



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

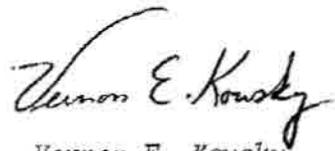
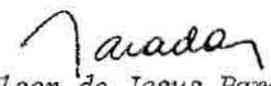
INPE-2685-TDL/126

Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e leste do Brasil.

Manoel Alonso Gan

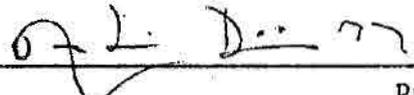
Dissertação de Mestrado em Meteorologia, orientada por Nelson de Jesus Parada,
aprovada em 05 de outubro de 1982.

INPE
São José dos Campos
1982

1. Publicação nº <i>INPE-2685-TDL/126</i>	2. Versão	3. Data <i>Mar., 1983</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DRH-DME</i>	Programa <i>FRH/MET</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>VORTICES CICLONICOS ALTA TROPOSFERA LATITUDES SUBTROPICAIS</i>			
7. C.D.U.: <i>551.515.2:551.510.52(261.5)</i>			
8. Título <i>UM ESTUDO OBSERVACIONAL SOBRE AS BAIXAS FRIAS DA ALTA TROPOSFERA, NAS LATITUDES SUBTROPICAIS DO ATLANTICO SUL E LESTE DO BRASIL</i>		<i>INPE-2685-TDL/126</i>	10. Páginas: 80
			11. Última página: 65
			12. Revisada por  Vernon E. Kousky
9. Autoria <i>Manoel Alonso Gan</i>			13. Autorizada por  Nelson de Jesus Parada Diretor
Assinatura responsável 			
14. Resumo/Notas <i>Realiza-se um estudo observacional das baixas frias da alta troposfera nas latitudes subtropicais. Através de imagens de satélites, observa-se que as baixas úmidas (aquelas que possuem nebulosidade significativa) surgem entre os meses de setembro e maio. A formação destes ciclones está associada a uma pré-intensificação da crista situada a sudoeste deles. Verifica-se que nas ocasiões em que as baixas frias estão ligadas ao escoamento das latitudes médias, elas deslocam-se para leste. Quando se desprendem deste escoamento, a advecção de vortacidade planetária passa a dominar, e então os ciclones orientam-se para oeste. O fornecimento de ar frio de um cavado de ar superior para uma baixa fria é uma possível explicação para sua manutenção.</i>			
15. Observações <i>Dissertação de Mestrado em Meteorologia aprovada em 05 de outubro de 1982.</i>			

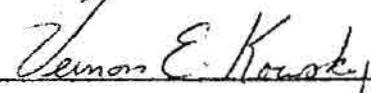
Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Meteorologia

Dr. Antonio Divino Moura



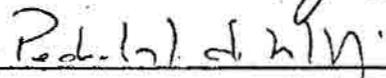
Presidente

Dr. Vernon Edgar Kousky



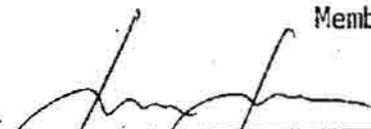
Orientador

Dr. Pedro Leite da Silva Dias



Membro da Banca
-convidado-

Dr. S. Srivatsangam



Membro da Banca

Dr. V. B. Rao



Membro da Banca

Candidato: Manoel Alonso Gan

São José dos Campos, 05 de outubro de 1982

A minha família

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Vernon Edgar Kousky pela orientação eficaz e sempre constante.

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE, o qual proporcionou condições para elaboração dessa dissertação.

À Comissão Nacional de Energia Nuclear e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelas bolsas de estudo oferecidas.

Aos colegas do Departamento de Meteorologia pelo apoio e solidariedade em todos os momentos.

Um especial agradecimento à minha esposa pela paciência, dedicação e permanente estímulo.

ABSTRACT

An observational study is made of upper tropospheric cold lows in the subtropics. From satellite imagery it is observed that the moist lows (those having significant cloudiness) form in the period of May to September. The formation of these cyclones is preceded by the intensification of a ridge to the southwest. The cold lows are observed to move eastward when they are embedded in the mid latitude flow. When they are cut off from this flow, the advection of planetary vorticity dominates and, therefore, the cold lows drift to the west. A possible explanation for their maintenance is the infusion of cold air from upper air troughs at higher latitudes.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>xi</i>
LISTA DE SÍMBOLOS	<i>xiii</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Características físicas	2
1.2 - Mecanismo de formação	9
1.3 - Movimento vertical e energética	10
1.4 - Umidade e nebulosidade	11
1.5 - Objetivos	12
<u>CAPÍTULO 2 - DADOS E MÉTODOS DE ANÁLISE</u>	13
2.1 - Dados	13
2.2 - Método de análise	13
<u>CAPÍTULO 3 - ESTUDO CLIMATOLÓGICO</u>	17
<u>CAPÍTULO 4 - ESTUDO DIAGNÓSTICO</u>	25
4.1 - Formação	25
4.2 - Deslocamento e persistência	41
4.3 - Manutenção	57
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO</u>	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Baixa fria do tipo Palmén, localizada ao sul do Brasil, no dia 13 de junho de 1980 às 0617 TMG	3
1.2 - Baixa fria de origem tropical localizada na região Nordeste do Brasil, no dia 22 de dezembro de 1980 às 1216 TMG....	4
1.3 - Trajetória de uma baixa fria de 26 de fevereiro até 16 de março de 1978	6
1.4 - Seção vertical do desvio da temperatura para 10 de agosto de 1966 às 1200 TMG na região do Caribe	8
1.5 - Seção vertical do desvio de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) para 12 de março de 1978 a 40°W de longitude	9
3.1 - Linhas de corrente representativas do escoamento médio	19
3.2 - Média mensal de 1975 a 1979 da componente meridional do vento, no nível de 200 mb, para latitude de 15°S	20
3.3 - Posições de formação (letras maiúsculas) e posições assumidas (letras minúsculas) pelas baixas frias formadas nos meses de novembro dos anos de 1974 a 1980.....	21
3.4 - Posições de formação (letras maiúsculas) e posições assumidas (letras minúsculas) pelas baixas frias formadas nos meses de dezembro dos anos de 1974 a 1980.....	22
3.5 - Posições de formação (letras maiúsculas) e posições assumidas (letras minúsculas) pelas baixas frias formadas nos meses de janeiro dos anos de 1975 a 1981	22
3.6 - Posições de formação (letras maiúsculas) e posições assumidas (letras minúsculas) pelas baixas frias formadas nos meses de fevereiro dos anos de 1975 a 1981	23
3.7 - Posições de formação (letras maiúsculas) e posições assumidas (letras minúsculas) pelas baixas frias formadas nos meses de março dos anos de 1975 a 1981	23
4.1 - Linhas de corrente	26
4.2 - Linhas de corrente	29
4.3 - Linhas de corrente	31
4.4 - Isolinhas de vorticidade relativa (10^{-5} s^{-1}) no nível de 200 mb	33
4.5 - Linhas de corrente no nível de 200 mb	39
4.6 - Isolinhas de coeficientes de correlação para o nível de 200 mb no período de 12 de janeiro de 1977 a 5 de fevereiro de 1977, com defasagem no tempo	42
4.7 - Gráficos de vorticidade relativa versus tempo para 16 de janeiro a 5 de fevereiro de 1977, no nível de 200 mb	49

4.8	- Seção longitude versus latitude ($10^{-10} s^{-2}$) para o dia 1 de março de 1978, no nível de 200 mb	55
4.9	- Seção longitude versus latitude ($10^{-10} s^{-2}$) para o dia 11 de março de 1978, no nível de 200 mb	56
4.10	- Anomalias de temperatura ($^{\circ}C$) para o nível de 300 mb, no dia 26 de fevereiro de 1978 às: a) 0000 TMG; b) 1200 TMG..	58
4.11	- Anomalias de temperatura ($^{\circ}C$) para o nível de 300 mb, no dia 6 de março de 1978 às: a) 0000 TMG; b) 1200 TMG.....	59

LISTA DE SÍMBOLOS

- a - raio médio da terra (m)
- A_{ζ} - advecção de vorticidade relativa
- f - vorticidade planetária ou parâmetro de Coriolis (s^{-1})
- L - defasagem no tempo
- N - desvio padrão
- p - pressão atmosférica (mb)
- R - coeficiente de correlação
- t - tempo (s)
- u - componente zonal do vento (m/s)
- v - componente meridional do vento (m/s)
- \underline{V} - vento horizontal (m/s)
- ζ - vorticidade relativa
- $\bar{\zeta}$ - média temporal da vorticidade relativa
- ζ' - desvio temporal da vorticidade relativa
- λ - longitude (graus)
- σ - desvio padrão
- ϕ - latitude (graus)
- ω - velocidade vertical em coordenadas de pressão ($mb \cdot s^{-1}$)
- ∇ - operador gradiente

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Vários estudos têm investigado os sistemas de chuvas e suas variabilidades sazonais e interanuais, os quais atuam sobre o Nordeste do Brasil (Nordeste), numa tentativa de melhor compreender as secas e enchentes que ocorrem na região.

Muitos pesquisadores, utilizando médias mensais, correlacionaram a circulação geral dos Hemisférios Norte e Sul com o clima do Nordeste, dentre estes resalta-se: Namias (1972), Hanstennrath e Heller (1977), Markhan e Maclain (1977), Moura e Shukla (1981). Entretanto, chuvas nessa região, em geral, ocorrem apenas durante alguns períodos distintos (Ramos, 1975; Kousky, 1979). Ramos (1975) observou que em 1972, nas regiões próximas de Petrolina (PE), somente ocorreram sete episódios de precipitação durante a estação chuvosa, concluindo, que esses episódios de precipitação foram provocados por aglomerados de cumulonimbus e ondas de leste.

Além desses sistemas, tem-se as frentes frias que também são responsáveis pelas chuvas. Ratisbóna (1976) e Kousky (1979), verificaram que grande frequência de frentes frias nessa região eleva o índice de precipitação, principalmente na parte sul do Nordeste.

Um outro sistema causador de chuvas no Nordeste é a baixa fria ou vórtice ciclônico da alta troposfera. Utilizando dados convencionais, Dean (1971) e Aragão (1975) notaram a presença de baixas frias (vórtices ciclônicos) durante épocas chuvosas. Vórtices ciclônicos também foram encontrados sobre o Nordeste, na animação de imagens de satélites geostacionários (Virgi, 1981). Kousky e Gan (1981) basearam-se em dados convencionais e imagens de satélites para determinar o comportamento das baixas frias e as possíveis causas de sua formação.

1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

As baixas frias da alta troposfera recebem esse nome por serem sistemas de baixa pressão em grande escala, formadas na alta troposfera e cuja circulação ciclônica fechada possui o centro mais frio que sua periferia. Na literatura meteorológica também encontram-se, para as baixas frias, as seguintes denominações: baixas desprendidas, ciclones subtropicais, baixa de Palmén, vórtices ciclônicos da alta troposfera, ciclones tropicais dos altos níveis e ciclones Kona. Neste estudo utiliza-se o cognome baixas frias.

Dos ciclones conhecidos as baixas frias são, em geral, os mais persistentes (Ramage, 1962, Palmer, 1951); no entanto, Frank (1966) observou que seu tempo de vida varia consideravelmente, pois algumas permanecem por mais de uma semana, enquanto outras perduram por apenas algumas horas. Originam-se tanto no oceano Atlântico como no Pacífico (Carlson, 1967; Kousky and Gan, 1981), embora, dependendo do mecanismo que as formam, possam ser de tipo Palmén (Figura 1.1) ou de origem tropical - Figura 1.2 - (Frank, 1970). As de Palmén surgem em qualquer época do ano, especialmente nos meses de inverno (Simpson, 1952; Palmer, 1951) e as de origem tropical, nos meses de primavera, verão e outono - Tabela 1.1 - (Frank, 1970; Kousky and Gan, 1981). As baixas frias originadas nos trópicos diferem da de Palmén nos seguintes aspectos (Palmer, 1951):

- a) originam-se acima de 9000 m, nas latitudes bem baixas;
- b) podem permanecer na região tropical por longos períodos;
- c) deslocam-se, no Hemisfério Norte, para nordeste ou leste-nordeste no cinturão de 20° - 30° de latitude, podendo permanecer estacionária por longo período;
- d) durante a passagem para as latitudes mais altas, geralmente elas crescem e intensificam.

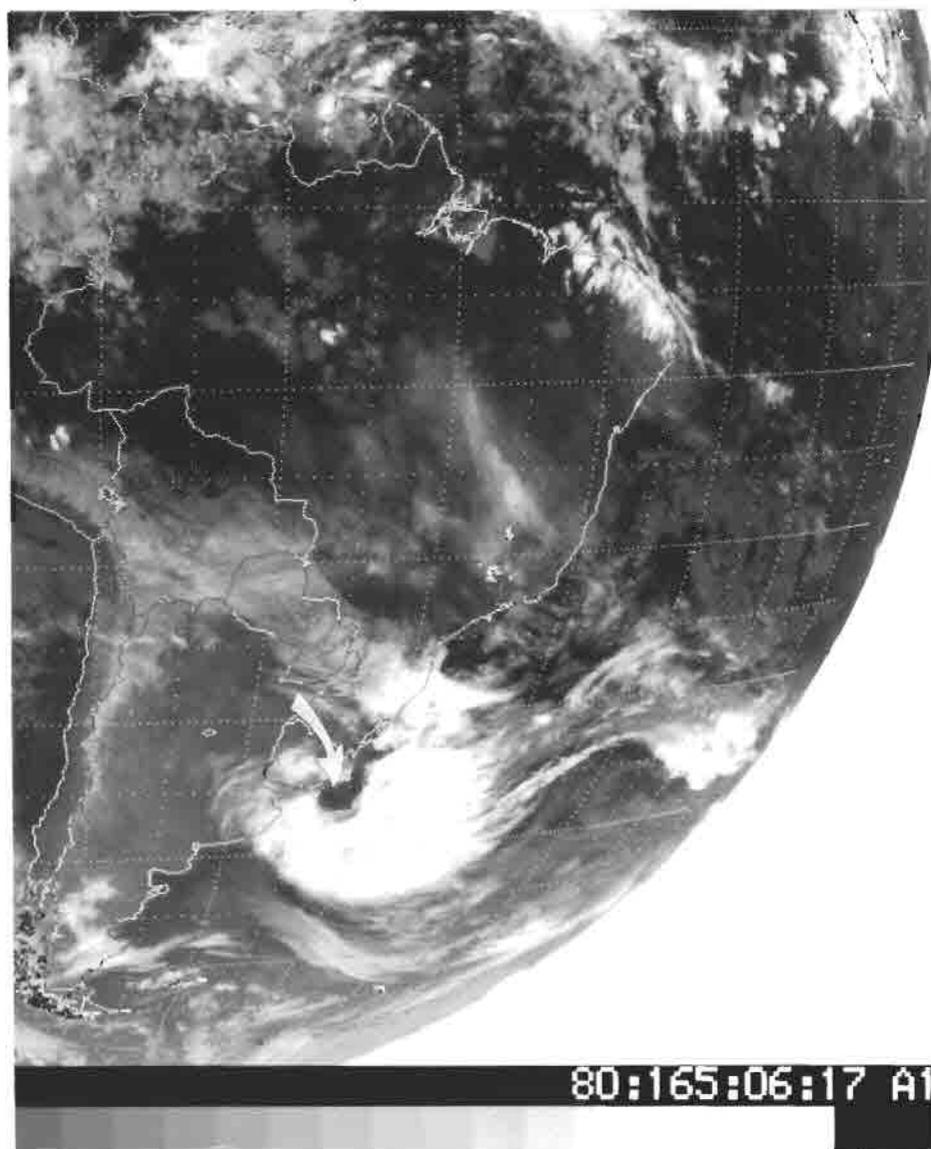


Fig. 1.1 - Baixa fria do tipo Palmén, localizada ao sul do Brasil, no dia 13 de junho de 1980 às 0617 TMG.

A seta indica a localização provável do centro da baixa fria. A região branca, em torno do centro, significa nebulosidade associada à baixa fria.

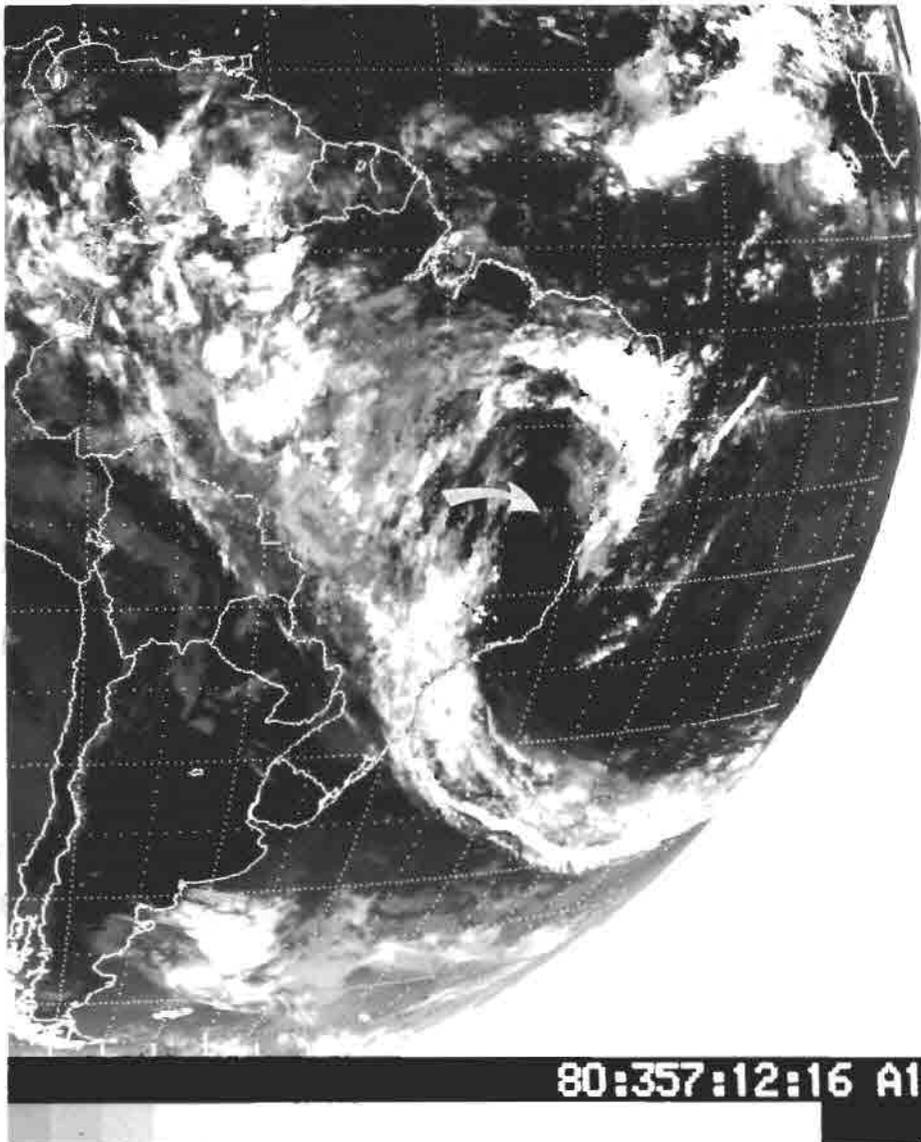


Fig. 1.2 - Baixa fria de origem tropical localizada na região Nordeste do Brasil, no dia 22 de dezembro de 1980 às 1216 TMG.

A seta indica a provável localização do centro da baixa fria. A região branca, ao norte e a leste do centro, significa nebulosidade associada à baixa fria.

TABELA 1.1

TOTAL DE BAIXAS FRIAS COM NEBULOSIDADE BEM DEFINIDA

	Jan	Feb*	Mar**	Apr*	May*	Jun*	Jul*	Aug*	Sep**	Oct**	Nov**	Dec**	Total
10-50° W	6 (24)	4 (21)	2 (17)	0	0	0	0	0	0	0	0	3 (6)	15 (68)
50-90° W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90-130° W	4 (16)	0	1 (5)	1 (2)	0	0	0	0	0	0	0	2 (5)	8 (26)
130°-170° W	6 (20)	1 (4)	4 (8)	3 (7)	0	0	0	0	0	1 (2)	1 (2)	3 (6)	19 (49)
Total	16 (60)	5 (25)	7 (28)	4 (9)	0	0	0	0	0	1 (2)	1 (2)	8 (17)	42 (143)

Os números entre parentêses significam a quantidade de dias com vórtices durante 1975 a 1979, nos oceanos Atlântico Sul e Pacífico Sul.

FONTE: Kousky and Gan (1981)

O movimento das baixas frias é irregular, movendo-se tanto para leste como para oeste (Simpson, 1952), podendo estas serem quase estacionárias ou deslocarem-se mais do que 80° de longitude por dia (Riehl, 1977), como se pode observar na Figura 1.3.

O resultado de Simpson (1952), descrito anteriormente, discorda parcialmente de Palmer (1951) no seguinte aspecto: o primeiro autor generaliza o movimento das baixas frias nos trópicos, e o segundo mostra como as baixas frias de origem tropical deslocam-se nos subtropicais.

