

## VÓRTICES CICLÔNICOS DA ALTA TROPOSFERA NO OCEANO ATLÂNTICO SUL.

MANOEL ALONSO GAN

*Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE - 12201, São José dos Campos - SP*

VERNON EDGAR KOUSKY

*NOAA/NMC/CAC, 5200 Auth Rd, Camp Springs, Md 20233 - U.S.A.*

### ABSTRACT

A climatological study on upper tropospheric cyclonic vortices based on satellite images is presented. Their formation is associated with the upper tropospheric anticyclonic flow over South America during the summer months. Vortices entering Brazil affect the distribution and intensity of the observed precipitation.

### RESUMO

Realiza-se, através de imagens de satélites, um estudo climatológico sobre os vórtices ciclônicos da alta troposfera nas latitudes subtropicais do oceano Atlântico Sul. A formação destes vórtices está relacionada com o escoamento anticiclônico de ar superior sobre a América do Sul nos meses de verão. Os vórtices que penetram no Brasil afetam a distribuição e intensidade da precipitação observada.

### 1. INTRODUÇÃO

Recentemente muitos estudos foram realizados visando o melhor entendimento das secas e enchentes ocorridas na Região Nordeste do Brasil. Vários pesquisadores procuraram, através de médias mensais, correlacionar a circulação geral dos Hemisférios Norte e Sul com o clima dessa região; dentre estes ressaltam-se: Namias (1972), Hastenrath and Heller (1977), Markham and Maclain (1977), Moura and Shukla (1981). Entretanto, chuvas no interior do Nordeste ocorrem, em geral por períodos relativamente curtos, e são provocadas por sistemas transientes como as frentes frias (Kousky, 1979), ondas de leste, aglomerados de cumulonimbus (Ramos, 1975), e vórtices ciclônicas na alta troposfera (Dean, 1971; Aragão, 1975; Kousky and Gan, 1981).

Neste trabalho pretende-se enfatizar os eventos sinóticos que levam à formação dos vórtices ciclônicos na alta troposfera e verificar quais os efeitos desses sistemas na Região Nordeste do Brasil.

### 2. DADOS E MÉTODOS DE ANÁLISE

Dois tipos de dados são utilizados:

- microfílm com imagens (no canal infravermelho e

no visível) do satélite geoestacionário SMS/GOES, adquiridos da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration);

- dados das componentes zonal e meridional do vento nos horários 00:00 e 12:00 TMG, para os níveis padrões entre 1000 e 200mb, obtidos do NCAR (National Center for Atmospheric Research), Boulder, Colorado, E.U.A. analisados pelo "National Meteorological Center".

Os dados de vento permitem a elaboração de cartas de vorticidade relativa e linhas de correntes para vários casos em que haja formação de vórtices ciclônicas. Através desta análise é possível determinar características gerais destes sistemas ciclônicos.

### 3. ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS

Nesta seção são considerados apenas os vórtices ciclônicos com nebulosidade significativa, que se originam no oceano Atlântico Sul ou na costa leste do Brasil. Utilizam-se neste estudo os microfílm com imagens de satélite para o período de setembro de 1974 a agosto de 1981.

A Tabela 1 mostra o número de vórtices ciclônicos e o número de dias-vórtices (número de dias com vórtices pre-

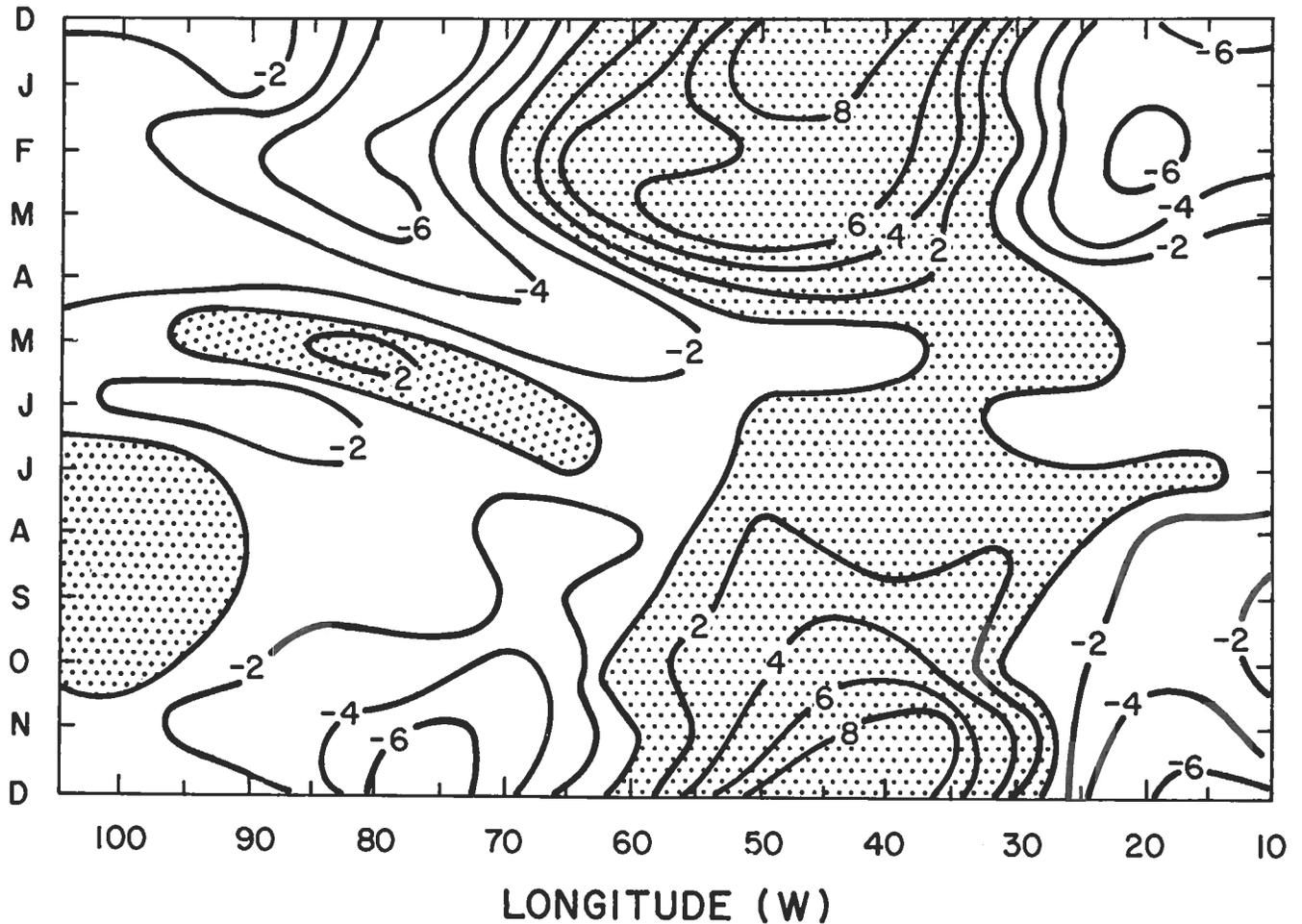


Figura 1: Média mensal (1975 - 1979) versus longitude da componente meridional do vento em 15°S no nível de 200 mb. Análise com intervalo de 2 ms<sup>-1</sup>. Valores positivos (ventos de sul) estão pontilhados.

