

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

INFLUÊNCIAS DE ZONAS DE CONVERGÊNCIA NA
ORGANIZAÇÃO DA CONVECÇÃO TROPICAL SOBRE O NORDESTE
DO BRASIL

CARLOS IBSEN VIANNA LACAVAL

Dissertação de Mestrado em Meteorologia, orientada
pelo Dr. Nelson Jesus Ferreira e co-orientada pela Msc.
Zenaide Rosa Sobral.

São Paulo - SP

Agosto de 1995



L128i Lacava, Carlos Ibsen Vianna.
Influências de zonas de convergência na organização da convecção tropical sobre o nordeste do Brasil / Carlos Ibsen Vianna lacava. - Campina Grande, 1995.
117 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1995.
Referências.
"Orientação : Prof. Dr. Nelson Jesus Ferreira, Prof^a. M.Sc. Zenaide Rosa Sobral".

1. Climatologia - Nordeste - Brasil. 2. Nebulosidade. 3. Convecção Tropical. 4. Meteorologia. 5. Dissertação - Meteorologia. I. Ferreira, Nelson Jesus. II. Sobral, Zenaide Rosa. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 551.58(812/814)(043)

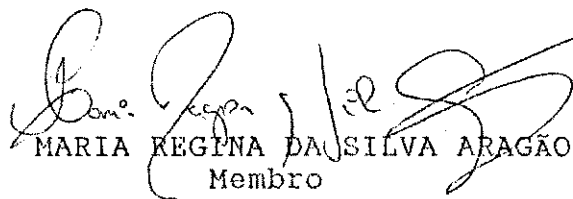
INFLUÊNCIAS DE ZONAS DE CONVERGÊNCIA NA ORGANIZAÇÃO DA CONVECÇÃO
TROPICAL SOBRE O NORDESTE DO BRASIL


CARLOS IBSEN VIANNA LACAVAL

DISSERTAÇÃO APROVADA COM DISTINÇÃO EM 16/03/95


NELSON JESUS FERREIRA
Orientador


ZENAIDE ROSA SOBRAL
Co-Orientadora


MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO
Membro


JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO
Membro

CAMPINA GRANDE
MARÇO - 1995

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Nelson Jesus Ferreira, pelo incentivo, persistência e orientação, que resultaram numa contribuição fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

A Msc. Zenaide Rosa Sobral pela colaboração e apoio recebidos.

Aos demais membros da banca examinadora pelas sugestões que resultaram no aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao Departamento de Ciências Atmosféricas, da Universidade Federal da Paraíba, e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, pelos recursos disponibilizados durante o Curso de Mestrado.

Aos colegas Mário Francisco Leal de Quadro, Dirce Maria Pellegatti Franco e Maria Elisa Sampaio e Silva pela amizade e pela colaboração fornecida durante a realização deste trabalho.

Aos companheiros e amigos da Universidade Federal da Paraíba, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, e da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, com os quais tive o prazer de conviver durante o período do Mestrado, e que tanto contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

Aos contribuintes brasileiros, pelos recursos fornecidos durante o Curso de Mestrado.

E, em especial a minha família, pelo incentivo, apoio, amizade e compreensão que tenho recebido durante toda a minha vida.

RESUMO

Este trabalho investiga a atuação de faixas de nebulosidade convectiva (FxNC) organizadas, associadas às zonas de convergência em baixos níveis sobre a Região Nordeste do Brasil (NE). O estudo foi dividido em duas partes: a) climatologia dos eventos utilizando seis anos de imagens de satélites meteorológicos; e b) estudo de casos utilizando dados meteorológicos convencionais e análises numéricas do European Centre for Medium Range and Weather Forecasts" (ECMWF). O estudo climatológico revela dois tipos principais de configuração da FxNC; o primeiro, classificado como tipo A está associado à zonas de convergência formadas pela atuação de vórtices ciclônicos ou sistemas frontais que atinjam o sul do NE. O segundo padrão (tipo S) forma-se pela interação entre sistemas frontais e vórtices ciclônicos em altos níveis sobre o Oceano Atlântico, a leste do NE. Os resultados obtidos a partir do estudo de casos revelam que: (i) existem padrões de circulação em baixos e altos níveis associados a cada um dos tipos de configuração da FxNC; (ii) precipitação significativa é observada quando da ocorrência de tais eventos; (iii) o mecanismo de Instabilidade Condicional de Segundo Tipo (CISK), avaliado a partir dos campos de divergência do fluxo de umidade e de temperatura potencial equivalente, contribui para a manutenção da FxNC.

ABSTRACT

This work analyses the role of convective cloud bands (CCB) associated with low level convergence zones in the Northeast Brazil Region (NE). The study is divided in two parts: a) climatology of synoptic situations using six years of meteorological satellite pictures; and b) case studies using conventional meteorological data and meteorological analysis from the European Centre for Medium Range and Weather Forecasts (ECMWF) data set. The climatological analysis shows two main patterns of CCB; the first one classified as type A, is associated with convergence zones due to cyclonic vortex or frontal systems reaching the southern NE. The second pattern (type S) results from interactions between frontal systems and upper levels cyclonic vortex over the Atlantic Ocean, east of NE. The results from the case studies shows that: (i) at high and low levels there are distinct patterns of atmospheric circulation for each CCB patterns; (ii) significant rainfall amount is observed in the region during the episodes; (iii) the Conditional Instability of Second Kind helps the maintenance of CCB.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xi
LISTA DE SIGLAS.....	xii
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</u>	1
<u>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</u>	7
<u>CAPÍTULO 3 - DADOS E METODOLOGIA.....</u>	19
<u>CAPÍTULO 4 - CLIMATOLOGIA.....</u>	22
<u>CAPÍTULO 5 - ESTUDO DE CASOS SELECIONADOS.....</u>	37
5.1 - Caso Ocorrido de 03 a 09 de Dezembro de 1988.....	38
5.1.1 - Análise da Situação Sinótica em Superfície.....	38
5.1.2 - Análise das Imagens de Satélite.....	40
5.1.3 - Análise da Precipitação.....	45
5.1.4 - Análise de Altitude.....	46
5.2 - Caso Ocorrido de 14 a 19 de Dezembro de 1988.....	72
5.2.1 - Análise das Imagens de Satélite.....	72
5.2.2 - Análise da Precipitação.....	76
5.2.3 - Análise de Altitude.....	77
5.3 - Caso Ocorrido de 27 de Nov. a 02 de Dez 1987.....	93
5.3.1 - Análise das Imagens de Satélite.....	94
5.3.2 - Análise do Campo de Vento.....	94
<u>CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....</u>	99
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u>	103
<u>APÊNDICE A.....</u>	114
<u>APÊNDICE B.....</u>	115
<u>APÊNDICE C.....</u>	116
<u>APÊNDICE D.....</u>	117

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Fig.1.1 - Valores climatológicos pentadais de Radiação de Onda Longa Emergente (W/m^2) de (a)27 de novembro a 01 de dezembro (b)16 a 20 de janeiro (c)15 a 19 de fevereiro (d)17 a 21 de março.....	4
Fig.2.1 - Precipitação média anual (1931-1960) para o Nordeste do Brasil (100mm).....	7
Fig.2.2 - Vetor vento médio climatológico (1979-1989) (m/s) para o trimestre dezembro-janeiro-fevereiro para os níveis (a)850hPa e (b)150hPa.....	13
Fig.2.3 - Pressão média climatológica ao nível do mar(1000+ hPa) para (a)janeiro e (b)julho.....	14
Fig.4.1 - Principais configurações da FxNC sobre o Nordeste do Brasil, classificadas como (a) tipo A e (b) tipo S.....	23
Fig.4.2 - Número total de casos com nebulosidade sobre o NE associada à FxNC nos seis anos analisados.....	26
Fig.4.3 - Normal mensal de 30 anos (1961-1990) de precipitação sobre o Nordeste (mm) para os meses de (a)novembro, (b)dezembro, (c)janeiro, (d)fevereiro e (e)março.....	27
Fig.4.4 - Total de dias com nebulosidade sobre o NE devido à FxNC no período estudado (6 anos).....	33
Fig.4.5 - Total de dias com nebulosidade sobre o NE para cada banda latitudinal no período estudado (6 anos).....	34
Fig.5.1 - Carta sinótica de superfície das 12:00 UTC para os dias (a) 03/12/88, (b) 07/12/88.....	39

Fig.5.2 -	Imagens do satélite GOES-E no canal infravermelho das 12:00 UTC para os dias (a)02/12/88, (b)03/12/88, (c)04/12/88, (d)05/12/88, (e)06/12/88, (f)08/12/88....	41
Fig.5.3 -	Localização da FxNC de 03 a 08/12/88 a partir da observação das imagens de satélite das 12:00 UTC.....	44
Fig.5.4 -	Precipitação acumulada (mm) de 03 a 10 de dezembro de 1988.....	45
Fig.5.5 -	Vetor vento (m/s) em 850 hPa às 12:00 UTC para os dias (a)03/12/88, (b)04/12/88, (c)06/12/88, (d)08/12/88.....	48
Fig.5.6 -	Vetor vento médio (m/s) em 850 hPa as 12:00 UTC de 03 a 09/12/88.....	50
Fig.5.7 -	Vorticidade relativa ($10^{-3}s^{-1}$) em 850 hpa às 12:00 UTC para os dias (a)03/12/88, (b)04/12/88, (c)06/12/88, (d)08/12/88....	52
Fig.5.8 -	Perfil vertical da temperatura potencial equivalente (K) na latitude de $10^{\circ}S$ para o dia 05/12/88 às 12:00 UTC.....	54
Fig.5.9 -	Temperatura potencial equivalente (K) em 500 hPa às 12:00 UTC para os dias (a)04/12/88 e (b)05/12/88.....	56
Fig.5.10 -	Divergência do fluxo de umidade ($10^{-3}s^{-1}$) em 850 hpa às 12:00 UTC para os dias (a)03/12/88, (b)04/12/88.....	58
Fig.5.11 -	Linhas de corrente em 500 hPa às 12:00 UTC para os dias (a)03/12/88, (b)05/12/88, (c)07/12/88 e (d)08/12/88...	59
Fig.5.12 -	Perfil vertical do vento meridional (m/s) em $20^{\circ}S$ para os dias (a)07/12/88 e (b)08/12/88, às 12:00 UTC.....	61
Fig.5.13 -	Movimento vertical de ar (hPa/s) em 500hpa às 12:00 UTC para os dias (a)04/12/88, (b)06/12/88.....	62
Fig.5.14 -	Vetor vento (m/s) em 200 hPa às 12:00 UTC para os dias (a) 03/12/88, (b) 04/12/88, (c)06/12/88 e (d)08/12/88.....	64

Fig.5.15 -	Vetor vento médio (m/s) em 200 hpa às 12:00 UTC de 03 a 09/12/88.....	66
Fig.5.16 -	Esquema ilustrando a circulação para os casos tipo A em (a)baixos níveis, (b)altos níveis.....	67
Fig.5.17 -	Vorticidade relativa ($10^{-3}s^{-1}$) em 200 hPa às 12:00 UTC para os dias (a)04/12/88, (b)06/12/88.....	68
Fig.5.18 -	Divergência do fluxo de massa ($10^{-3}s^{-1}$) em 200 hpa às 12:00 UTC para os dias (a)04/12/88, (b)06/12/88.....	70
Fig.5.19 -	Localização da FxNC de 14 a 18/12/88 pela análise das imagens de satélite das 12:00 UTC.....	72
Fig.5.20 -	Imagens do satélite GOES-E no canal infravermelho para os dias (a)14/12/88 (18:00 UTC), (b)15/12/88 (12:00 UTC), (c)16/12/88 (12:00 UTC), (d)17/12/88 (12:00 UTC), (e)18/12/88 (09:00 UTC) e (f)19/12/88 (12:00 UTC).....	73
Fig.5.21 -	Precipitação acumulada (mm) de 14 a 20/12/88.....	77
Fig.5.22 -	Vetor vento (m/s) em 850 hPa às 12:00 UTC para os dias (a)15/12/88, (b)17/12/88....	79
Fig.5.23 -	Vetor vento médio (m/s) em 850 hpa às 12:00 UTC de 14 a 20/12/88.....	80
Fig.5.24 -	Divergência do fluxo de umidade ($10^{-3}s^{-1}$) em 850 hPa às 12:00 UTC para os dias (a)15/12/88, (b)17/12/88.....	81
Fig.5.25 -	Vorticidade relativa ($10^{-3}s^{-1}$) em 850 hpa às 12:00 UTC para os dias (a)15/12/88, (b)17/12/88.....	82
Fig.5.26 -	Vetor vento (m/s) em 500 hpa às 12:00 UTC para os dias (a)15/12/88, (b)17/12/88....	83
Fig.5.27 -	Movimento vertical de ar (hPa/s) em 500 hpa às 12:00 UTC para os dias (a)15/12/88, (b)17/12/88.....	86

Fig.5.28 -	Vetor vento (m/s) em 200 hpa às 12:00 UTC para os dias (a)15/12/88, (b)17/12/88....	87
Fig.5.29 -	Vetor vento médio (m/s) em 200 hpa às 12:00 UTC de 14 a 20/12/88.....	88
Fig.5.30 -	Esquema ilustrando a circulação para os caso tipo S em (a)baixos níveis, (b)altos níveis.....	89
Fig.5.31 -	Vorticidade relativa ($10^{-3}s^{-1}$) em 200 hpa às 12:00 UTC para os dias (a)15/12/88, (b)17/12/88.....	91
Fig.5.32 -	Divergência do fluxo de massa ($10^{-3}s^{-1}$) em 200 hpa às 12:00 UTC para os dias (a)15/12/88, (b)17/12/88.....	92
Fig.5.33 -	Imagens do satélite GOES-E no canal infravermelho para os dias (a)27/11/87 (12:00 UTC) e (b)29/11/87 (09:00 UTC)....	95
Fig.5.34 -	Vetor vento (m/s) em 850 hpa às 12:00 UTC para os dias (a)27/11/87 e (b)29/11/87...	96
Fig.5.35 -	Vetor vento (m/s) em 200 hpa às 12:00 UTC para os dias (a)27/11/87 e (b)29/11/87...	97

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tab.4.1 - Casos Observados de atuação da FxNC sobre o NE.....	25
Tab.4.2 - Intensidade dos casos.....	30
Tab.4.3 - Total do número de casos com nebulosidade sobre o NE para cada banda latitudinal...	31
Tab.4.4 - Média mensal do número de casos observados de atuação da FxNC sobre o NE.	32
Tab.4.5 - Média do número de dias com nebulosidade devida a FxNC sobre o NE.....	33
Tab.4.6 - Média do número de dias de permanência da FxNC em cada banda latitudinal.....	36

LISTA DE SÍMBOLOS

θ_e	- temperatura potencial equivalente (K)
ϕ	- altura geopotencial (m _{gp})
ζ	- vorticidade relativa (1/s)
u	- componente horizontal do vento (m/s)
v	- componente meridional do vento (m/s)
ω	- velocidade vertical do vento (hPa/s)
UR	- umidade relativa do ar (%)
T	- temperatura do ar em graus Celsius (°C)
r	- razão de mistura
p	- pressão
T_L	- temperatura do nível de condensação por levantamento
f	- parâmetro de Coriolis

LISTA DE SIGLAS

AB	- Alta da Bolívia
ASAS	- Alta Subtropical do Atlântico Sul
CO	- Região Centro-Oeste do Brasil
CT	- Convecção Tropical
ECMWF	- European Centre for Medium Range and Weather Forecasts
ENOS	- El Niño-Oscilação Sul
ESE	- este-sudeste
FxNC	- Faixa de Nebulosidade Convectiva
GrADS	- Grid Analysis and Display System
hPa	- hecto Pascal (10^{-2} Pa)
HN	- Hemisfério Norte
HS	- Hemisfério Sul
K	- graus Kelvin
mgp	- metro geopotencial
mm	- milímetros
m/s	- metros por segundo
WNW	- oeste-noroeste
NE	- Região Nordeste do Brasil
ROLE	- Radiação de Onda Longa Emergente
SE	- Região Sudeste do Brasil
SF	- Sistema Frontal
TSM	- Temperatura da Superfície do Mar
VCAT	- Vórtice Ciclônico da Alta Troposfera
ZCAS	- Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A Região Nordeste do Brasil (NE), excetuando-se a faixa litorânea, é caracterizada climaticamente por apresentar baixos índices pluviométricos. A distribuição dessa precipitação, todavia, é bastante diferenciada tanto na escala espacial como sazonal.

