

COMPONENTE VERTICAL DA VELOCIDADE DO VENTO FORÇADA PELA TOPOGRAFIA DO HEMISFÉRIO SUL^{1/}

Rubens Leite Vianello^{2/}
V.B. Rao^{3/}

1. INTRODUÇÃO

A topografia desempenha importante papel na geração de ondas estacionárias. As variações longitudinais do campo da pressão atmosférica, associadas às ondas estacionárias, estão fortemente relacionadas com as variações da precipitação média e da nebulosidade, bem como de outros elementos do tempo (3). Embora o Hemisfério Sul seja, na maior parte, ocupado pelos oceanos, em certas regiões o papel da topografia parece ser importante, como, por exemplo, a presença da grande Cadeia Andina, cuja configuração básica no sentido norte-sul, associada ao predomínio da componente zonal do vento, parece caracterizar de forma marcante o clima desse continente, especialmente no que se refere à distribuição das chuvas. Por outro lado, RIEHL (8) sugeriu a existência de um cavado no lado leste da Cadeia dos Andes, o qual seria, de certa forma, semelhante ao cavado semipermanente localizado a leste das Montanhas Rochosas. YASUNARI (12), usando cartas de brilho médio obtidas por satélites meteorológicos, sugeriu também a correlação entre o predomínio da onda 3, entre 40° e 50° de latitude Sul, e a presença dos três continentes.

Usando um Modelo Quase-Geostrófico, VIANELLO e RAO (11) estudaram a dinâmica das ondas estacionárias forçadas pela topografia do Hemisfério Sul. Entretanto, naquele estudo, apenas a componente zonal média do vento foi usada na fun-

^{1/} Parte deste trabalho foi desenvolvida com recursos do CNPq.

Recebido para publicação em 08-02-1980. Projeto n.º 4.1764 do Conselho de Pesquisa da U.F.V.

^{2/} Universidade Federal de Viçosa — Departamento de Engenharia Agrícola — 36570 — Viçosa — MG.

^{3/} Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE — São José dos Campos — SP.

ção forçante da topografia. SALTZMAN e IRSCH (9) mostraram que os termos relativos à componente meridional média e as flutuações zonais do vento poderiam ser também de grande importância na função forçante da topografia do Hemisfério Norte.

Este trabalho teve como objetivo estender os estudos de SALTZMAN e IRSCH (9) para o Hemisfério Sul, visando, a verificar a importância dos termos não incluídos nos estudos mencionados.

Assim, semelhantemente ao desenvolvido por SALTZMAN e IRSCH III (9) para o Hemisfério Norte, calculou-se, aqui, a componente vertical do vento forçada pela topografia suavizada do Hemisfério Sul. Para isso, tomou-se a expressão, para W , em função das componentes horizontais do vento e do gradiente da topografia, em coordenadas esféricas, ou seja,

$$W = \vec{V} \cdot \nabla H = \frac{u}{\text{acos } \phi} \frac{\partial H}{\partial \lambda} + \frac{v}{a} \frac{\partial H}{\partial \phi} \quad (1)$$

em que W é a componente vertical do vento, $\vec{V} = u \vec{e}_\lambda + v \vec{e}_\phi$, sendo \vec{e}_λ e \vec{e}_ϕ vetores unitários nas direções zonal e meridional, respectivamente; u é a componente zonal do vento e v é a componente meridional; o operador

$$\nabla = \left(\frac{\vec{e}_\lambda}{\text{acos } \phi} \frac{\partial}{\partial \lambda} \right) + \left(\frac{\vec{e}_\phi}{a} \frac{\partial}{\partial \phi} \right); \text{ «a» o raio médio da Terra (6367 x 10}^5 \text{ cm);}$$

H é a topografia suavizada para o Hemisfério Sul (1); λ e ϕ são ângulos de longitude e latitude, respectivamente.