TABELA 1 — Número de vórtices ciclônicos "úmidos" da alta troposfera e número de dias-vórtices para sistemas formados no Oceano Atlântico Sul durante o período de setembro de 1974 a agosto de 1981.

MÊS	Nº	Nºs/ DIAS
JAN.	18	93
FEV.	15	82
MAR.	8	53
ABR.	5	10
MAI.	—	1
JUN.	—	—
JUL.	—	—
AGO.	—	—
SET.	2	5
OUT.	1	3
NOV.	11	42
DEZ.	10	68
TOTAL	70	357

sentes) em função do mês. Desta tabela observa-se que o sistema surge com maior frequência nos meses de verão, especialmente em janeiro, não ocorrendo formação desse tipo de vórtice ciclônico no inverno.

Comparando a Tabela 1 com a Figura 1, observa-se que a maior frequência de formação de vórtices ciclônicos coincide com a época do ano em que o escoamento, no nível de 200mb, na região da América do Sul, tem componente meridional maior. Este caráter meridional no verão é um resultado do intenso aquecimento do continente, que levou ao desenvolvimento de um forte anticiclone em 200mb sobre o continente (Gutman and Schwerdtfeger, 1965; Schwerdtfeger, 1975) e de um cavado sobre o Oceano Atlântico Sul. Isto implica uma relação direta entre a intensidade do anticiclone no continente em 200mb e a formação dos vórtices ciclônicos na alta troposfera sobre o oceano.

#### 4. ESTUDO DE UM CASO DE FORMAÇÃO DE VÓRTICE

Em contraponto ao item anterior, onde foram estudados os vórtices ciclônicos a partir da formação de sua

nebulosidade, aborda-se o problema da geração dos vórtices desde o seu estágio inicial.

As análises de linhas de correntes permitem observar as características gerais do escoamento por ocasião da ocorrência da formação dos vórtices ciclônicos. A Figura 2 mostra estas análises para o período de 16 de fevereiro de 1979 às 12:00 TMG a 18 de fevereiro de 1979 às 00:00 TMG. Observa-se que no dia 16 (Figura 2a) havia um cavado bem intenso no Oceano Atlântico Sul; com o passar do tempo a crista localizada a sudeste do Brasil intensificou-se, ocorrendo então a formação do vórtice ciclônico em

torno das 12:00 TMG do dia 17 (Figura 2c). Nestas análises o vórtice não aparece fechado neste dia, mas ao verificar os valores de ponto de grade foi possível averiguar que realmente o vórtice já estava fechado. Entretanto, com apenas estas observações torna-se difícil analisar quantitativamente a intensificação destes sistemas. Assim construíram-se cartas de vorticidade relativa para o período em estudo (Figura 3). Nestas, observou-se que a crista teve uma ligeira intensificação no período de 00:00 a 12:00 TMG do dia 17 (Figura 3b e 3c), exatamente no mesmo período em que o vórtice se fechou.

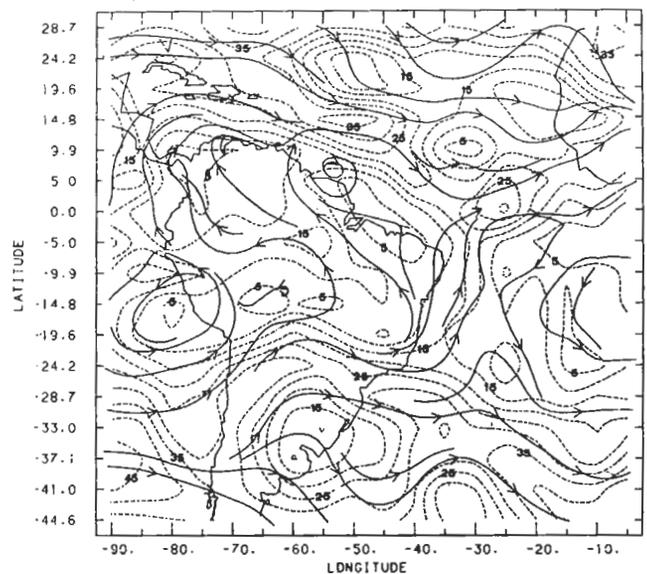
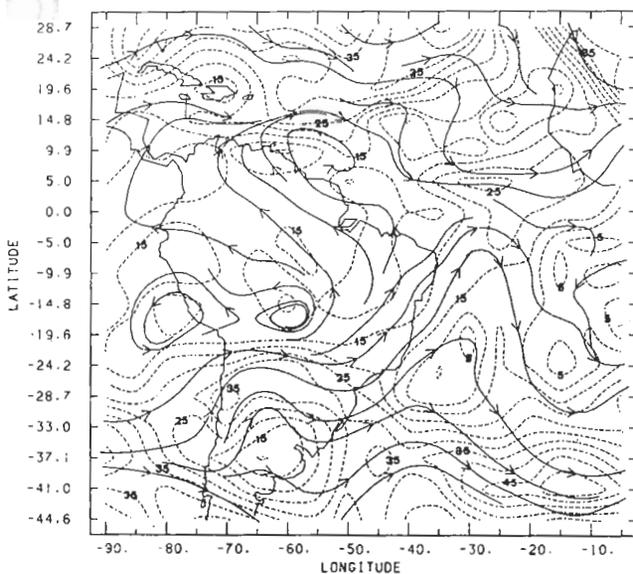
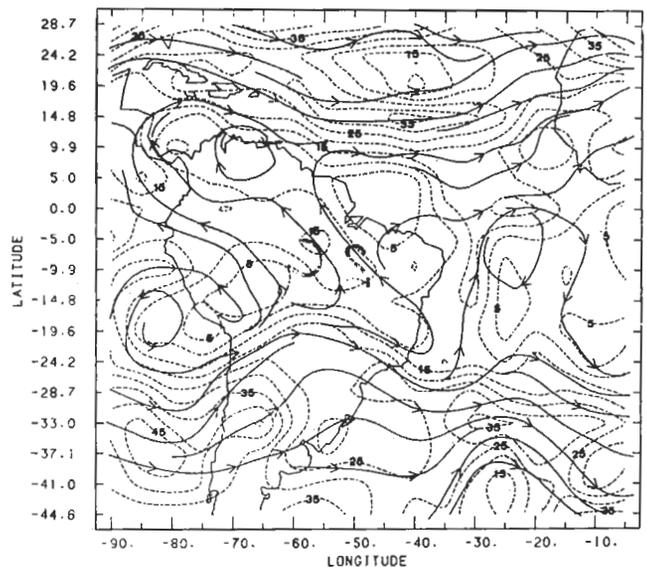
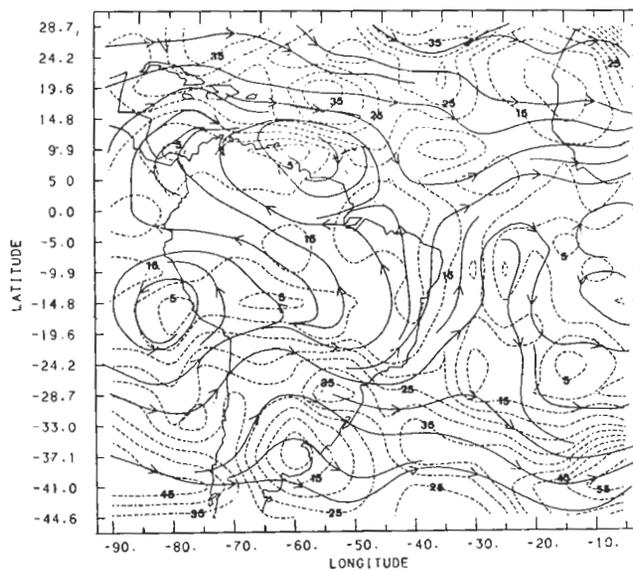