É de grande interesse para a meteorologia nacional, principalmente no que diz respeito à previsão de eventos chuvosos, o estudo dos diversos sistemas de tempo que influenciam a precipitação do NE. Um dos sistemas de tempo que influenciam, principalmente na precipitação das regiões sul e oeste do NE, é uma faixa de nebulosidade convectiva (FxNC) organizada associada à zonas de convergência, como a chamada Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

A ZCAS é normalmente caracterizada como uma larga faixa de nebulosidade e precipitação, de orientação noroeste-sudeste, que se estende desde a Amazônia até o Oceano Atlântico Sudoeste. Frequentemente, ela é observada nas imagens de satélite durante os meses de verão. Semelhantes à ZCAS são observadas mais duas zonas de convergência no Hemisfério Sul, a Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS), e a Zona de Convergência do Índico Sul (ZCIS), sendo esta última de menor extensão e intensidade.

A ZCAS é um fenômeno observado climatologicamente, assim sendo, o estudo individualizado de cada sistema pode apresentar características diferentes entre eles. Padrões característicos à ZCAS foram determinados por diversos

estudos, alguns deles serão citados na revisão bibliográfica deste trabalho, como por exemplo Quadro (1994), Jones e Horel (1990), entre outros.

No presente trabalho selecionou-se casos de atuação de FxNC sobre o NE através da análise visual de imagens de satélite, não tendo sido considerados padrões característicos da ZCAS. Desta forma, convencionou-se utilizar neste estudo a denominação faixa de nebulosidade convectiva (FxNC), deixando a denominação ZCAS quando forem feitas referências a trabalhos que estudaram este fenômeno.

Os mecanismos de formação, de manutenção e de deslocamento da FxNC ainda não estão bem explicados, muito embora diversos aspectos associados a FxNC já sejam conhecidos. A penetração de sistemas frontais (SFs) nas latitudes subtropicais muitas vezes organizam a convecção tropical (CT) como uma faixa de nebulosidade de orientação noroeste-sudeste (Oliveira, 1986). Esta interação da CT com SFs oriundos de latitudes mais altas deve influenciar bastante na dinâmica da FxNC. Diversos estudos citam a influência de outros sistemas e mecanismos na FxNC, como presença da Alta da Bolívia (AB) (Carvalho, 1988), variações nas temperaturas da superfície do mar (TSMs) do Atlântico Sul (Nobre, 1988), influência da Cordilheira dos Andes (Satyamurty, 1980), interação com vórtices ciclônicos (Kousky e Gan, 1981) etc. Esses fatores serão comentados no capítulo 2.

Utilizando dados de radiação de onda longa emergente (ROLE) para nove anos, Kousky (1988) obteve valores climatológicos de ROLE médios para cinco dias. A figura 1.1 mostra os valores de ROLE para o período entre 12 de novembro e 21 de março. Os resultados mostraram que:

- a) Mínimo de ROLE é observado numa faixa de orientação NW-SE sobre a América do Sul relativo a ZCAS;
- b) Mínimo de ROLE associado a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é observado. Com o deslocamento da ZCIT para sul, há uma interação desta com a faixa de mínimos de ROLE sobre a América do Sul (ZCAS). Esta interação é observada à partir do mês de janeiro;
- c) Valores baixos de ROLE são observados sobre a região sul do NE em novembro e dezembro; em janeiro mínimos de ROLE atingem as regiões noroeste e central do NE. Mínimos sobre o norte do NE principalmente nos meses de fevereiro e março.

Como podemos observar, a variação temporal dos sistemas que interagem com a ZCAS causam nebulosidade e precipitação sobre regiões diferentes do NE. Além dessas variações observadas durante os meses de verão, há que se considerar também flutuações periódicas e não-periódicas, como por exemplo a oscilação 30-60 dias e o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS). De fato, as condições do tempo meteorológico do NE estão relacionadas com variações nos padrões de circulação atmosférica em grande escala. Simultaneamente e superpostos a estes padrões globais existem sistemas sinóticos e de meso-escala que atuam decisivamente nas condições do tempo da Região. O entendimento da atuação destes sistemas, bem como da interação que ocorre entre eles com a circulação geral da atmosfera e suas variações é, portanto, de grande importância meteorológica.

O objetivo principal deste trabalho é estudar a influência da FxNC no regime de precipitação do NE. Neste sentido será dada importância ao período de atuação da FxNC

sobre determinadas regiões e à sua interação com sistemas com vórtices ciclônicos da alta troposfera (VCATs). O estudo é dividido em duas etapas:

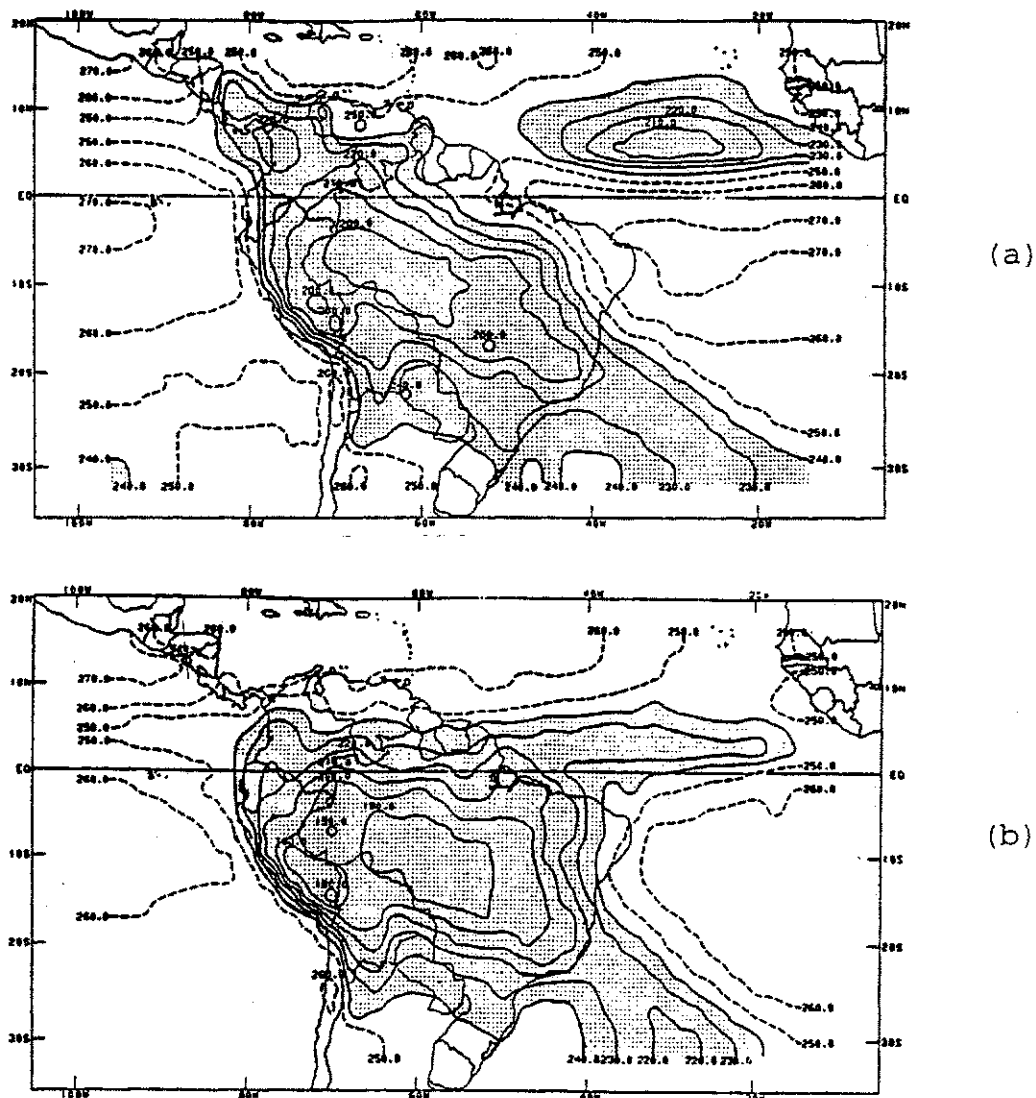
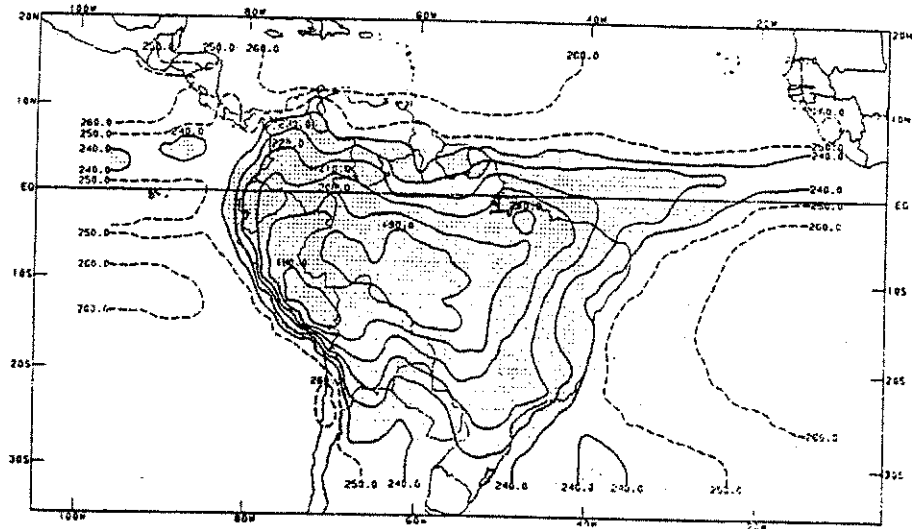


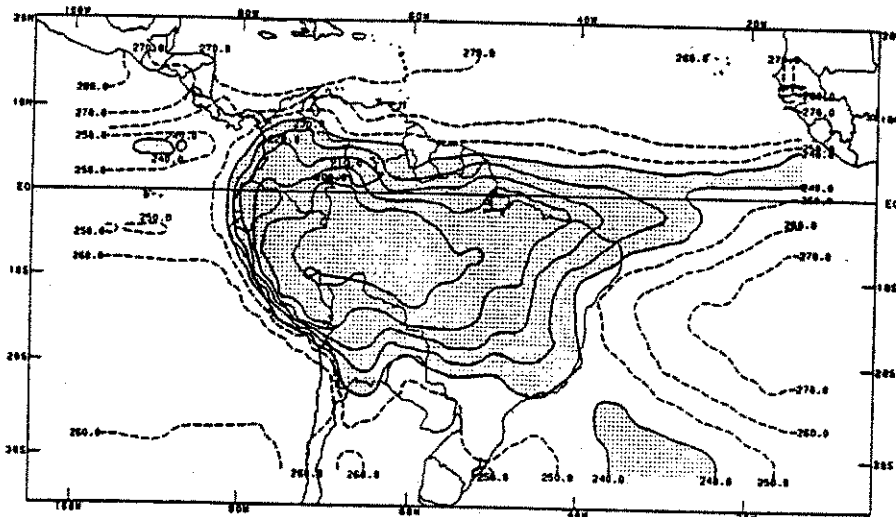
Fig.1.1 - Valores climatológicos pentadais de Radiação de Onda Longa Emergente ($W m^{-2}$) de (a) 27 de novembro a 01 de dezembro (b) 16 a 20 de janeiro (c) 15 a 19 de fevereiro (d) 17 a 21 de março.

FONTE: Kousky (1988).

(continua)



(c)



(d)

Fig.1.1 - Conclusão.

1. Climatologia baseada em análise subjetiva de imagens de satélites meteorológicos dos eventos em que a FxNC atuou sobre o Nordeste do Brasil;
2. Estudo de casos selecionados e comparação com dados observados da precipitação em superfície.

O Capítulo 2 deste trabalho apresenta uma revisão bibliográfica dos principais aspectos climáticos do verão do Hemisfério Sul (HS) e dos sistemas de tempo atuantes no NE, em especial sistemas como a FxNC e a ZCAS. O Capítulo 3 apresenta os dados e a metodologia que foram utilizados no estudo. Os Capítulos 4 e 5 apresentam os resultados obtidos do estudo climatológico e do estudo de casos, respectivamente. Finalmente, o Capítulo 6 compreende conclusões obtidas à partir deste estudo e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A precipitação é a variável meteorológica mais importante na determinação do clima da Região Nordeste do Brasil (NE). A distribuição espacial da precipitação total anual não é uniforme sobre o NE, variando de valores superiores a 1000mm, nas regiões oeste e litorânea, até valores menores que 400mm em áreas no interior do continente, como mostra a figura 2.1.