Usando agora uma barra para identificar a média no tempo e aplicando-a a (1), obtém-se

$$\bar{W} = \frac{\bar{u}}{\text{acos } \phi} \frac{\partial H}{\partial \lambda} + \frac{\bar{v}}{a} \frac{\partial H}{\partial \phi} \quad (2)$$

Definindo uma média em torno de um círculo de latitude para uma variável média no tempo, $\bar{\zeta}$, por

$$\{\bar{\zeta}\} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \bar{\zeta} d\lambda \quad (3)$$

e uma perturbação estacionária como um desvio a partir da média zonal $\{\bar{\zeta}\}$, ou seja:

$$\bar{\zeta}^* = \bar{\zeta} - \{\bar{\zeta}\} \quad (4)$$

podem-se calcular separadamente as contribuições das médias e perturbações estacionárias de u e v para W . Isto é, aplicando (3) e (4) em (2), tem-se, finalmente:

$$\bar{W} = \frac{(\{\bar{u}\} + \bar{u}^*)}{\text{acos } \phi} \frac{\partial H}{\partial \lambda} + \frac{(\{\bar{v}\} + \bar{v}^*)}{a} \frac{\partial H}{\partial \phi} \quad (5)$$

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para calcular \bar{W} , para verão e inverno, pela expressão (5), os dados usados foram os seguintes: \bar{u} e \bar{v} foram obtidos de NEWELL *et alii* (6), períodos dezembro-fevereiro e junho-agosto, para as latitudes compreendidas entre 0° e 25° Sul, interpolados; e de JENNE *et alii* (4), janeiro e julho, de 30° a 90° Sul. Os dados de NEWELL *et alii* referem-se a ventos observados, enquanto os de JENNE *et alii* a ventos geostróficos, ambos tomados a intervalos de 5° de latitude e longitude. Apesar de parcialmente interpolados, os dados básicos usados para as latitudes tropicais apresentam boa distribuição espacial, conforme se vê em NEWELL *et alii* (6), página 15, ilustração 2.1. Tomaram-se ainda valores para três diferentes níveis de pressão, conforme a altitude do ponto em consideração – 1000 mb para pontos situados entre 0 e 1000 metros; 850 mb para pontos entre 1000 e 2000 metros; e 700 mb para pontos acima de 2000 metros (Figura 1).

Os valores de $\{\bar{u}\}$ e $\{\bar{v}\}$ foram tomados segundo o mesmo critério de altitude, e extraídos de NEWELL *et alii* (loc. cit.), interpolados linearmente de 5° em 5° de latitude, para os períodos dezembro-fevereiro, verão, e junho-agosto, inverno. Para o nível inexistente na fonte citada, tomou-se a grandeza correspondente à mesma latitude, porém de nível de pressão imediatamente subsequente.

Utilizou-se o método de diferença finita centrada para o cálculo da expressão (5), cujos resultados foram usados para o traçado do campo de \bar{W} para verão e inverno (Figuras 2 e 3, respectivamente). Para avaliar a contribuição das médias zonais de \bar{u} e \bar{v} , plotou-se um perfil longitudinal para a latitude de 20° Sul, comparando-se os valores de \bar{W} forçado por $\{\bar{u}\}$ e $\{\bar{v}\}$ entre si, como também aos valores obtidos por todos os termos da equação (5) (Figura 4).

Finalmente, os campos de \bar{W} , verão e inverno, foram comparados aos campos médios de precipitação e nebulosidade, para todo o Hemisfério Sul.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores mais elevados de \bar{W} – até 1 cm/s – foram encontrados na região meridional do continente sul-americano, destacando-se valores positivos na porção ocidental e valores negativos no flanco oriental da Cadeia Andina (Figura 2 e 3). Comparados aos campos da nebulosidade média, Global Atlas of Relative Cloud Cover, 1967 a 1970 (7) e da precipitação média (2), nota-se, no verão e no inverno, excelente concordância, tanto para valores positivos quanto para valores negativos de \bar{W} , o que indica que, nessas regiões, as precipitações são, basicamente, determinadas pela topografia. O gradiente acentuado da topografia na direção zonal e o escoamento de oeste, forte e perpendicular à Cordilheira Andina, parecem justificar as características básicas dos campos nessa região. Num Modelo de Circulação Geral, MANABE e TERPSTRA (5) simularam o clima global, considerando também os efeitos da topografia. No Hemisfério Sul, o modelo mostrou que as zonas áridas a leste do Pacífico limitam-se à porção banhada pelo oceano, quando incluída a topografia, ao passo que na simulação, na ausência de topografia, as zonas áridas penetram zonalmente para o interior do continente. Isso mostra o efeito da Cordilheira Andina no clima local, consoante os resultados encontrados no presente trabalho.