Figura 2: Linhas de corrente e isotacas para o nível de 200 mb. Análise das isotacas com intervalo de  $5 \text{ ms}^{-1}$ ;

a) 16 de fevereiro de 1979 às 12:00 TMG;

c) 17 de fevereiro de 1979 às 12:00 TMG;



b) 17 de fevereiro de 1979 às 00:00 TMG;

d) 18 de fevereiro de 1979 às 00:00 TMG;

Para ter uma idéia melhor da evolução no tempo da crista e do vórtice, construíram-se seções longitude versus tempo da vorticidade relativa (Figura 4) e da componente meridional do vento (Figura 5) para as latitudes 5°S, 24°S e 33°S. Na Figura 4a, equivalente à vorticidade relativa para fevereiro de 1979 em 10°S, observa-se uma ligeira intensificação da vorticidade anticiclônica em torno de 45°W no dia 15. Também foi observado que no dia 10, em torno de 35°W–40°W, penetrou nesta latitude um cavado com deslocamento para leste, permanecendo com este movimento

até o dia 14, quando então estacionou até o dia 17; a partir desta data o cavado fechou-se e deslocou-se para oeste. Em 24°S (Figura 4b) o vórtice não se faz presente; entretanto, nas longitudes próximas ao vórtice há uma crista que se intensifica do dia 16 ao 18, permanecendo praticamente na mesma longitude até o dia 21, deslocando-se então para oeste. Em 33°S (Figura 4c), as cristas e os cavados propagam-se normalmente para leste, como geralmente ocorre nas latitudes médias.

Nas seções longitude versus tempo da componente

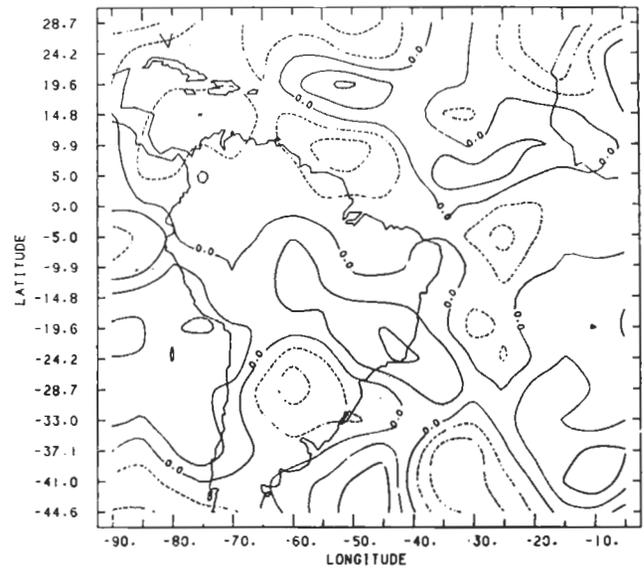
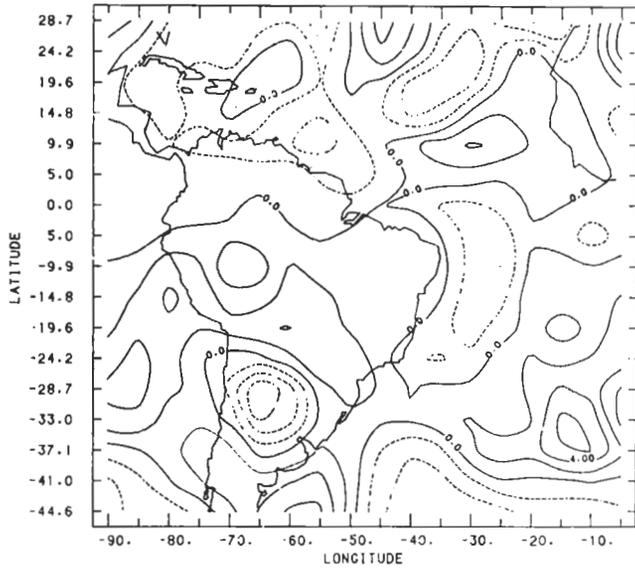
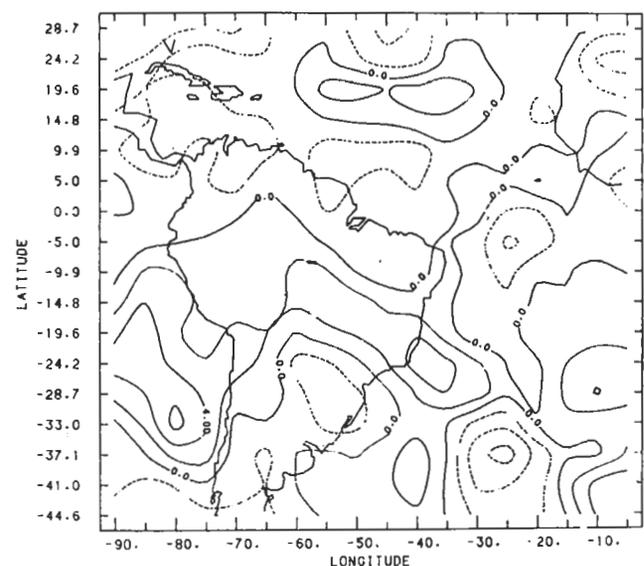
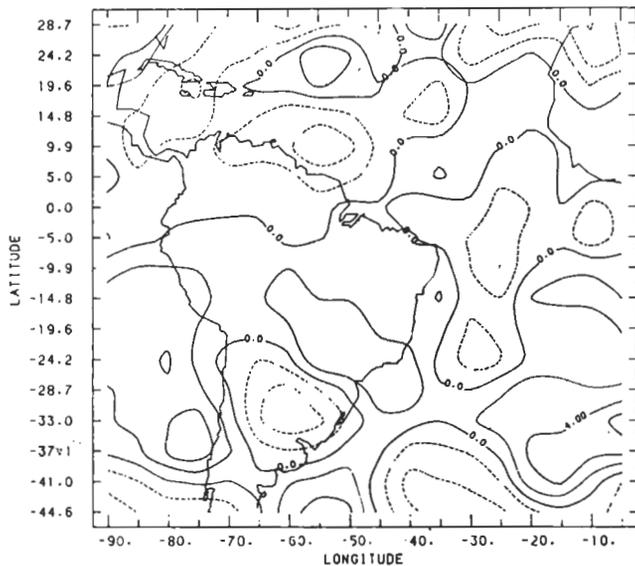