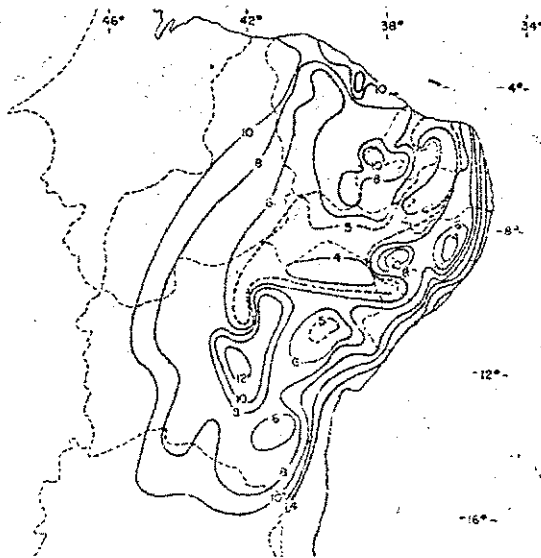


Fig.2.1 - Precipitação média anual (1931-1960) para o Nordeste do Brasil (100mm).
FONTE: Kousky e Chu (1978).

O regime de precipitação do Nordeste possui também uma variação sazonal. Se considerarmos toda a região, pode-se dizer que as chuvas significantes ocorrem de dezembro a julho. A associação entre as variações espaciais e sazonais identificam pelo menos três regimes de precipitação para três áreas distintas (Strang, 1972, Kousky, 1979).

O primeiro regime de precipitação influencia a área mais ao norte, abrangendo principalmente o Ceará, oeste do Rio Grande do Norte e interior da Paraíba e de Pernambuco. Este regime apresenta máximo de precipitação em março e em abril e está associado principalmente ao deslocamento mais para sul da ZCIT. A ZCIT atinge sua posição mais ao sul durante o mês de março, mês em que são observados os maiores índices pluviométricos nesta região. Segundo Uvo (1989), o tempo de permanência da ZCIT mais ao sul é mais importante que a posição mais setentrional que ela atinge no ano; e tanto a posição mais ao sul quanto o tempo de permanência da ZCIT são influenciados não só por flutuações atmosféricas globais, como também por influência de outros sistemas de escala sinótica nesta época.

O segundo regime, com máximo em maio e junho, atua sobre o litoral leste do NE, que vai desde o Rio Grande do Norte até o Estado da Bahia. Esta região está sob a influência da massa de ar Tropical Marítima, normalmente instável, profunda e úmida, que, pela atuação dos ventos alísios de sudeste, torna essa região bastante úmida (Ratisbona, 1976). Estudos como o de Rao e Marques (1984) indicam que a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) é um mecanismo eficiente no transporte de vapor de água em baixos níveis para a Região Nordeste. Lima (1991) notou que normalmente tem-se ventos mais fortes de sudeste e perpendiculares à costa na estação chuvosa do litoral leste do Nordeste.

Além da influência da ASAS, a região leste sofre influência dos chamados distúrbios de leste ou ondas de leste (Yamazaky e Rao, 1977). Chan (1990) encontrou que durante o outono ocorrem as propagações de ondas mais curtas para esses distúrbios, época de maior precipitação sobre esta região. Trabalhos como o de Kousky (1980) mostraram ainda que a precipitação da região leste sofre também influência da intensidade da brisa marítima.

O terceiro regime, com máximos de precipitação em dezembro e janeiro, influencia principalmente a parte sul do NE, decrescendo para o norte. Este regime está associado principalmente à incursões frontais na região. Kousky (1979), demonstrou que o maior número de passagens de zonas de convergência frontais pelo sul da Bahia corresponde a uma maior precipitação nas áreas sul e oeste do NE. Neste trabalho, Kousky encontrou ainda, para a região central da Bahia, dois máximos de chuva, um em março e outro em dezembro. Chu (1983), também notou que o pico da estação chuvosa no sul do Nordeste é em novembro e dezembro e está associado com a penetração de sistemas frontais.

Durante o verão, o Nordeste sofre ainda influência da atuação de vórtices ciclônicos na alta troposfera (VCATs) (Dean, 1971; Aragão, 1976; Kousky e Gan, 1981), que afetam principalmente as regiões sul, leste e central do NE. Através de uma climatologia baseada em 7 anos de dados, Kousky e Gan (1986) encontraram que a maior frequência de VCATs ocorrem em janeiro e fevereiro, respectivamente.

A dinâmica dos sistemas que atuam sobre o NE é bastante dificultada no sentido em que todos esses sistemas aqui descritos interagem entre si; por exemplo, é freqüente o número de interações entre SFs, VCATs e a ZCIT. Diversos estudos, como os de Kousky e Moura (1981) e Oliveira

(1986), relatam interações entre estes sistemas que afetam as condições do tempo no NE.

Trabalhos como os de Hastenrath e Heller (1977), Chung (1982), e Hastenrath (1984) sugerem que o aumento da TSM do Atlântico Sul e o enfraquecimento dos ventos alísios de sudeste permitem um deslocamento mais para sul da ZCIT, causando chuvas mais intensas no norte do Nordeste.

Kousky e Gan (1981) notaram a nebulosidade em forma de S associada com a interação entre frentes e vórtices ciclônicos em altos níveis sobre o NE. Oliveira (1986) notou configurações em forma de Y devido a interação do sistema frontal com vórtices ciclônicos de altos níveis e convecção na Amazônia.

Durante o verão do HS, devido ao forte aquecimento continental, intensa atividade convectiva é observada sobre a América do Sul Tropical. Diversos estudos climatológicos mostraram as regiões de maior atividade convectiva tropical. Yasunari (1977), trabalhando com brilho médio, obteve para o verão, duas áreas de alto brilho, uma no Oceano Pacífico e outra no Oceano Atlântico, tendo esta última uma orientação WNW-ESE. Configurações semelhantes às obtidas por Yasunari foram também observadas por outros pesquisadores trabalhando com outras variáveis; podemos citar os trabalhos de Taljaard (1972) e Kousky (1988), entre outros. Esta intensa faixa de nebulosidade de orientação noroeste-sudeste, que aparece climatologicamente nas imagens de satélite, é hoje denominada de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) ainda é um sistema pouco estudado, principalmente no que se refere à sua influência na precipitação do NE. A ZCAS foi

constatada climatologicamente devido ao seu caráter semi-estacionário, e parece influenciar bastante na precipitação do sul e oeste do NE.

Diversas características foram apontadas no intuito de melhor definir a ZCAS. Calheiros e Silva Dias (1988) caracterizaram a ZCAS como uma faixa onde se encontram massas de ar de características diferentes e que tem as condições apropriadas para a formação de precipitação intensa.

Com relação a variabilidade temporal da ZCAS, ela é mais atuante de novembro a abril e está diretamente associada à estação chuvosa de importantes regiões do Brasil, como o sul e o oeste do NE, sul da Amazônia, Região Sudeste do Brasil (SE), e também o Estado de Goiás. A ZCAS comumente desaparece por períodos de vários dias a semanas, e praticamente inexistente no período de inverno (Nobre, 1988). Segundo Quadro (1994), a ZCAS pode ser definida como um fenômeno climatológico, ocorrendo pelo menos uma vez por mês, durante os meses de verão do HS. Neste trabalho ele observou também que a ZCAS normalmente estaciona sobre o SE, Brasil Central, norte do Paraná e sul da Bahia, casos em que a ZCAS se posicionou fora destas regiões foram considerados atípicos.

Com relação à sua dinâmica, sabe-se que a ZCAS está relacionada à mecanismos e sistemas presentes nas características climáticas dos meses de verão. Desta forma, achamos importante relatar alguns dos aspectos mais importantes da circulação de verão da América do Sul.

O vetor vento médio para os níveis de 150 e 850 hPa para os meses de dezembro-janeiro-fevereiro é mostrado na figura 2.2 (a) e (b), respectivamente. Em altos níveis

observa-se sobre a América do Sul um anticiclone centrado em aproximadamente 17°S , 65°W . Este anticiclone, comumente chamado de Alta da Bolívia (AB), aparece devido à liberação de calor latente na troposfera como consequência da forte convecção tropical observada nesta época do ano (Hoskins e Karoly, 1981; Silva Dias et al., 1983).

A leste da AB observa-se um cavado sobre o NE e regiões oceânicas adjacentes. Este cavado em altos níveis é observado de novembro a fevereiro, com máxima intensidade em fevereiro, enquanto que a AB aparece de setembro a março, sendo mais intensa em dezembro (Carvalho, 1989). Ao sul da AB, observa-se um intenso jato subtropical, com eixo situado em cerca de 30°S . Carvalho notou que o jato enfraquece o centro do cavado e intensifica a AB.

Um fato interessante de notar é o caráter meridional da circulação em altos níveis sobre o continente. Sobre o Oceano Pacífico pode-se notar um cavado orientado no sentido noroeste-sudeste, em torno de 140°W .

Em baixos níveis, nota-se os Anticiclones Subtropicais do Atlântico Sul (ASAS) e Pacífico Sul centrados em aproximadamente 30°S de latitude. Ventos de leste e nordeste no litoral no NE e circulação anticiclônica sobre o continente. Sobre a região central da América do Sul observa-se fluxo para sudeste; e fluxo para sul, acompanhando a Cordilheira dos Andes na parte oeste da América do Sul.

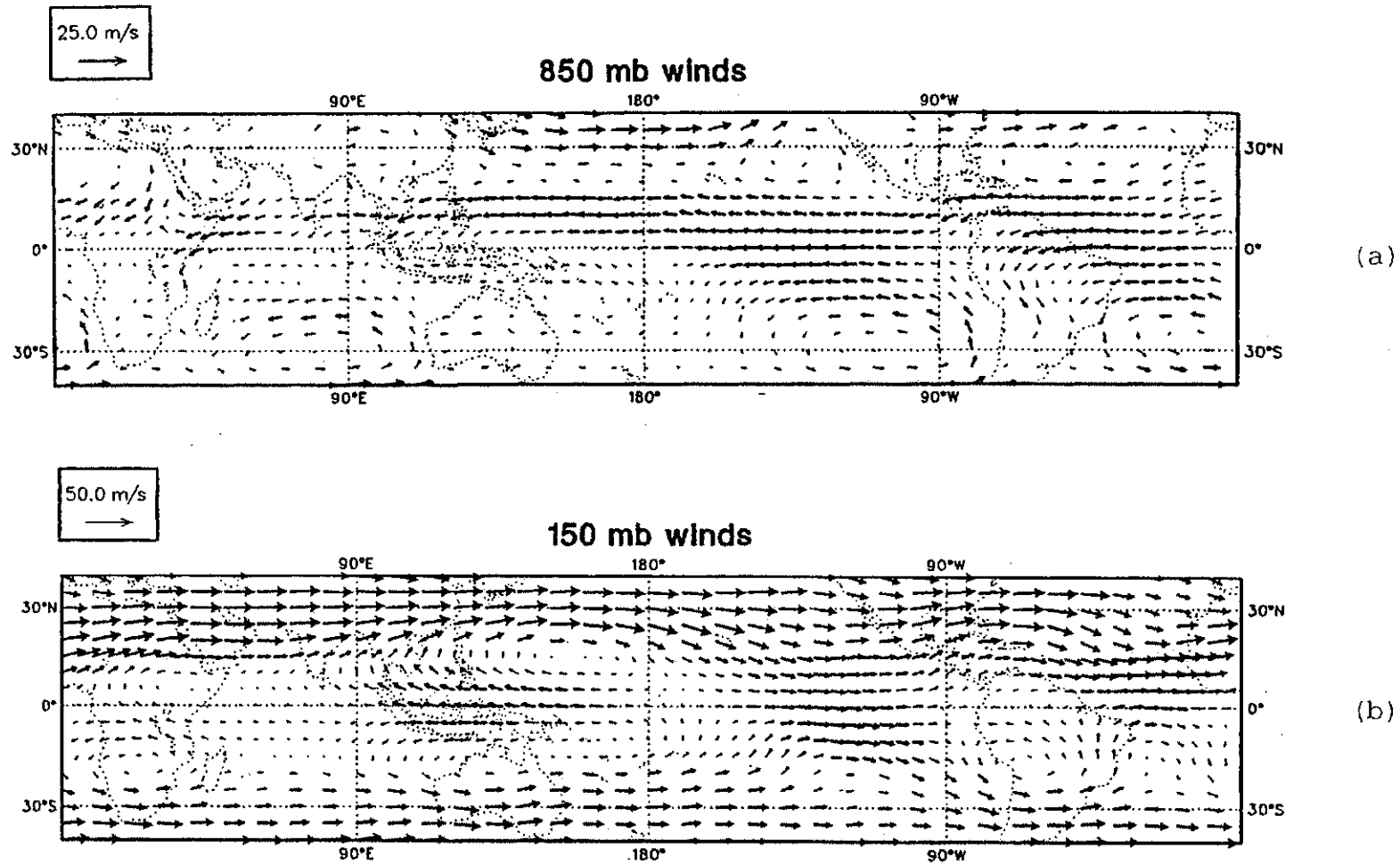


Fig 2.2 - Vetor vento médio climatológico (1979-1989) para o trimestre dezembro-janeiro-fevereiro para os níveis (a) 850 hPa e (b) 150 hPa.

FONTE: Hoskins et alli (1989).

A figura 2.3 mostra os valores médios de pressão ao nível do mar (pnm) para os meses de janeiro e julho. Nesta figura pode-se observar que em janeiro a ASAS apresenta-se bem menos intensa do que em julho, o que praticamente não é observado com relação à Alta Subtropical do Pacífico Sudeste. Sobre o NE percebe-se uma influência significativa desta oscilação da ASAS, havendo uma diferença média de aproximadamente 4hPa de pnm entre os meses de janeiro e julho, mostrando uma atuação bem maior deste em julho. Em termos de localização do centro da ASAS não observa-se diferenças significativas entre estes meses.