Na Região Nordeste do Brasil, verifica-se que o campo de \bar{W} é positivo no litoral e fracamente negativo no interior, permitindo concluir que a topografia, associada aos ventos, desempenha papel de algum realce no campo da precipitação média local. Evidentemente, as modestas alturas das montanhas locais e o tamanho da grade usada neste estudo limitaram bastante as conclusões aqui discutidas, o que pode ser consideravelmente melhorado com um estudo mais detalhado da região.

No continente africano, os campos de \bar{W} , a nebulosidade e a precipitação apre-

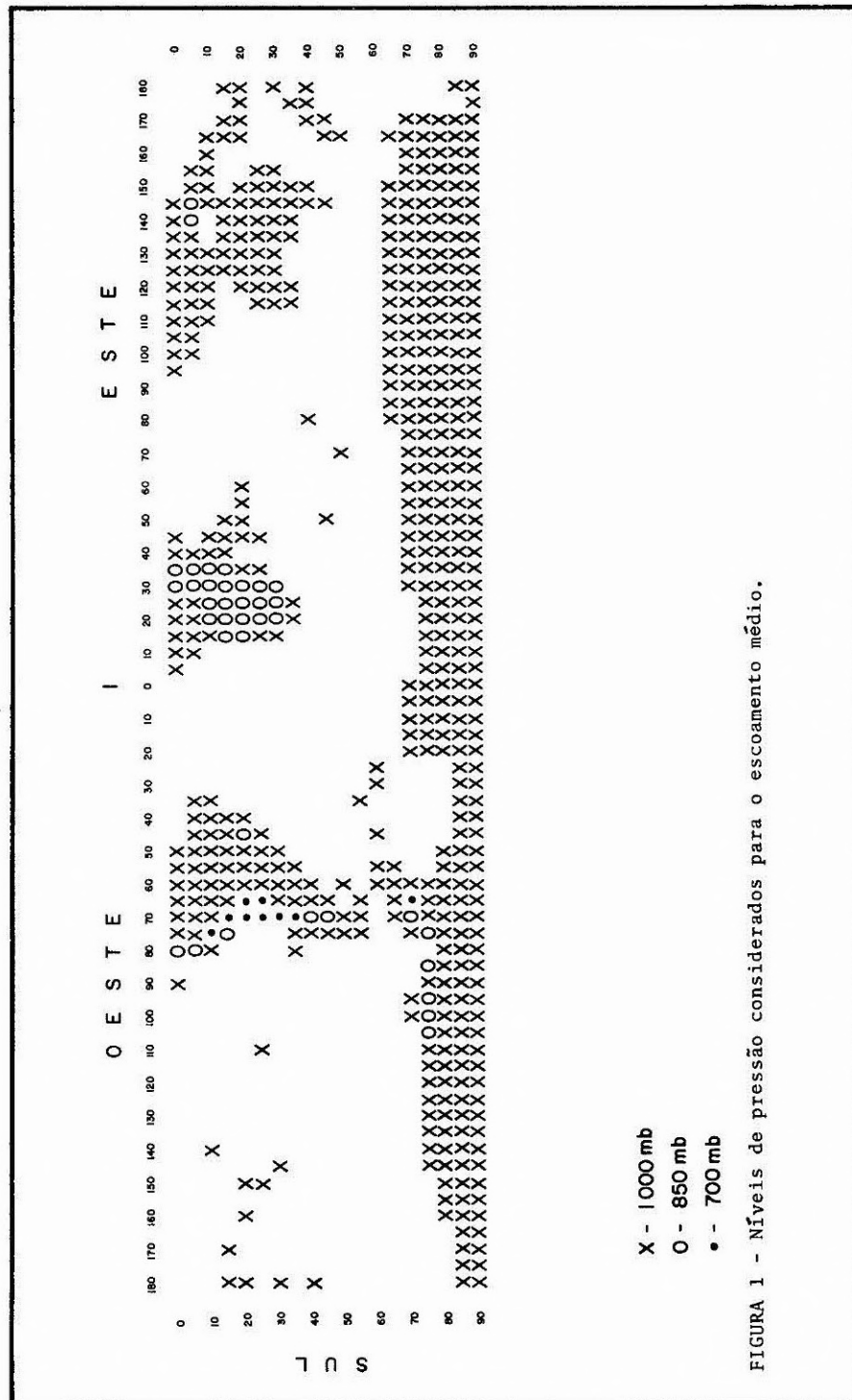
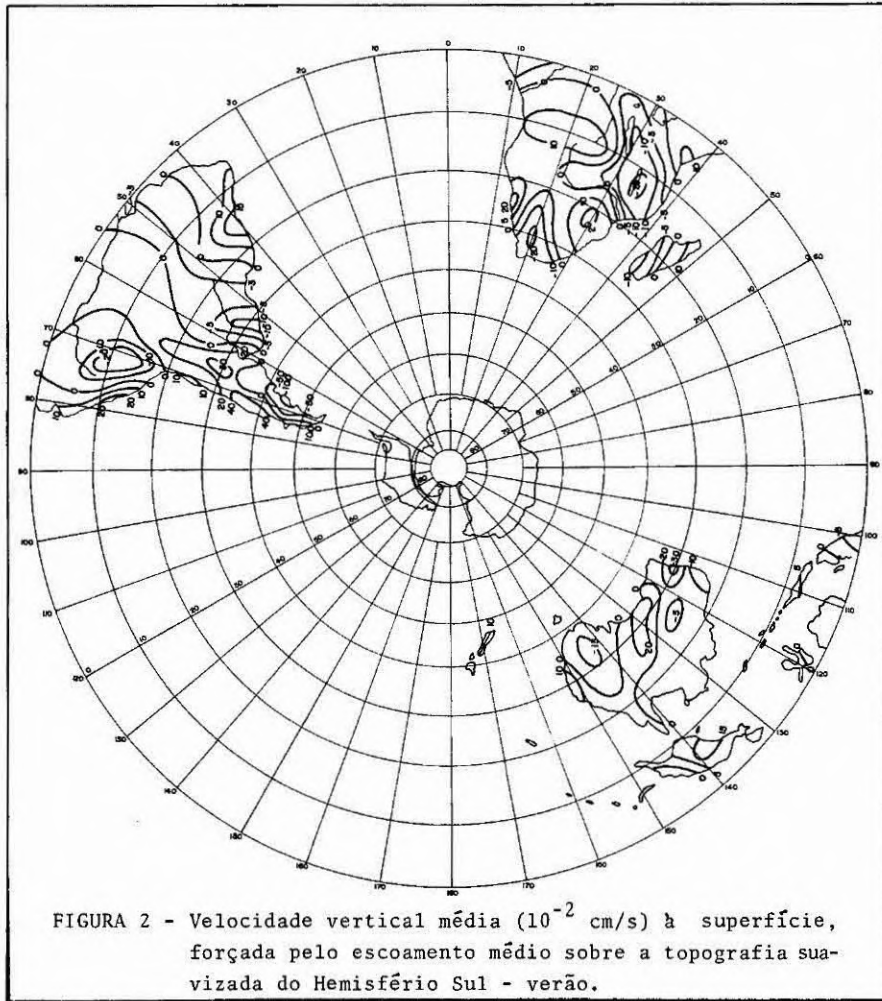


FIGURA 1 - Níveis de pressão considerados para o escoamento médio.



sentam razoável concordância, especialmente nas regiões da Ilha de Madagascar, na porção centro-sul do continente e na região próxima ao Golfo da Guiné, especialmente no inverno.

