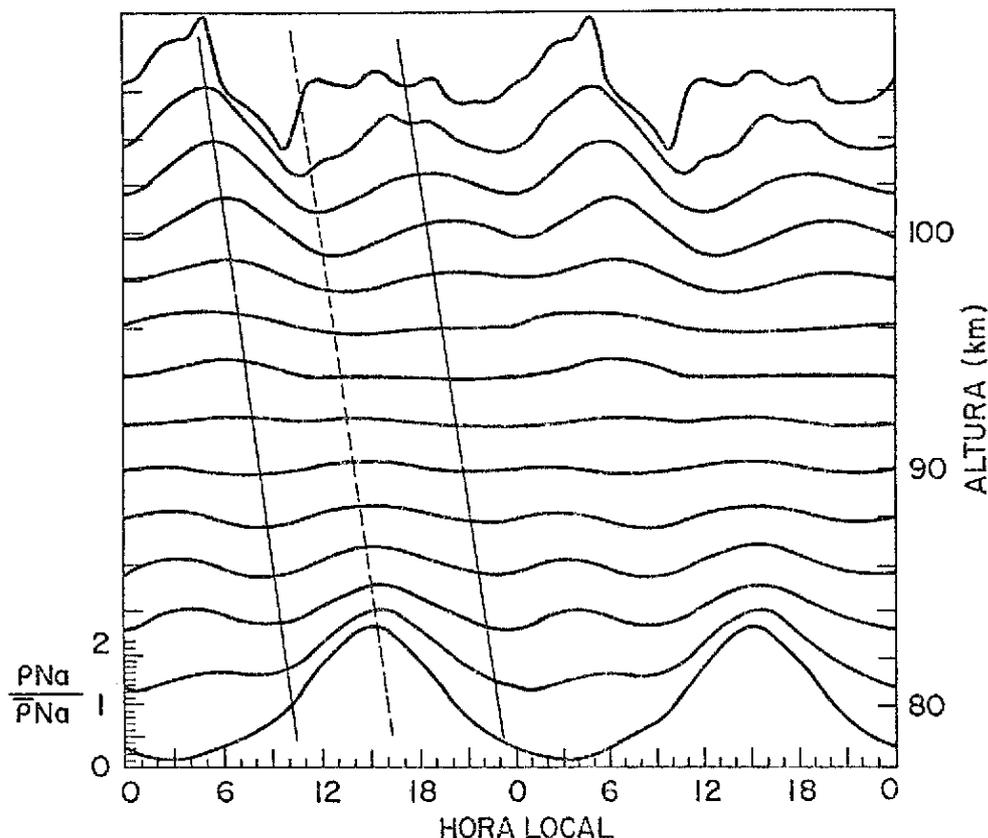


Fig. 7 - Variação temporal das densidades de sódio em diferentes alturas, normalizadas pela média de 24 horas em cada altura de 2 em 2 quilômetros.

Para efeito visual, a variação é repetida após 24 horas. As linhas inclinadas mostram a propagação aparente de fase.

Para investigar as características das oscilações mostradas na Figura 7, foi feito um ajuste de ondas senoidais com períodos de 12 e 24 horas pelo método dos mínimos quadrados. Os resultados desta análise em termos das variações de fase com altura são mostrados na Figura 8. O componente semidiurno demonstra uma progressão de fase descendente, correspondente a um comprimento de onda vertical da ordem de 54 km, enquanto o componente diurno demonstra uma fase quase independente de altura. Observa-se a esperada inversão de fase na região do pico da camada, tanto no componente diurno quanto no semidiurno. De acordo com a Equação 4 as variações da densidade da camada de sódio devem acompanhar na mesma fase as oscilações atmosféricas na parte superior da camada, e devem ficar defasadas de  $180^\circ$  na parte inferior.

Por esta razão reproduzem-se as curvas de fase na Figura 8 com deslocamento de  $180^\circ$  em baixo do pico. Para fins de comparação com a teoria de marés para o caso semidiurno é mostrada, também na Figura 8, a fase calculada com base em Lindzen e Hong (1974), que inclui os efeitos do acoplamento de modos devido à presença de ventos horizontais. Nota-se uma boa concordância em termos do comprimento de onda vertical, mas a hora de densidade máxima mostra uma diferença de 2,5 horas. Para a maré diurna não se observa concordância entre os resultados experimentais e a curva teórica, calculada com base na teoria clássica (Chapman e Lindzen, 1970), que mostra a fase calculada para o modo  $(H)^{1,1}$ , que, de acordo com a teoria clássica de marés atmosféricas, deveria predominar em nossa latitude. Os resultados experimentais não demonstraram qualquer propagação de fase com a altura, o que sugere a predominância de um modo evanescente. De acordo com a teoria clássica os modos evanescentes, embora presentes, são fracos em baixas latitudes (Veja Batista, 1976, para maiores detalhes).