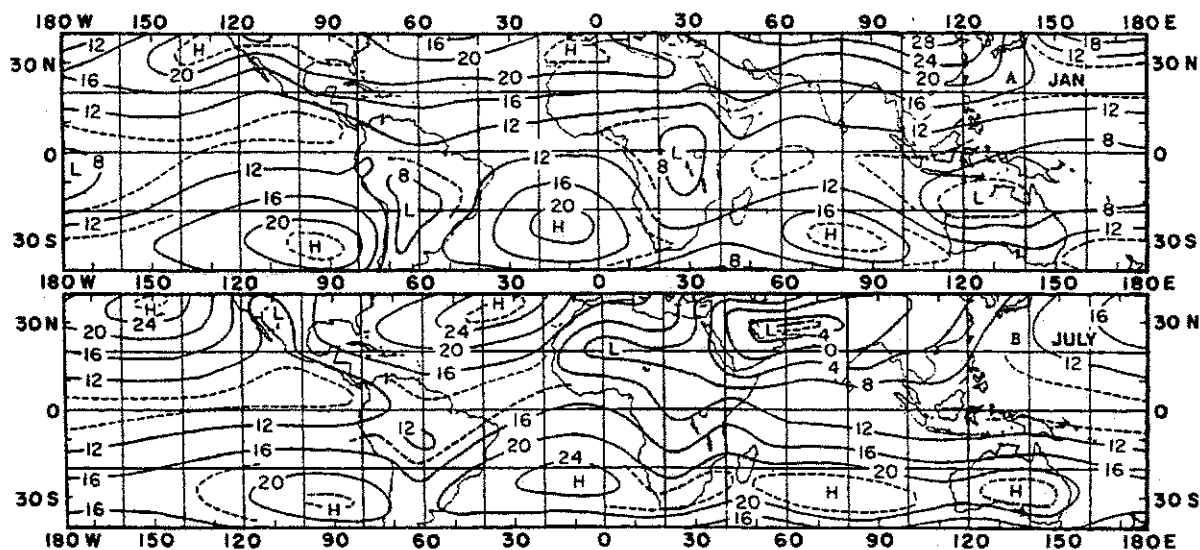


Fig.2.3 - Pressão média climatológica ao nível do mar 1000+ hPa em (a) Janeiro, (b) Julho

FONTE: Godbole e Shukla (1981).

Diversos fatores foram citados por pesquisadores como importantes na formação da ZCAS. Segundo Oliveira (1986), a CT observada no verão é organizada como uma faixa de nebulosidade associada a um SF que se desloca para nordeste; ocorre que durante os meses de verão os ciclones frontais quase estacionários são mais frequentes, provavelmente como reflexo de uma circulação zonal mais fraca nestas latitudes (Carleton, 1979). Estas situações de estacionaridade das faixas de nebulosidade caracterizam a ZCAS. Durante o inverno a faixa de nebulosidade convectiva não se forma, devido, provavelmente, à subsidência em grande escala sobre a América do Sul Tropical nesta estação (Oliveira e Nobre, 1986).

O deslocamento da CT e do SF associado parece influenciar bastante a precipitação no NE, em especial as regiões mais ao sul. Algumas vezes, conforme o SF se desloca para nordeste, a atividade convectiva sobre a Amazônia se desloca para leste, ocasionando chuvas sobre o NE (Kousky e Ferreira, 1981, Kousky e Virji, 1983, Oliveira, 1986).

Kousky e Moura (1981) notaram que associado a um SF que atinge o NE, a ASAS está mais fraca e mais para sudeste que o normal. Esta situação de enfraquecimento da ASAS permite um deslocamento mais para sul da ZCIT e um aumento da atividade convectiva sobre o NE, como observado por Hastenrath e Heller (1977), Kousky (1979), Chung (1982), Buchmann et alli (1984), entre outros. O enfraquecimento dos ventos alísios de sudeste permite o aparecimento de ventos de norte em baixos níveis no norte do NE, observados por Markhan e Mc Lain (1977), durante o período chuvoso.

A influência da Cordilheira dos Andes também é um fator citado para explicar a formação e localização da

ZCAS. Satyamurti et al. (1980), através de um modelo barotrópico de equações primitivas com forçante topográfica obtiveram em 500 hPa um cavado com orientação noroeste-sudeste à leste da Cordilheira dos Andes. Este cavado, segundo eles, permite a estacionaridade dos SFs por períodos longos.

Outro fator que parece influenciar na formação e deslocamento da ZCAS é a localização e intensidade da AB e do cavado em altitude sobre o NE. Segundo Casarin (1983), o cavado em altos níveis juntamente com a AB, caracterizam uma situação de bloqueio, podendo organizar e manter a ZCAS estacionária por vários dias. Sakamoto (1992) notou uma desconfiguração da ZCAS quando o centro da AB desloca-se mais para oeste. Analisando casos, Oliveira e Nobre (1986) notaram que geralmente o aumento da atividade convectiva da ZCAS foi relacionada com a intensificação do cavado em altos níveis acompanhando o SF.

O estudo de Oliveira (1982), revelou que a passagem do maior número de zonas de convergência pela Ilha da Trindade (20°S, 30°W) está associada com maior quantidade de chuvas no NE. Também sugere este estudo que, durante a primavera, a zona de convergência causa chuvas no sul do NE e interage com a AB que está em desenvolvimento. A AB interage com a ZCIT sobre a região norte da Amazonia. Durante o outono, a interação ocorre sobre a região norte do NE, dado que a AB está em dissipação. Oliveira notou que nos anos de seca no NE parece ocorrer, principalmente nos meses de janeiro, fevereiro e março, um bloqueio da zona de convergência, causando excesso de precipitação no SE e escassez no NE.

Nobre (1988) sugeriu ainda outro fator influenciando a dinâmica da ZCAS, segundo ele as configurações das TSMS

podem ser importantes no posicionamento e na intensidade da ZCAS.

Quadro (1994) definiu a presença da ZCAS quando os seguintes parâmetros meteorológicos são observados simultaneamente durante um período mínimo de 4 dias: a) banda de nebulosidade convectiva, orientada com direção noroeste-sudeste a partir da região de intensa CT estendendo-se até o Oceano Atlântico Subtropical; b) convergência de umidade na baixa e média troposfera; c) faixa de movimento ascendente do ar com orientação noroeste-sudeste; d) presença de um cavado semi-estacionário em 500 hPa sobre a América do Sul à leste da Cordilheira dos Andes; e) campo de temperatura potencial equivalente (θ_e) apresentando intenso gradiente ao sul da faixa de nebulosidade convectiva na média troposfera; f) faixa de circulação anticiclônica em altos níveis.

Alguns estudos foram feitos relacionando a ZCAS com oscilações periódicas. Casarin e Kousky (1986) acharam uma boa relação entre a variabilidade da ZCAS, da AB e do VCAT sobre o NE com a oscilação de 30-60 dias (Weickmann et al. 1985). Jones e Horel (1990) caracterizaram a ZCAS por possuir uma intensa variabilidade de baixa frequência, como a oscilação de 30-60 dias.

O estudo de Silva Dias et alii (1988) encontrou que o deslocamento da ZCAS é precedido em cerca de 15 dias por alterações na ZCPS. Este estudo mostrou também a intensificação da Alta Subtropical do Pacífico Sul pouco antes do deslocamento da ZCAS.

Obregon (1991) encontrou que anomalias na vortacidade relativa na ZCPS e ZCAS apresentam flutuações, com amplitudes relativamente fortes, com períodos de até 15

dias, sendo mais visíveis os períodos até 5 dias, principalmente na ZCAS, que, segundo ele, estão associadas com perturbações baroclínicas de latitudes médias. Neste estudo, a AB e o cavado sobre o NE em altos níveis apresentaram modulação no período de 30-60 dias, concordando com Casarin e Kousky (1986); assim como flutuações nos períodos entre 5 a 11 dias, relacionadas provavelmente à perturbações frontais que atingiram a região tropical.

As variações atmosféricas observadas em resposta ao fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) também parecem interferir na presença e atuação da ZCAS. Segundo Aceituno (1989), durante um episódio de El Niño o norte do NE tem condições de seca devido ao enfraquecimento da Alta Subtropical do Atlântico Norte, que causa um deslocamento para norte da ZCIT; o sul do NE tem condições mais úmidas que o normal, embora sua causa ainda não seja bem entendida, mas incursões frontais e variações latitudinais da ZCAS parecem ser, segundo Aceituno, fatores relevantes.

As conseqüências de um episódio de El Niño sobre a ZCAS foram analisadas por Quadro (1994). O estudo indicou que o El Niño contribui negativamente com a manifestação da ZCAS. É possível que o fato da CT estar deslocada mais para oeste favoreça a não ocorrência ou a formação da ZCAS fora da sua região preferencial.

Como constatado, diversos estudos relatam influências de sistemas relacionados às zonas de convergência associadas à FxNC. Todas as considerações aqui colocadas serviram como base de referência teórica para este estudo. Procurou-se, nos capítulos que se seguem, estabelecer relações entre os resultados obtidos pelos artigos citados neste capítulo e os resultados obtidos pelo nosso estudo.

CAPÍTULO 3

DADOS E METODOLOGIA

O trabalho consistiu, basicamente, de duas etapas: a elaboração de uma climatologia dos eventos de atuação da FxNC sobre o NE (Capítulo 4); e um estudo de casos (Capítulo 5).

Para elaboração da climatologia foram utilizadas imagens do satélite meteorológico geoestacionário GOES-E, disponíveis no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), nos canais infra-vermelho, nos horários das 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 e 21:00 UTC, e visível no horário das 15:00 UTC para o período compreendido entre janeiro de 1980 e dezembro de 1983, e entre janeiro de 1987 e dezembro de 1988. Foram utilizadas ainda imagens do GOES-W em períodos em que não havia imagens do GOES-E.

As imagens de satélite compreendem um período de seis anos, e através de análise subjetiva destas imagens elaborou-se uma climatologia dos eventos de atuação da FxNC sobre pelo menos alguma área do NE. A metodologia empregada para seleção e classificação dos eventos consta no próprio Capítulo 4.

Para o estudo de casos, foram utilizadas análises inicializadas fornecidas pelo ECMWF (European Centre for Medium Range and Weather Forecasts). Estas análises estão apresentadas em pontos de grade com resolução de 2,5° de latitude-longitude, no horário das 12:00 UTC em 07 níveis padrões da atmosfera para os campos de altura geopotencial (ϕ) em mgp, temperatura do ar (T) em °C, componentes zonal

(u) e meridional do vento (v) em m/s , movimento vertical (ω) em hPa/s e umidade relativa (UR) em porcentagem

Utilizando os dados do ECMWF, foram obtidos diretamente, através da rotina GrADS (Grid Analysis and Display System) (Doty, 1992), fornecida pelo COLA (Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions), os campos de altura geopotencial e movimento vertical em 500 hPa, divergência de massa em 200 hPa, vorticidade relativa (ζ) em 850 e 200 hPa, e direção e velocidade do vento em 1000, 850, 700, 500, 300, 200 e 100 hPa.

Foram ainda obtidos para análise os campos de divergência do fluxo de umidade em 850 hPa e de temperatura potencial equivalente (θ_e) para os níveis de 850, 700, 500, 300, 200 e 100 hPa. Para cálculo da divergência do fluxo de umidade foram obtidos os valores de razão de mistura (r) conforme procedimento descrito por Iribarne e Godson (1973); e para cálculo de θ_e utilizou-se o procedimento de cálculo descrito por Bolton (1980). Ambas as equações são encontradas no Apêndice A.

Foram também utilizados para o estudo de casos, cartas sinóticas de superfície das 12:00 UTC, analisadas a partir de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia); e campos de precipitação, utilizando método de interpolação Kriging, a partir de dados diários de precipitação de 52 estações fornecidos pela SUDENE (Superintendência Nacional de Desenvolvimento da Região Nordeste do Brasil) (ver Apêndice C), que serviram para avaliar a influência dos episódios na precipitação do NE.

Para avaliação da influência dos sistemas observados na climatologia (Capítulo 4) no regime mensal de precipitação; e para comparação com os dados pluviométricos

observados no estudo de casos (Capítulo 5) foram traçados campos médios mensais (normal de 30 anos) de precipitação para os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, utilizando o mesmo procedimento de interpolação e análise descrita acima, a partir de dados do INMET para 75 estações listadas no Apêndice D.

CAPÍTULO 4

CLIMATOLOGIA

Com o objetivo de estudar a frequência de ocorrência, as principais configurações, e as áreas de atuação da faixa de nebulosidade convectiva (FxNC) organizada, foi feito um estudo climatológico baseado em análise visual (subjetiva) de seis anos de imagens de satélite (1980, 81, 82, 83, 87 e 88). Foram contabilizados todos os casos em que a FxNC atingiu a Região Nordeste do Brasil. Esta faixa é normalmente organizada por um SF que penetra no sul do país, como notado por Oliveira (1986). Porém, há casos em que o sistema frontal não pode ser detectado somente com a análise das imagens de satélite. Foram observados casos em que vórtices ciclônicos organizam a CT.

Não foram utilizados os anos de 1984, 1985 e 1986 devido ao posicionamento do satélite, que dificulta consideravelmente na identificação da localização da FxNC sobre o Oceano Atlântico.

Os casos em que a FxNC não atinge o NE não foram computados. Também o número total de passagens de SFs não foi obtido, pois isto já foi considerado antes por Oliveira (1986).

Com o intuito de acompanhar o deslocamento dos sistemas, foram consideradas bandas latitudinais. Estas bandas foram definidas considerando a latitude da costa leste do continente onde se localiza a FxNC. As bandas somente começaram a ser consideradas quando a nebulosidade da faixa atingiu o NE. Foram utilizadas três bandas:

Banda 1: ao sul de 20°S . A faixa se localiza ao sul de Vitória, no Espírito Santo;

Banda 2: entre 20°S e 15°S . A faixa se localiza entre Vitória e Ilhéus, na Bahia;

Banda 3: ao norte de 15°S . A faixa se localiza ao norte de Ilhéus.

Foram observados dois tipos principais de configuração da FxNC, classificados como tipo A e tipo S, ilustrados esquematicamente na figura 4.1.