No continente australiano, os campos apresentam certa coerência, especialmente no inverno, embora, de modo geral, tanto esse continente como o africano conduzam à conclusão de que a topografia não desempenha papel de destaque no campo da precipitação, pelo menos na escala do presente trabalho.

Os valores obtidos para as altas latitudes — entre 60° e 80° — não foram plotados nas Figuras 2 e 3, tendo em vista a margem de erro, por truncamento, esperada como consequência do uso do método de diferenças finitas e do sistema de coordenadas esférico (10).

A Figura 4 mostra perfis longitudinais de \bar{W} forçados pela componente zonal média, pela componente meridional média e pela soma total dessas componentes e respectivas flutuações. Pode-se notar que o papel das flutuações não é desprezível, especialmente nas regiões de maiores elevações, como foi também verificado para o Hemisfério Norte (9).

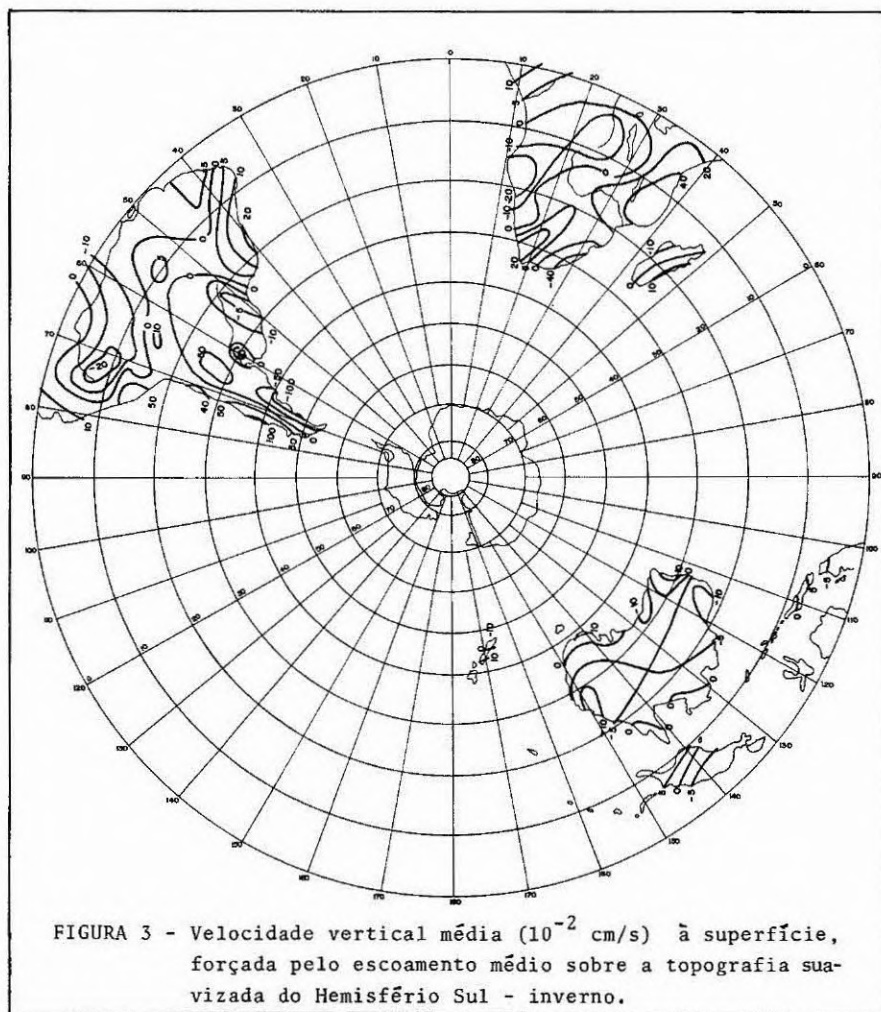


FIGURA 3 - Velocidade vertical média (10^{-2} cm/s) à superfície, forçada pelo escoamento médio sobre a topografia suavizada do Hemisfério Sul - inverno.