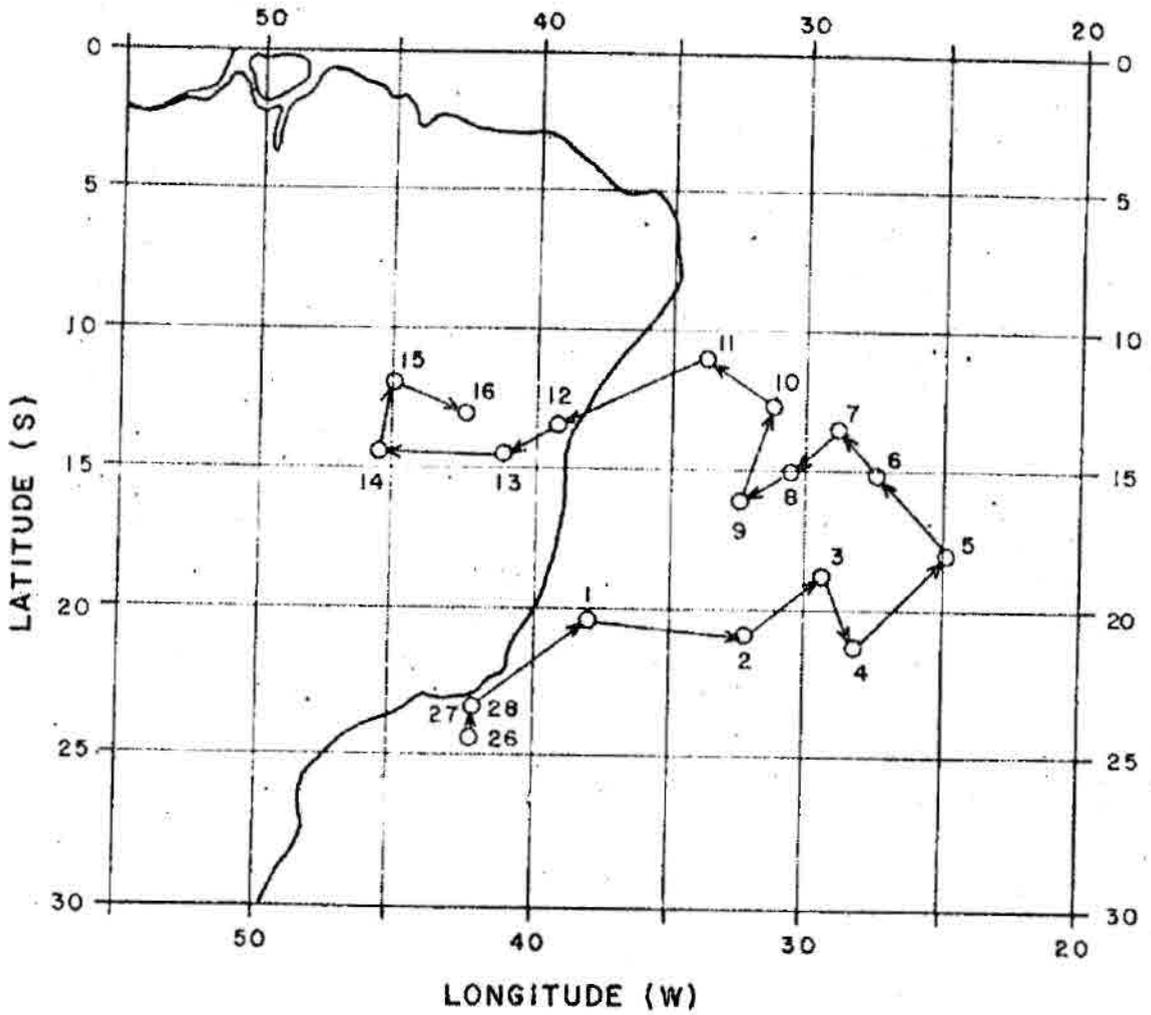


Fig. 1.3 - Trajetória de uma baixa fria de 26 de fevereiro até 16 de março de 1978.

FONTE: Kousky and Gan (1981)

A maioria das baixas frias estão confinadas na alta troposfera (acima de 500 mb), pois cerca de 60% não atingem o nível de 700 mb e somente em torno de 10% atingem a superfície (Frank, 1966, 1970). Sua circulação surge inicialmente nas partes mais altas da troposfera, estendendo-se gradualmente para baixo (Palmer, 1951) e o centro da circulação fechada inclina-se, na vertical, na direção do ar mais frio (Carlson, 1967). Os ventos são fracos nos níveis baixos e médios, aumentando a velocidade com a altura e atingindo sua velocidade máxima perto de 200 mb. Nesse nível os ventos mais fortes no Hemisfério Norte estão situados no setor oeste e noroeste da baixa fria (Palmén, 1949). Nos níveis inferiores, as baixas frias que estão circunscritas na alta troposfera são percebidas através das cartas de isotermas e anomalias de temperatura (Erickson, 1971). Os níveis médios são os que possuem as maiores anomalias negativas de temperatura (Carlson, 1967; Erickson, 1971; Kousky and Gan, 1981), como pode ser visto através das Figuras 1.4 e 1.5, que mostram a estrutura vertical dos desvios de temperatura temporais e meridionais para o hemisfério Norte e Sul, respectivamente, e possibilitam dessa maneira, notar que as duas possuem características semelhantes. Na baixa estratosfera, esses vórtices ciclônicos são encontrados como baixas de centro quente, enfraquecendo sua circulação com a altura (Palmén, 1949; Erickson, 1971). Nesses níveis pode-se observar que as baixas frias são eficazes no transporte meridional de calor, ao passo que na alta troposfera além deste transporte há também o meridional de umidade (Palmén, 1949; Riehl, 1977).

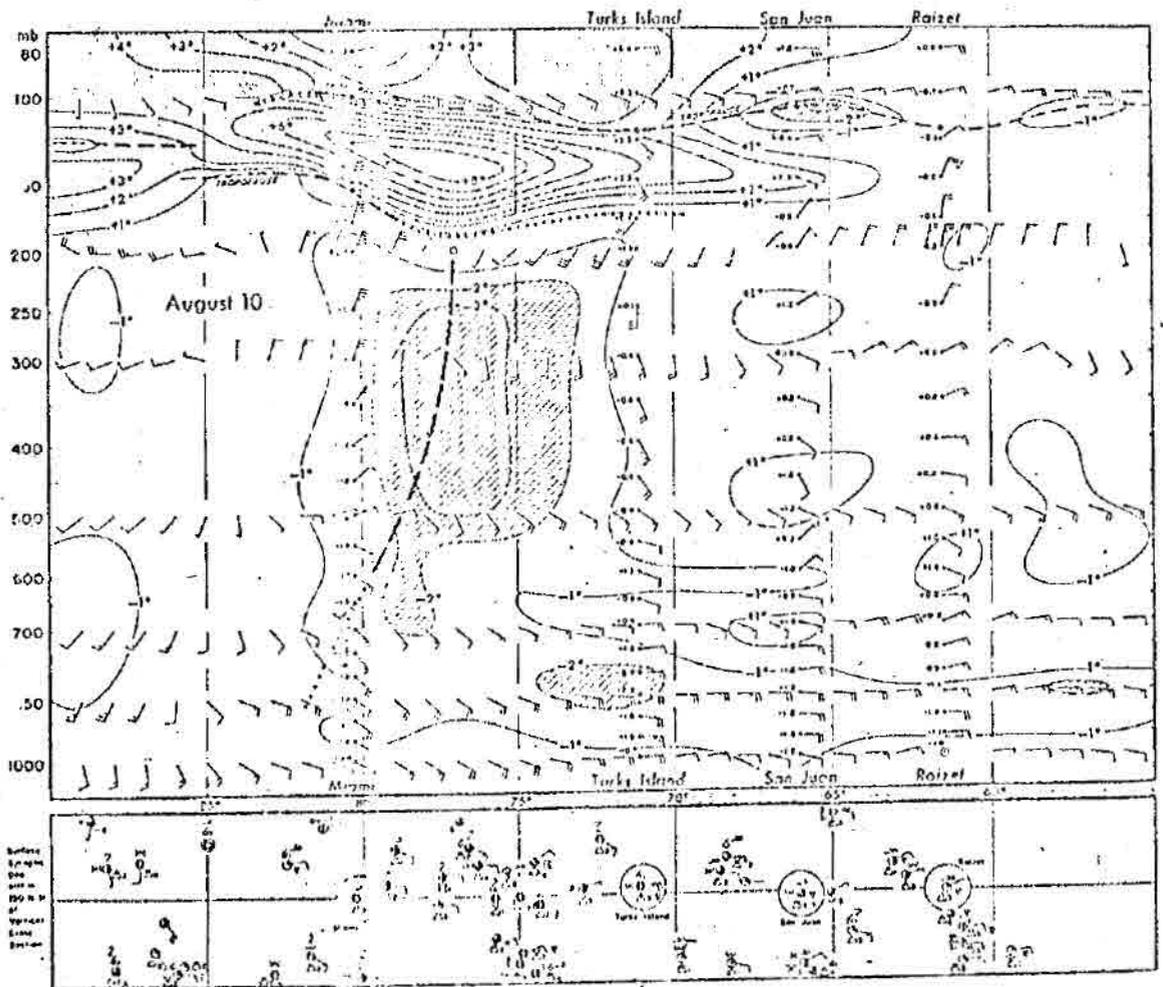


Fig. 1.4 - Seção vertical do desvio de temperatura para 10 de agosto de 1966 às 1200 TMG na região do Caribe.

A linha tracejada indica o eixo da baixa fria.

FONTE: Erickson (1971)

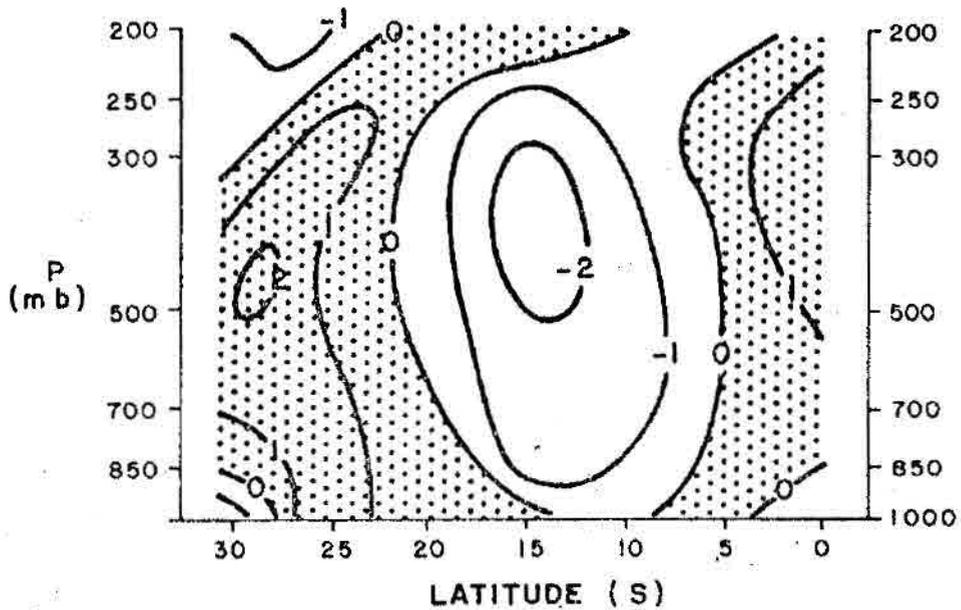


Fig. 1.5 - Seção vertical do desvio de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) para 12 de março de 1978 a 40°W de longitude.

FONTE: Kousky and Gan (1981)

1.2 MECANISMO DE FORMAÇÃO

Passa-se agora a descrever os processos de formação das baixas frias.

As do tipo Palmén formam-se devido a uma pré-existência de um cavado frio no ar superior, o qual foi desligado de sua região fonte polar (Palmén and Newton, 1969). Desse modo, um cavado frio superior de latitudes médias ao penetrar nos subtrópicos pode ter uma inclinação meridional bem acentuada. Essa inclinação faz com que a parte do cavado, nas baixas latitudes, tenha uma velocidade zonal inferior ao resto do cavado, atrasando-se até que se desprenda completamente deste. Assim, nesta parte desprendida forma-se uma circulação ciclônica (Simpson, 1952).

Os mecanismos de formação das baixas frias de origem tropical ainda não são conhecidos. No entanto, Kousky e Gan (1981) sugeriram o seguinte mecanismo de formação, para as baixas frias que se formam no oceano Atlântico Sul: um sistema frontal ao penetrar nos subtropicais provoca forte advecção de ar quente no seu lado leste, o que serve para amplificar a crista de nível superior e, em consequência, o cavado que está a leste também é intensificado, formando-se assim o ciclone na alta troposfera.

Um processo semelhante a este foi estudado por Dias e Schubert (1979), os quais utilizaram um modelo divergente e linear para um fluido homogêneo e incompressível. Eles observaram que após a intensificação de um vórtice anticiclônico (ciclônico) poderá no seu lado leste, ocorrer a formação de um vórtice ciclônico (anticiclônico). A explicação física para este fato é que, se as ondas longas de Rossby predominam no espectro de energia do vórtice anticiclônico (ciclônico) ocorrerá, depois de um certo tempo, um alongamento no seu lado oeste. Caso sejam as ondas curtas de Rossby as predominantes, ocorrerá a formação de um vórtice ciclônico (anticiclônico) no seu lado leste, pois estas propagam-se nesse sentido. No entanto, a intensidade deste vórtice resultante está diretamente ligada à quantidade de energia das ondas curtas de Rossby.

1.3. MOVIMENTO VERTICAL E ENERGÉTICA

A baixa fria caracteriza-se por um movimento descendente de ar frio e seco no seu centro e um movimento ascendente de ar quente e úmido na sua periferia, possuindo, portanto, uma circulação direta. Esse fato ocasiona a transformação de energia potencial em energia cinética (Frank, 1970).

A intensificação de uma baixa fria ocorre devido à conversão de energia potencial disponível em energia cinética, através de liberação de calor latente ao longo da periferia. Por outro lado, a desintensificação é causada pela destruição de energia cinética (Carlson 1967).

A dissipação sobre continentes é, provavelmente, devida ao aquecimento (calor sensível) da superfície e ao calor latente liberado pelas nuvens do tipo cumulonimbus situadas perto do centro da baixa fria (Kousky and Gan, 1981). Enquanto sobre os oceanos, geralmente, elas não se dissipam, mas são absorvidas por cavados de níveis superiores provenientes das latitudes médias (Ramage, 1962; Simpson, 1952).

1.4 UMIDADE E NEBULOSIDADE

No Hemisfério Norte, regiões de umidade mais alta foram encontradas a leste da baixa fria em todos os níveis, exceto no nível 1000 mb onde ocorre exatamente o reverso, enquanto os valores da razão de mistura são mais altos no quadrante sudeste nos níveis superiores (Carlson, 1967). Porém, a nebulosidade associada à baixa fria difere de uma baixa para outra, e, em geral, não é simétrica, e sim propensa a concentrar do lado leste e nordeste da baixa fria, tendendo a clarear o céu no lado oeste e noroeste (Palmén, 1949). As baixas frias podem ser totalmente secas ou acompanhadas de muita nebulosidade e precipitação, dependendo de sua profundidade. Assim, as que estão confinadas na alta troposfera (acima de 500 mb) possuem pouca nebulosidade, e as que atingem níveis mais baixos possuem muita nebulosidade (Frank, 1970). A região central é quase sempre marcada por céu limpo, ou então por nuvens esparsas (Frank, 1966; Ramage, 1962).

Todavia, no Hemisfério Sul, Kousky e Gan (1981) notaram que a maior atividade convectiva é encontrada na direção do movimento da baixa fria e, quando estas aproximam-se de um continente ou percorrem águas quentes, formam nuvens do tipo cumulonimbus na região central da baixa fria. Quando as baixas frias aproximam-se da costa do Nordeste brasileiro, oriundas do oceano Atlântico, tornam o céu claro na parte sul e central dessa região, e propiciam a formação de nebulosidade na parte norte.

1.5 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é dar continuidade ao estudo feito por Kousky e Gan (1981), através da investigação dos seguintes itens:

- a) a climatologia das baixas frias úmidas que penetraram no Brasil, oriundas do oceano Atlântico;
- b) os processos dinâmicos de formação;
- c) a dinâmica do deslocamento;
- d) os processos de manutenção destes sistemas.

CAPÍTULO 2

DADOS E MÉTODOS DE ANÁLISE

2.1 DADOS

Para realizar este trabalho estiveram à nossa disposição os seguintes dados:

- Imagens de satélite no período de setembro/74 a agosto/81. Para setembro/74 a setembro/78 obtiveram-se imagens de hora em hora, no infravermelho e no visível (durante o dia), do satélite SMS/GOES - satélite geoestacionário, as quais encontram-se em microfilmes fornecidos pela "National Oceanic and Atmospheric Administration". Para outubro/78 a fevereiro/79 obtiveram-se imagens diárias no infravermelho do satélite NOAA - 5 - órbita polar, recebidas pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). A partir de março/79 adquiriram-se imagens no infravermelho do satélite SMS/GOES, recebidas pelo INPE a cada 3 horas.
- Dados de temperatura e das componentes (u,v) do vento nos horários 0000 e 1200 TMG, para os níveis padrões entre 1000 e 200 mb. Estes apresentam-se em pontos de grade longitudinais com intervalos de 5° e latitudinais com pontos equidistantes para uma projeção Mercator de 48,1°N a 48,1°S. Estes dados foram obtidos do "National Center for Atmospheric Research", Boulder Colorado E.U.A e são análises do "National Meteorological Center".

2.2 MÉTODO DE ANÁLISE

O estudo climatológico baseia-se nas imagens de satélite e nas análises do campo de vento. Somente as baixas frias úmidas as quais se formaram na região do Atlântico Sul ou na região Leste do Brasil são incluídas. As baixas frias que entraram no Sul do Brasil provenientes do oceano Pacífico não são aqui tratadas, ficando portanto para trabalhos futuros.

Neste estudo foi dada prioridade às imagens de satélite, pois elas permitem o acompanhamento dos sistemas desde a fase de formação da nebulosidade a eles associada até sua dissipação. Assim, pôde-se agrupar todas as baixas frias úmidas, verificando imagem por imagem para que não passasse despercebido nenhum vórtice estudado.

Ao seguir uma baixa fria úmida, consideram-se as posições diárias até que sua nebulosidade se dissipe. No entanto, em alguns casos a nebulosidade correspondente à baixa fria deixou margem à dúvida. Para estes casos, utilizaram-se campos de vento no nível 200mb. Deve-se salientar, porém, que ao observar uma baixa fria úmida na imagem de satélite não significa que ela tenha se formado nessa posição e nesse dia, e sim que nessa imagem a baixa fria adquire nebulosidade para que seja classificada como úmida; o mesmo ocorre quando se dissipa a nebulosidade.

Após concluída a parte climatológica, escolheram-se algumas baixas frias e fez-se um estudo diagnóstico abrangendo:

- a) a dinâmica e os processos físicos de formação;
- b) o saldo de vorticidade;
- c) a dinâmica do deslocamento.

Este estudo efetuou-se através das análises dos campos de vento, vorticidade relativa, saldo de vorticidade e coeficientes de correlação.

A vorticidade relativa foi determinada em coordenadas esféricas, utilizando-se o método das diferenças finitas através da Equação 2.1:

$$\zeta = \frac{\partial v}{a \cdot \cos \phi \cdot \partial \lambda} - \frac{\partial u}{a \partial \phi} + \frac{u \cdot \operatorname{tg} \phi}{a} \quad (2.1)$$

Para obter os coeficientes de correlação, em primeiro lugar, foram escolhidas algumas baixas frias que perduraram mais do que 15 dias. A este período acrescentaram-se os três dias precedentes à formação da baixa fria e três dias após esta ter dissipado. Tendo escolhido o período e utilizando as duas observações diárias, determinaram-se os coeficientes de correlação através da Equação 2.2 (Panofsky, 1968):

$$R = \frac{\sum_{K=1}^N \zeta_{i,L}^{\prime} \cdot \zeta_{j,L+K}^{\prime}}{N \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j}, \quad (2.2)$$

onde:

$$\zeta_{i,L}^{\prime} = \zeta_{i,L} - \bar{\zeta}_i;$$

$$\zeta_{j,L+K}^{\prime} = \zeta_{j,L+K} - \bar{\zeta}_j;$$

σ é o desvio padrão;

N é o número de observação incluída no período;

$\bar{\zeta}_i$ é a média temporal no ponto (x_i, y_i) ;

L é a defasagem no tempo.

Com as análises dos coeficientes de correlações, pretende-se observar quais os fatores que interagem na permanência das baixas frias.

CAPÍTULO 3

ESTUDO CLIMATOLÓGICO

Este capítulo tem como finalidade a complementação do estudo climatológico feito por Kousky e Gan (1981). O trabalho precedente a este possui o período estudado menor em relação ao que se realiza agora, não tendo também imagens para alguns meses. Sua realização efetuou-se com microfílm "mercator", o qual é composto de imagens de satélite de órbita polar, cuja qualidade é inferior aos dos empregados neste estudo.

Antes de iniciar este estudo, foi feita uma preparação com o objetivo de melhorar a clareza ao ser observada uma imagem de satélite, isto é, definir se há ou não uma baixa fria úmida, bem como onde se encontra o seu centro. Esta preparação deu-se com animação de imagens de satélite SMS/GOES.

Finda esta etapa, passou-se à obtenção de baixas frias úmidas, utilizando a metodologia descrita no item 2.2.

A Tabela 3.1 fornece o número de baixas frias úmidas formadas, por mês, no oceano Atlântico Sul e o número de dias com nebulosidade dessas baixas frias por mês, para o período estudado.

Nessa tabela verificam-se os seguintes aspectos:

- a) no período de maio a agosto não ocorreu formação de baixas frias úmidas;
- b) nos meses de verão, especialmente janeiro, houve maior frequência de formação de baixas frias.

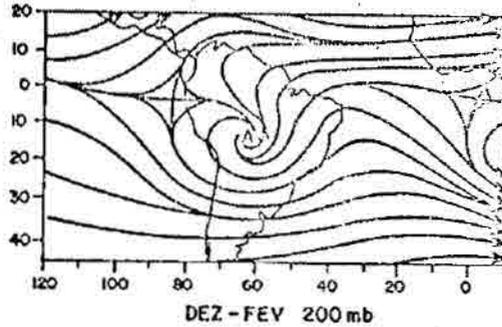
TABELA 3.1

NÚMERO DE BAIXAS FRIAS ÚMIDAS, POR MÊS, FORMADAS NO OCEANO ATLÂNTICO
SUL E NÚMERO DE DIAS, POR MÊS, COM NEBULOSIDADE DESSAS BAIXAS FRIAS
DE SETEMBRO/74 A AGOSTO/81

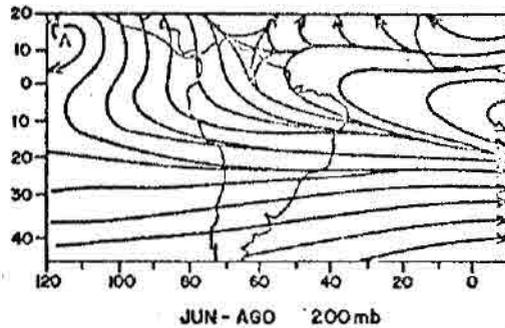
MÊS	Nº	Nº/DIAS
JAN.	18	93
FEV.	15	82
MAR.	8	53
ABR.	5	10
MAI.	-	1
JUN.	-	-
JUL.	-	-
AGO.	-	-
SET.	2	5
OUT.	1	3
NOV.	11	42
DEZ.	10	68
TOTAL	70	357

Estes resultados concordam quase que completamente com os de Kousky e Gan (1981), com exceção de que estes não encontraram formação de baixas frias úmidas no mês de setembro, mas discordam dos de Riehl e Miller (1978), pois estes encontraram um centro de ar frio próximo à costa do Nordeste no início de julho de 1974. Porém, numa imagem de satélite, observou-se que este centro de ar frio foi causado por aglomerado de cumulonimbus, os quais não estão necessariamente associados à baixa fria.