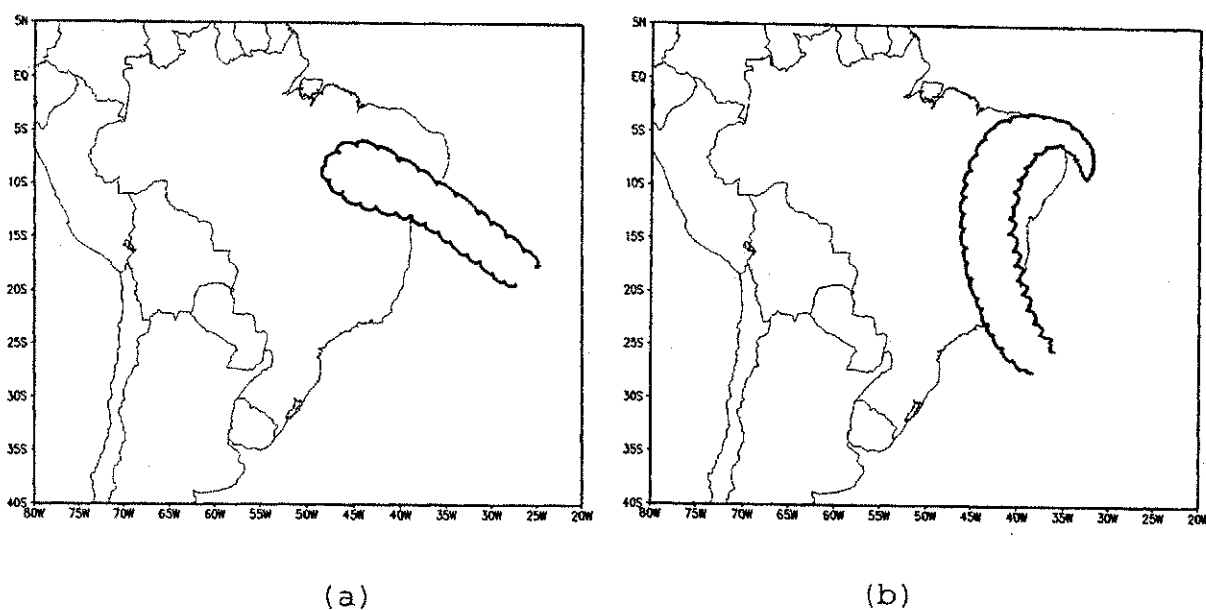


Fig.4.1 - Principais configurações da FxNC sobre o Nordeste do Brasil, classificados como (a) tipo A e (b) tipo S.

Os casos tipo A são aqueles em que a FxNC se desloca mais para nordeste do continente, atingindo latitudes mais baixas. A FxNC possui uma orientação na direção noroeste-

sudeste, atingindo na maioria das vezes o sul e o oeste do NE. Foi observado que nestes casos a CT organiza-se a partir de SFs que penetram em latitudes mais baixas ou na presença de processos ciclogênicos a sudeste do NE. Aparentemente não há presença de VCATs sobre o NE e regiões adjacentes. Estes casos, como será mostrado à seguir, ocorrem mais freqüentemente na primavera

Os casos tipo S foram citados por Kousky e Gan (1981). São os casos em que a FxNC se organiza a partir de um SF que atinge a Região Sudeste. Esta FxNC mantém-se semi-estacionária e interage com um vórtice ciclônico sobre o NE. Nestes casos a FxNC possui uma orientação na direção norte-sul, sendo observada maior convecção sobre o oeste e litoral norte do NE.

Foram observados ainda diversos casos de configuração em "Y" (Oliveira, 1986). Nestes casos a FxNC sofre uma partição sobre a região central do Brasil, ficando um ramo sobre a região amazônica e outro sobre o NE, interagindo com o VCAT. No presente estudo estes casos foram considerados como tipo S, pois a região amazônica não foi incluída na análise. Muitas vezes a FxNC interage também com a nebulosidade associada ao cavado equatorial, causando precipitação no norte do NE. Encontrou-se que estes casos ocorrem mais freqüentemente no verão.

Na tabela 4.1 estão relacionados os casos observados e a fig.4.2 o número total destes casos para cada mês nos seis anos analisados. Nota-se que os meses de outubro e novembro são os meses preferenciais para a formação dos casos tipo A, enquanto que nos meses de janeiro, fevereiro e março há preferência de formação dos casos tipo S. O mês de dezembro parece ser um mês de transição, em que ambos os casos ocorrem na mesma proporção. Nos meses de maio a

outubro não observou-se formação de casos tipo S, o mesmo ocorrendo nos meses de junho e julho para os casos tipo A.

TABELA 4.1
CASOS OBSERVADOS DE ATUAÇÃO DA FxNC SOBRE
O NE

MÊS/ANO	1980	1981	1982	1983	1987	1988
JAN	SSA	SSS	SAAS	ASAA	SS	SA
FEV	ASA		SSS	SS	SS	SSSS
MAR	S	AS	SS	SS	SS	SAA
ABR	S	AA	AS	S	S	SSA
MAI	A		AA			AA
JUN						
JUL						
AGO		A				
SET			AA		A	
OUT	A	AA	A	AAA	AA	AAAAAA
NOV	ASAA	SAAAA	AA	AAA	AAAAA	ASSA
DEZ	AAS	SASA	AAS	ASS	AAAS	ASSS
TOTAL A	10	12	12	10	11	15
TOTAL S	7	7	9	8	8	13
TOTAL	17	19	21	18	19	28

Para comparação com os sistemas observados, foram construídos campos médios mensais de precipitação para 30 anos (figura 4.3), a partir de dados de 75 estações do INMET (ver Apêndice D). Observa-se nesta figura que a precipitação no mês de novembro é maior sobre as regiões sul e oeste do NE, provavelmente devido a ocorrência de eventos do tipo A. A partir de dezembro observa-se um aumento da precipitação com uma configuração mais norte-sul sobre o oeste do NE devido possivelmente ao aumento da ocorrência de sistemas tipo S.

Em março observa-se elevados valores de precipitação no norte do NE associados provavelmente à atuação da ZCIT; mínimo de precipitação pode ser observado sobre o Estado da Bahia. A direção nordeste-sudoeste das isoietas sobre o oeste do NE possivelmente é devido à interação da FxNC com a nebulosidade devido à ZCIT, já que este é o mês preferencial para atuação deste sistema sobre o NE.

O escoamento mais meridional sobre o continente em altos níveis durante o verão, a existência quase permanente da Alta da Bolívia, e do cavado em altos níveis sobre o NE, parecem favorecer a formação dos casos tipo S, devido a forte ocorrência destes casos nesta época. Como foi sugerido por Kousky e Gan (1981), a intensificação conjunta da crista e do cavado corrente abaixo parece ser importante na formação de vórtices ciclônicos em altos níveis. Esta configuração de verão caracteriza uma situação de bloqueio, podendo manter a FxNC estacionária próxima a 25°S, como sugerido por Casarin (1983).

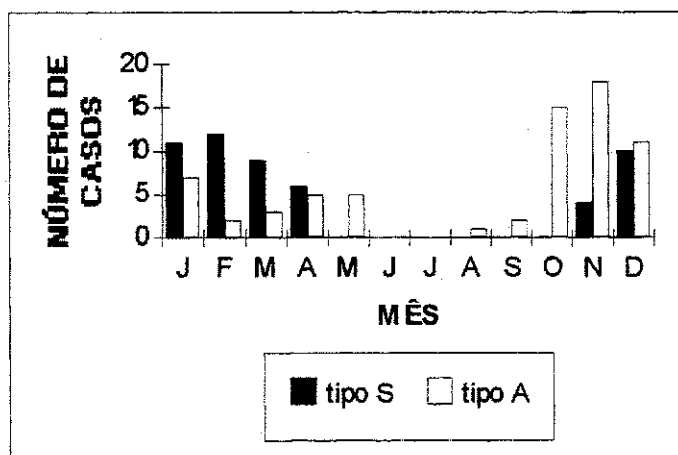


Fig.4.2 - Número total de casos com nebulosidade sobre o NE associada à FxNC nos seis anos analisados.

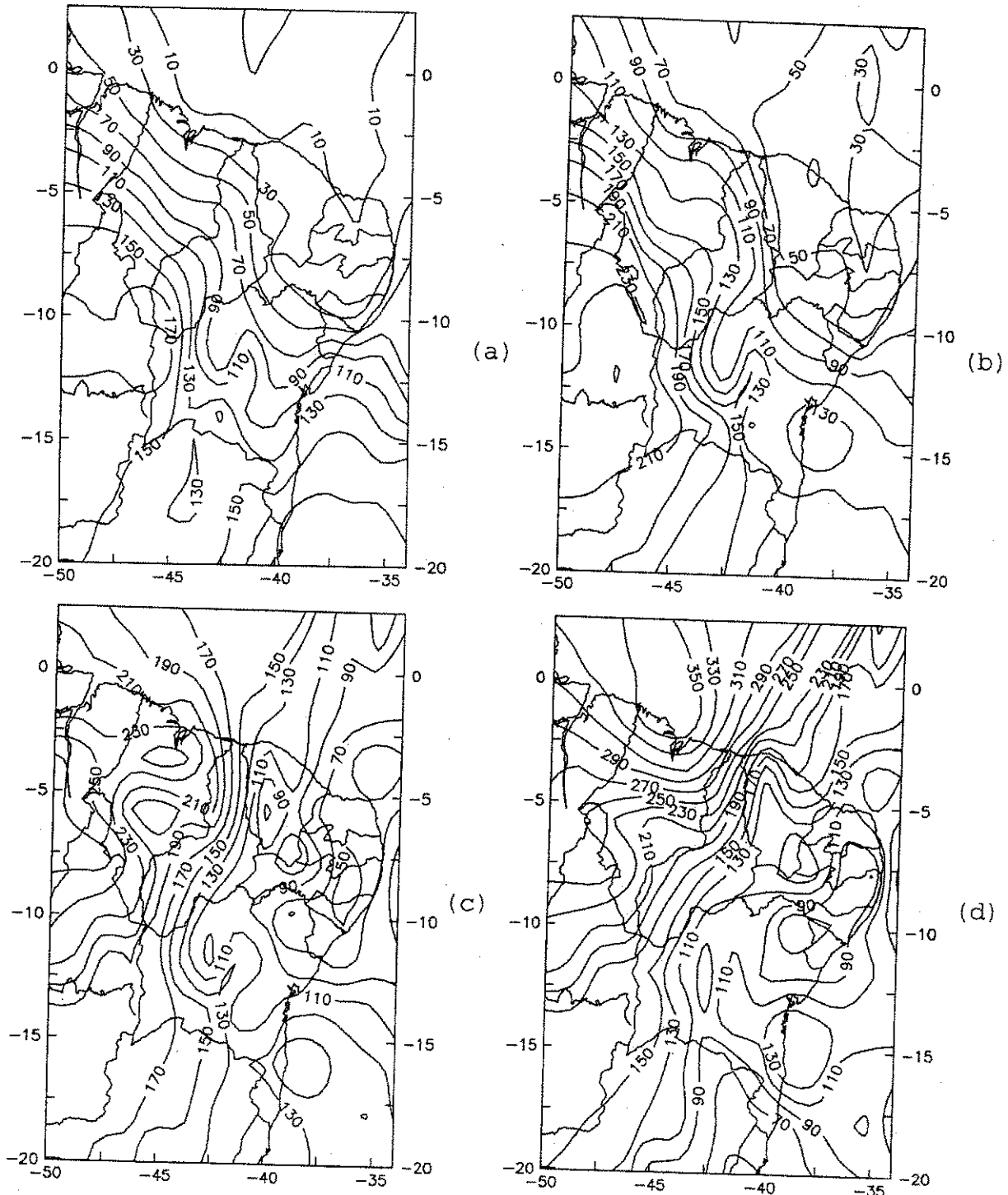


Fig.4.3 - Normal mensal de 30 anos (1961-1990) de precipitação sobre o Nordeste (mm) para os meses de (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e) março.

(continua)

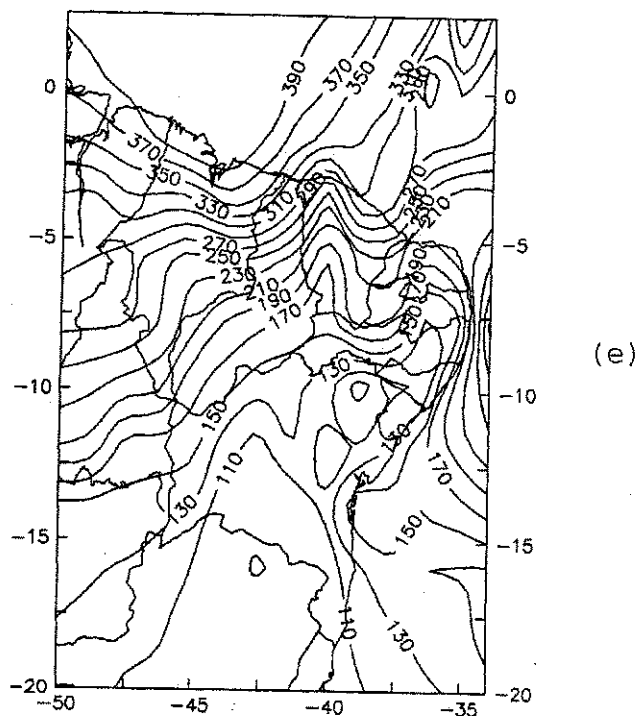


Fig.4.3 - Conclusão.

Anomalmente, no mês de fevereiro de 1981 (tabela 4.1) não houve formação da FxNC sobre o NE, tendo sido este um mês bastante seco para a Região (Kousky et alli, 1983). Em janeiro de 1983 (ano de El Niño forte), ocorreu precipitação acima da média no sul do NE, como notado por Kayano et al (1988). Isto talvez tenha ocorrido pela freqüente formação dos casos tipo A observados.

Em janeiro de 1984 (ano de anti-El Niño) houve déficit de precipitação sobre o sul do NE (Kayano et al, 1988). Neste mês encontrou-se ocorrência de somente um caso de formação da FxNC (não mostrado), com intensidade média. Estes resultados parecem concordar com trabalhos como os de Aceituno (1989), que revelam condições inversas de umidade entre o norte e o sul do NE nos eventos da Oscilação Sul.

Fez-se uma análise subjetiva da intensidade dos casos, mostrado na tabela 4.2. Esta análise baseou-se na extensão da área de nebulosidade observada nas imagens de satélite. Nota-se uma tendência geral dos casos que ocorrem nos meses com menor número de eventos serem os menos intensos. Encontrou-se que os casos tipo A (tabela 4.2.a) ocorrem com maior frequência na primavera. É interessante notar que a parte sul do NE possui máximo de precipitação centrado em dezembro, possivelmente por influência destes sistemas.