4. RESUMO

Os efeitos da topografia no campo da precipitação são mais destacáveis ao sul do continente sul-americano e no Nordeste do Brasil. Em todo o Hemisfério Sul o papel da topografia é mais sensível no inverno, pelo fato de os ventos serem mais fortes nessa estação. Comparando as Figuras 2 e 3 do presente trabalho com as Figuras 1 e 2 de SALTZMAN e IRSCH (6), corrigidas, verifica-se que a velocidade vertical, forçada pela topografia, é da mesma ordem de grandeza nos dois hemisférios. O papel desempenhado pelas flutuações das componentes zonal e meridional é muito importante, especialmente nas regiões de maiores elevações. Isso leva à conclusão de que também no Hemisfério Sul a inclusão dessas flutuações em modelos numéricos poderá ser significativa, especialmente com relação às ondas estacionárias forçadas pela topografia.

5. SUMMARY

The effects of topography on precipitation are greater in the southern regions of

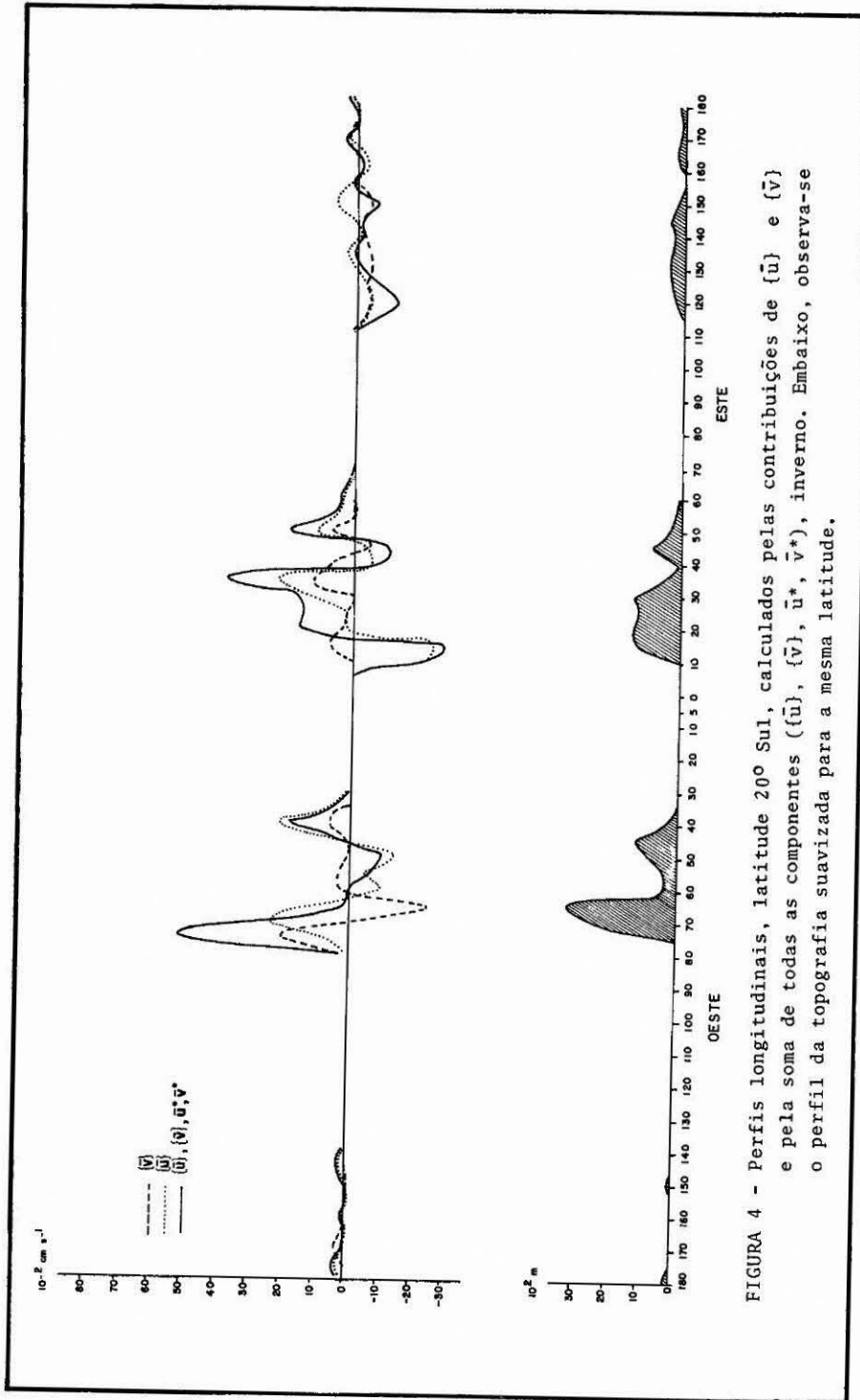


FIGURA 4 - Perfis longitudinais, latitude 20° Sul, calculados pelas contribuições de $\{u\}$ e $\{v\}$ e pela soma de todas as componentes ($\{u\}$, $\{v\}$, u^* , v^*), inverno. Embaixo, observa-se o perfil da topografia suavizada para a mesma latitude.

the South American Continent and in northeastern Brazil.

In the Southern Hemisphere, as a whole, the topographic effects are more appreciable during the winter when the winds are stronger.

A comparison of Figs. 2 and 3 with Figs. 1 and 2 of SALTZMAN and IRSCH reveals that vertical velocity is in general comparable in both the Hemispheres.

The zonal and meridional fluctuations of the winds are very important, especially in those areas of high mountains. This suggests that in the Southern Hemisphere the inclusion of these fluctuations is also important, especially in models related to the waves generated by topography.

6. LITERATURA CITADA