Convém observar que estes dados se referem a uma média de mais de vinte dias distribuídos entre abril e agosto de 1981. Caso a fase dos modos propagantes diurnos varie de dia a dia, como é observado (Fellous et alii, 1974), a média de vários dias deveria apresentar apenas a oscilação menos variável que seria o modo evanescente.

Na Figura 9 são mostradas as amplitudes experimentais de variação da densidade atmosférica, calculadas com base na Equação 4. As amplitudes dos componentes diurnos e semidiurnos de  $\tilde{n}/n_0$  foram determinadas pelo método dos mínimos quadrados e divididas pelo fator de amplificação determinado pelo perfil médio de sódio. Uma vez que este fator é muito pequeno (em volta de 95 km) e dá origem a erros muito grandes no cálculo da oscilação de densidade atmosférica, excluem-se as alturas de 94, 95 e 96 km do cálculo.

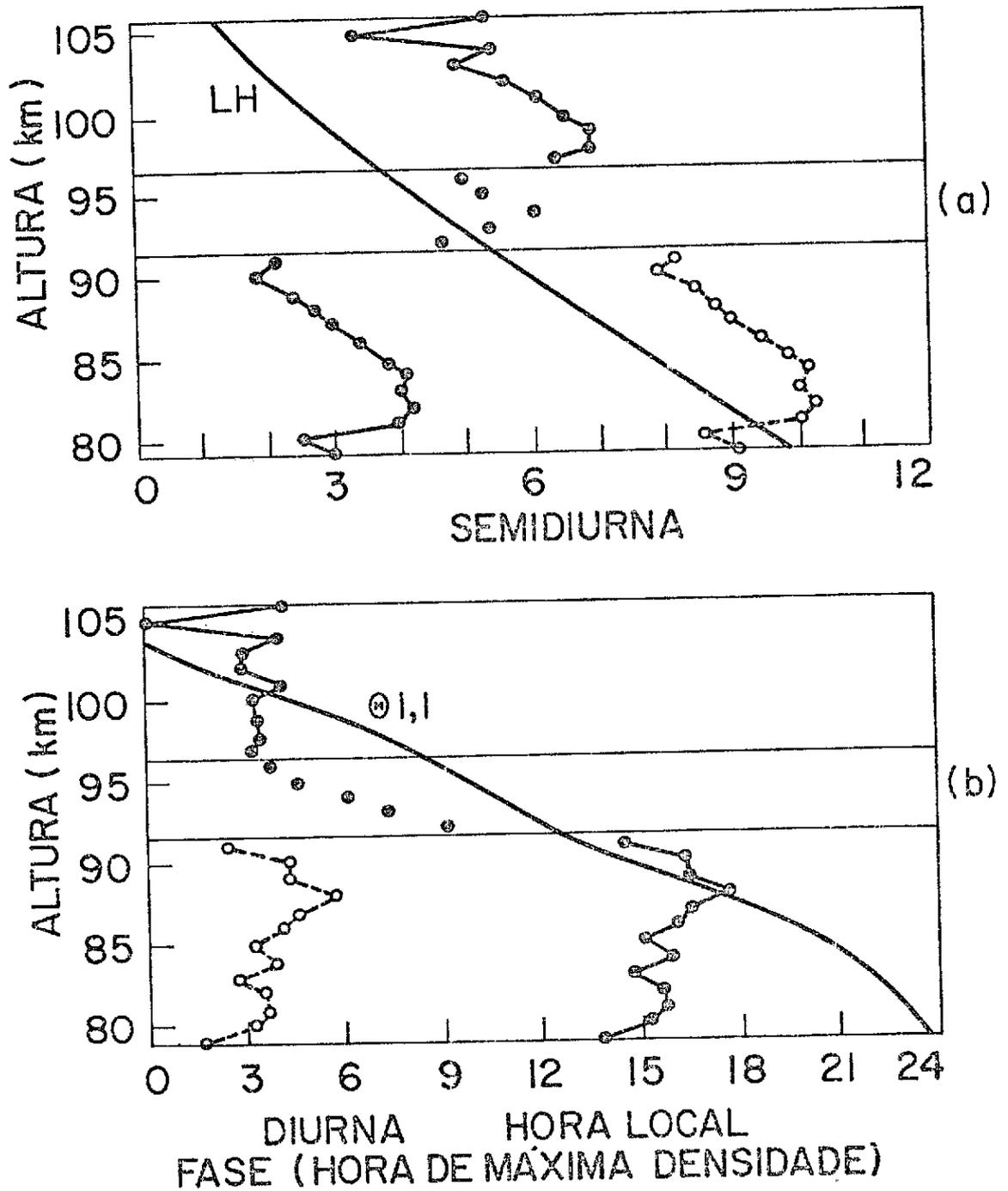


Fig. 8 - Fases dos componentes diurno (a) e semidiurno (b) da variaçã da densidade de sódio em cada altura de 1 em 1 km.

●—●—● Hora de máxima densidade. o--o--o Hora de mínima densidade. LH: Fase teórica da maré semidiurna baseada em Lindzen e Hong (1974). É representada também a fase de  $\text{H}^{1,1}$  da teoria clássica.