O período de maior frequência das baixas frias coincide com a época do ano em que o escoamento, no nível de 200 mb, na região da América do Sul é mais meridional (Newell et alii, 1972; Kousky e Molion, 1981). Este escoamento é caracterizado por uma alta na região da Bolívia e um cavado sobre o oceano Atlântico Sul. Esta situação em média, aparentemente favorece a formação das baixas frias (Bjerknes, 1951) como pode ser visto na Figura 3.1, a qual mostra o escoamento em meses de inverno e verão; e a Figura 3.2 apresenta a secção longitude versus tempo da média mensal da componente meridional do vento.



(a)



(b)

Fig. 3.1 - Linhas de corrente representativas do escoamento médio.

FONTE: Kousky e Molion (1981)

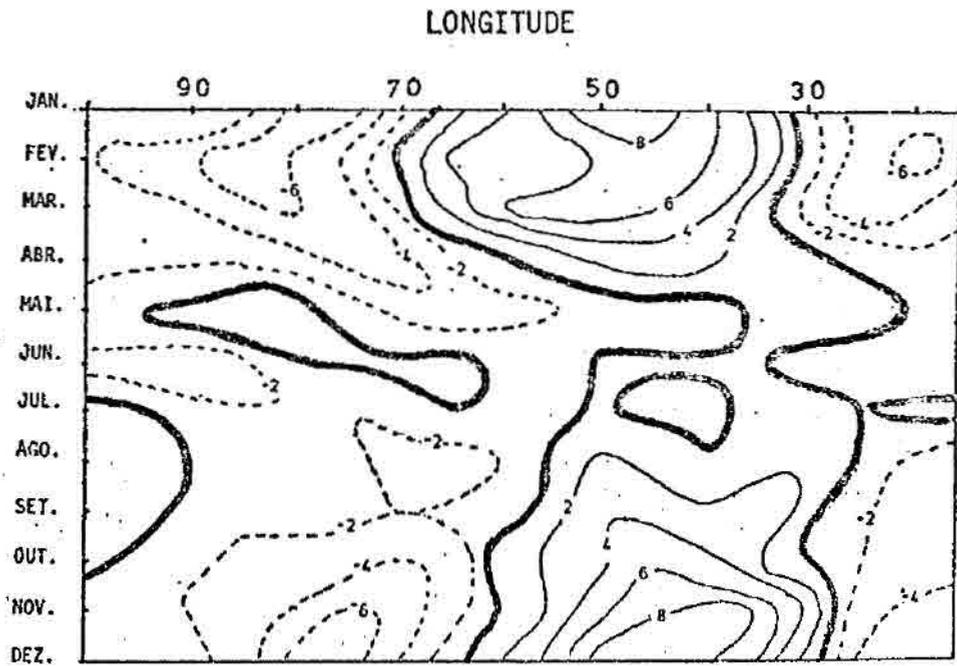


Fig. 3.2 - Média Mensal de 1975 a 1979 da componente meridional do vento, no nível de 200 mb, para a latitude de 15°S.

As Figuras 3.3 a 3.7 mostram as posições de formação das baixas frias úmidas que surgiram nos meses de novembro a março, respectivamente, bem como as posições diárias no decorrer de suas vidas. Estes diagramas mostram que as baixas frias possuem uma tendência para se formarem no oceano e na costa leste brasileira, porém ocorreram alguns casos de formação no interior do continente também. Porém, deve se ressaltar que foram observadas apenas as baixas frias úmidas, isto significa que o surgimento de uma baixa fria úmida na imagem de satélite não quer dizer que esta se formou neste dia e nessa posição, e sim que nesse dia ela adquiriu nebulosidade para que fosse classificada como baixa fria úmida.

A partir destes diagramas, nota-se também que no mês de dezembro (Figura 3.4) existe uma concentração das baixas frias na re

gião de 300 - 450W e 50 - 200S, ao passo que em janeiro (Figura 3.5) esta concentração estende-se até 200W. Nos outros meses, observa-se que a concentração das baixas frias estende-se mais para o sul.

Resumindo-se, nota-se no verão a ocorrência de baixas frias úmidas, sendo que sua maior concentração ocorre no Nordeste brasileiro e em áreas oceânicas próximas à costa dessa região, afetando profundamente o clima do Nordeste.

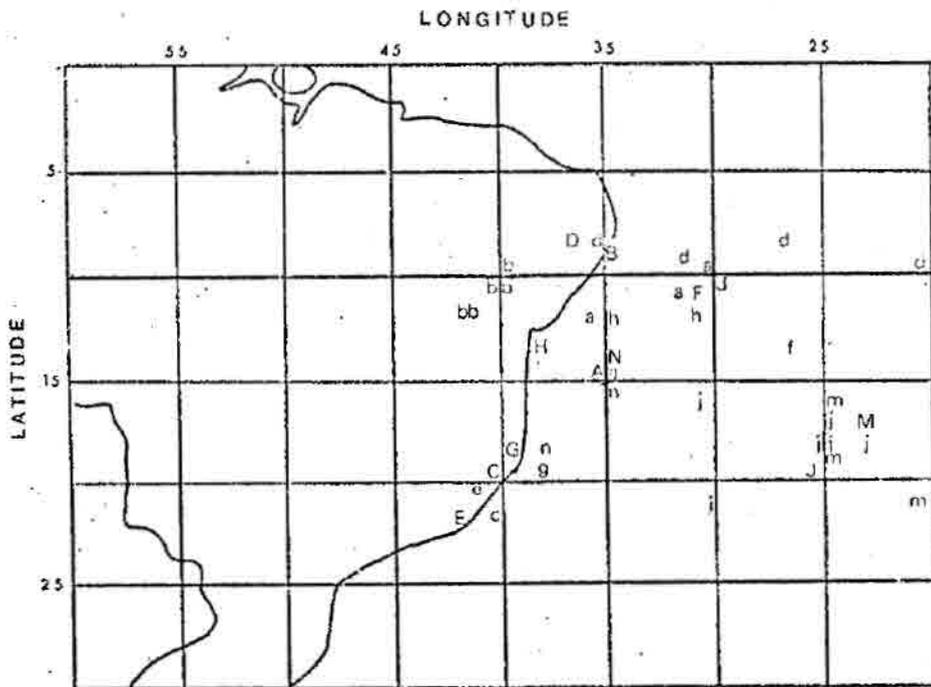


Fig. 3.3 - Posições de formação (letras maiúsculas) e posições assumidas (letras minúsculas) pelas baixas frias formadas nos meses de novembro dos anos de 1974 a 1980.

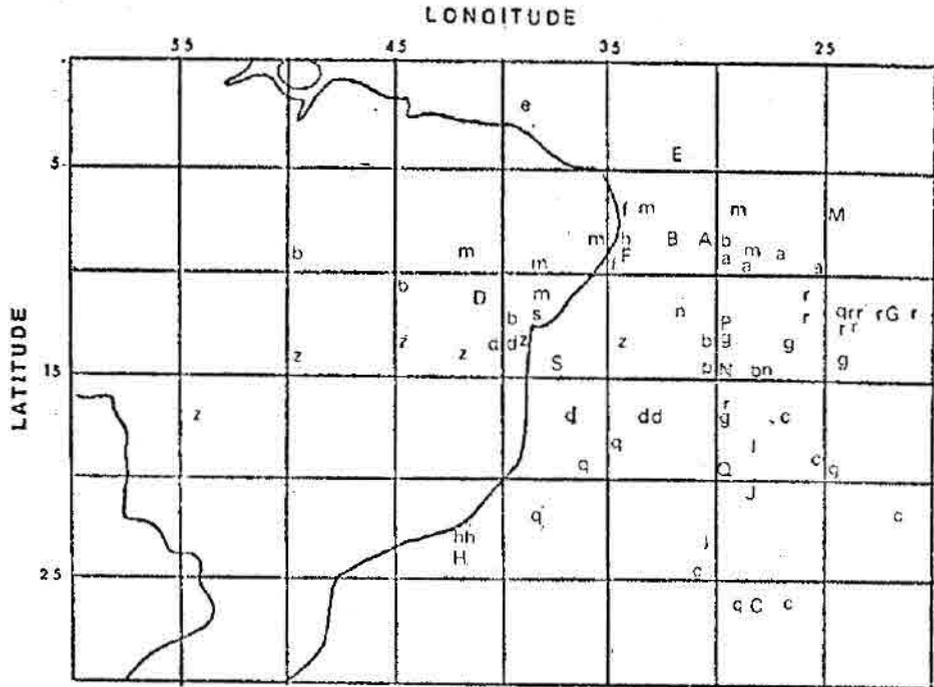


Fig. 3.6 - Posições de formação (letras maiúsculas) e posições assumidas (letras minúsculas) pelas baixas frias formadas nos meses de fevereiro dos anos de 1975 a 1981.

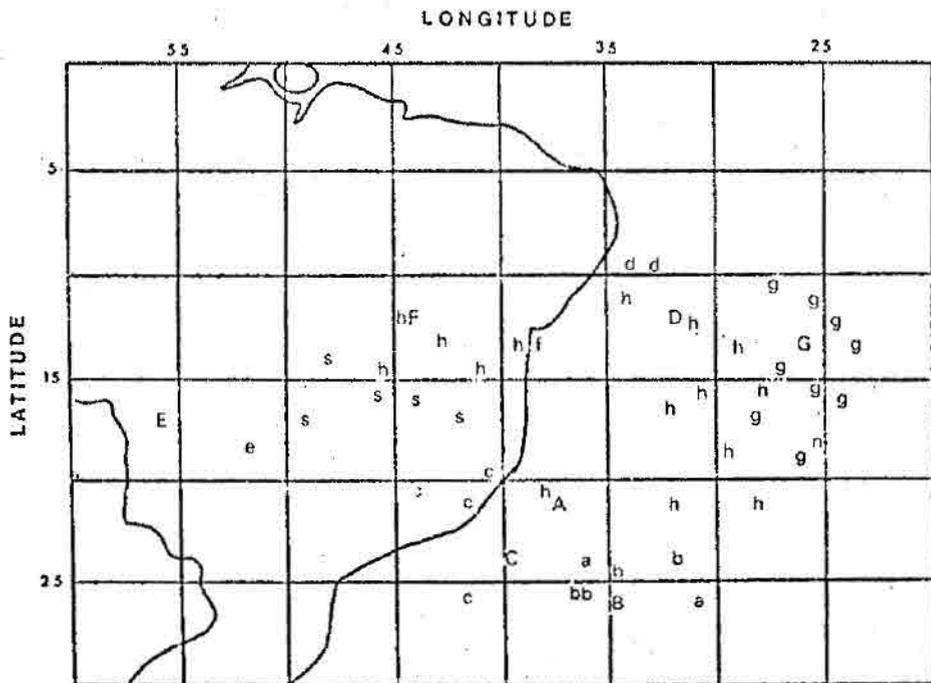


Fig. 3.7 - Posições de formação (letras maiúsculas) e posições assumidas (letras minúsculas) pelas baixas frias formadas nos meses de março dos anos de 1975 a 1981.

CAPÍTULO 4

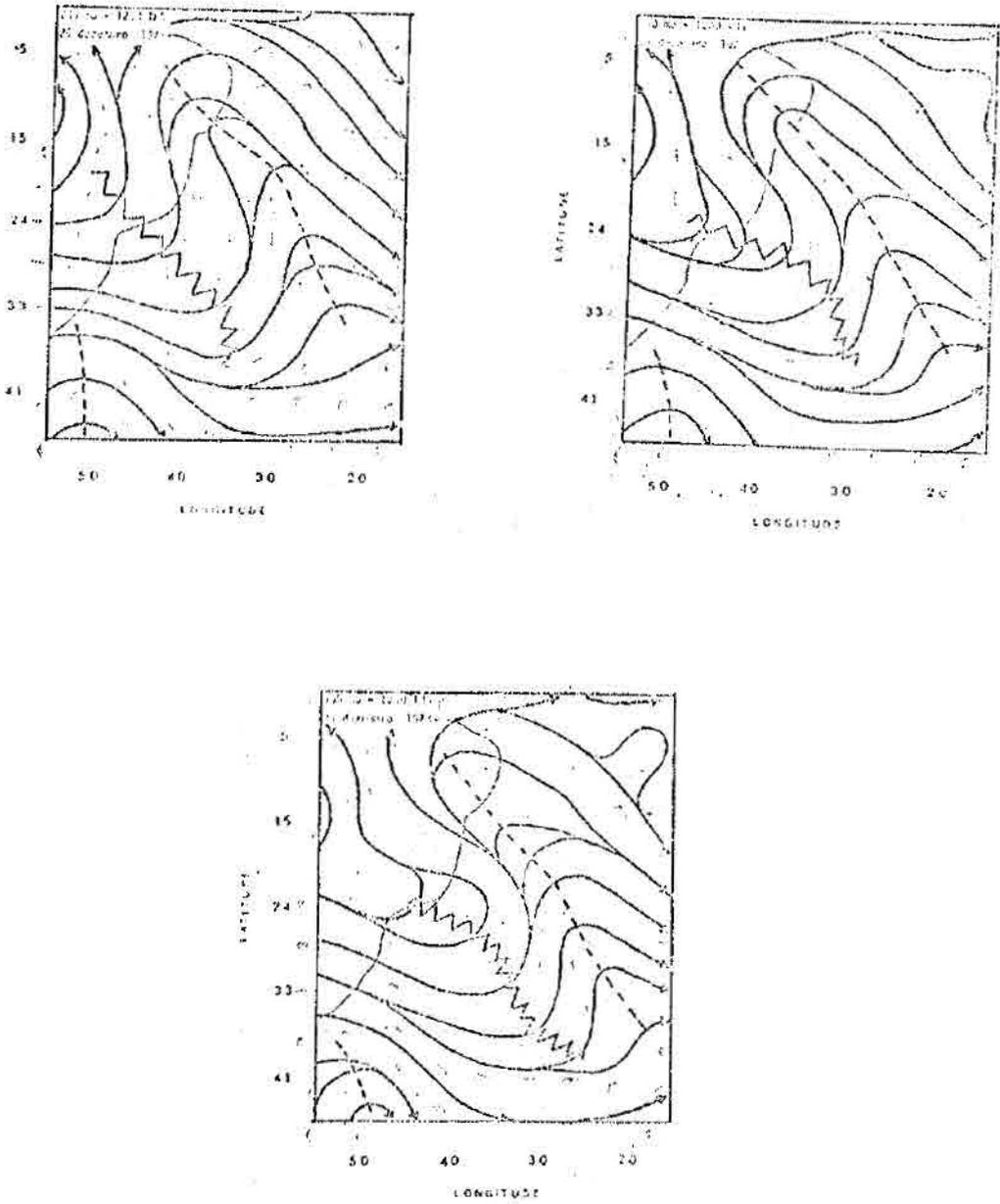
ESTUDO DIAGNÓSTICO

4.1 - FORMAÇÃO

Neste capítulo, contrariamente ao anterior onde foram estudadas baixas frias a partir da formação de nebulosidade, pretende-se abordar o problema da geração das baixas frias desde o seu estágio inicial, usando dados convencionais.

Buscando a obtenção do dia e da posição nos quais ocorreram formações de baixas frias secas, fez-se necessária o uso de cartas de ventos. Através destas cartas, notou-se também alguns processos dinâmicos que propiciaram a formação desses vórtices ciclônicos. As Figuras 4.1 a 4.3 apresentam estas análises para a formação de três baixas frias. Enfocando a Figura 4.1, nota-se que a baixa fria formou-se primeiro no nível de 200mb em $12^{\circ}\text{S} - 37^{\circ}\text{W}$ (Figura 4.1b) e 12 horas após estendeu-se até 300mb (Figura 4.1c). Nos outros dois casos (Figuras 4.2 e 4.3) a baixa fria formou-se até o nível de 300mb e 500mb, respectivamente. Assim, acredita-se que as baixas frias formam-se inicialmente em torno de 200mb, estendendo-se rapidamente para os níveis médios.

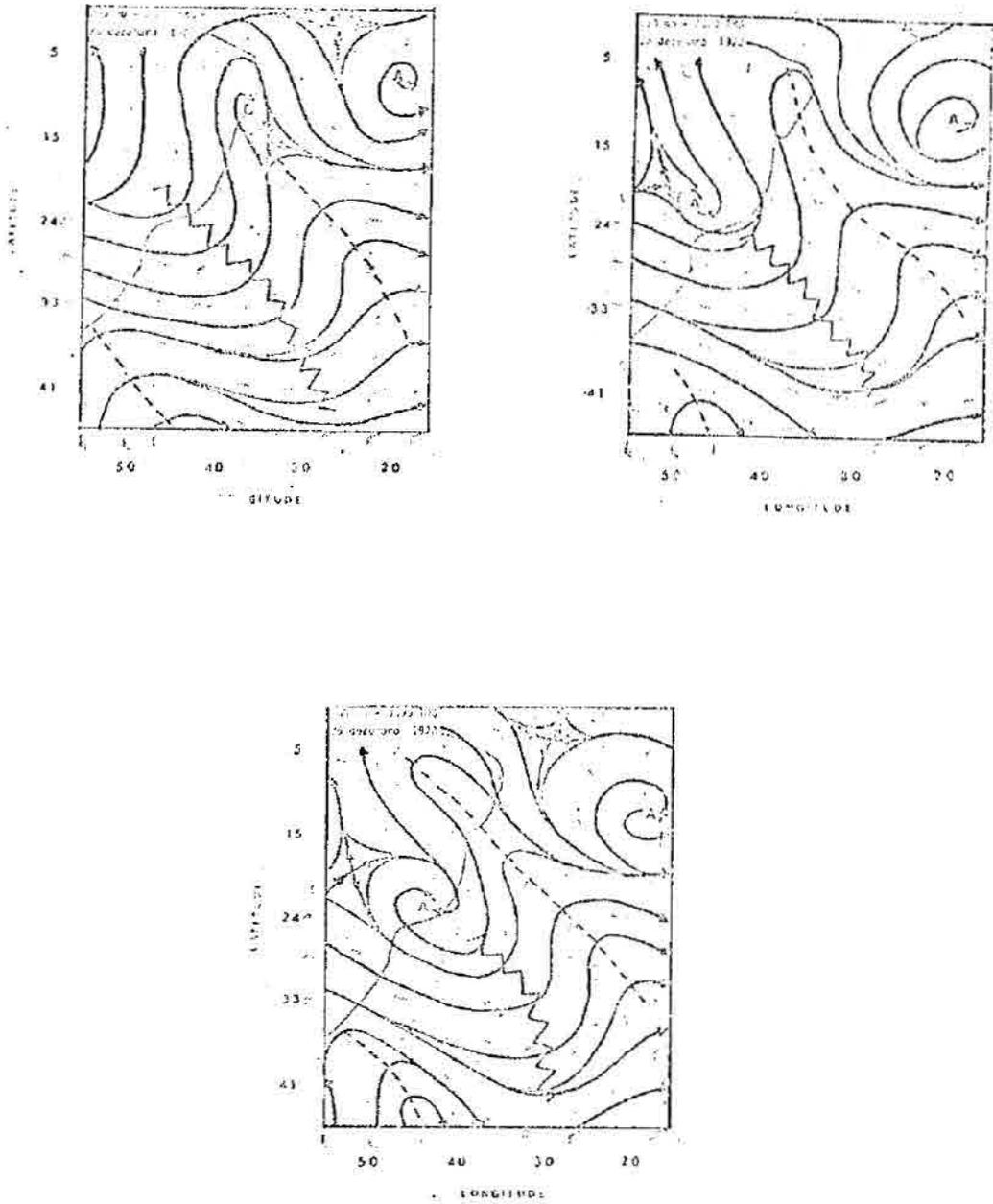
Distingue-se também nestas figuras a intensificação sofrida pela crista situada a oeste da baixa fria. No entanto, através destas cartas torna-se impossível a avaliação quantitativa do fortalecimento da crista. Para ter uma idéia melhor dessa intensificação resolveu-se trabalhar com as cartas de vorticidade relativa. A Figura 4.4 mostra isolinhas de vorticidade de 18 de janeiro de 1977 às 0000 TMG até o dia 20 às 0000 TMG do mesmo mês. Acompanhando-se a sequência de 12 em 12 horas dessas cartas, observou-se que entre 0000 TMG e 1200 TMG do dia 18 (Figuras 4.4a e 4.4b) o cavado situado ao sul do Brasil intensificou-se



a) 25 de dezembro de 1978 às 1200 TMG nos níveis 200, 250 e 300 mb.

Fig.4.1. - Linhas de Corrente.