Figura 3: Isolinhas de vorticidade relativa para o nível de 200 mb. Análises com intervalo de  $2.10^{-5} \text{ s}^{-1}$ . Valores negativos estão em linhas tracejadas:

a) 16 de fevereiro de 1979 às 12:00 TMG;

c) 17 de fevereiro de 1979 às 12:00 TMG;



b) 17 de fevereiro de 1979 às 00:00 TMG;

d) 18 de fevereiro de 1979 às 00:00 TMG.

meridional do vento (Figura 5) observam-se as mesmas características citadas na vorticidade relativa, porém deve-se destacar o fortalecimento dos ventos de sul entre os dias 16 e 18 em torno de 10°S e 30°W (Figura 5a). Esta componente de sul bem intensa propicia, devido à conservação de vorticidade absoluta, a formação do vórtice ciclônico.

Nestes resultados, destaca-se que a formação dos vórtices ciclônicos está diretamente ligada à intensificação da crista corrente acima. Johnson and Snook (1983) observaram que a intensificação desta crista em 200mb ocorreu

devido à forte advecção de ar quente no nível de 850mb vinda da costa sudeste do Brasil. Para que esta advecção ocorra é necessário que uma frente fria se aproxime desta região do Brasil. Desse modo, quando uma frente fria penetra nas latitudes subtropicais provocando forte advecção de ar quente no seu lado leste, há a amplificação da crista em 200mb e, conseqüentemente, o cavado a jusante também é intensificado, formando-se assim o vórtice ciclônico na alta troposfera. Este processo de formação observado concorda com o mecanismo de formação proposto por Kousky and Gan (1981).

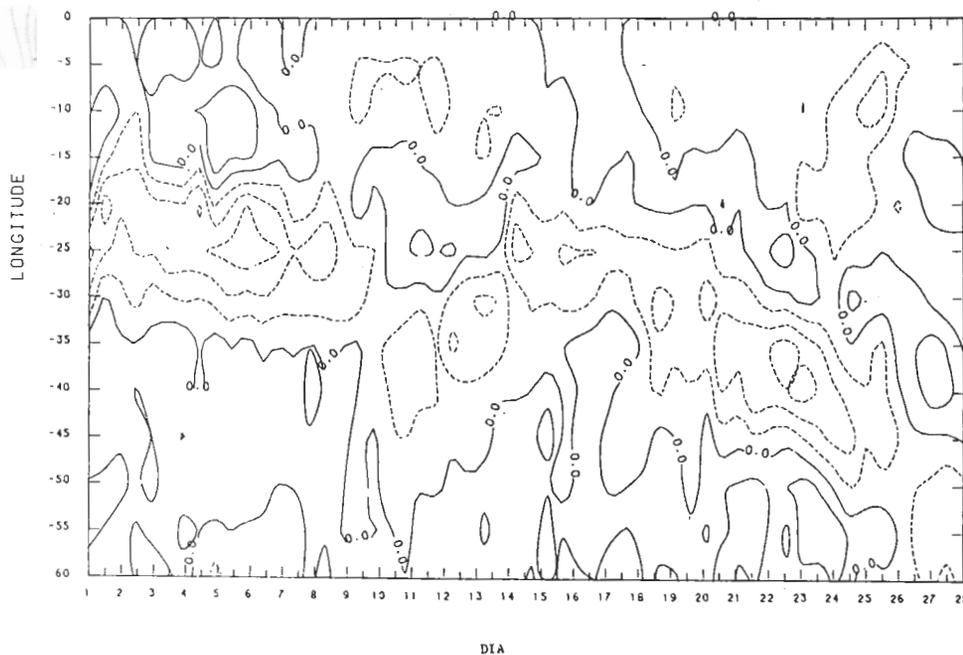
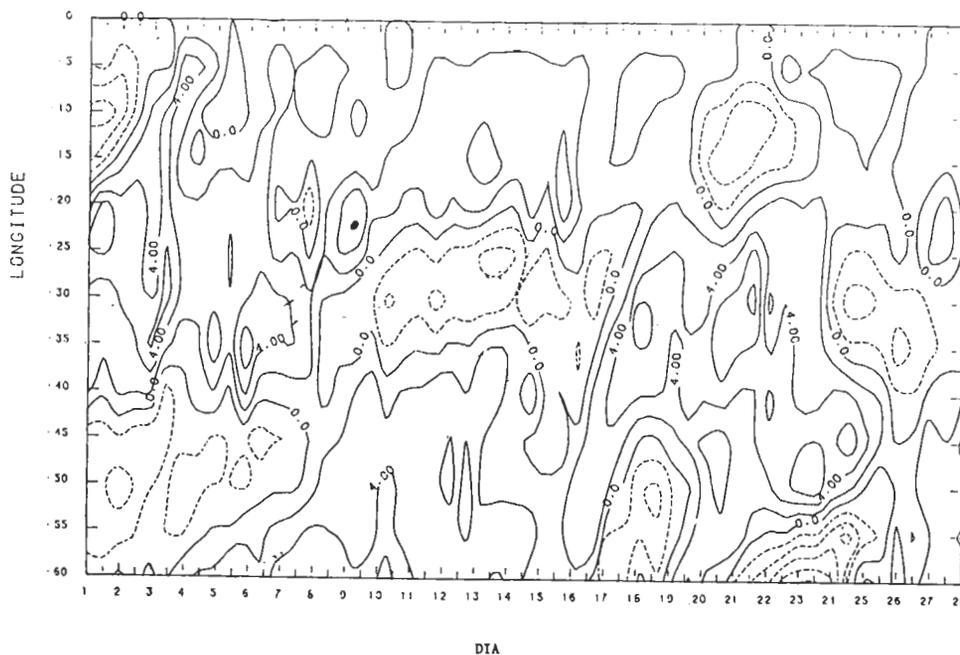
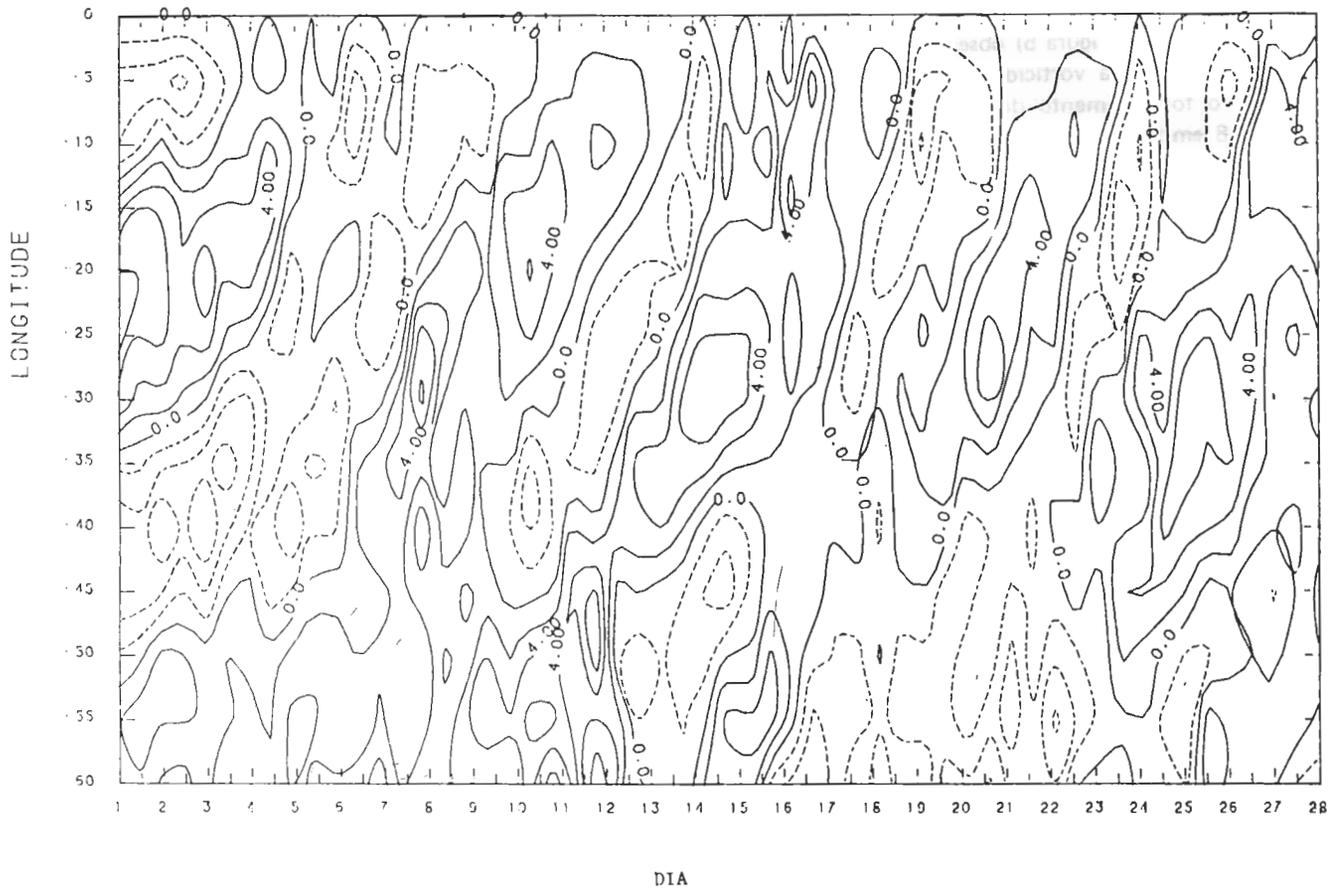