Observacionalmente, notou-se que nos casos em que há interação com VCATs, a FxNC encontra-se mais sobre o norte do NE que nos casos tipo A, e na maioria das vezes esta interage com a nebulosidade associada ao cavado equatorial (ZCIT). Os VCATs ocorrem mais em janeiro e fevereiro, época em que há uma redução na precipitação do sul do NE. Isto sugere uma relação inversa entre a ocorrência de vórtices ciclônicos e chuvas no sul do NE. Este resultado concorda com o observado por Kousky e Gan (1981), que notaram que o deslocamento para oeste do vórtice ciclônico aumenta a convecção sobre o norte e diminui sobre o sul e centro do NE.

A tabela 4.3.a mostra o número de casos tipo A que ocorreram em cada banda latitudinal. Esta tabela ilustra ainda o número de casos que vieram das bandas anteriores. Cabe aqui ressaltar que os casos que surgiram nas bandas 2 e 3 não significam que não havia a FxNC organizada nas bandas anteriores, e sim que não havia nebulosidade associada sobre o NE, que é a nossa região de estudo. Pode-se notar que a maioria dos casos tipo A que passaram pela banda 1, atingiram a banda 2, e muitos deles atingiram ainda a banda 3.

TABELA 4.2
INTENSIDADE DOS CASOS

MÊS/ANO	1980	1981	1982	1983	1987	1988
JAN	M		Mf	fMF		M
FEV	FM					
MAR		F				Ff
ABR		f	M			M
MAI	f		ff			ff
JUN						
JUL						
AGO		f				
SET			ff		M	
OUT	f	ff	f	fff	fM	MfifMM
NOV	fMM	Mfff	ff	fff	fffFfF	FM
DEZ	fM	fM	Mf	f	MfM	F

a) Casos Tipo A

MÊS/ANO	1980	1981	1982	1983	1987	1988
JAN	FF	MFF	FM	M	MM	M
FEV	M		MMF	FM	Mf	MFEM
MAR	F	F	ff	MF	Mf	M
ABR	f		f	f	M	MF
MAI						
JUN						
JUL						
AGO						
SET						
OUT						
NOV	M	f				Mf
DEZ	F	ff	F	ff	F	Mff

b) Casos Tipo S.

Obs.: F - Forte.
M - Médio.
f - fraco.

TABELA 4.3
TOTAL DO NÚMERO DE CASOS COM NEBULOSIDADE
SOBRE O NE PARA CADA BANDA LATITUDINAL

MÊS	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 2*	BANDA 3	BANDA 3*	BANDA 3**
JAN	5	6	4	2	2	0
FEV	2	2	2	2	2	0
MAR	2	3	2	3	2	1
ABR	2	3	2	3	1	1
MAI	4	5	4	1	0	1
JUN	0	0	0	0	0	0
JUL	0	0	0	0	0	0
AGO	1	1	1	1	1	0
SET	0	2	0	2	0	2
OUT	12	12	9	6	4	2
NOV	11	19	11	5	3	2
DEZ	7	9	5	2	0	2

a) Casos Tipo A.

MÊS	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 2*	BANDA 3	BANDA 3*	BANDA 3**
JAN	10	4	4	1	1	0
FEV	12	1	1	0	0	0
MAR	9	5	5	2	2	0
ABR	3	4	1	1	0	1
MAI	0	0	0	0	0	0
JUN	0	0	0	0	0	0
JUL	0	0	0	0	0	0
AGO	0	0	0	0	0	0
SET	0	0	0	0	0	0
OUT	0	0	0	0	0	0
NOV	4	1	1	1	1	0
DEZ	10	2	2	1	1	0

b) Casos Tipo S.

Obs.: - Banda 2* : Vieram da banda 1.
 - Banda 3* : Vieram das bandas 1 e 2.
 - Banda 3** : Vieram da banda 2, somente.

Para os casos tipo S (tabela 4.3.b), pode-se notar maior ocorrência durante o verão, sendo o máximo em fevereiro. Uma das características destes sistemas é serem normalmente estacionários, ou seja, poucos dos casos que passaram pela banda 1 atingiram a banda 2. Os casos que atingiram a banda 2 foram principalmente porque o VCAT dissipou-se, permitindo o deslocamento para norte da FxNC. Observou-se também casos em que o VCAT pode ser notado quando a faixa já estava na banda 2.

A tabela 4.4 ilustra a média de ocorrência de casos para cada mês. Para os casos tipo A, nota-se maior frequência no mês de novembro, cerca de três casos no mês, e para os tipo S maior frequência no mês de fevereiro, aproximadamente dois casos.

TABELA 4.4
MÉDIA MENSAL DO NÚMERO DE CASOS
OBSERVADOS DE ATUAÇÃO DA FxNC SOBRE O NE

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MD-TIPO A	1,2	0,3	0,5	0,8	0,8	0	0	0,2	0,3	2,5	3,0	1,8
MD-TIPO S	1,8	2,0	1,5	1,0	0	0	0	0	0	0	0,7	1,7

O número total de dias com nebulosidade sobre o NE devido aos dois tipos de casos é mostrado na figura 4.4. Somados os casos A e S observa-se como meses de maior frequência de dias com nebulosidade, os meses de dezembro, janeiro e novembro, respectivamente. Os meses de maior contraste são fevereiro e novembro. Em fevereiro observou-se 53 dias de nebulosidade devido aos casos tipo S e somente 13 aos casos tipo A, enquanto que em novembro

observou-se 75 dias para os casos tipo A e somente 11 para os tipo S.

Pode-se notar melhor a distribuição temporal dos casos analisando a tabela 4.5, que mostra a média do número de dias com nebulosidade sobre o NE para cada mês. Pode-se perceber que no mês de novembro há nebulosidade devido aos casos tipo A em cerca de 12 dias no mês. Para os casos tipo S, os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março possuem valores muito próximos, aproximadamente 8 dias no mês.

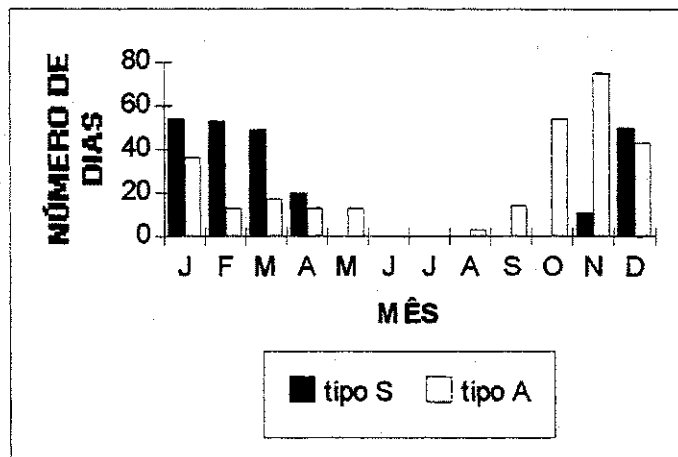
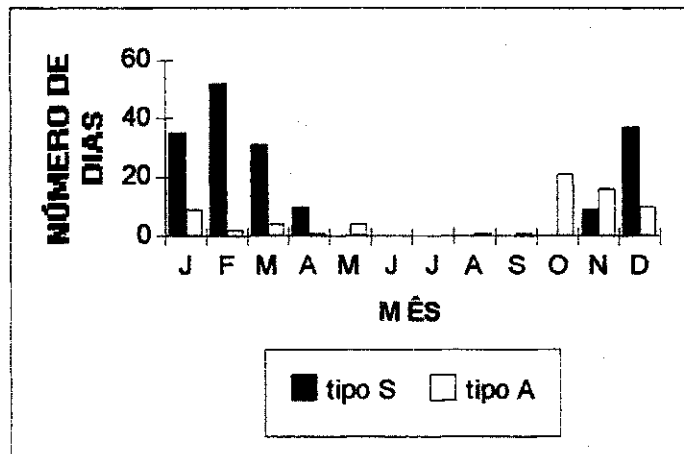


Fig.4.4 - Total de dias com nebulosidade sobre o NE devido à FxNC no período estudado (6 anos).

TABELA 4.5
MÉDIA DO NÚMERO DE DIAS COM NEBULOSIDADE
DEVIDO A FxNC SOBRE O NE

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MD-TIPO A	6,0	2,2	2,8	2,2	2,2	0	0	0,5	2,3	9,0	12,5	7,2
MD-TIPO S	9,0	8,8	8,2	3,3	0	0	0	0	0	0	1,8	8,3
MD-TOTAL	15,0	11,0	11,0	5,5	2,2	0	0	0,5	2,3	9,0	14,7	15,5

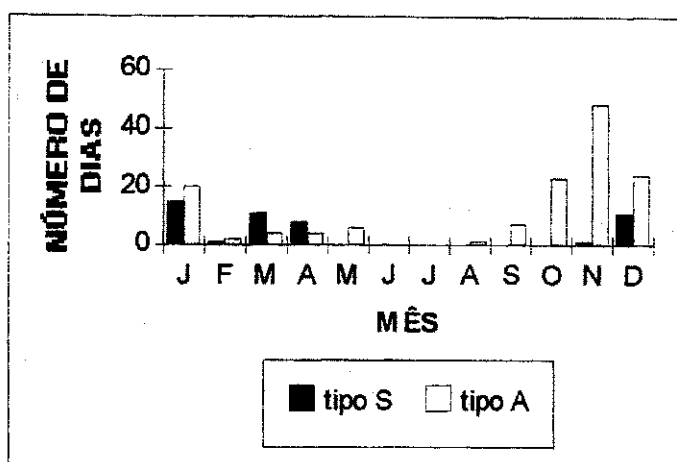
O número total de dias com nebulosidade sobre o NE para cada banda latitudinal pode ser visto na figura 4.5. Nestes gráficos percebe-se que os dias de permanência dos casos tipo A aparecem bem distribuídos nas três bandas, enquanto que os dias com nebulosidade para os casos tipo S aparecem, na sua grande maioria, quando a FxNC localiza-se na banda 1. Isto pode ser visto claramente nos meses de maior frequência de ocorrência dos casos tipo S. No mês de outubro, encontrou-se para os casos tipo A, 21, 23 e 10 dias nas bandas 1, 2 e 3, respectivamente. Em fevereiro, mês de maior ocorrência de casos tipo S, dos 53 dias correspondentes à estes casos, 52 foram quando a FxNC sobre o litoral estava na banda 1 (figura 4.5).



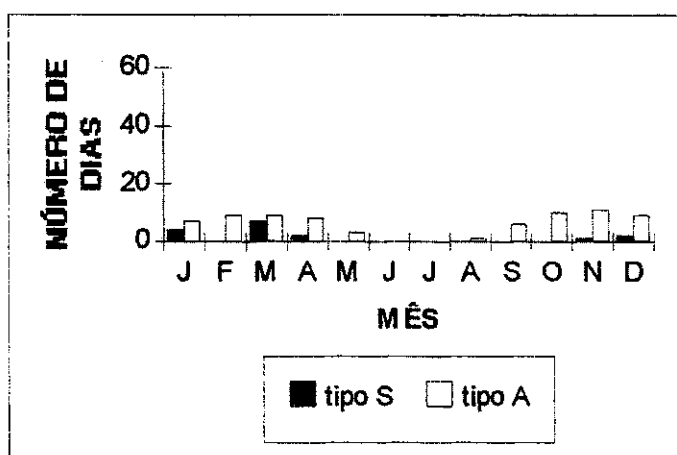
a) Banda 1.

Fig.4.5 - Total de dias com nebulosidade sobre o NE para cada banda latitudinal no período estudado (6 anos).

(continua)



b) Banda 2



c) Banda 3

Fig.4.5 - Conclusão.

Os valores das médias mensais do número de dias de permanência dos casos em cada banda latitudinal são mostrados na tabela 4.6. Nesta tabela nota-se que os casos tipo A permanecem menos tempo na banda 1 que os tipo S. Fevereiro mostrou-se o mês preferencial para

estacionaridade dos sistemas tipo S na banda 1, com poucos dias observados na banda 2, ou seja, poucos dos casos analisados tiveram deslocamento considerável para norte-nordeste. Pode-se notar ainda que os casos tipo A que atingem a banda 3 permanecem nesta banda mais dias que nas bandas anteriores, sendo este resultado semelhante ao obtido por Oliveira (1986). O baixo valor encontrado para o mês de agosto foi obtido com a passagem de somente um caso, tendo portanto, pouca representatividade.

TABELA 4.6
MÉDIA DO NÚMERO DE DIAS DE PERMANÊNCIA DA
EXNC EM CADA BANDA LATITUDINAL

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
B1-TIPO A	1,8	1,0	2,0	0,5	1,0	0	0	1,0	0	1,8	1,5	1,4
B2-TIPO A	3,3	1,0	1,3	1,3	1,2	0	0	1,0	3,5	1,9	2,5	2,7
B3-TIPO A	3,5	4,5	3,0	2,7	3,0	0	0	1,0	3,0	1,7	2,2	4,5
B1-TIPO S	3,5	4,3	3,4	3,3	0	0	0	0	0	0	2,3	3,7
B2-TIPO S	3,8	1,0	2,2	2,0	0	0	0	0	0	0	1,0	5,5
B3-TIPO S	4,0	0	3,5	2,0	0	0	0	0	0	0	1,0	2,0

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASOS SELECIONADOS

Foram selecionados casos de atuação da FxNC sobre o NE para um estudo mais detalhado das condições meteorológicas observadas em superfície e altitude. O primeiro caso estudado (tipo A) ocorreu de 03 a 09 de dezembro de 1988, época em que, como observado anteriormente, é freqüente a ocorrência de situações deste tipo. O segundo caso estudado (tipo S), ocorreu de 14 a 19 de dezembro de 1988. Apesar do mês de dezembro ser o terceiro mês mais freqüente para a ocorrência de episódios tipo S, este foi escolhido justamente para que fosse possível uma identificação dos padrões de circulação atmosférica que possibilitem a ocorrência de um ou outro caso.

A seleção dos casos foi feita através de imagens de satélites meteorológicos, sendo assim, não foram observados previamente as características de cada caso. Conforme citado anteriormente, os casos tipo A podem ocorrer tanto pela penetração de zonas de convergência associadas à formação de vórtices ciclônicos quanto associadas à penetração de SFs na região tropical. O primeiro caso ocorreu devido à presença de vórtices ciclônicos. Neste sentido, estudou-se um segundo caso tipo A ocorrido de 27 de novembro a 02 de dezembro de 1987, pela penetração de um SF em baixas latitudes.