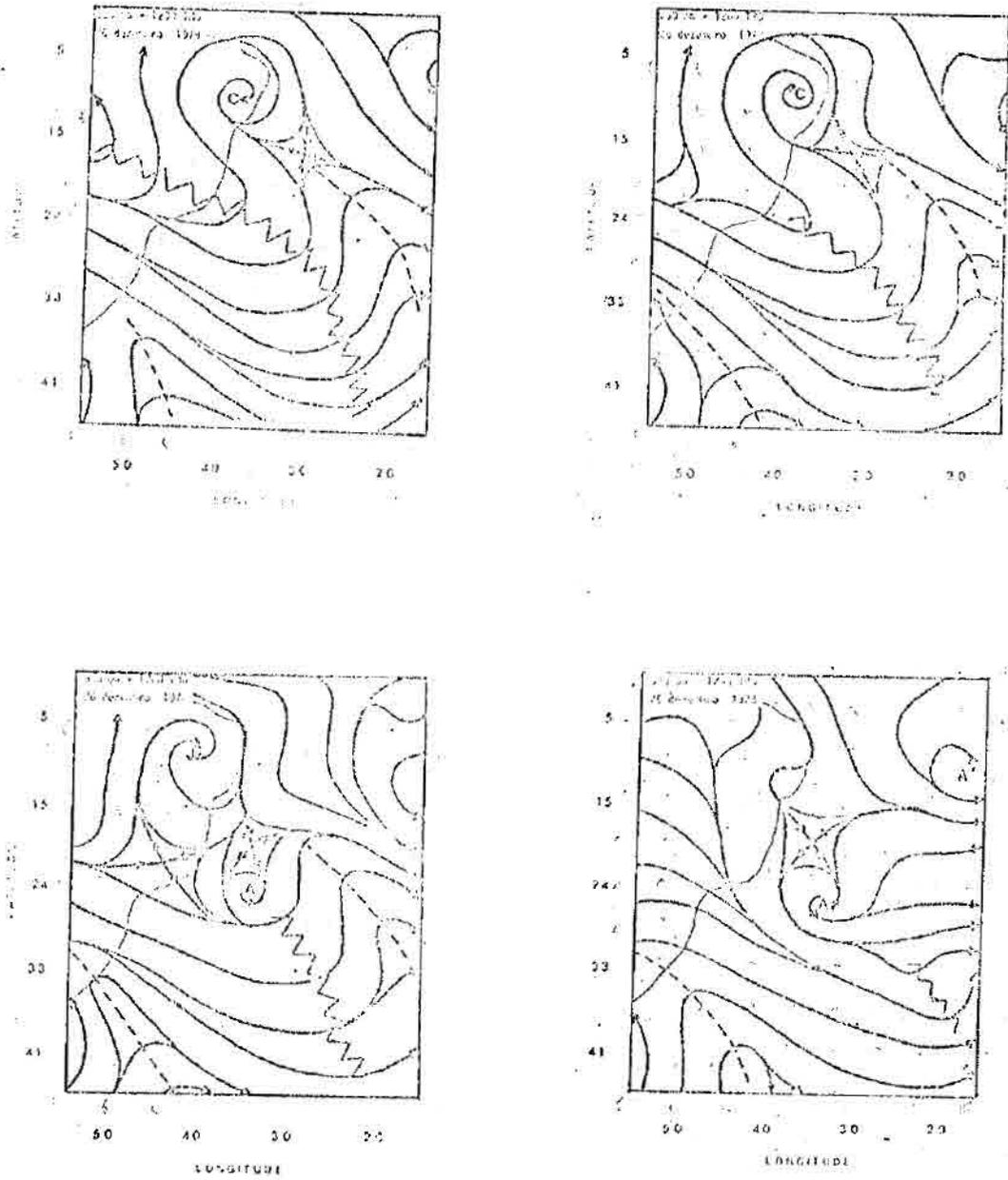
(Continua)



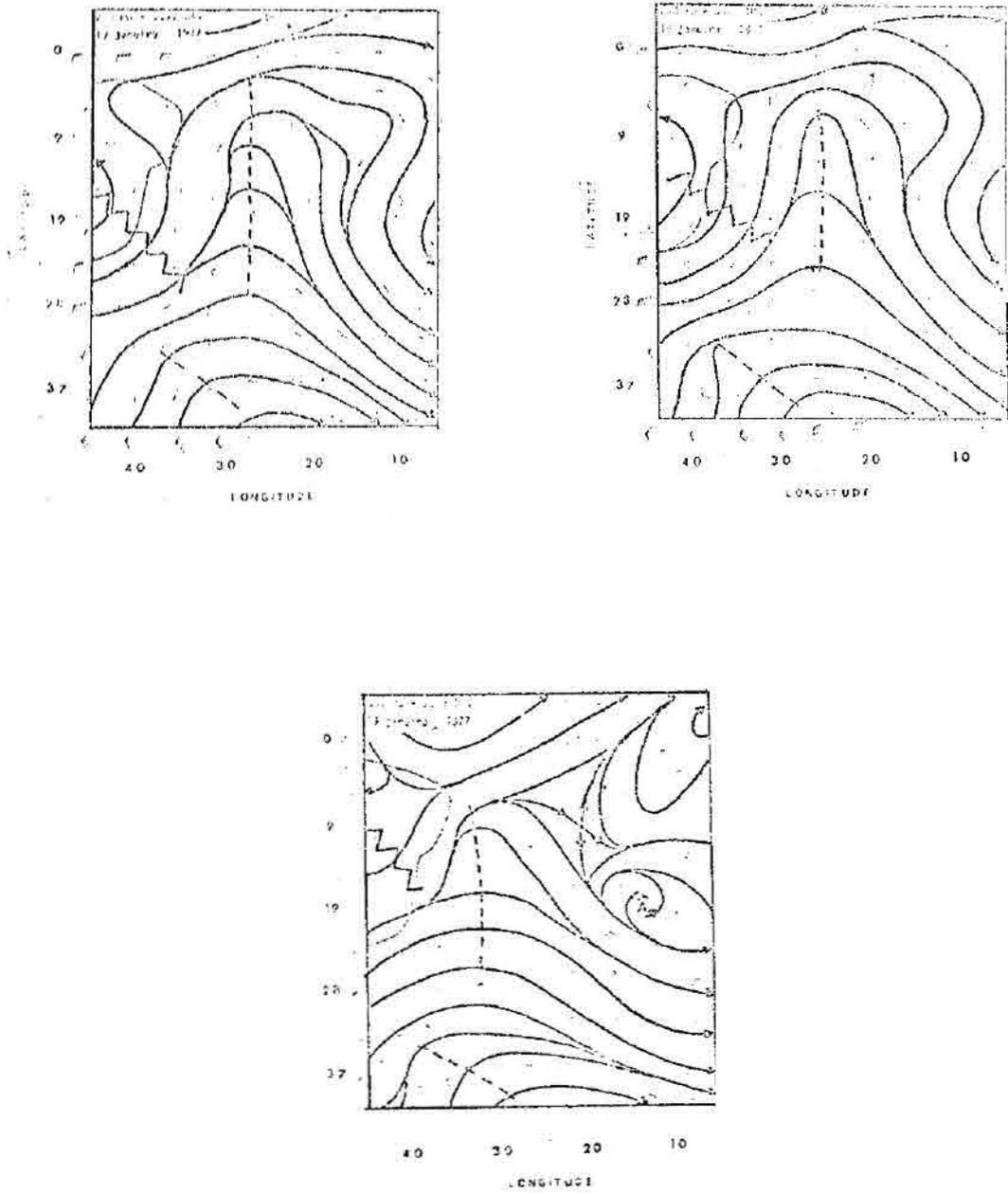
b) 26 de dezembro de 1978 à 0000 TMG nos níveis 200, 250 e 300 mb.

Fig. 4.1. - Continuação.

(Continua)



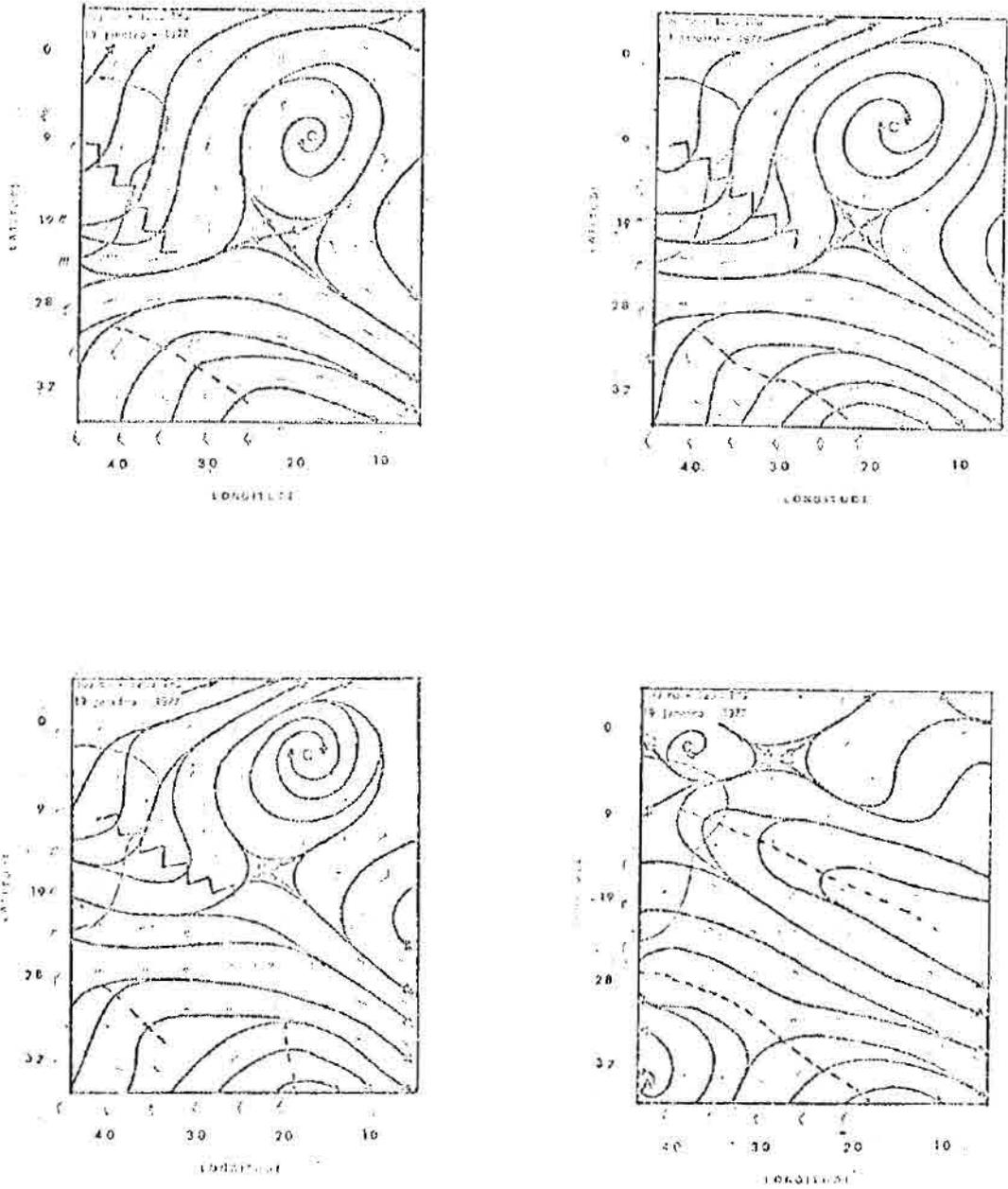
c) 26 de dezembro de 1978 às 1200 TMG nos níveis 200, 250, 300 e 500 mb.
Fig. 4.1. - Conclusão.



a) 19 de janeiro de 1977 à 0000 TMG nos níveis 200, 250 e 300 mb.

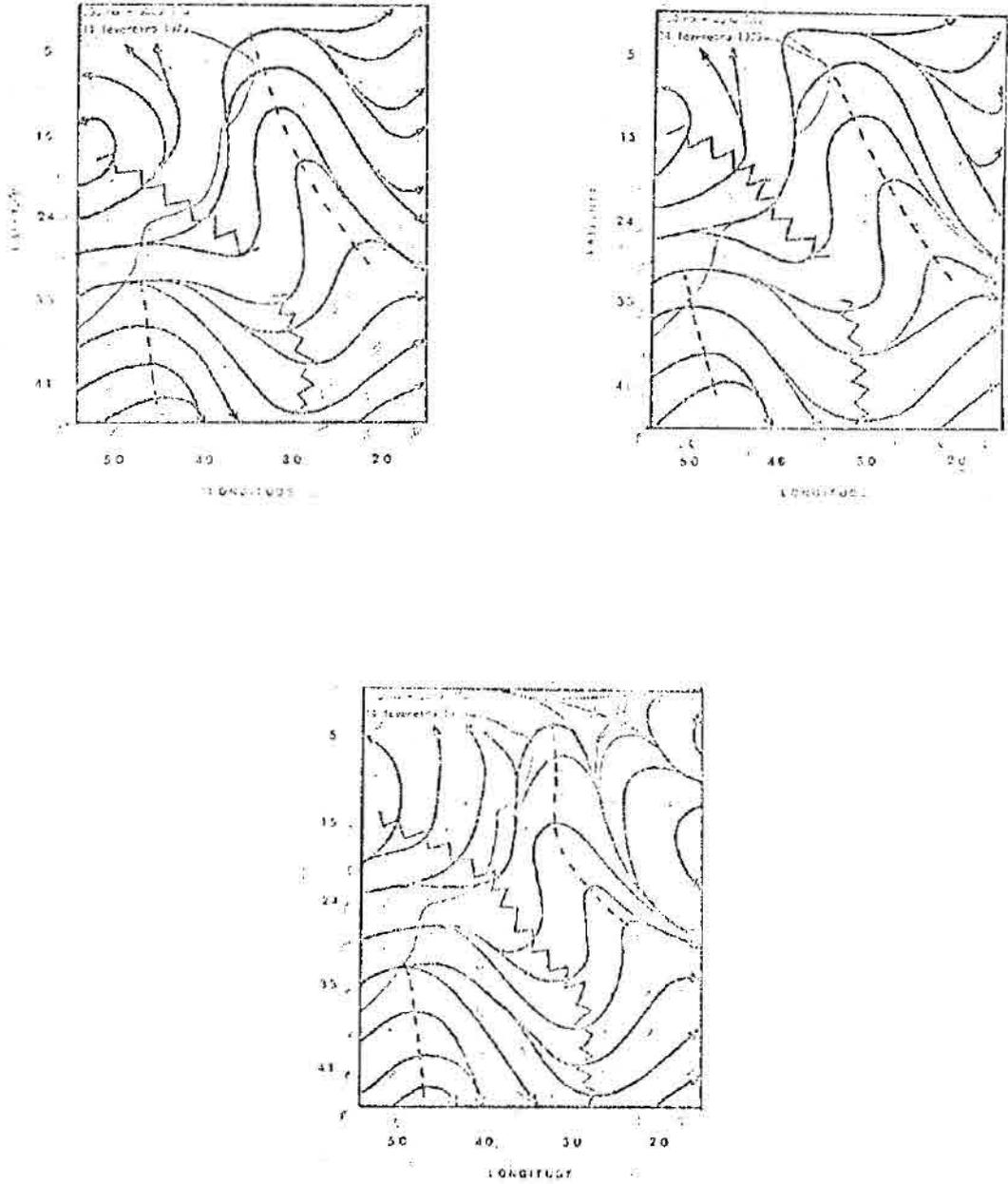
Fig. 4.2 - Linhas de Corrente

(Continua)



b) 19 de janeiro de 1977 às 1200 TMG nos níveis 200, 250, 300 e 500 mb.

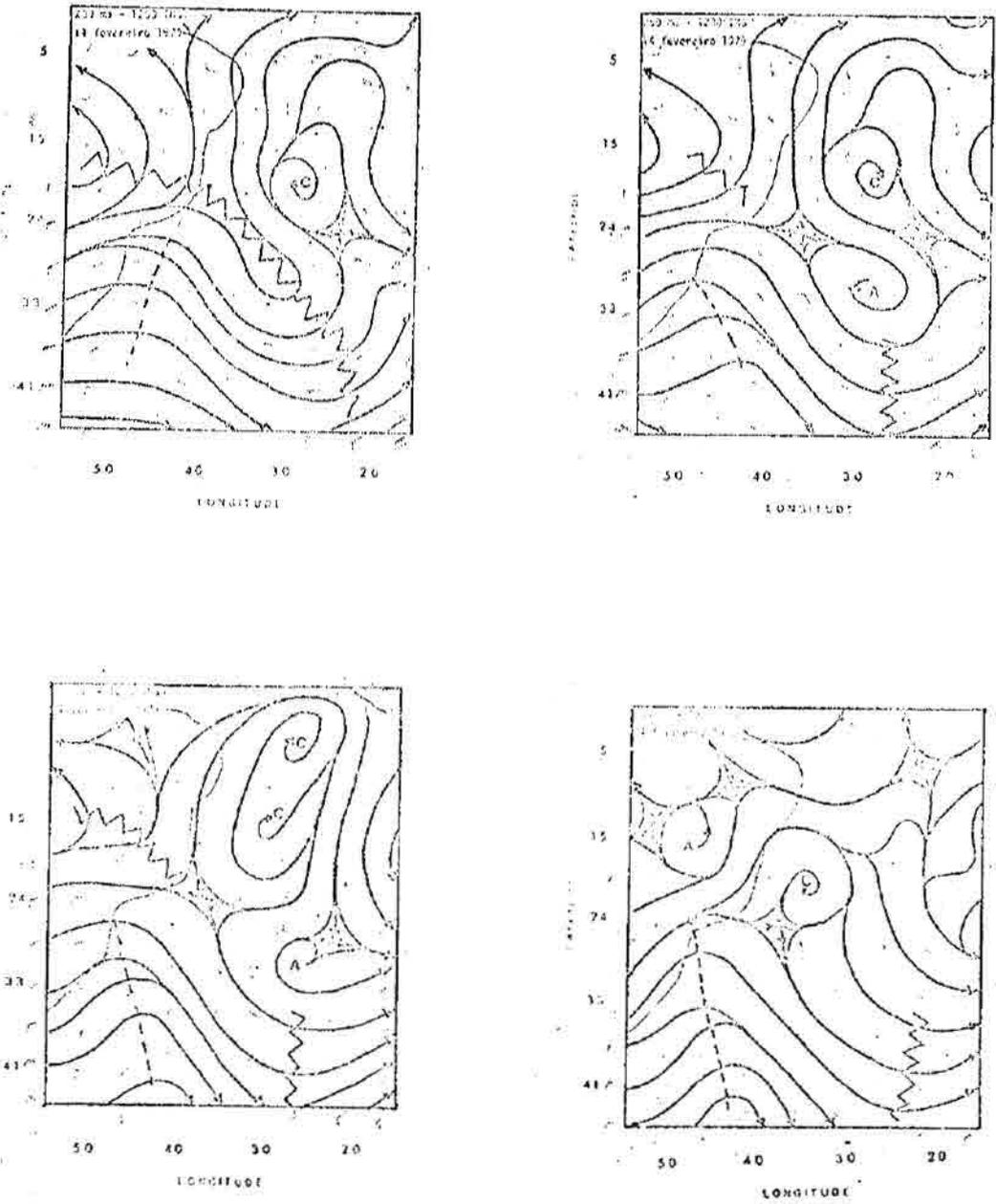
Fig. 4.2 - Conclusão.



a) 14 de fevereiro de 1979 à 0000 TMG nos níveis 200, 250 e 300 mb.

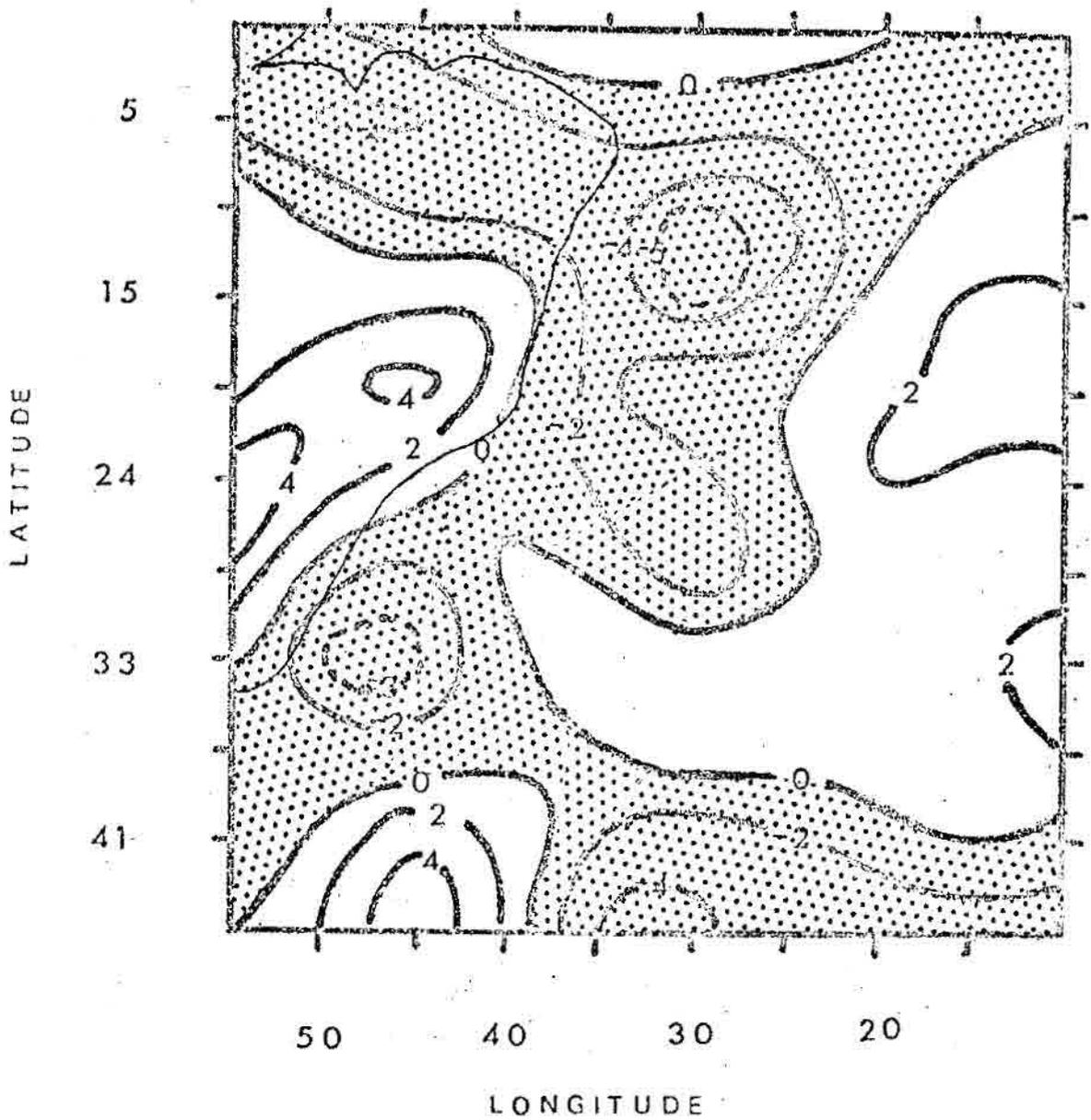
Fig. 4.3. - Linhas de Corrente

(Continua)



b) 14 de fevereiro de 1979 às 1200 TMG nos níveis 200, 250, 300 e 500 mb.