Figura 4: Longitude versus tempo da vorticidade relativa para o mês de fevereiro de 1979. Análise com intervalo de  $2.10^{-5} \text{ s}^{-1}$ . Valores negativos estão em linhas tracejadas:  
a) 10°s;



b) 24°s;



c) 33°S.

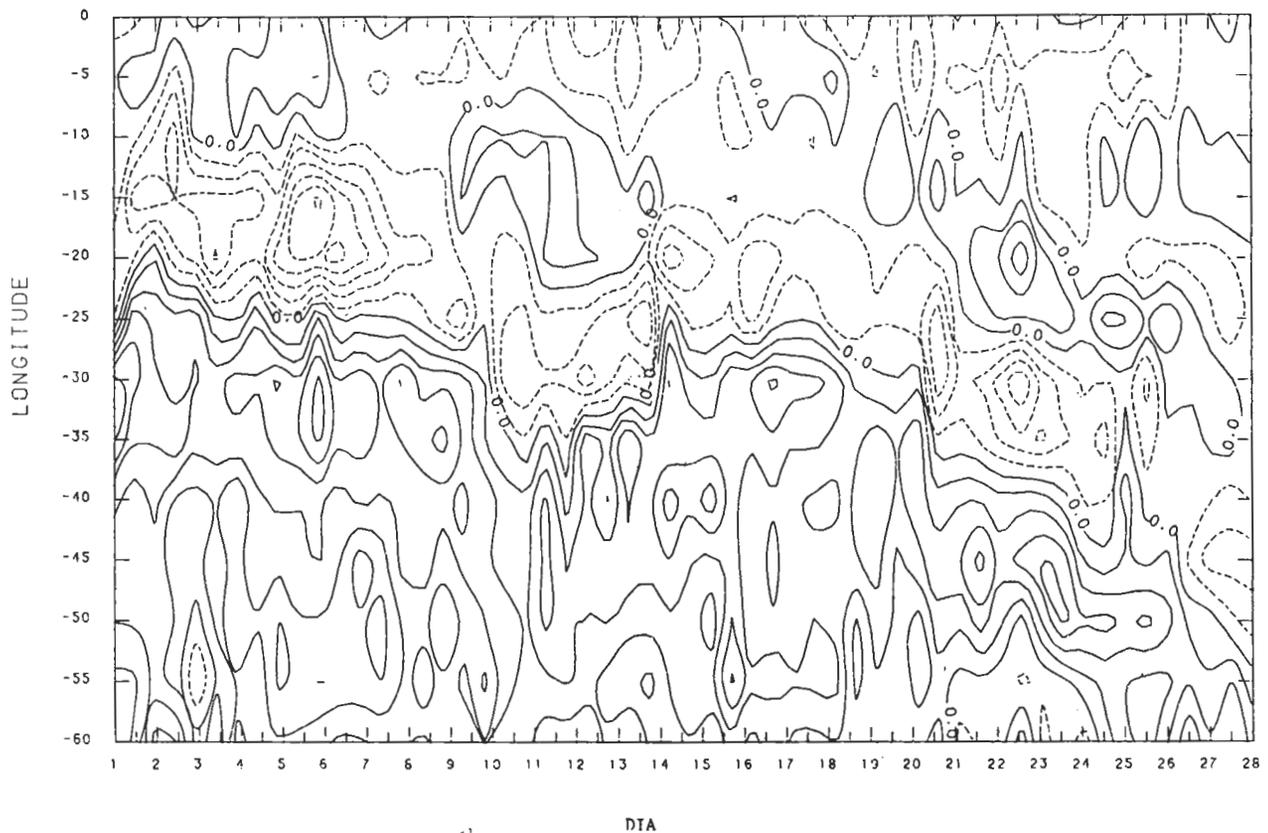
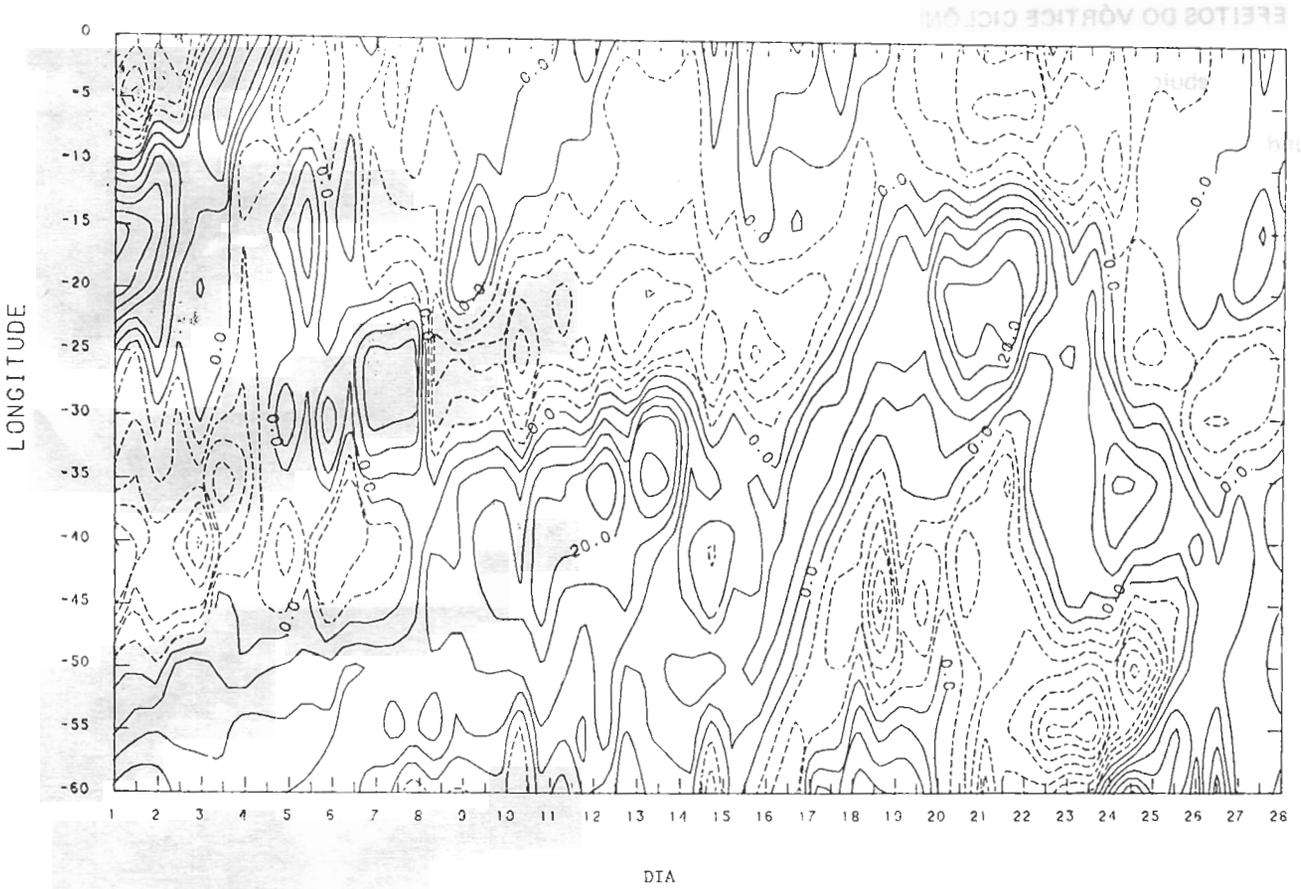
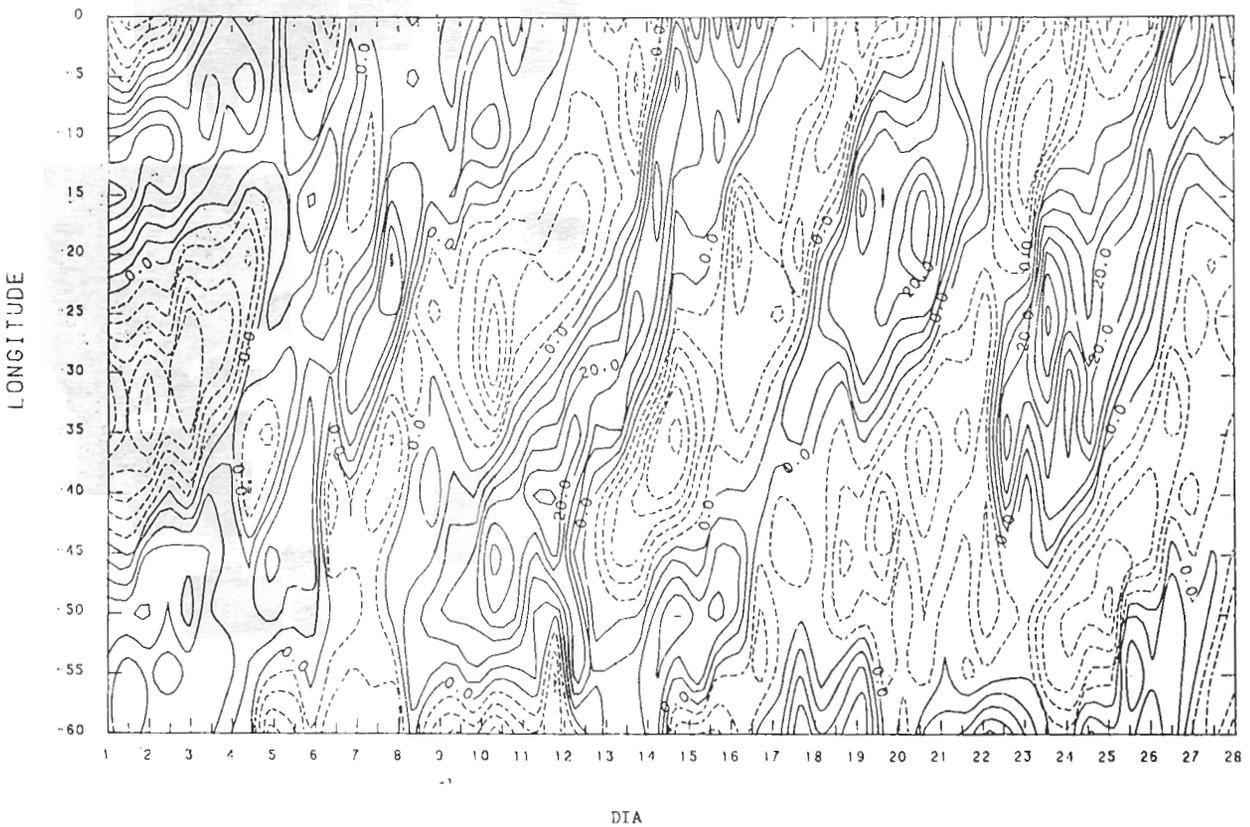