5.1) CASO OCORRIDO DE 03 A 09 DE DEZEMBRO DE 1988

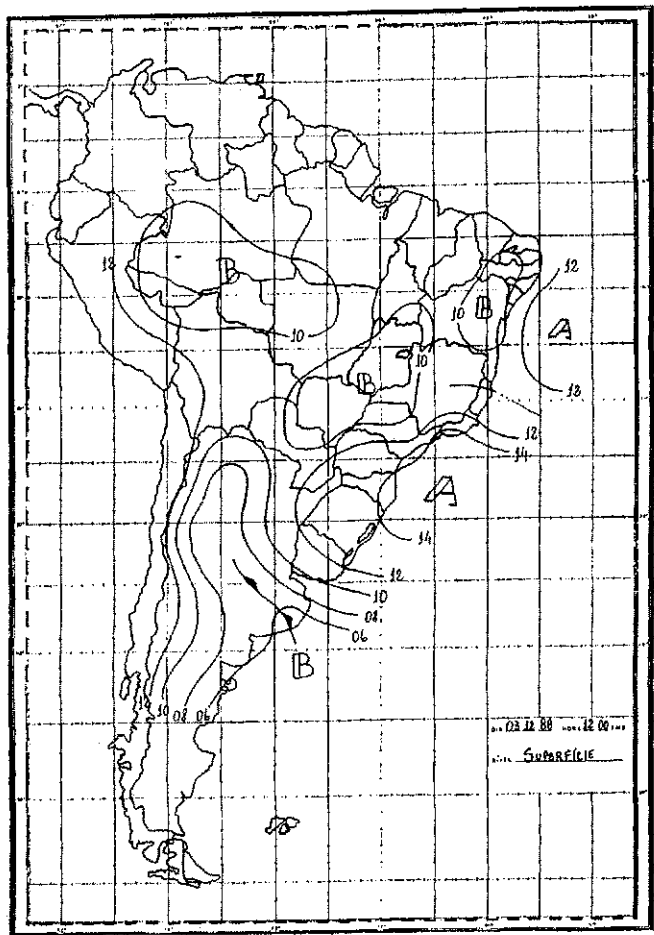
O primeiro caso estudado de atuação da FxNC sobre o NE ocorreu de 03 a 09 de dezembro de 1988 devido a formação de vórtices ciclônicos sobre o Oceano Atlântico, a sudeste do NE. A ocorrência destes vórtices parece ter organizado a CT.

5.1.1) Análise da Situação Sinótica em Superfície

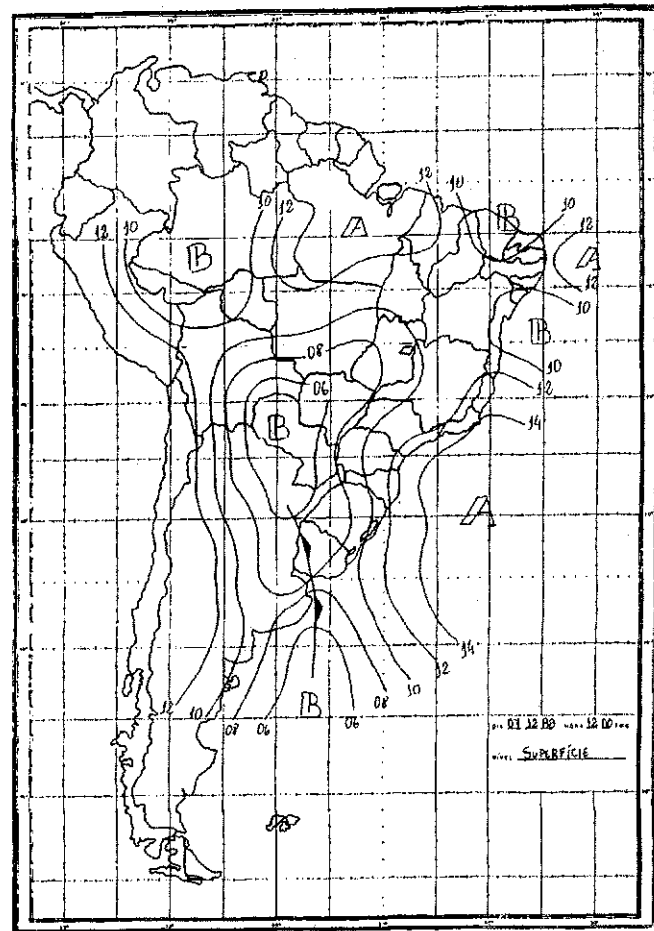
A análise da carta sinótica de superfície das 12:00 UTC do dia 03 de dezembro (fig.5.1.a) mostra um sistema de baixa pressão sobre as regiões SE, CO e sul do NE. Este sistema foi caracterizado como uma frente fria que se formou na própria região devido à atuação de um vórtice em níveis médios e baixos (Climanálise, dez. 1988). Todavia, a simples análise de superfície a partir de dados sobre o continente, e as fracas características frontais, como o gradiente de temperatura, impossibilitaram uma localização mais precisa do sistema em superfície.

Uma melhor caracterização do sistema é realizada a seguir através da interpretação das análises em diversos níveis da atmosfera.

As cartas de superfície dos dias seguintes mostraram um lento deslocamento do sistema de baixa pressão associado à FxNC para nordeste, como mostrado na análise do dia 07 (fig.5.1.b).



(a)



(b)

Fig.5.1 - Carta sinótica de superfície das 12:00 UTC para os dias (a) 03/12/88, (b) 07/12/88.

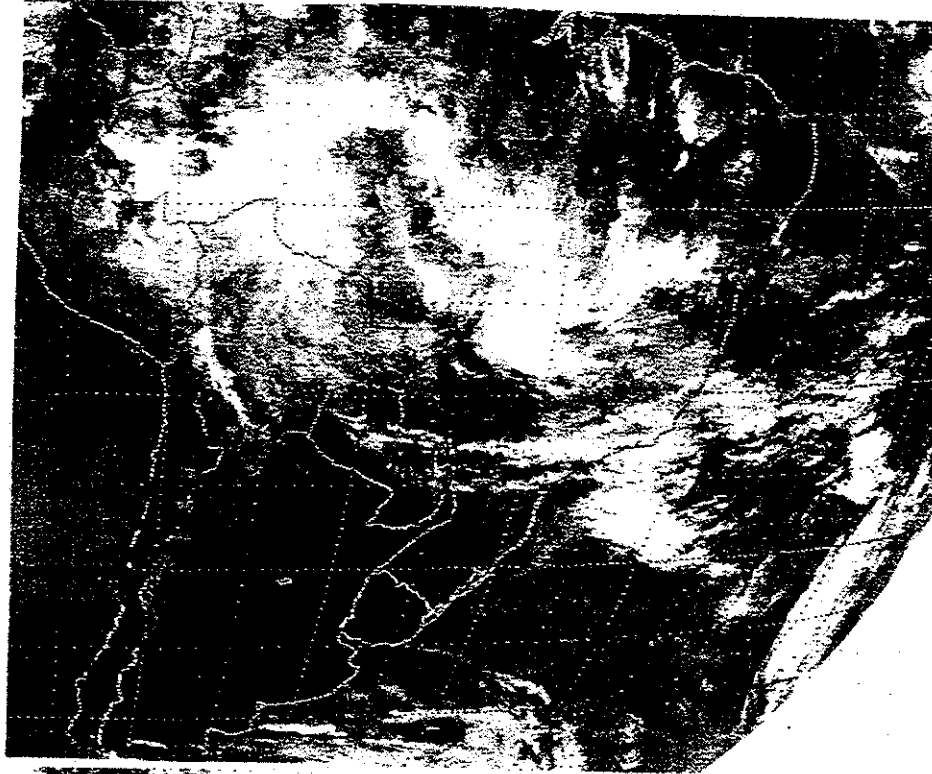
5.1.2) Análise das Imagens de Satélite

Foram utilizadas para análise da intensidade e localização dos sistemas, imagens do satélite meteorológico GOES-E no horário das 12:00 UTC.

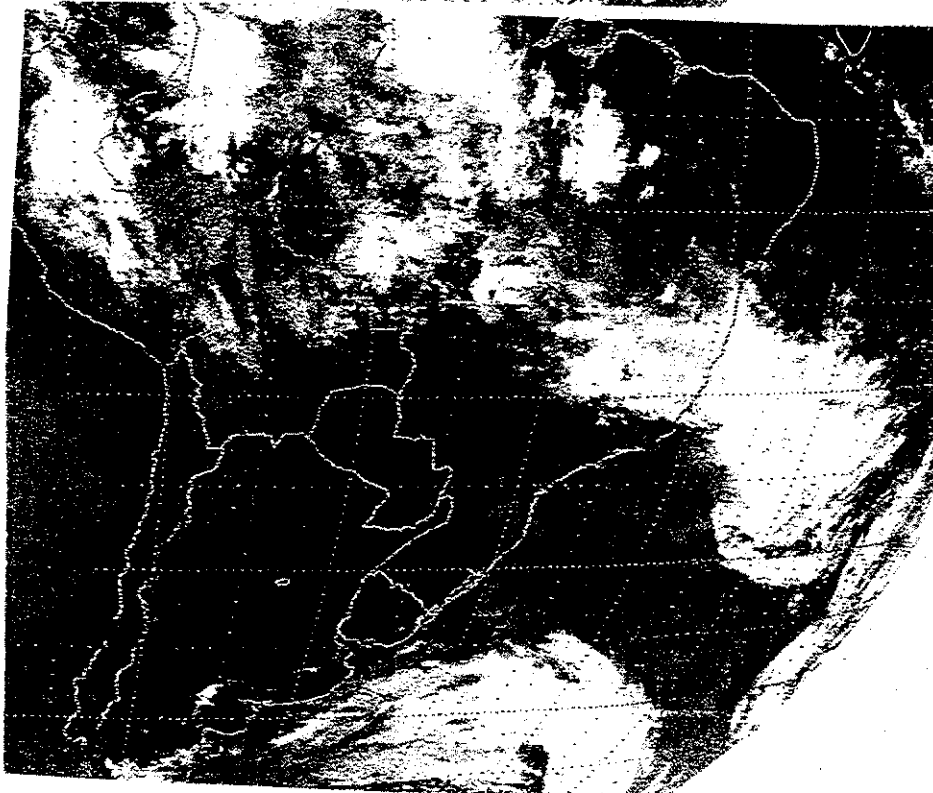
A imagem de satélite do dia 02 das 12:00 UTC (fig.5.2.a) mostra intensa atividade convectiva tropical mas com fraca organização, principalmente sobre as regiões central do Brasil, Amazônia, Minas Gerais e sul do NE. Neste dia percebe-se claramente a presença do jato subtropical sobre o Paraguai e Região Sudeste do Brasil. No dia 03 (fig.5.2.b) a convecção organiza-se devido a uma ciclogênese à leste do continente. O possível centro do sistema pode ser observado em aproximadamente 27°S, 35°W.

A nebulosidade convectiva observada no dia 02 (e a conseqüente liberação de calor latente) pode ter tido papel decisivo no desenvolvimento da ciclogênese (Danard, 1964). Oliveira (1986), notou, em estudo climatológico, um grande número de ciclogêneses sobre o continente, principalmente durante a primavera. Esses processos de ciclogênese observados por Oliveira devem estar associados ao elevado número de casos tipo A observados na primavera durante o estudo climatológico. Infelizmente, a frequência de ciclogêneses não foi quantificada por Oliveira, bem como não a foi no presente trabalho porque muitas das ciclogêneses ocorreram fora da nossa região de estudo.

No dia 04, a FxNC se organiza, havendo um deslocamento do centro do sistema para leste (fig.5.2.c). No dia 05 a FxNC sofre uma pequena desintensificação, conforme observado na figura 5.2.d. Um novo vórtice é observado no dia 06 (fig.5.2.e) , centrado em aproximadamente 32°W, 18°S. Este vórtice organiza novamente a convecção.



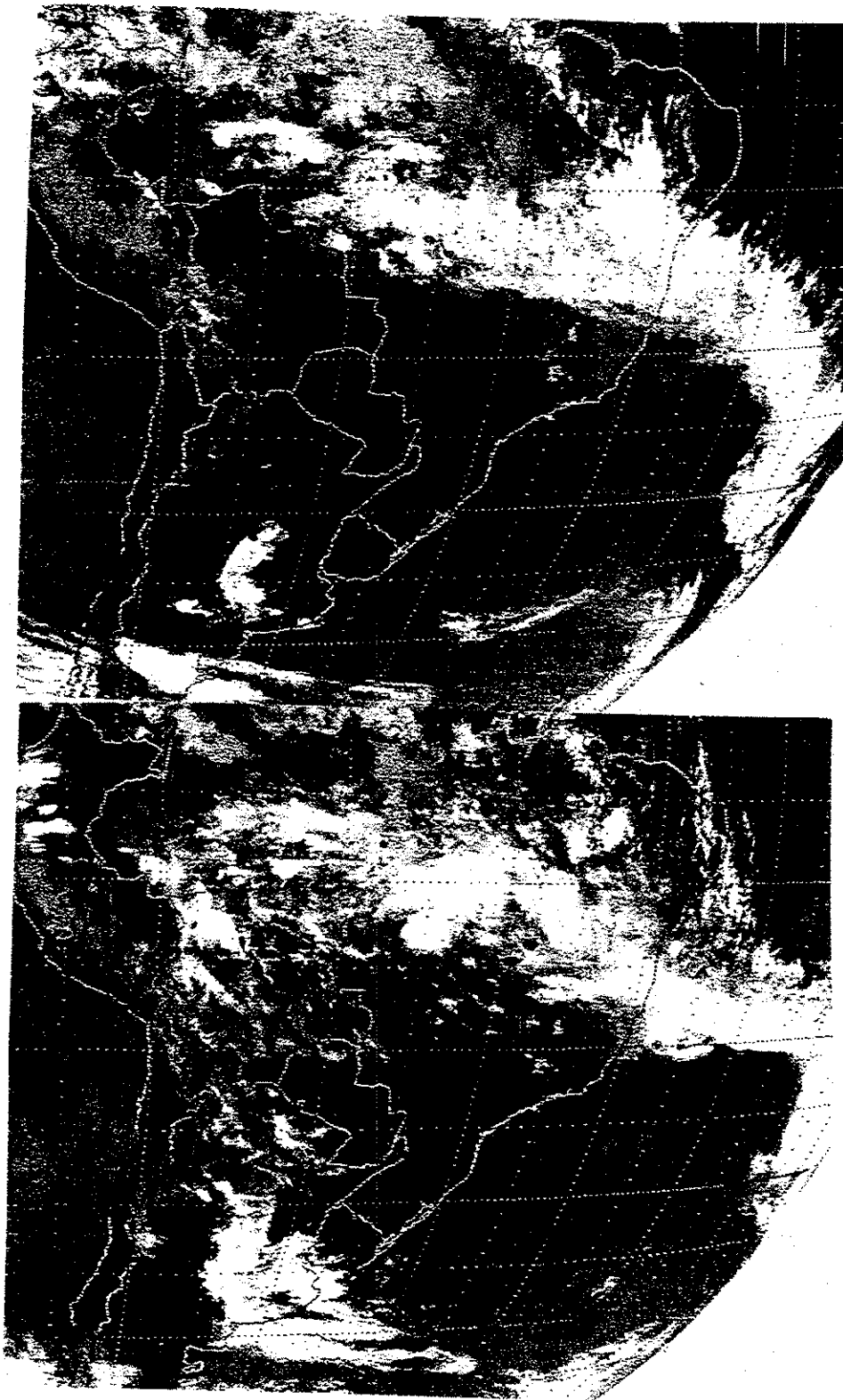
(a)



(b)

Fig.5.2 - Imagens do satélite GOES-E no canal infravermelho das 12:00 UTC para os dias (a)02/12/88, (b)03/12/88, (c)04/12/88, (d)05/12/88, (e)06/12/88, (f)08/12/88.