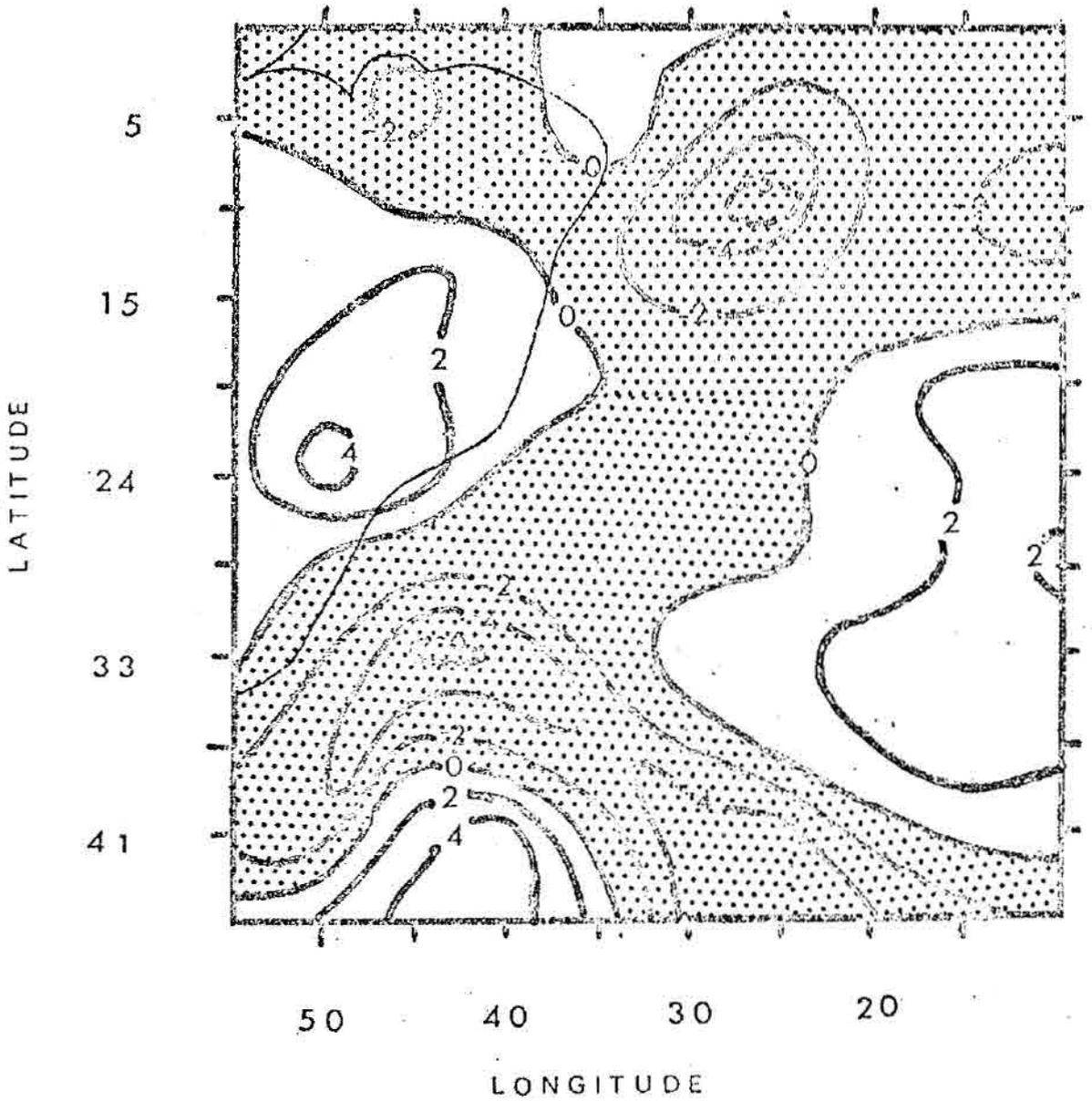
Fig. 4.3. - Conclusão.



a) 18 de janeiro de 1977 à 0000 TMG.

Fig. 4.4 - Isolinhas de vorticidade relativa (10^{-5} s^{-1}) no nível de 200 mb.

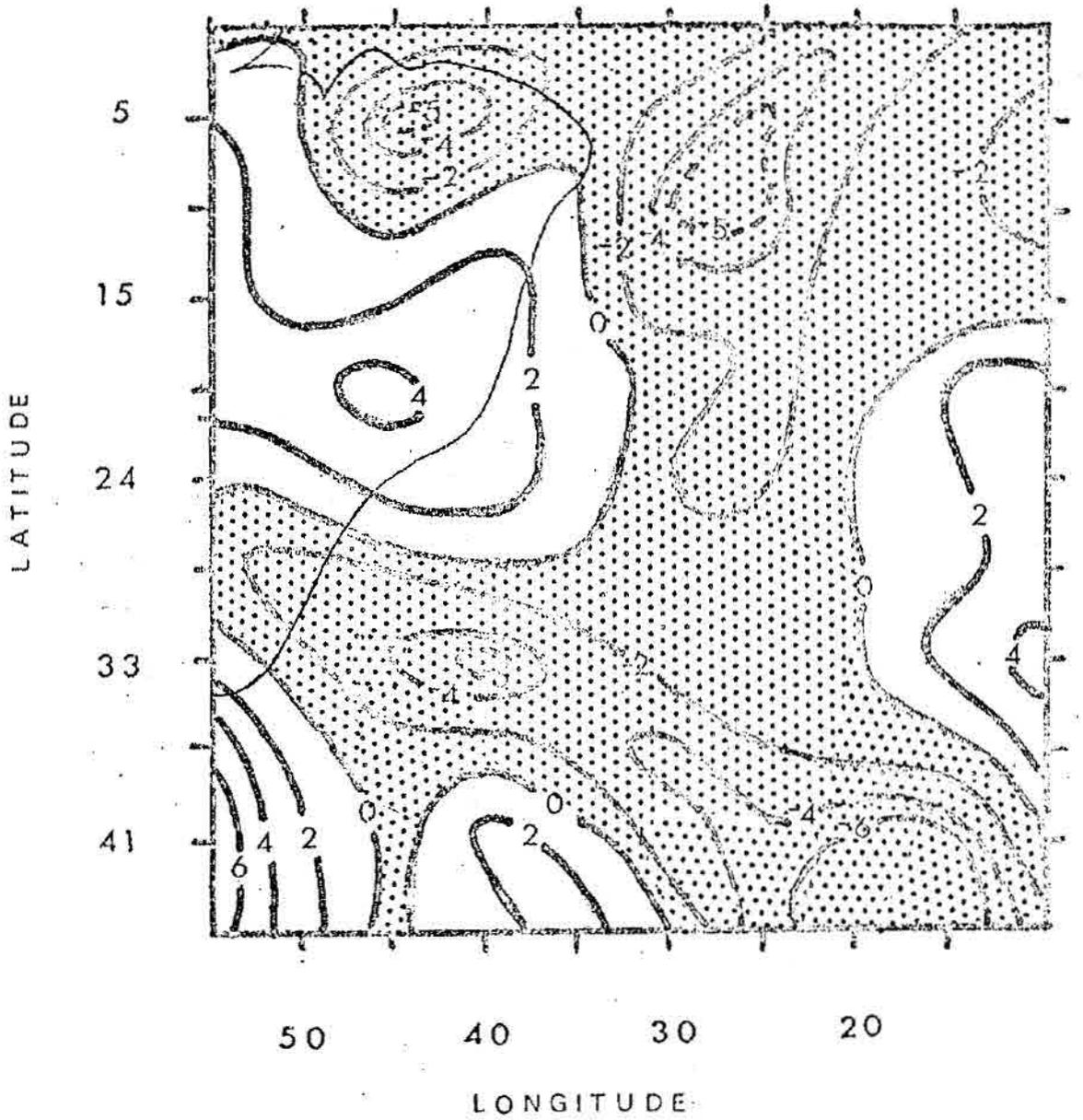
(Continua)



b) 18 de janeiro de 1977 às 1200 TMG

Fig. 4.4 - Continuação.

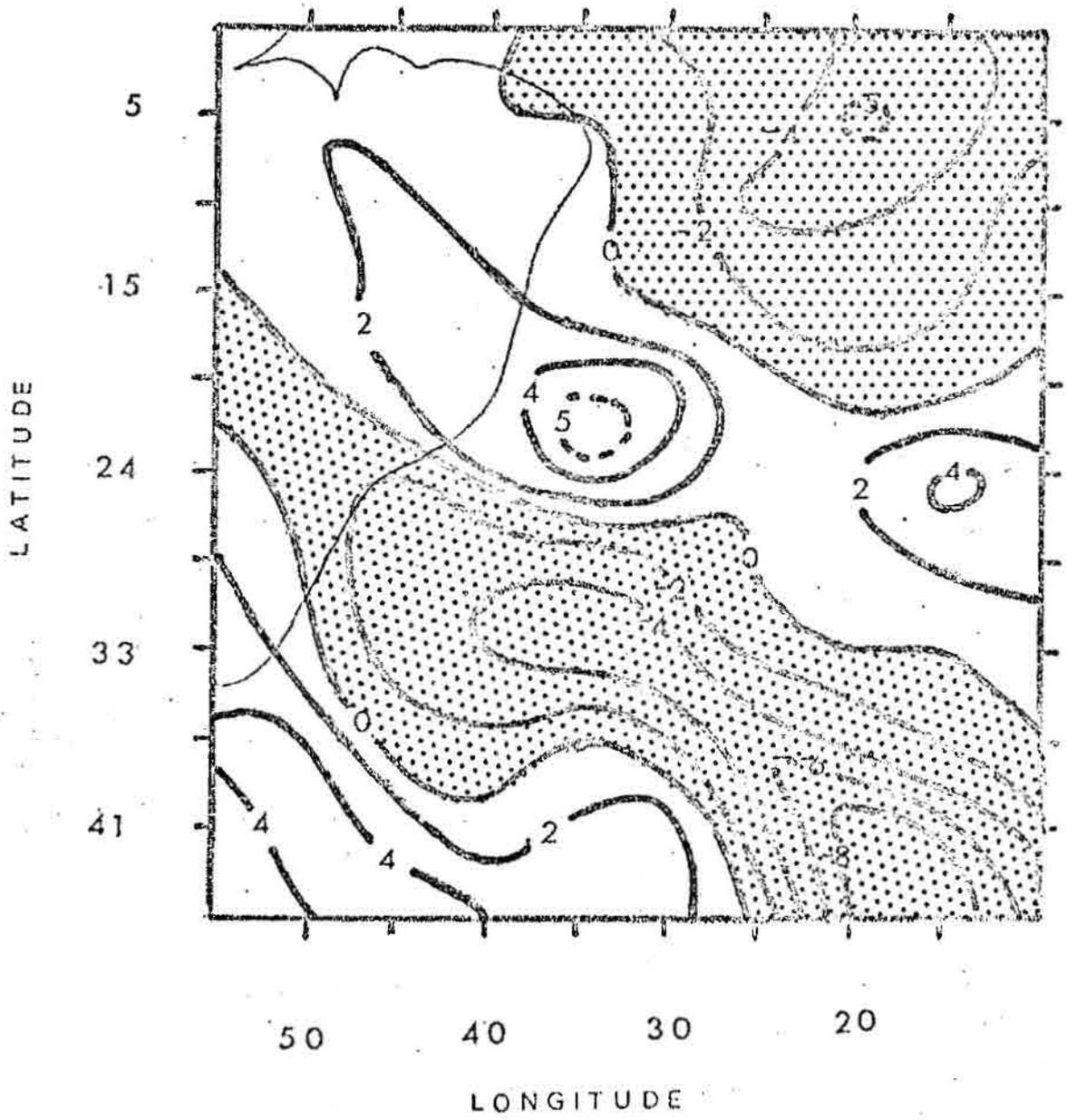
(Continua)



c) 19 de janeiro de 1977 à 0000 TMG

Fig. 4.4. - Continuação.

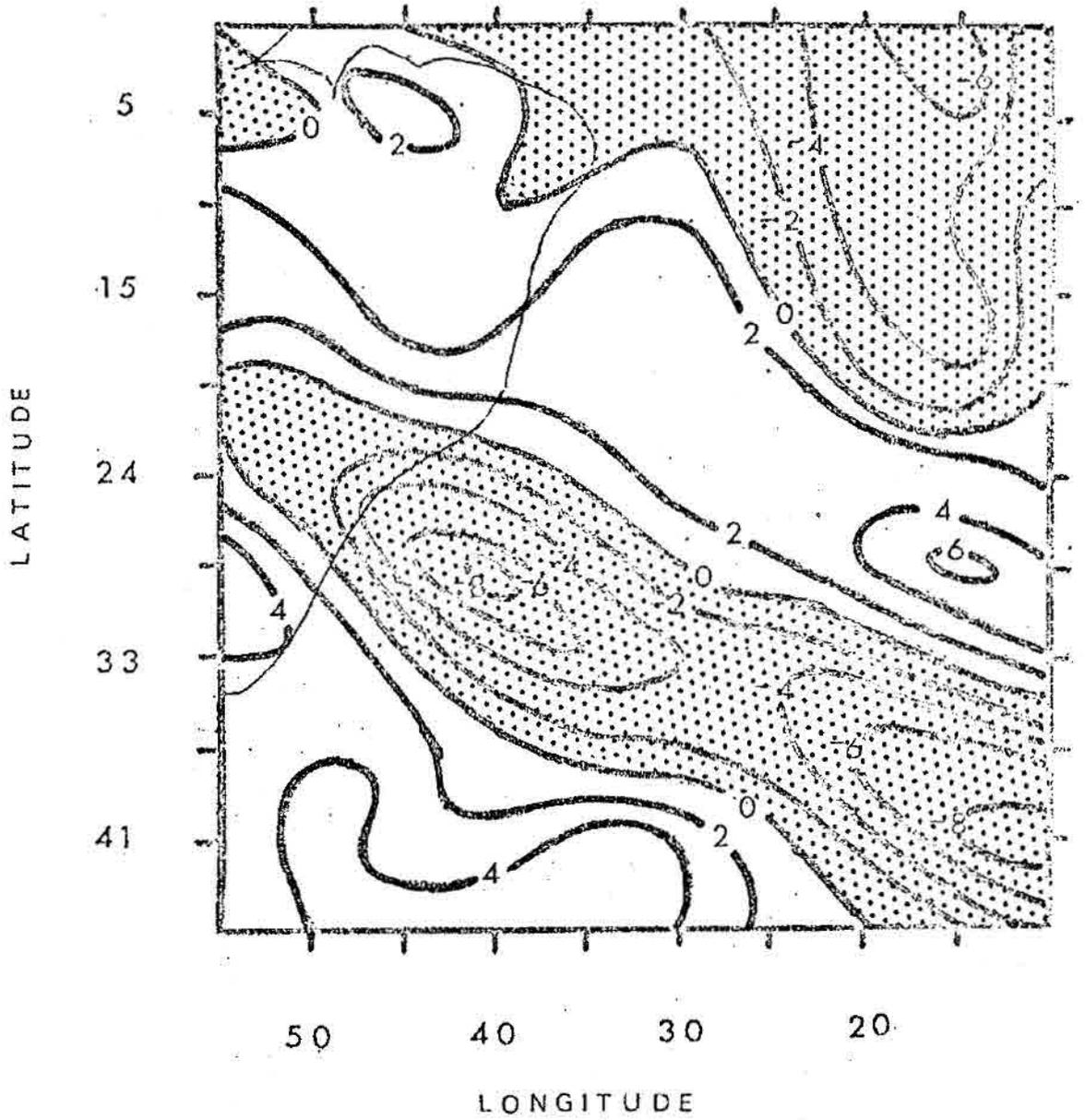
(Continua)



d) 19 de janeiro de 1977 às 1200 TMG

Fig. 4.4 - Continuação.

(Continua)



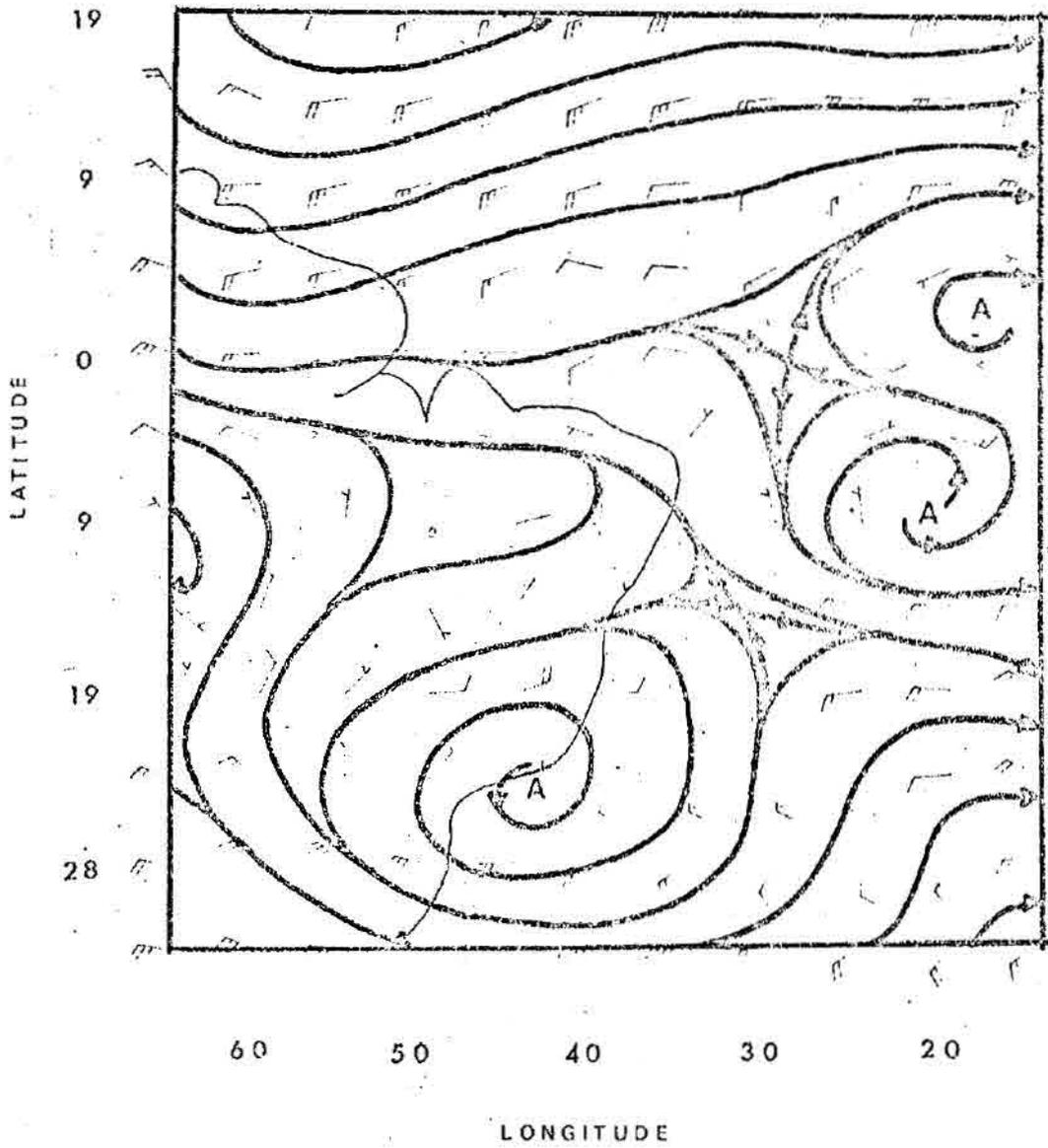
e) 20 de janeiro de 1977 à 0000 TMG

Fig. 4.4. - Conclusão.

No dia 19 entre 0000 e 1200 TMG (Figuras 4.4 c e 4.4 d), foi a vez da crista localizada próxima a 35°W, e neste período também houve o desprendimento da parte equatorial do cavado centrada em 20°W. Nas doze horas seguintes (Figura 4.4 e) o vórtice ciclônico em torno de 20°W se fortaleceu.

Desse modo, nota-se que a intensificação de um cavado de ar superior, acompanhada em seguida de uma amplificação da crista adjacente, propicia a formação de uma baixa fria. E este resultado concorda com o mecanismo de formação das baixas frias proposto por Kousky e Gan (1981) e com o modelo desenvolvido por Dias e Schubert (1979).

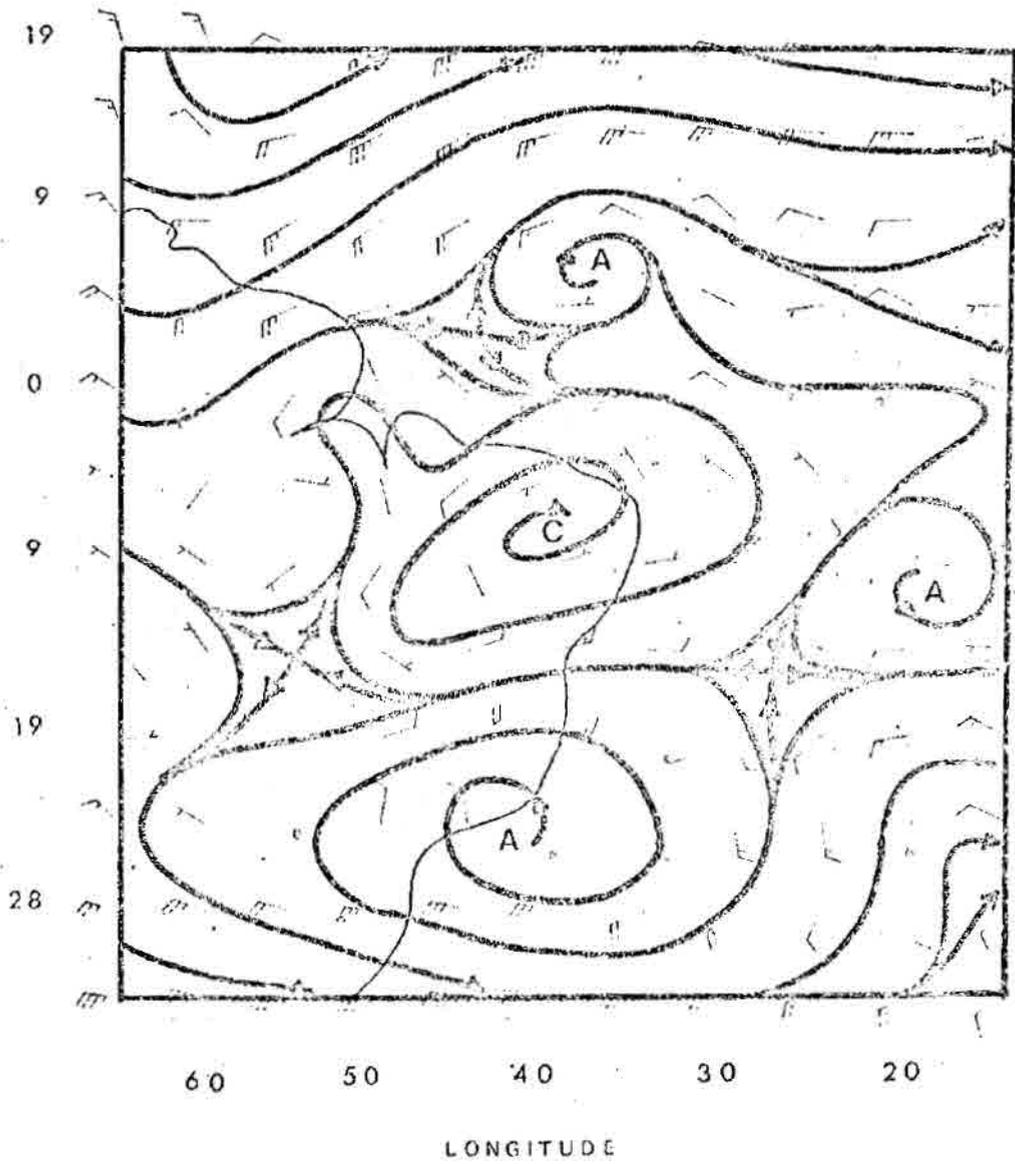
Todavia, nem todas as baixas frias formaram-se de maneira análoga à descrita neste capítulo; ocorreram casos como o da Figura 4.4, em que o vórtice ciclônico se fechou sem que houvesse um cavado de ar superior. Porém, como foi sugerido por Dean (1971) pode ser que a formação destas baixas frias esteja relacionada com a circulação média geral dos Hemisférios Norte e Sul. Segundo Dean, a diminuição dos ventos de leste na alta troposfera no Hemisfério Sul decorre da substituição destes por ventos de oeste vindos do Hemisfério Norte. À medida que os ventos penetram sobre o Nordeste do Brasil e o oceano Atlântico Sul, o vórtice ciclônico aparece em 200 mb e depois em 300 mb.



a) 21 de janeiro de 1978 à 0000 TMG

Fig. 4.5. - Linhas de corrente no nível de 200 mb.