Figura 5: Longitude versus tempo da componente meridional do vento para o mês de fevereiro de 1979. Análise com intervalo de  $5 \text{ ms}^{-1}$ . Valores negativos estão em linhas tracejadas:  
a) 10°S;



b) 24°S;



c) 33°S.

## 5. EFEITOS DO VÓRTICE CICLÔNICO NO BRASIL

A nebulosidade associada ao vórtice ciclônico varia consideravelmente, dependendo de sua intensidade e profundidade (Frank, 1970). Nuvens médias e altas são geralmente observadas em situações similares às da Figura 6a. Nota-se nesta imagem que a periferia do vórtice é acompanhada de bastante nebulosidade, enquanto o seu centro é caracterizado por céu limpo. Muitas vezes a nebulosidade do vórtice une-se com a de uma frente fria, formando uma configuração do tipo "S" (Kousky and Gan, 1981). Quando o vórtice percorre águas quentes ou penetra no continente ocorre convecção no seu centro, formando nuvens do tipo cumulonimbus, mostrando, no caso do continente, forte variação diurna (Figuras 6b e 6c).

O movimento vertical característico de um vórtice ciclônico da alta troposfera está analisado na Figura 7. Nesta observa-se que a sudoeste ( $10^{\circ}\text{S} - 35^{\circ}\text{W}$ ) do centro do vórtice há um máximo de movimento ascendente. Em  $10^{\circ}\text{S} - 40^{\circ}\text{W}$  existe outro centro de máximo movimento ascendente, que está bem pronunciado, pois, sobre a influência da circulação do vórtice e da frente fria à superfície.

O deslocamento dos vórtices ciclônicos geralmente é irregular (Simpson, 1952), porém existe uma tendência nas baixas latitudes ( $10^{\circ}-15^{\circ}$ ) de estes se deslocarem para oeste. Quando os vórtices penetram no Brasil, na maioria das vezes próximo a Salvador, Bahia, produzem tempo bom na região sul e central do Nordeste e provocam chuvas no setor norte do Nordeste (Kousky e Gan, 1981). Na Figura 6a observam-se aglomerados de cumulonimbus na costa norte do Nordeste, os quais devem provocar precipitações abundantes nesta região. Próximo ao centro existem cumulonimbus devido ao efeito da variação diurna. A sudeste do vórtice aparece uma frente fria com posicionamento quase norte-sul, a qual pode provocar chuvas ao longo da zona frontal e tempo bom à sua retaguarda. Nos casos em que a configuração vórtice-frente permanece por vários dias, tem-se uma situação de bloqueio subtropical semelhante às estudadas por Casarin (1983).

## 6. CONCLUSÃO

O surgimento de vórtices ciclônicos na alta troposfera nas latitudes baixas da América do Sul e leste do Brasil está relacionado com mudanças no escoamento de ar superior corrente acima. Analisando o período de setembro/74 a agosto/81, observou-se que estes vórtices formam-se com maior frequência nos meses de verão, quando o escoamento da alta troposfera sobre a América do Sul é anticiclônico. A formação ou intensificação de sistemas individuais favorece o fortalecimento da crista nos altos níveis, e esta por sua vez propicia a formação dos vórtices ciclônicos. Quando estes penetram no Brasil, afetam a distribuição e a intensidade de precipitação sobre o território brasileiro, em particular sobre a Região Nordeste do Brasil.

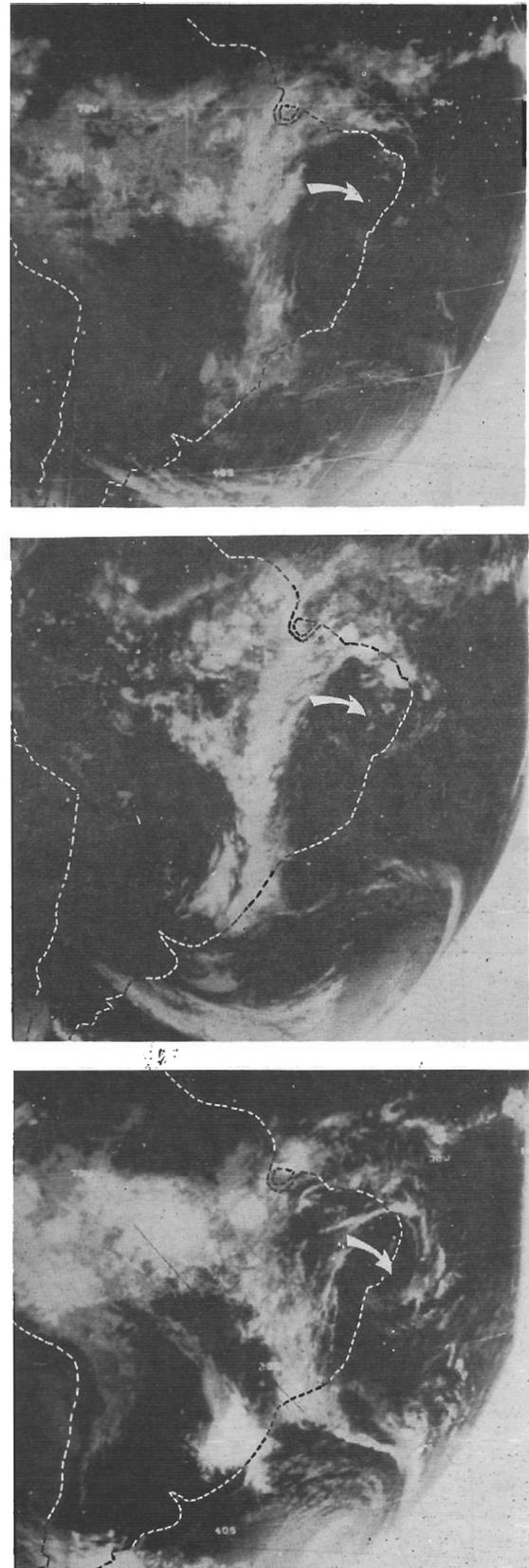


Figura 6: Imagens de satélite SMS/GOES. A seta indica a provável localização do centro do vórtice ciclônico de alta troposfera:

a) 22 de fevereiro de 1979 às 12:00 TMG;