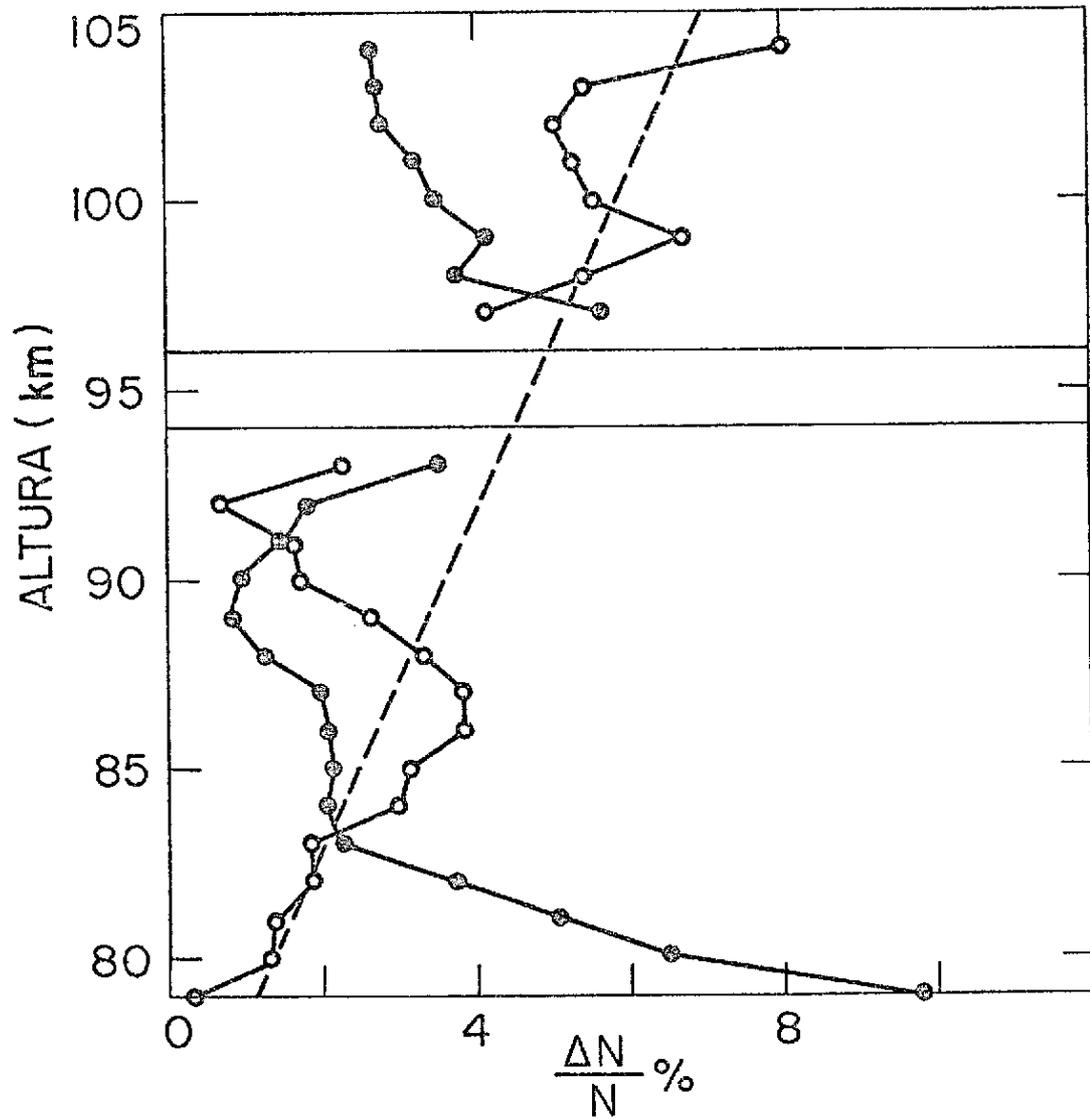


Fig. 9 - Amplitudes de variação da densidade atmosférica, inferidas pela divisão das amplitudes ajustadas de sódio pelo fator de amplificação.

●-●-● Diurna. ○-○-○ Semidiurna. A linha tracejada representa a tendência da oscilação semidiurna.

Observa-se que a amplitude do componente semidiurno em geral aumenta com a altura, como é esperado da teoria, e sua ordem de grandeza está dentro do que se espera para a variação da amplitude da densidade atmosférica. No caso da oscilação diurna, esta cai rapidamente de 80 para 85 km, mantém-se quase constante e volta a crescer acima de 95 km. A oscilação teórica que mais se assemelha a esta é o primeiro modo evanescente, mas a concordância não é boa, pois a amplitude da oscilação experimental é muito maior que a amplitude esperada para esse modo, principalmente em volta de 80 km e acima de 90 km.

#### 4. CONCLUSÕES

Observações de sódio atmosférico mostram a existência de fortes oscilações com períodos de 12 e 24 horas. O componente semidiurno demonstra propagação vertical de fase correspondente a um comprimento de onda vertical de 54 km, em concordância razoável com a maré calculada, e a amplitude da oscilação é da mesma ordem de grandeza que a esperada. A fase da oscilação semidiurna difere da esperada por aproximadamente 2,5 horas. No caso de oscilação diurna, os resultados experimentais são bastante diferentes dos esperados. Não se observam os modos propagantes que deveriam ser predominantes de acordo com a teoria, mas observa-se uma oscilação que, aparentemente, corresponde a um modo evanescente com amplitude muito maior que a esperada. Embora seja possível que a ionização durante o dia na parte superior da camada e a oxidação durante a noite em sua parte inferior (Kirchhoff et alii, 1981) possam contribuir para a oscilação, a fase da oscilação