(Continua)



b) 21 de janeiro de 1978 às 1200 TMG

Fig. 4.5 - Conclusão.

4.2 - DESLOCAMENTO E PERSISTÊNCIA

Os movimentos efetuados pelas baixas frias são de extrema importância para as previsões de tempo. No entanto, deve-se salientar que a dinâmica envolvida no deslocamento desses vórtices não é totalmente compreendida.

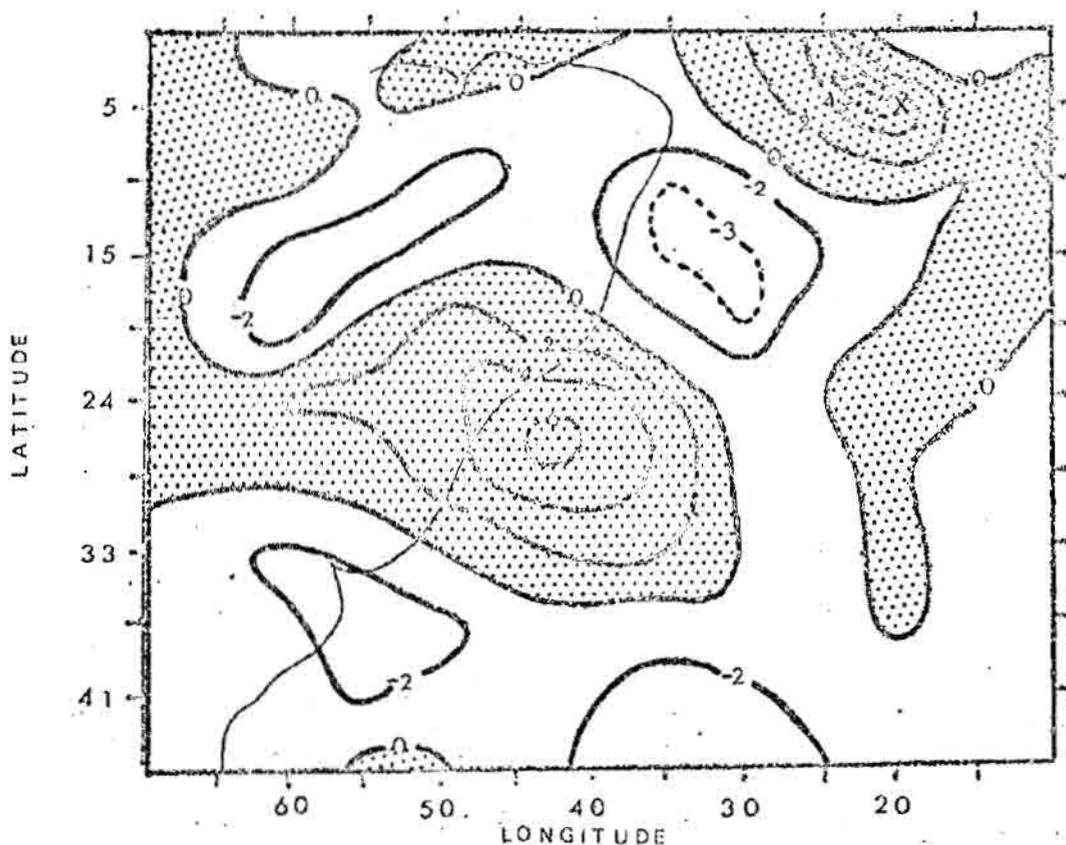
A abordagem deste assunto, inicialmente, deu-se analisando a trajetória de várias baixas frias. A partir dessas análises observou-se uma tendência, apesar de ser irregular, das baixas frias percorrerem uma trajetória circular anti-horária, iniciando o círculo no oceano no Atlântico Sul nas latitudes subtropicais; este resultado foi semelhante ao obtido por Frank (1966).

A Figura 1.3 mostra a trajetória de uma baixa fria formada no dia 26 de fevereiro de 1978, que perdurou até o dia 16 do mês seguinte. Nesta figura observa-se que o vórtice ciclônico desloca-se inicialmente para leste até atingir 25°W, adquirindo então orientação contrária, até penetrar no continente, onde devido ao aquecimento da superfície se dissipa (Kousky and Gan, 1981). Outro ponto a destacar nessa figura é a persistência da baixa fria por mais do que quinze dias, característica esta observada em várias baixas frias tratadas aqui e também pelos autores Ramage (1962) e Palmer (1951).

Com o objetivo de verificar a relação existente entre a baixa fria durante sua permanência e as características da circulação atmosférica na região da América do Sul, analisaram-se diagramas de esolinhas de coeficientes de correlação com defasagem no tempo. A obtenção desses diagramas deu-se através da metodologia descrita na seção 2.2, somente para as baixas frias que perduraram pelo menos duas semanas.

Estas análises são apresentadas para a baixa fria formada no dia 19 de janeiro de 1977, à qual permaneceu até o dia 2 de fevereiro (Figura 4.6). O período utilizado consiste nos quinze dias

em que a baixa fria esteve presente, acrescido de 6 dias, sendo 3 antes da formação do vórtice ciclônico e 3 após este haver se dissipado. Como ponto de referência escolheu-se, dentre aqueles próximos ao centro da baixa fria, o que possuía maior vorticidade relativa no dia da formação do vórtice, que foi o ponto 50S - 200W.

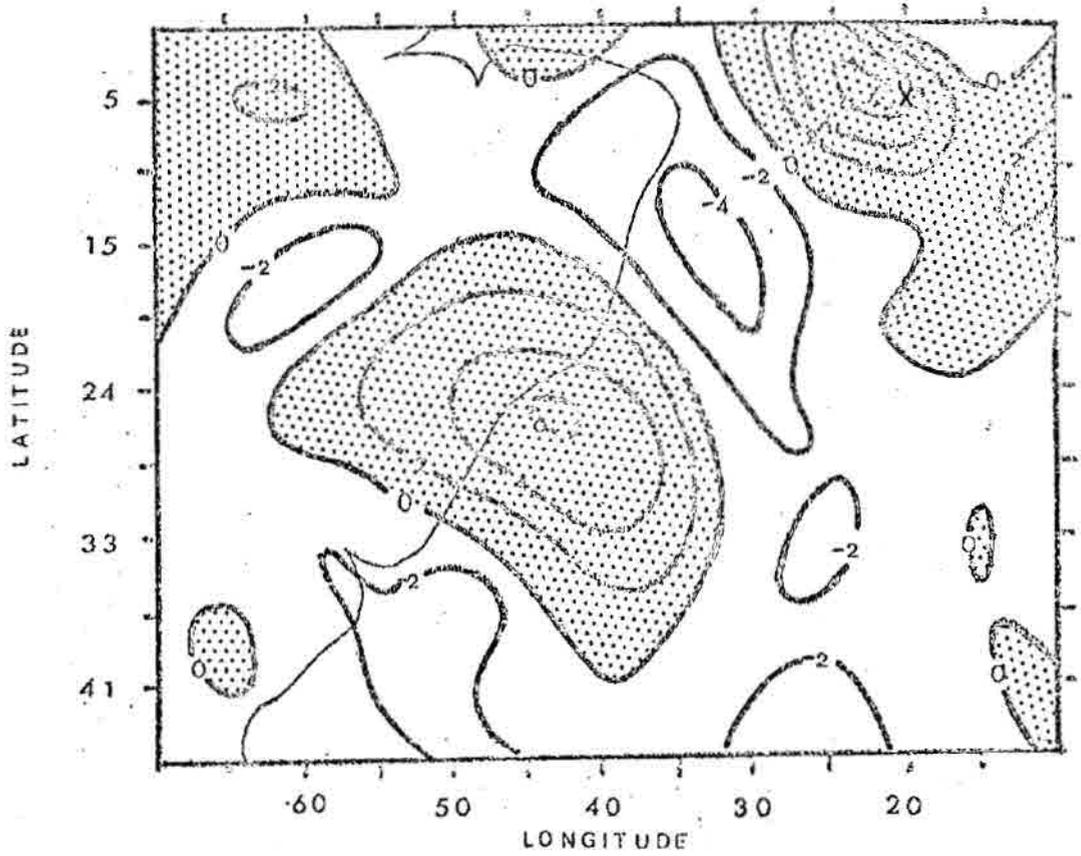


L = 1 dia.

Fig. 4.6 - Isolinhas de coeficientes de correlação para o nível de 200 mb, no período de 16 de janeiro de 1977 a 5 de fevereiro de 1977, com defasagem no tempo.

O ponto de referência é 50S-200W e as áreas positivas estão pontilhadas.

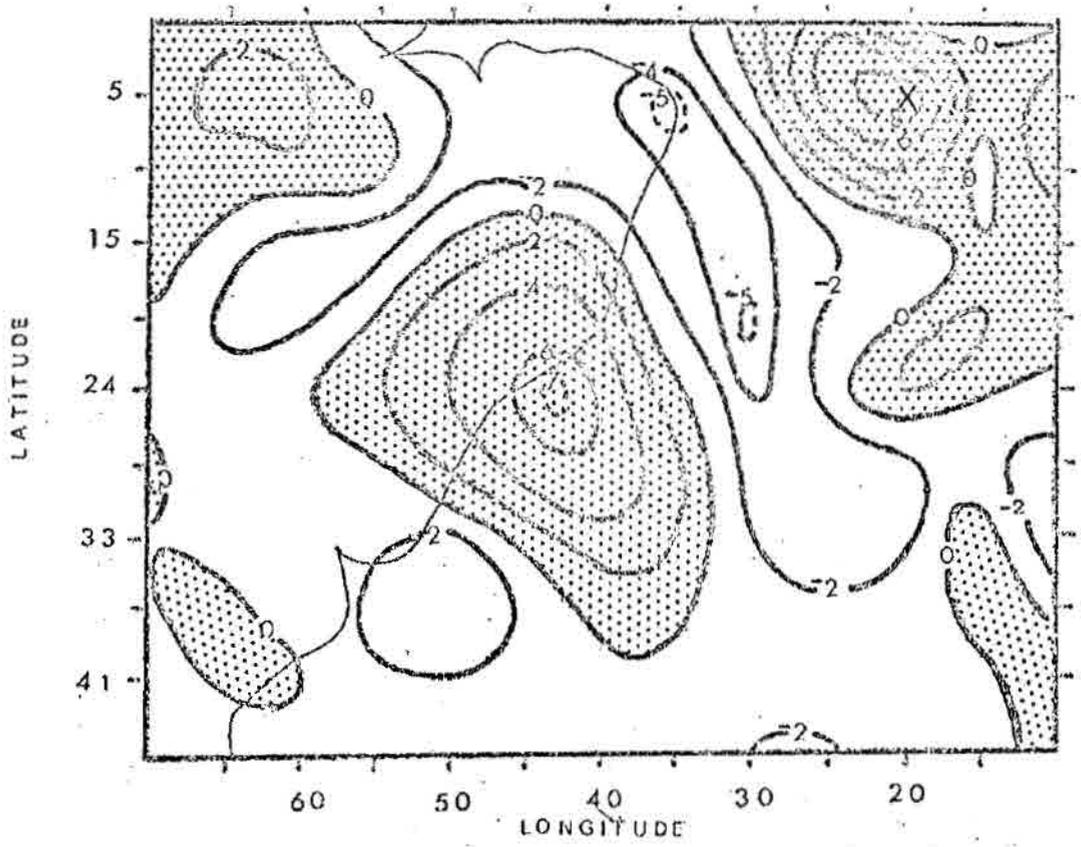
(Continua)



b) L = - 12 horas.

Fig. 4.6. - Continuação.

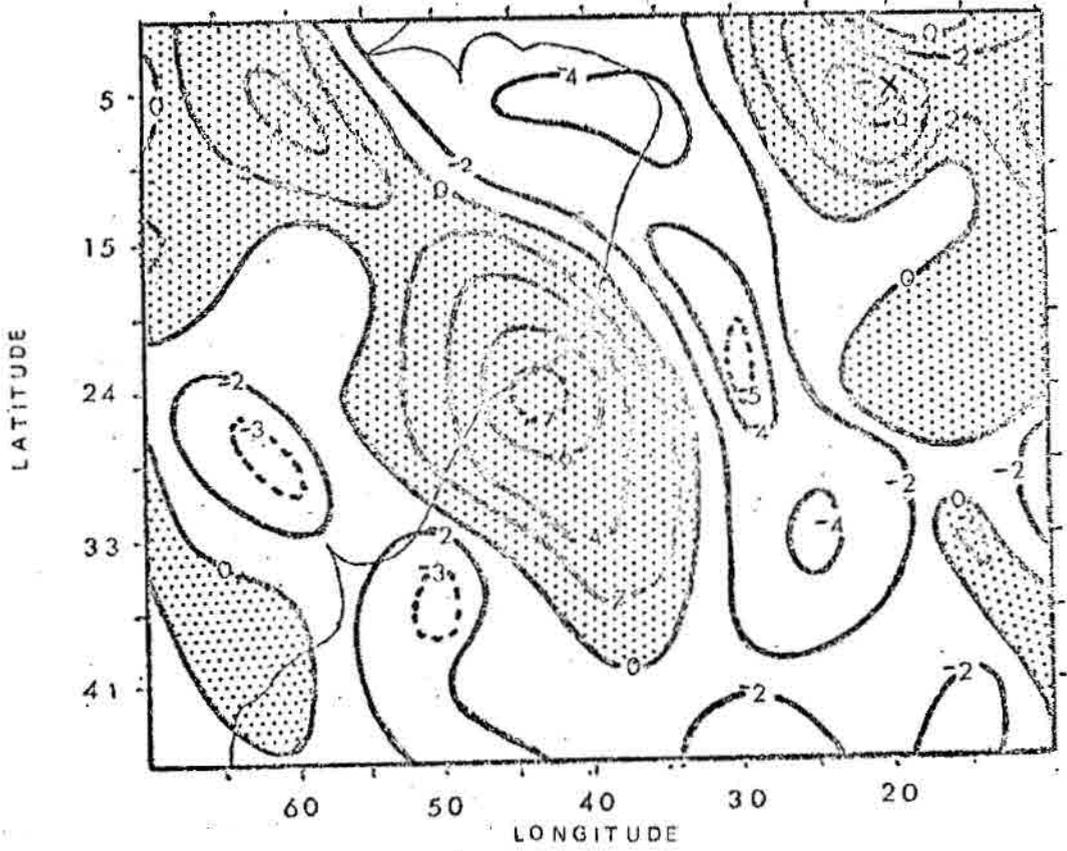
(Continua)



c) $L = 0$ dias.

Fig. 4.6. - Continuação.

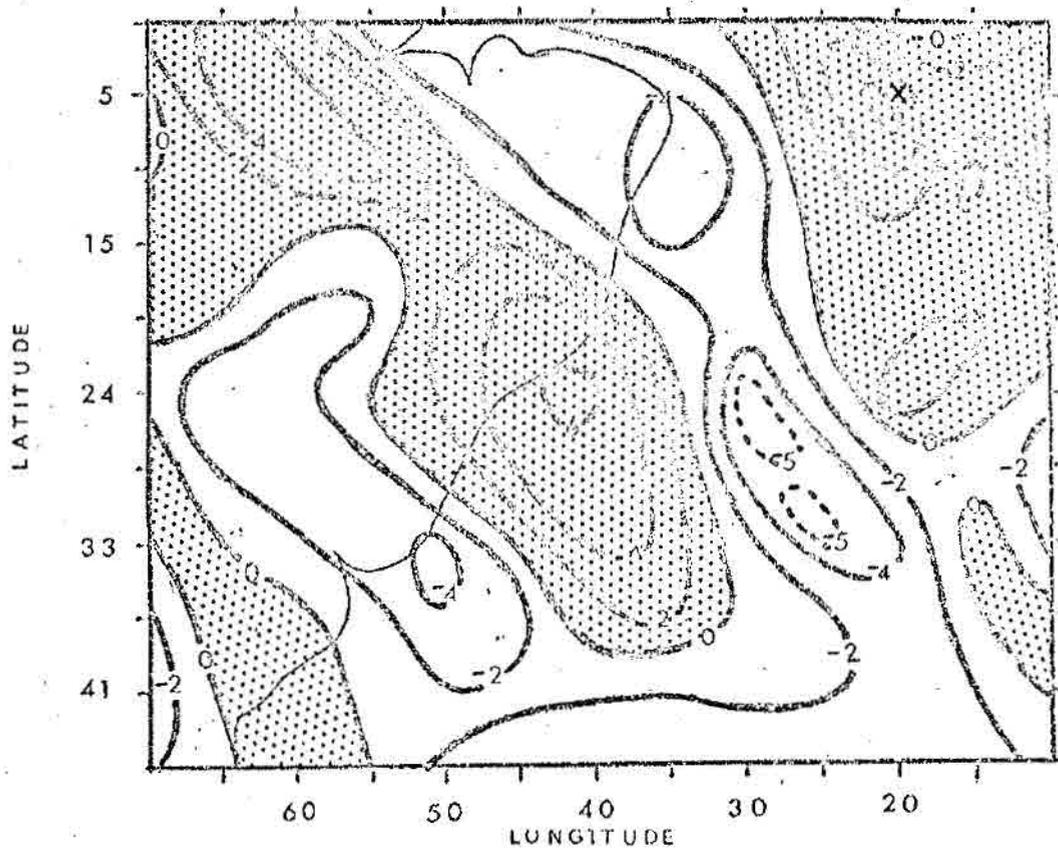
(Continua)



d) L = 12 horas.

Fig. 4.6. - Continuação.

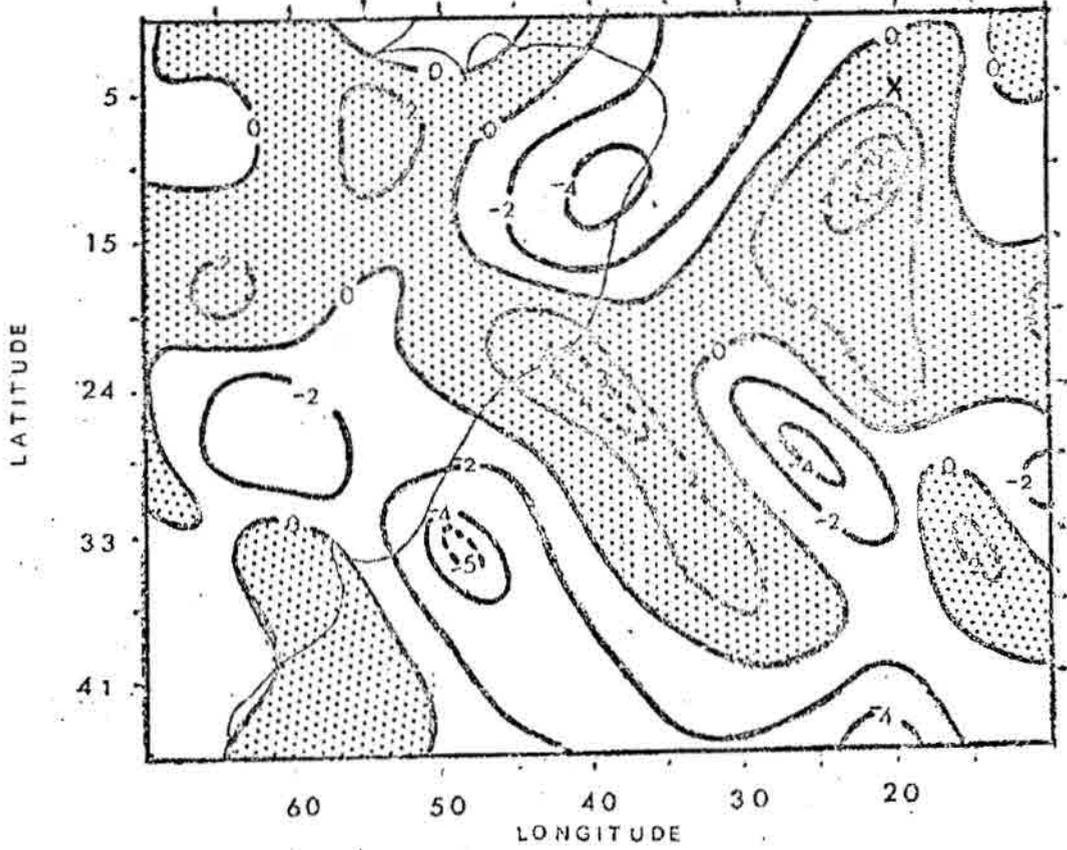
(Continua)



e) $L = 1$ dia.

Fig. 4.6. Continuação.

(Continua)



f) $L = 3$ dias.