1. BERKOFISKY, L. & BERTONI, E.A. Mean topographic charts for the entire earth. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 36(7):350-354. 1955.
2. BERRY, F.A. Jr, BOLLAY, E. & BEERS, N.R. *Handbook of meteorology*. New York, Mc Graw-Hill Book Company, Inc., 1945. 1068 p.
3. CHARNEY, J.G. & ELIASSEN, A. A numerical method for predicting the perturbations in middle-latitude westerlies. *Tellus*, 1(2):38-54. 1949.
4. JENNE, R.L., CRUTCHER, H.L., VAN LOON, H. & TALJAARD, J.J. *Climate of the upper air: Southern Hemisphere vector mean geostrophic winds*. Boulder, NCAR TN/STR-58, 1971. (vol. III), 60 p.
5. MANABE, S. & TERPSTRA, T.B. The effects of mountains on the general circulation of the atmosphere as identified by numerical experiments. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 31(1):3-42. 1974.
6. NEWELL, R.E., KIDSON, J.W., VICENTE, D.G. & BOER, G.J. *The general circulation of the tropical atmosphere and interactions with extratropical latitudes*. Cambridge, The Massachusetts Institute of Technology, 1972 (vol.I), 258 p.
7. NOAA, USAF. *Global atlas of relative cloud cover 1967-1970*. Washington, D.C., 1971. 72 p.
8. RIEHL, H. New features of global climatology revealed by satellite-derived oceanic rainfall maps. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 59(5): 645-646. 1978.
9. SALTZMAN, B. & IRSCH III, F.E. Note on the theory of topographically forced planetary waves in the atmosphere. *Monthly Weather Review*, 100 (6):441-444. 1972.
10. SCHUMAN, F.G., On certain truncation errors associated with spherical coordinates. *Journal of Applied Meteorology*, 9:564-570. 1970.
11. VIANELLO, R.L. & RAO, V.B. *Estudo teórico da influência das elevações continentais sobre ondas estacionárias no Hemisfério Sul*. São José dos Campos, INPE, 1975. (INPE-741-TPT/011). 59 p.
12. YASUNARI, T. Stationary waves in the Southern Hemisphere midlatitude zone revealed from average brightness charts. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 55(3): 274-285. 1977.