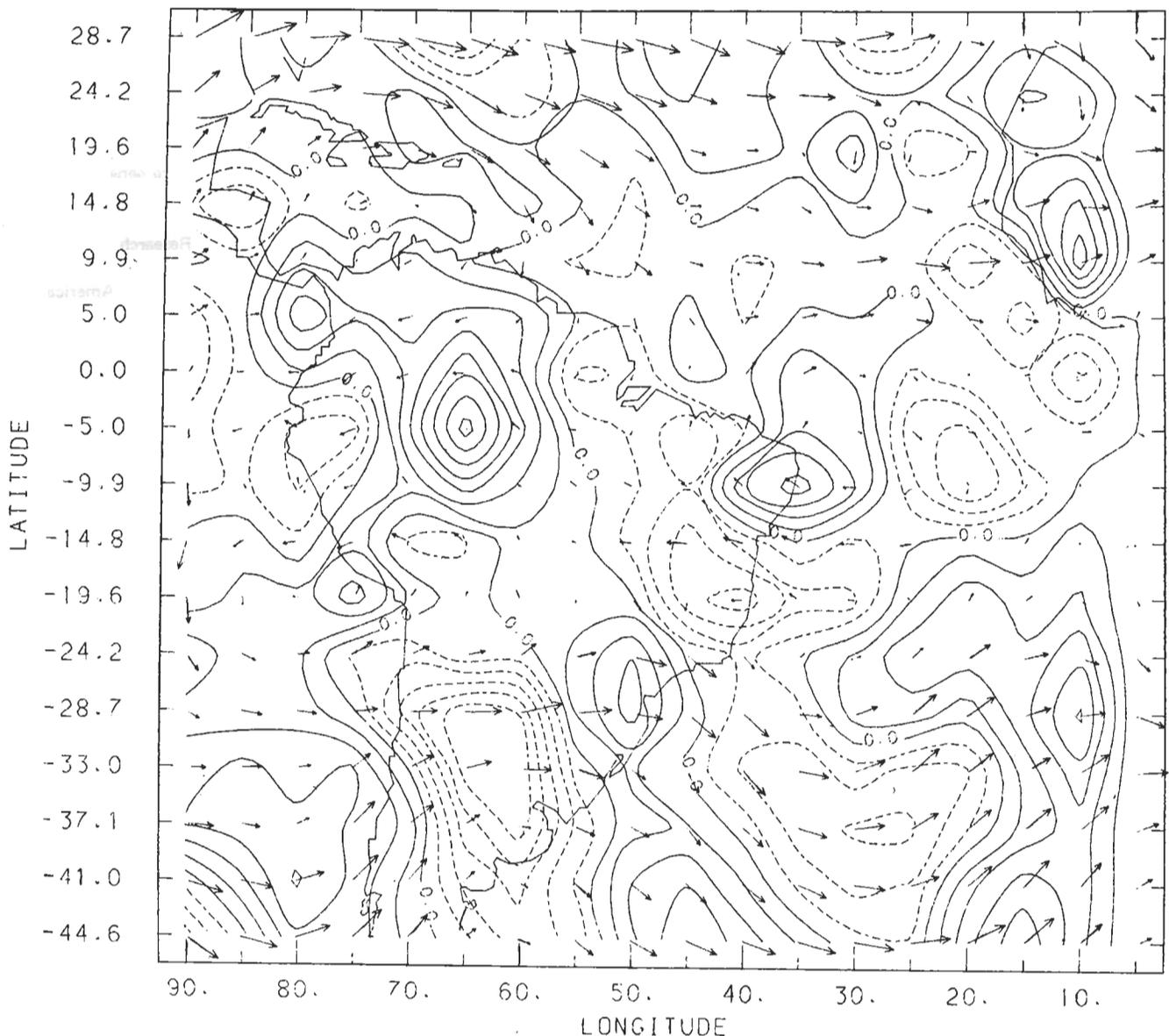


Figura 7: Isolinhas do movimento vertical em coordenadas de pressão ( $\omega$ ). Análises com intervalo de  $5.10^{-4}$  mb  $s^{-1}$  para o dia 20 de fevereiro de 1979, às 00:00 TMG no nível de 500 mb. Os vetores indicam a direção e o módulo do vento no nível de 200 mb.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Luiz Carlos Baldicero

Molion à revisão técnica; à Sueli Aparecida Freire Valentim Camargo Pinto pela datilografia do manuscrito.

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÃO, J.O. Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 1975 (INPE-789-TPT/017).
- CASARIN, D.P. Um estudo observacional sobre sistemas de bloqueios no hemisfério sul. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 1983 (INPE-2638-TDL/114).
- DEAN, G.A. The three dimensional wind structure over South America and associated rainfall over Brazil. São José dos Campos, INPE, 1971 (LAFE-164).
- FRANK, N.L. On the energetics of cold lows. SYMPOSIUM TROPICAL METEOROLOGY. University of Hawaii Honolulu, Hawaii. Proceedings. Boston, MA. American Meteorological Society, 1970, p EIV 1 - EIV 6.
- GUTMAN, G.; SCHWERDTFEGER, W.S. The role of latent and sensible heat for the development of a high pressure system over the subtropical Andes, in the summer. *Meteorologische Rundschau*, 18(3):1-7, 1965.

- HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamic of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, **103**(1): 77-92, 1977.
- JOHNSON, D.R.; SNOOK, J.S. A quasi-lagrangian analysis of the mass and angular momentum balance of an upper troposphere vortex over eastern Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY, 1. São José dos Campos, Brazil. **Preprints**. Boston, MA, American Meteorological Society, 1983, p. 210-214.
- KOUSKY, V.E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, **107**(9):1140-1153, 1979.
- KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, **33**(6):538-551, 1981.
- MARKHAN, C.G.; MACLAIN, D.R. Sea surface temperature related to rain in Ceará, North-eastern Brazil. **Nature**, **265** (5592): 320-323, 1977.
- MOURA, A.D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of the Atmospheric Science**, **38**(12): 2653-2675, 1981.
- NAMIAS, J. Influence of Northern Hemisphere general circulation on drought in Northeast Brazil. **Tellus**, **24**(4):336-342, 1972.
- RAMOS, R.P.L. Precipitation characteristics in the Northeast Brazil dry region. **Journal of Geophysical Research**, **80**(12):1665-1678, 1975.
- SCHWERDTFEGER, W.S., ed. **Climates of South America**. New York NY, Elsevier, 1975. (**World Survey of Climatology**, v.12).
- SIMPSON, R.H. Evolution of the Kona storm, a subtropical cyclone. **Journal of Meteorology**, **9**, 24-35, 1952.