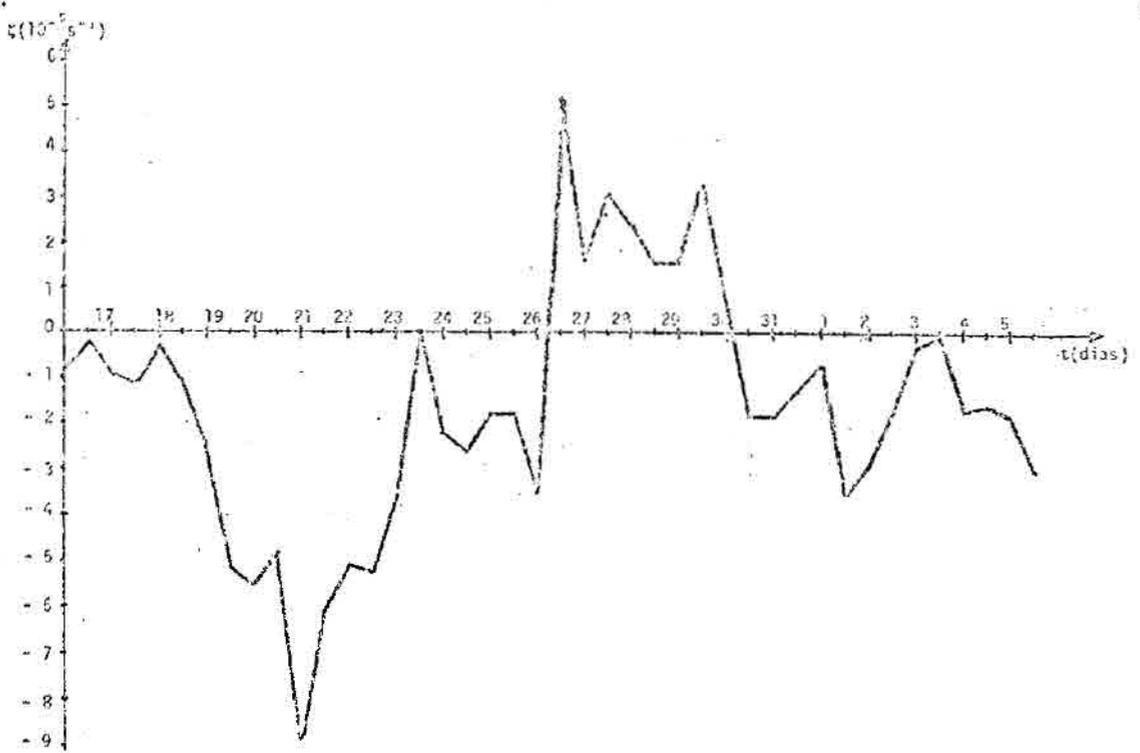
Fig. 4.6. - Conclusão.

Assim, correlacionou-se a vorticidade relativa desse ponto com as dos demais pontos da grade de 0° - $44,6^{\circ}$ S e 10° - 70° W, com defasagem no tempo (L) de 12 em 12 horas de $L = -5$ dias a $L = +5$ dias. Na Figura 4.6a, correspondente a $L = -1$ dia, observa-se que há uma correlação máxima (27° S - 42° W) a sudoeste do ponto de referência e uma mínima (15° S - 33° W) entre os dois máximos. Doze horas depois $L = -12$ horas (Figura 4.6b), tanto o mínimo como o máximo permaneceram em suas respectivas posições. Em $L = 0$ dias (Figura 4.6c) o ponto de mínimo dividiu-se em dois, um em 6° S - 35° W e outro em 20° S - 30° W. Os diagramas de $L = 12$ horas, $L = 1$ dia e $L = 3$ dias (Figuras 4.6d e 4.6f) assemelham-se ao de $L = 0$; no entanto, o máximo referente à região da baixa fria deslocou-se para o sul, mostrando assim o movimento sofrido pelo vórtice ciclônico.

Dos resultados obtidos acima, ressalta-se que as configurações obtidas nessas figuras variam lentamente de um diagrama para outro e suas características também são encontradas na maioria dos casos estudados.

Para verificar a permanência dos sistemas pertencentes a esses máximos e mínimos em suas regiões por vários dias, plotou-se a série em tempo da vorticidade relativa utilizada na obtenção dos coeficientes de correlação (Figura 4.7). Na Figura 4.7 a referente a série em tempo do ponto de referência (5° S - 20° W), observa-se que a vorticidade relativa entre os dias 18 e 23 toma valores negativos, sendo que após este período esta alterna-se em valores positivos e negativos. Isto mostra que a baixa fria manteve-se nessa região até o dia 23, quando deslocou-se para outro lugar. A vorticidade relativa dos pontos $24,2^{\circ}$ S - 30° W e $28,7^{\circ}$ S - 25° W (Figuras 4.7b e 4.7c) permaneceu, depois do dia 19, positiva por mais de 6 dias, mostrando desse modo a persistência da crista a sudoeste da baixa fria. Nos pontos $28,7^{\circ}$ S - 45° W e $33,0^{\circ}$ S - 40° W (Figuras 4.7d e 4.7e), nota-se que entre o dia 18 e 23 a vorticidade relativa manteve-se altamente ciclônica, estando portanto, o cavado de ar superior estacionário nessa região. Nas Figuras 4.7f e 4.7g relativas aos pontos $37,1^{\circ}$ S

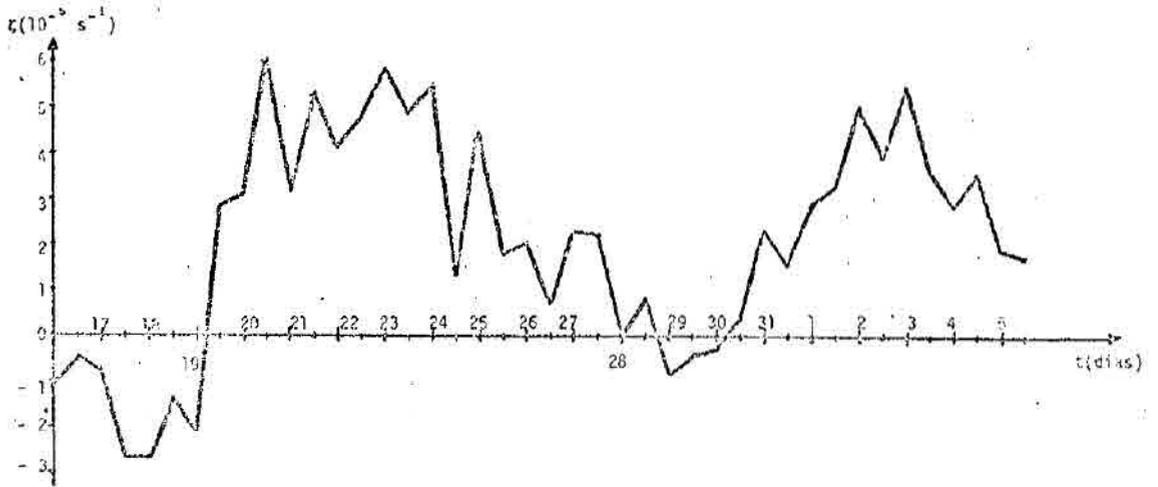
35°W e 33°S - 33°W, respectivamente, destaca-se a variação de sinal ocorrida na vorticidade relativa, com a existência da propagação dos cavados e das cristas. Desses resultados verifica-se que os sistemas localizados nas latitudes subtropicais permaneceram estacionários por vários dias, enquanto nas latitudes médias os sistemas deslocaram-se normalmente. Estas características são típicas de bloqueios de latitude subtropicais, como foi observado por Casarin (1983).



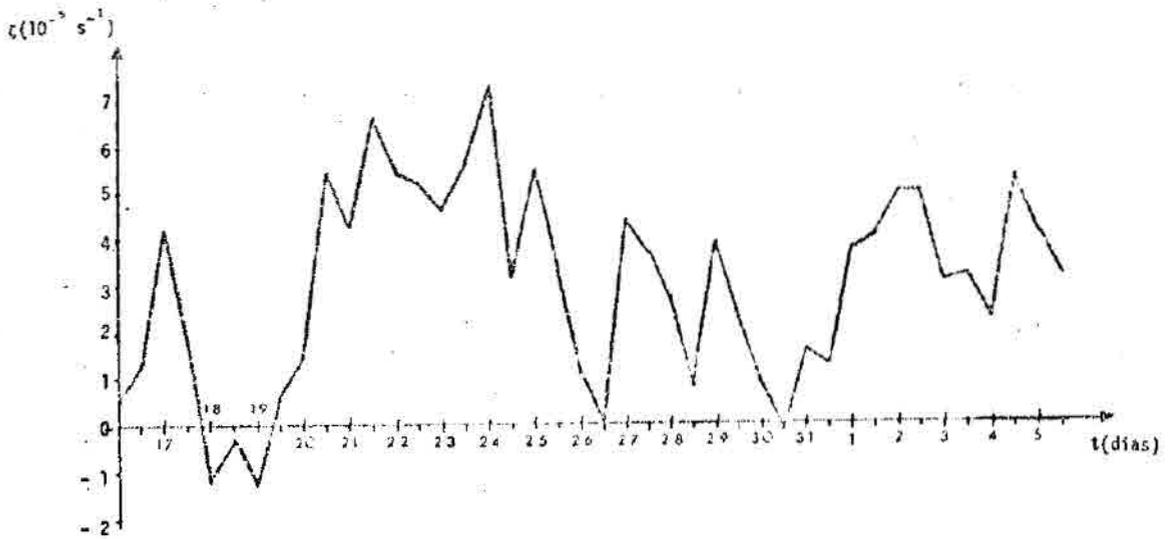
a) 50S - 20W

Fig. 4.7 - Gráficos de vorticidade relativa versus tempo para 16 de janeiro a 5 de fevereiro de 1977, no nível de 200 mb.

(Continua)



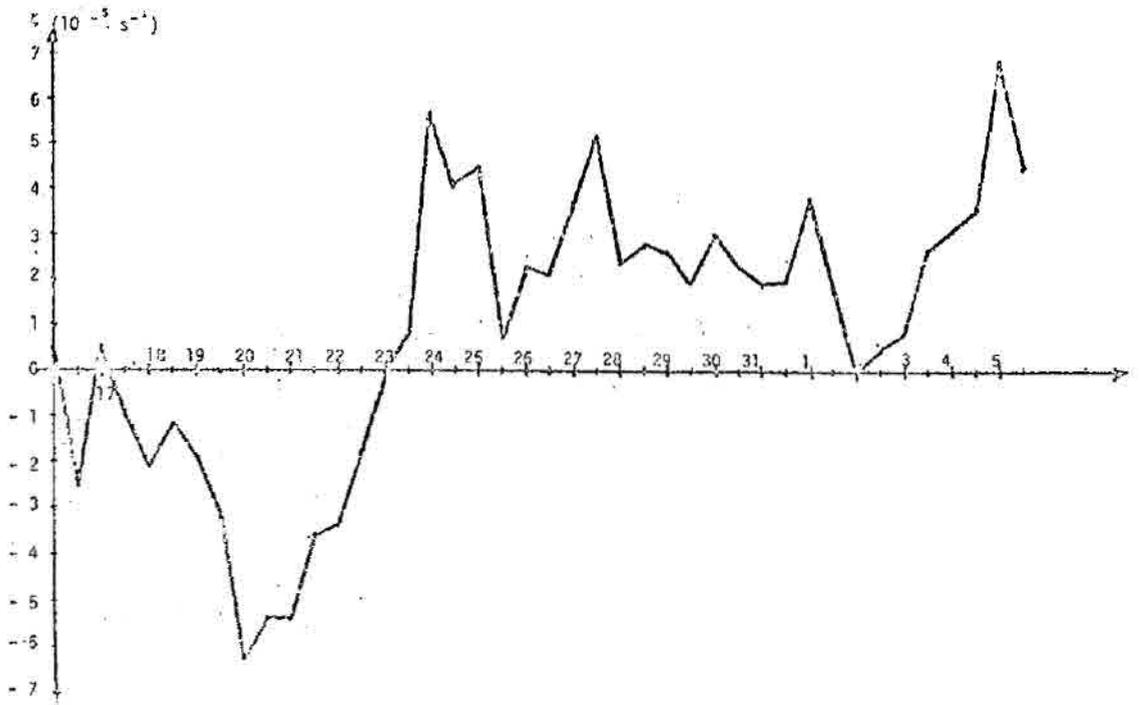
b) 24,20S - 300W.



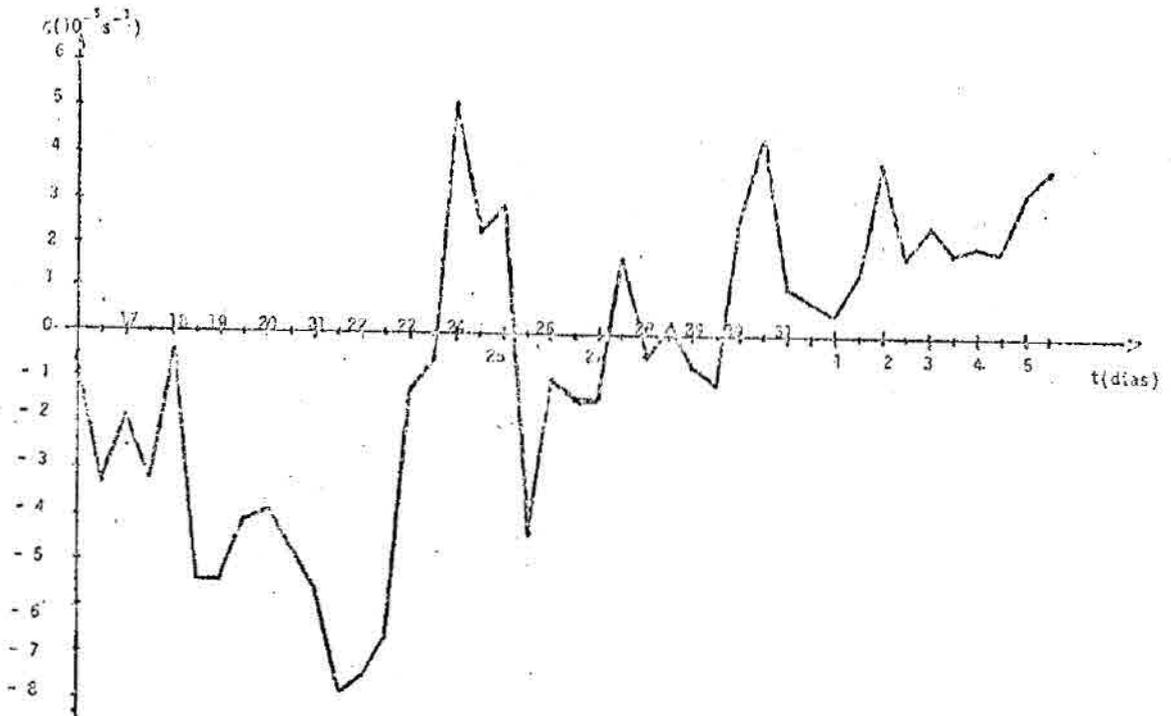
c) 280S - 250W.

Fig. 4.7. - Continuação.

(Continua)



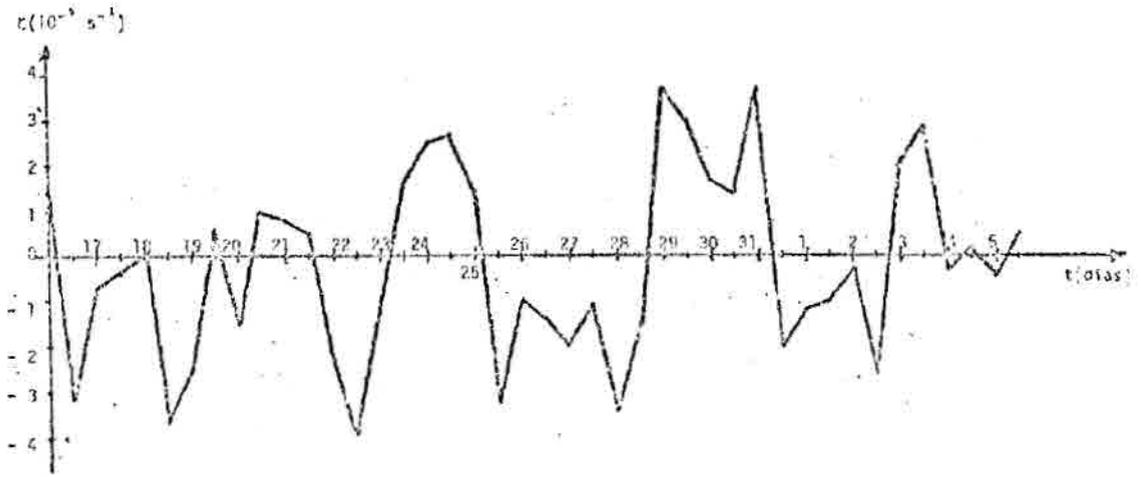
d) 280S - 450W.



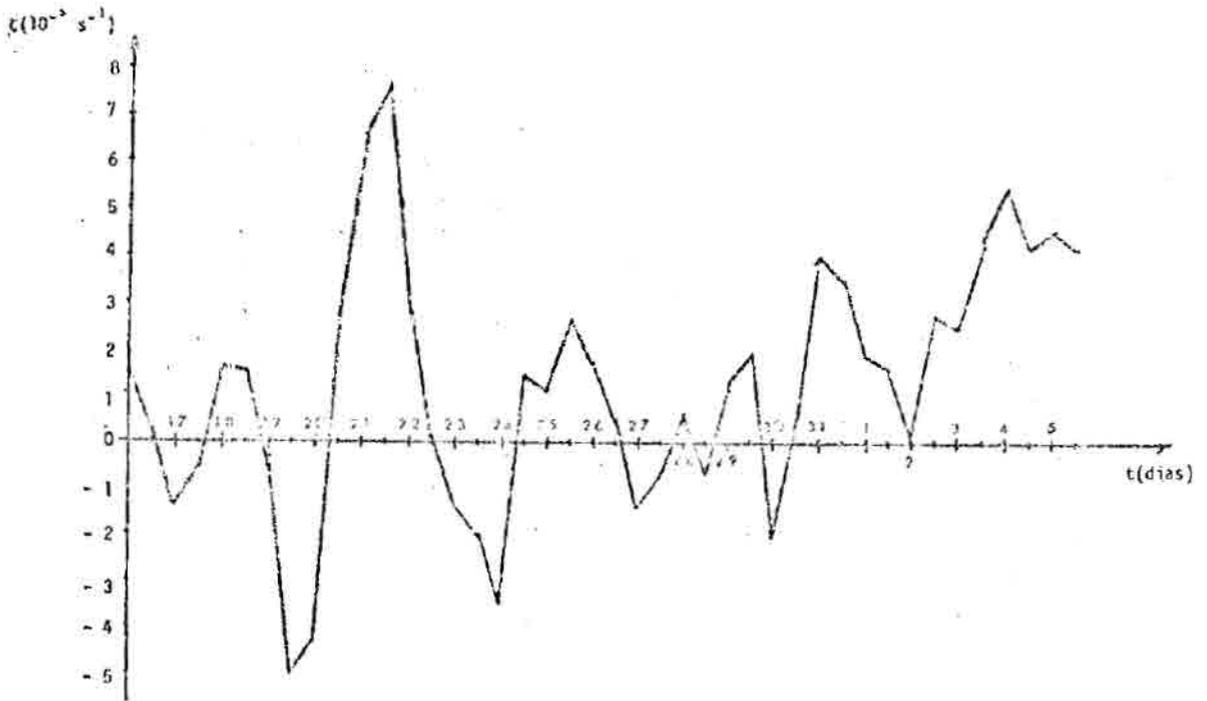
e) 330S - 400W.

Fig. 4.7. - Continuação.

(Contínua)



f) 370S - 350W



g) 330S - 300W

Fig. 4.7. - Conclusão.

Nesse ponto, julga-se necessário verificar quais os fatores dinâmicos importantes para o deslocamento das baixas frias; para isto, utiliza-se a equação da vorticidade na seguinte forma:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \underline{V} \cdot \underline{\nabla} (\zeta + f) + \omega \frac{\partial \zeta}{\partial t} = - (\zeta + f) \underline{\nabla} \cdot \underline{V} . \quad (4.2)$$

Desprezando-se o termo de advecção vertical da vorticidade relativa, $\omega(\partial \zeta / \partial p)$, pois em 200 mb $\omega \cong 0$, e resolvendo esta equação para $(\partial \zeta / \partial t)$, obtêm-se:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = A_{\zeta} - \beta v - (\zeta + f) \underline{\nabla} \cdot \underline{V} . \quad (4.3)$$

O lado esquerdo da Equação 4.3, $\partial \zeta / \partial t$, representa a mudança local da vorticidade relativa, ou, em outras palavras, este termo representa a soma do deslocamento e da intensificação do sistema. Os termos do lado direito interagem de tal maneira que o sistema se desloca e intensifica-se. Agora discute-se quantitativamente a contribuição de cada um destes termos:

- O termo da divergência, $-(\zeta + f) \underline{\nabla} \cdot \underline{V}$, provoca tendências positivas ($\partial \zeta / \partial t > 0$) no Hemisfério Sul quando houver divergência ($\underline{\nabla} \cdot \underline{V} > 0$) e negativas ($\partial \zeta / \partial t < 0$) quando ocorrer convergência ($\underline{\nabla} \cdot \underline{V} < 0$). Geralmente, os cavados e as cristas de ar superior movem-se para leste nas latitudes médias. Associado a estes sistemas, observa-se divergência a jusante do cavado e convergência na frente da crista. Nestes casos, o termo da divergência atua como freio no deslocamento para leste. Assim, o deslocamento devido à divergência é para oeste.
- O termo beta, $-\beta v$, resulta em tendências positivas quando a componente meridional do vento, v , for negativa, isto ocorrendo na frente do cavado. Assim este termo age da mesma forma que o da divergência.
- O único termo que resta é o da advecção de vorticidade relativa A_{ζ} . Este resulta em tendências positivas quando $A_{\zeta} < 0$, ocor

rendo à jusante da crista. Desse modo, este termo provoca um deslocamento dos sistemas para leste.

Deve-se avaliar a contribuição de cada um desses três termos nos movimentos das baixas frias. Calculou-se, então, estes termos para vários casos, e os resultados referentes à baixa fria situada em 38°W-20°S no dia 1 de março de 1978, com deslocamento para leste, são apresentados na Figura 4.8. Nesses diagramas, o termo advecção de vorticidade relativa (Figura 4.8 a) contribui com uma tendência positiva (45°W-15°S) a noroeste da baixa fria e uma negativa (30°W-10°S) a noroeste. O termo beta (Figura 4.8 b) possui tendências negativas a noroeste (45°W-15°S) do vórtice, e fraca tendência positiva a leste. Enquanto o termo da divergência apresenta tendências positivas próximas ao centro (41°W-20°S) da baixa fria e negativas a sudeste (24,2°S-35°W). Porém estes três termos são da mesma ordem de grandeza, dificultando assim a avaliação do termo que teve maior contribuição no deslocamento da baixa fria. Todavia, na Figura 4.8 d, observa-se que a configuração entre 0° e 20°S é semelhante à do termo de advecção de vorticidade relativa (Figura 4.8 a), e ao sul desta região ela é semelhante à do termo da divergência (Figura 4.8 c). Entretanto, deve-se salientar que os dados utilizados não fornecem bons resultados ao calcular o campo da divergência. Desse modo, o termo da divergência não inspira confiança e, portanto, os resultados obtidos com este termo devem ser relegados a segundo plano.