observada é diferente da fase que resultaria destes mecanismos; conclui-se que esta oscilação realmente resulta principalmente da maré diurna. Esta discrepância indica uma necessidade de estudos teóricos mais aprimorados. Na análise aqui apresentada não foram incluídos os efeitos de difusão e fotoquímica, efeitos que se pretende incluir num trabalho futuro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATISTA, P.P. *A maré atmosférica solar na mesosfera*. Tese de Mestrado em Ciência Espacial. São José dos Campos, INPE, 1976. 142 p. (INPE-897-TPT/028).
- CHIU, Y.T.; CHING, B.K. The response of atmospheric and lower atmospheric layer structures to gravity waves. *Geophysical Research Letters*, 5(6):539-524, June 1978.
- CLEMESHA, B.R.; SIMONICH, D.M.; BATISTA, P.P.; KIRCHHOFF, V.W.J.H. The diurnal variation of atmospheric sodium. *Journal of Geophysical Research*, 87(A1):181-186, 1982.
- CHAPMAN, S.; LINDZEN, R.S. *Atmospheric tides*. New York, N.Y., Gordon and Breach Science, 1970.
- FELLOUS, J.L.; SPIZZICHINO, A.; GLASS, M.; MASSEBEUF, M. Vertical propagation of tides at meteor heights. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 36:385-396, 1974.
- GRANIER, C.; MEGIE, G. Daytime lidar measurements of the mesospheric sodium layer. *Planetary and Space Sciences*, 30(2):169-177, 1982.
- HINES, C.O. Internal atmospheric gravity waves at ionospheric heights. *Canadian Journal of Physics*, 38:1441-1481, 1960.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H.; CLEMESHA, B.R.; SIMONICH, D.M. The atmospheric neutral sodium layer 1. Recent modeling compared to measurements. *Journal of Geophysical Research*, 86(A8):6892-6898, 1981.
- LINDZEN, R.S.; HONG, S. Effects of mean winds and horizontal temperature gradients on solar and lunar semidiurnal tides in the atmosphere. *Journal of Atmospheric Sciences*, 31(5):1241-1446, July 1974.