A Figura 4.9 apresenta a análise desses termos para a baixa fria situada em torno de 11°S-34°W no dia 11 de março de 1978, com deslocamento para oeste. Nestes diagramas, os resultados assemelham-se ao caso anterior, porém o termo beta (Figura 4.9 b) e o da divergência (Figura 4.9 c) possuem tendências maiores do que as do termo de advecção de vorticidade relativa (Figura 4.9 a). Então estes termos predominam no cálculo do termo da tendência (Figura 4.9 d) e, portanto, favorecem o deslocamento da baixa fria para oeste.

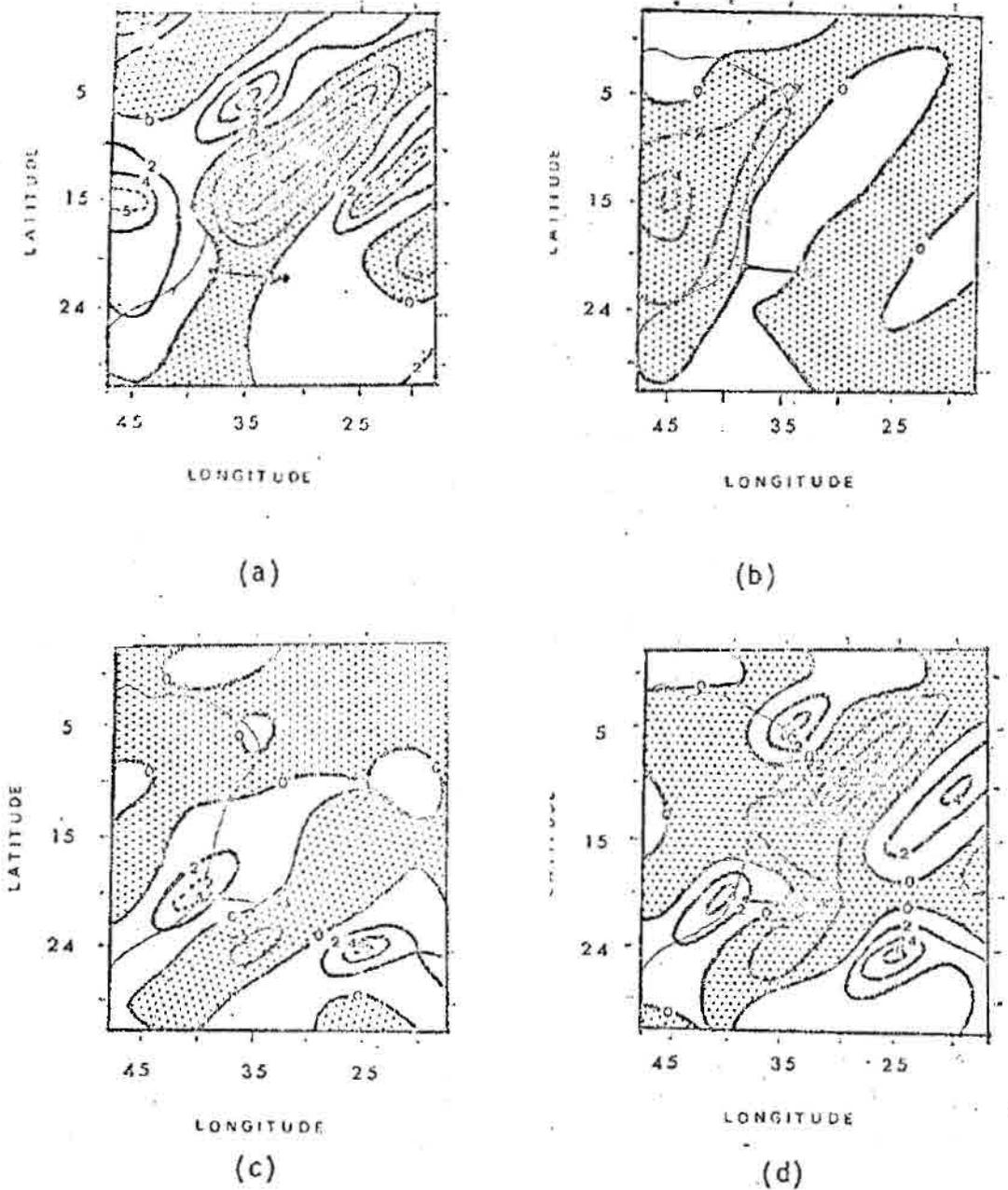
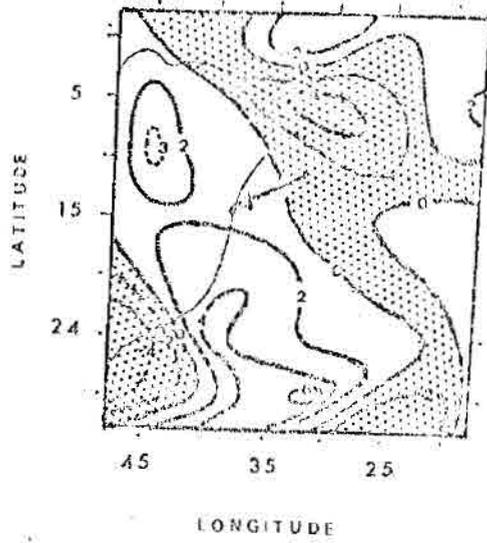
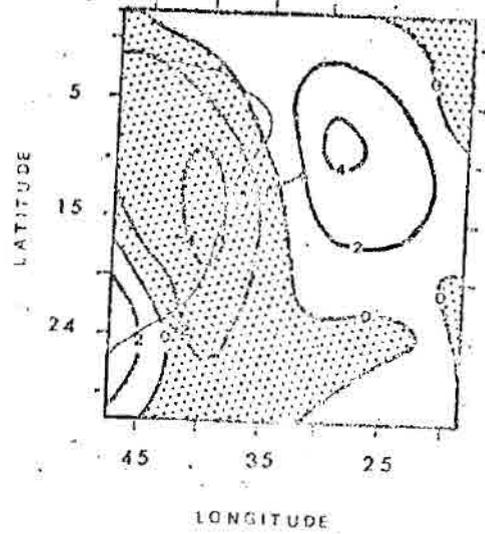


Fig. 4.8 - Seção longitude versus latitude (10^{-10} s^{-2}) para o dia 1 de março de 1978, no nível de 200 mb.

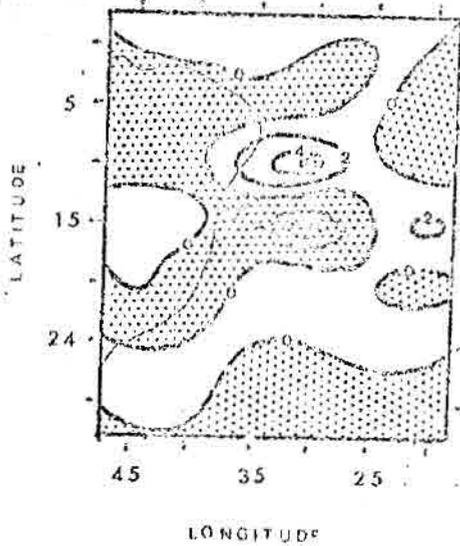
A seta indica o deslocamento sofrido pela baixa fria nas 24 horas seguintes e as linhas pontilhadas as áreas negativas: a) termo de advecção horizontal da vorticidade relativa, b) termo beta, c) termo da divergência; d) termo da tendência.



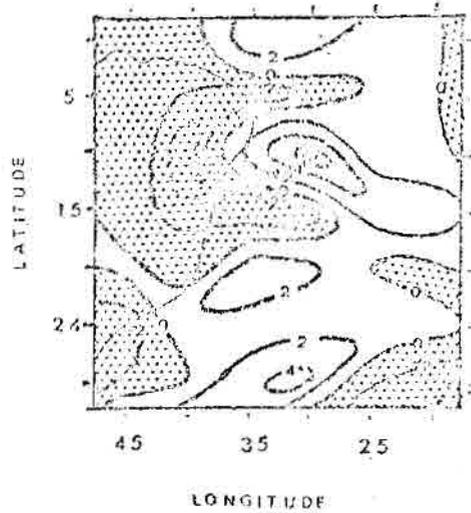
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4.9 - Seção longitude versus latitude (10^{-10} s^{-2}) para o dia 11 de março de 1978, no nível de 200 mb.

A seta indica o deslocamento sofrido pela baixa fria nas 24 horas seguintes e as linhas pontilhadas as áreas negativas: a) termo de advecção horizontal da vorticidade relativa, b) termo beta, c) termo da divergência, d) termo da tendência.

Em vista da qualidade dos dados, não foi possível uma avaliação precisa dos termos mais importantes no deslocamento das baixas frias. Entretanto, acredita-se que a baixa fria ao permanecer ligada ao escoamento das latitudes médias, estará sujeita à advecção de vorticidade relativa, e sua circulação não será simétrica. Nesse caso, o termo predominante deverá ser o advecção de vorticidade relativa e, portanto, o vórtice ciclônico deslocar-se-á para leste. Entrementes, quando este vórtice estiver completamente desprendido do escoamento das latitudes médias, a baixa fria possuirá circulação simétrica, e a advecção de vorticidade planetária predominará sobre a relativa. Assim prevalece o termo beta; logo, a baixa fria terá orientação para leste.

4.3 - MANUTENÇÃO

A manutenção de um vórtice ciclônico nos altos níveis com centro frio é um problema discutível, pois os movimentos descendentes, na região central, contribuem com o aquecimento adiabático para eliminar o gradiente térmico horizontal. Uma explicação para este processo é que o aquecimento adiabático pode ser compensado pelas perdas radiativas e havendo liberação de calor latente pelos cumulonimbus, na periferia da baixa fria, o gradiente térmico horizontal poderá ser mantido (Kousky and Gan, 1981). Porém, quando as baixas frias são secas, esta hipótese não é válida. Um ponto indiscutível é que a circulação da baixa fria é direta, isto é, a energia potencial disponível é convertida em energia cinética (Frank, 1970). Entretanto, desconhece-se ainda, a fonte geradora de energia potencial disponível.

Com anomalia de temperatura (T'), procurou-se observar as variações do campo de temperatura durante a vida de uma baixa fria, calculadas através da Equação 4.3:

$$T' = T - \bar{T}, \quad (4.3)$$

onde \bar{T} é a temperatura média para a grade de 20° - 50° W e 0° - 29° S em todos os dias em que a baixa fria esteve presente.

As Figuras 4.10 e 4.11 mostram estas análises para o nível de 300mb. Em 26 de fevereiro de 1978 às 0000 TMG (Figura 4.10a) observa-se que há uma região de anomalias negativas penetrando nos trópicos próximo à costa leste da América do Sul. No horário de 1200 TMG (Figura 4.10b) há um centro de máxima anomalia negativa em 35° - 24° S, que representa o vórtice ciclônico fechado.

Na Figura 4.11a, referente ao dia 6 de março de 1978 às 0000 TMG, têm-se dois centros de máximas anomalias negativas, um relacionado a um cavado de ar superior próximo a 47° W- 29° S e outro a baixa em 26° W- 14° S. Doze horas posteriores a este fato (Figura 4.11b) a região entre estes dois máximos resfriou-se; então, pode-se dizer que o cavado de ar superior estava fornecendo ar frio para a baixa fria. Este transporte de ar frio, do cavado para a baixa fria, seria uma provável explicação para a manutenção desta, pois o ar frio penetrando no vórtice aumenta o gradiente térmico horizontal entre o centro e a periferia.

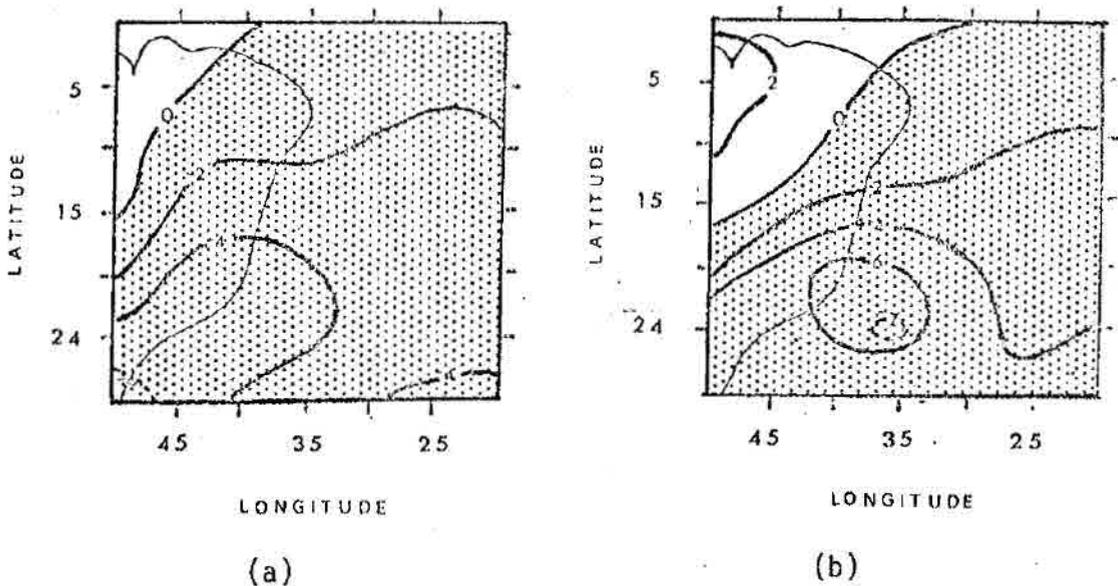
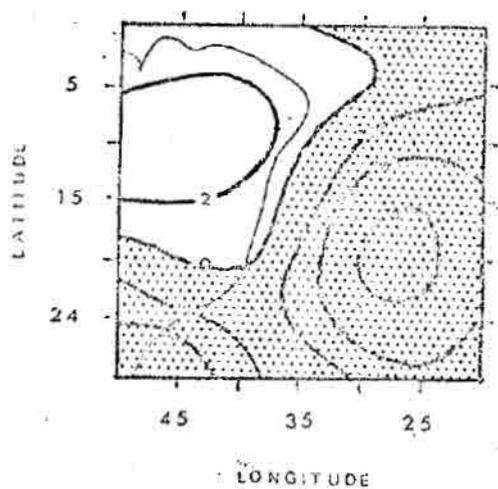
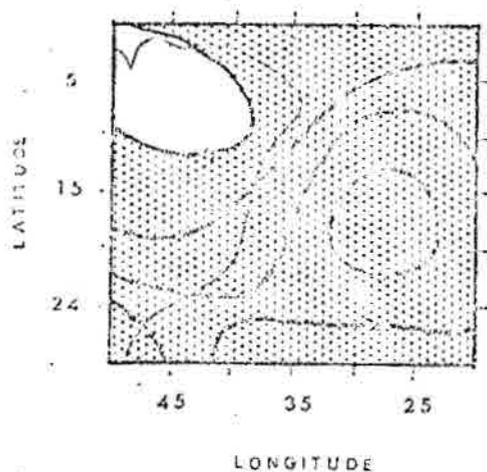


Fig. 4.10 - Anomalias de temperatura ($^{\circ}$ C) para o nível de 300mb, no dia 26 de fevereiro de 1978 às: a) 0000 TMG; b) 1200 TMG.



(a)



(b)

Fig. 4.11 - Anomalias de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) para o nvel de 300 mb, no dia 6 de maro de 1978 as: a) 0000 TMG; b) 1200 TMG.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

Ao longo deste trabalho destacaram-se alguns pontos importantes, tais como:

- A maior incidência de formação de baixas frias úmidas, surgidas no oceano Atlântico Sul e na costa leste do Brasil, ocorre no verão em virtude do escoamento na região da América do Sul, no nível de 200 mb (Figura 4.1).
- A ocorrência de uma intensificação de um cavado de ar superior, com posterior intensificação da crista corrente abaixo, propicia a formação da baixa fria. Conclui-se, então, que a gênese destes vórtices está relacionada com a propagação de energia de onda no sentido SW - NE.
- A permanência de uma baixa fria numa determinada região, acompa^{nh}ada por uma crista a sudoeste, possui uma configuração típica de bloqueios de latitudes subtropicais.
- As baixas frias ao se posicionarem nas latitudes subtropicais permanecem ligadas ao escoamento das latitudes médias, por isto sua circulação não é simétrica e elas estão sujeitas à advecção de vorticidade relativa. Nestes casos, o termo predominante na Equação 5.3 é o de advecção de vorticidade relativa; logo as baixas frias deslocam-se para leste. No entanto, quando estas percorrem latitudes mais baixas, desprendem-se completamente do escoamento das latitudes médias, e sua circulação tende a ser simétrica e a advecção de vorticidade planetária prevalece sobre a relativa. Em vista disto, o termo beta predomina e elas orientam-se para oeste. Esta trajetória de leste permanece até que um cavado de ar superior penetre nos subtrópicos; nesta ocasião a baixa fria tende a se aproximar do cavado, deslocando

se para o sul até que ele a absorva (Ramage, 1962; Simpson, 1952). Em certas ocasiões, quando as baixas frias penetram no continente não completam esta trajetória, pois devido ao aquecimento na superfície elas se dissipam (Kousky and Gan, 1981).

- O fornecimento de ar frio por um cavado de ar superior para uma baixa fria é uma maneira de mantê-la ativa por mais tempo.

Finalizando, sugere-se abaixo alguns tópicos possíveis de investigações em trabalhos futuros:

- efetuar um estudo climatológico para as baixas frias secas;
- avaliar as influências das baixas frias no clima do Brasil;
- investigar o deslocamento das baixas frias, com o uso de modelos numéricos simples.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÃO, J.O. *Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil*. Tese de mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 1975. (INPE-789-TPT/017).
- BJERKNES, J. Extratropical cyclones. In: AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY. *Compendium of meteorological*. Boston, MA, 1951. p. 577-598.
- CARLSON, T.N. Structure of a steady-state cold low. *Monthly Weather Review*, 95(11):763-777, Nov. 1967.
- CASARIN, D.P. *Um estudo observacional sobre sistemas de bloqueios no hemisfério sul*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 1983. (no prelo).
- DEAN, G.A. *The three dimensional wind structure over South America and associated rainfall over Brasil*. São José dos Campos, INPE, 1971. (LAFE-164).
- DIAS, P.L.S.; SCHUBERT, W.H. *The dynamics of equatorial mass - flow adjustment*. Fort Collins, CO, Department of Atmospheric Science Colorado State University, 1979. 203 p.
- ERICKSON, C.O. Diagnostic study of a tropical disturbance. *Monthly Weather Review*, 99(1):67-79, Jan. 1971.
- FRANK, N.L. On the energetics of cold lows. *Proceedings of the Symposium on Tropical Meteorology*, American Meteorological Society, EIV I-EIV 6, June 1970.
- *The weather distribution with upper tropospheric cold lows in the tropics*. U.S. Weather Bureau, Southern Region, Oct. 1966. (Technical Memorandum nº 28).
- HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 103(1):77-92, Jan. 1977.
- KOUSKY, V.E. Frontal influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 107(9):1140-1153, Sept. 1979.

- KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, 33(6):538-551, Dec. 1981.
- KOUSKY, V.E.; MOLION, L.C.B. *Uma contribuição à climatologia dinâmica da atmosfera sobre a Amazônia*. São José dos Campos, INPE, mar. 1981. (INPE-2030-RPI/050).
- MARKHAN, C.G.; MACLAIN, D.R. Sea surface temperature related to rain in Ceará, North-Eastern Brazil. *Nature*, 265(5592):320-323, Jan. 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, Dec. 1981.
- NAMIAS, J. Influence of Northern Hemisphere general circulation on drought in Northeast Brazil. *Tellus*, 24(4):336-342, Apr. 1972.
- NEWELL, R.E.; KIDSON, J.W.; VICENTE, D.G.; BOER, G.J. Mean temperature and wind fields. In: ——— *The general circulation of the tropical atmosphere and interactions with extratropical latitudes*. Cambridge, Massachusetts Institute of Technology Press, 1972. v. I, cap. 3, p. 37-46.
- PALMÉN, E. Origin and structure of high-level cyclones south of the maximum westerlies. *Tellus*, 1(sf):22-31, 1949.
- PALMÉN, E.; NEWTON, C.W. Three dimensional flow patterns in extratropical disturbances. In: ——— *Atmospheric circulations systems*. New York, Academic Press, 1969. cap. 10, p. 274-278.
- PALMER, C.E. On high-level cyclones originating in the tropics. *Transactions of American Geophysics Union*, 32(5):683-695, Oct. 1951.
- PANOFSKY, H.A.; BRIER, G.W. Time series. In: ——— *Some applications of statistics to meteorology*. Pennsylvania University Park. College of Mineral Industries, 1968. cap. 6, p. 153-1555.
- RAMAGE, C.S. The tropical cyclone. *Journal of Geophysical Research*, 67(4):1401-1411, Apr. 1962.

- RAMOS, R.P.L. Precipitation characteristics in the Northeast Brazil dry region. *Journal of Geophysical Research*, 80(12):1665-1678, Apr. 1975.
- RATISBONA, C.R. The climate of Brazil. In: SCHWERDTFEGER, W., ed. *Climates of Central and South America*. Amsterdam, Elsevier, 1976. p. 219-293. (World Survey of Climatology v. 12).
- RIEHL, H. Venezuelan rain systems and the general circulation of the summer tropics II: Relations between low and high latitudes. *Monthly Weather Review*, 105(11):1421-1433, Nov. 1977.
- RIEHL, H.; MILLER, A.H. Differences between morning and evening temperatures of cloud tops over tropical continents and oceans. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 104(441): 757-764, July 1978.
- SIMPSON, R.H. Evolution of the Kona Storm, a subtropical cyclone. *Journal of Meteorology*, 9(sf):24-35, 1952.
- VIRGI, H. A preliminary study of summertime tropospheric circulation pattern over South America estimated from cloud winds. *Monthly Weather Review*, 109(3):599-610, Mar. 1981.