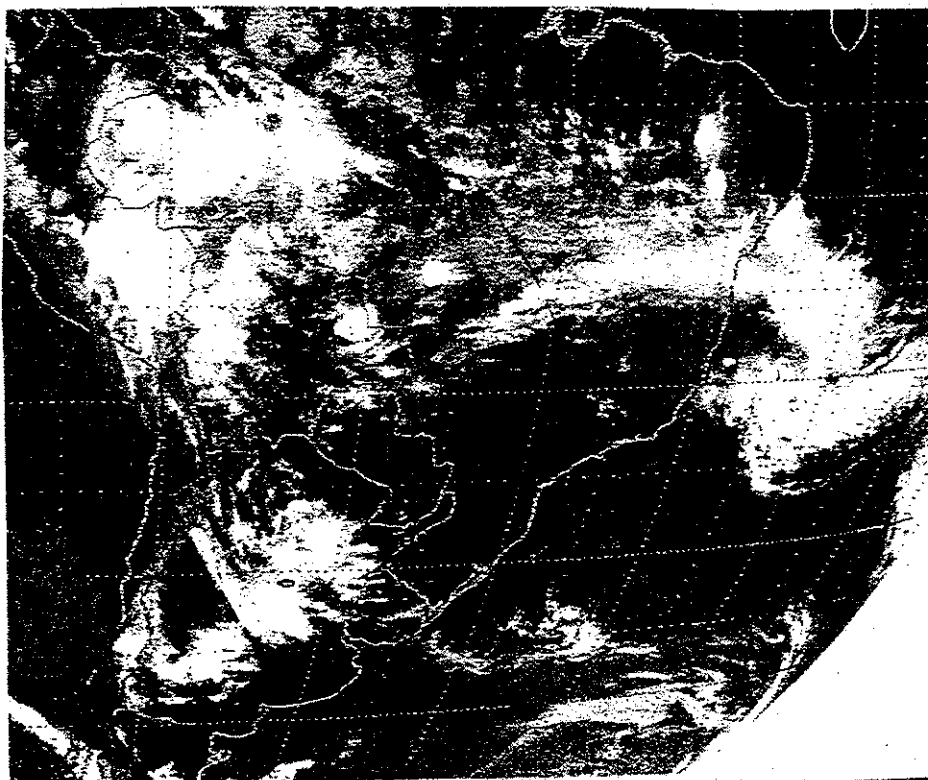
(continua)



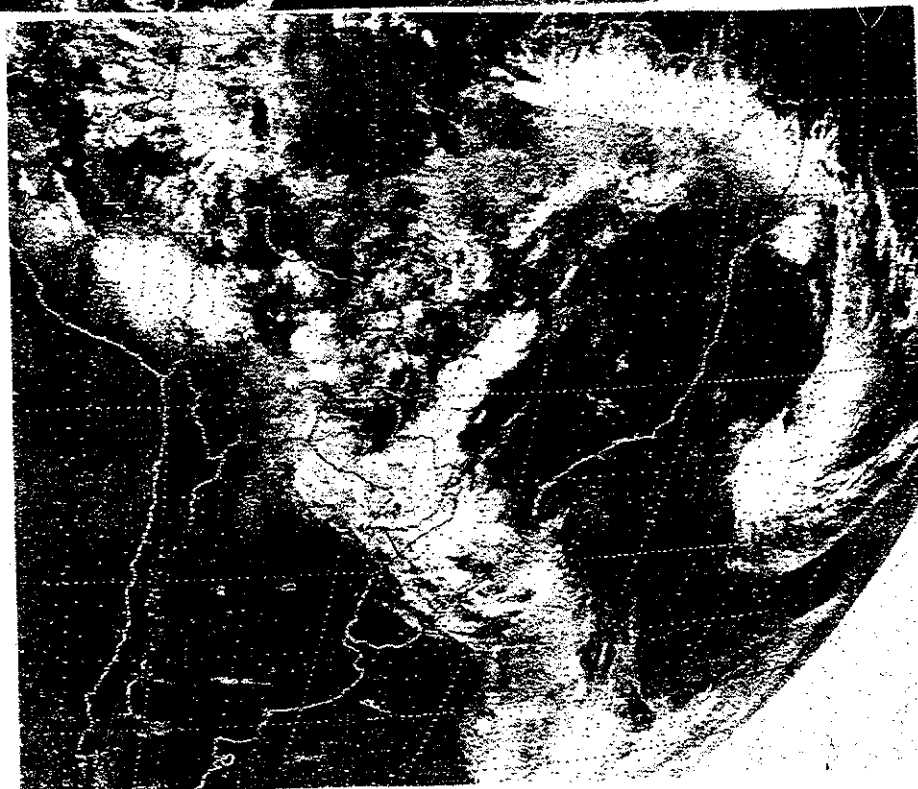
(c)

(d)

Fig.5.2 - Continuação.



(e)



(f)

Fig.5.2 - Conclusão.

A FxNC desloca-se para norte sobre o continente, atingindo toda a região norte do NE no dia 08 (fig.5.2.f). No dia 09 (não mostrado) a FxNC pouco atuou sobre o continente, influenciando somente a região nordeste do NE e no dia 10 a FxNC dissipou-se.

A posição da FxNC observada nas imagens de satélite das 12:00 UTC entre os dias 04 e 08 está esquematizada na fig.5.3. Pode-se notar que o deslocamento da FxNC foi, em geral, para nordeste. O sistema mantém-se ativo por vários dias, sendo que maior atividade convectiva foi observada nas imagens das 18:00 UTC.

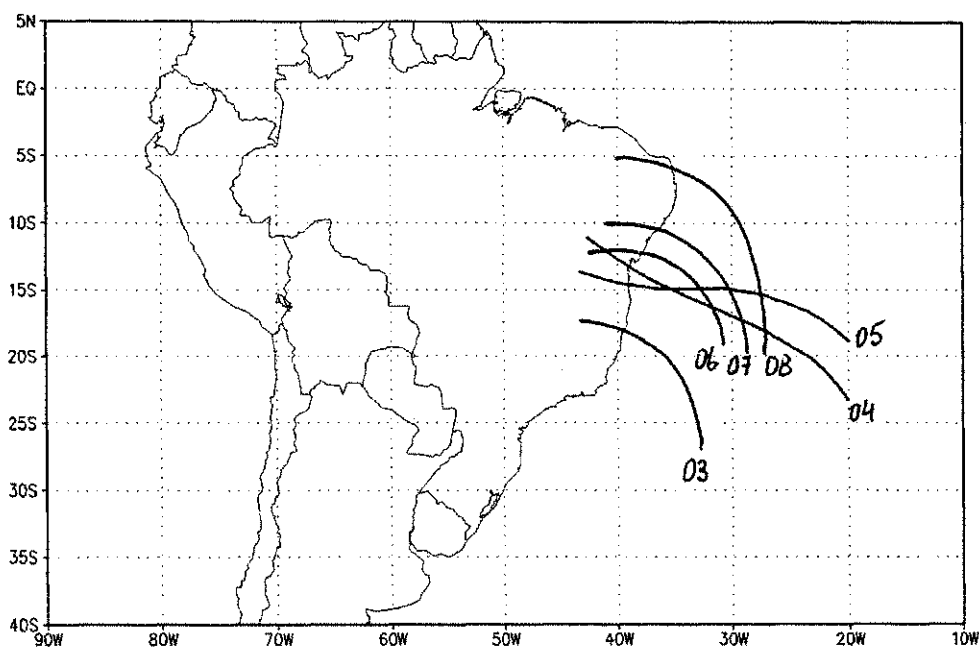


Fig.5.3 - Localização da FxNC de 03 a 08/12/88 a partir da observação das imagens de satélite das 12:00 UTC.

5.1.3) Análise da Precipitação

A figura 5.4 mostra o campo de precipitação acumulada sobre o NE de 03 a 10 de dezembro utilizando dados de 52 estações da SUDENE (ver Apêndice B). Nesta figura pode-se observar valores de precipitação bastante elevados, principalmente na região sul do NE.

Quando comparamos com a figura 4.3.b, que representa os valores climatológicos (30 anos) de precipitação do mês de dezembro, observamos que as chuvas que ocorreram nos sete dias deste episódio estiveram acima da normal do mês (31 dias) sobre o norte da Bahia, oeste dos estados de Sergipe, Alagoas, Pernambuco e sudoeste da Paraíba. Chuvas próximas à normal do mês foram observadas sobre a maior parte da Bahia.

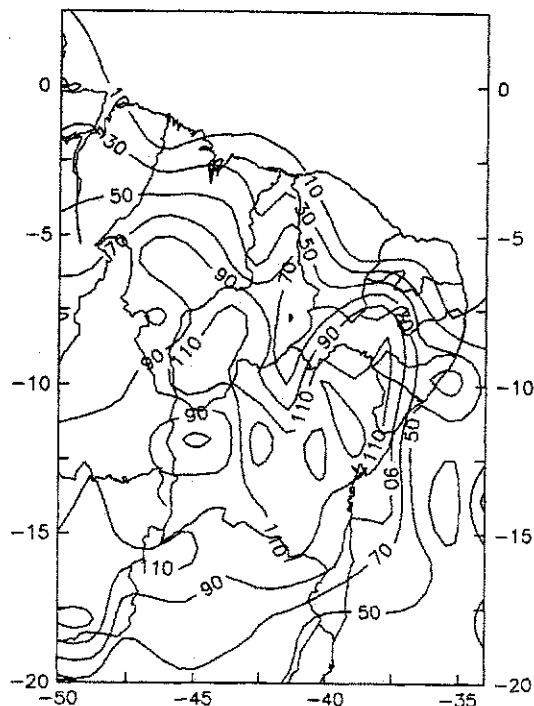


Fig.5.4 - Precipitação acumulada (mm) de 03 a 10 de dezembro de 1988.

Os valores observados de precipitação confirmam, desta forma, elevados índices pluviométricos para as regiões afetadas por sistemas do tipo A, mostrando serem estes sistemas causadores de chuvas em regiões que possuem totais muito baixos de precipitação durante o ano inteiro.

5.1.4) Análise de Altitude

Para estudo das condições meteorológicas de altitude, foram usadas as análises do ECMWF. Foram utilizados para este caso os campos de vento em 850, 500 e 200 hPa, vorticidade relativa em 850 e 200 hPa, divergência do fluxo de umidade em 850 hPa, velocidade vertical em 500 hPa, temperatura potencial equivalente em 500 hPa, divergência do fluxo de massa em 200 hPa, perfil vertical do vento em 20°S e perfil vertical da temperatura potencial equivalente em 10°S.

O campo de vento em 850 hPa no dia 03 (fig.5.5.a) mostra a presença de um vórtice ciclônico sobre o litoral do Espírito Santo (ES). A partir deste vórtice observa-se, na direção noroeste-sudeste, uma faixa de ventos predominantes de norte. Na análise do dia 04 (fig.5.5.b) observa-se a formação de um anticiclone centrado em aproximadamente 30°S, 40°W. A circulação associada a este anticiclone e os ventos de norte configuram uma região de confluência de vento nos baixos níveis. No dia 04 o vórtice ciclônico sofre um deslocamento para leste.

No dia 06, um novo vórtice ciclônico forma-se sobre o litoral do ES e sul da Bahia (fig.5.5.c). Este novo vórtice sofre um pequeno deslocamento para sul até o dia 09, quando então dissipa-se (não mostrado). Aparentemente, a intensificação da ASAS, como mostra a análise do dia 08

(fig.5.5.d), parece ter tido um papel decisivo na dissipação do vórtice em baixos níveis.

Os centros dos vórtices ciclônicos observados em baixos níveis são pouco visíveis nas imagens de satélite no infra-vermelho, e estão localizados a sudoeste da FxNC. O centro observado na imagem do dia 03 está provavelmente relacionado a um sistema ciclônico em níveis mais elevados da atmosfera, muito embora as análises mostrem poucas evidências deste sistema. Talvez a presença de vórtices em níveis médios e altos, intensificando o movimento subsidente e posteriormente o movimento convergente na vizinhança em baixos níveis, tenha sido causa da formação dos vórtices em baixos níveis.

Em 850 hPa a ASAS apresenta-se mais fraca que o normal, conforme comparação com a figura 2.2, permitindo o aparecimento de ventos de norte e nordeste sobre o norte do NE, condição observada por Hastenrath e Heller (1977) e Kousky e Moura (1981) durante os períodos chuvosos do NE devido a atividade frontal persistente. Esta observação concorda com Kousky (1979), que notou que linhas de instabilidade associadas a zonas de convergência, como sistemas frontais, conseguem alcançar o sul do NE e enfraquecem a ASAS. Podemos incluir também zonas de convergência associadas a vórtices ciclônicos, como observado neste caso.

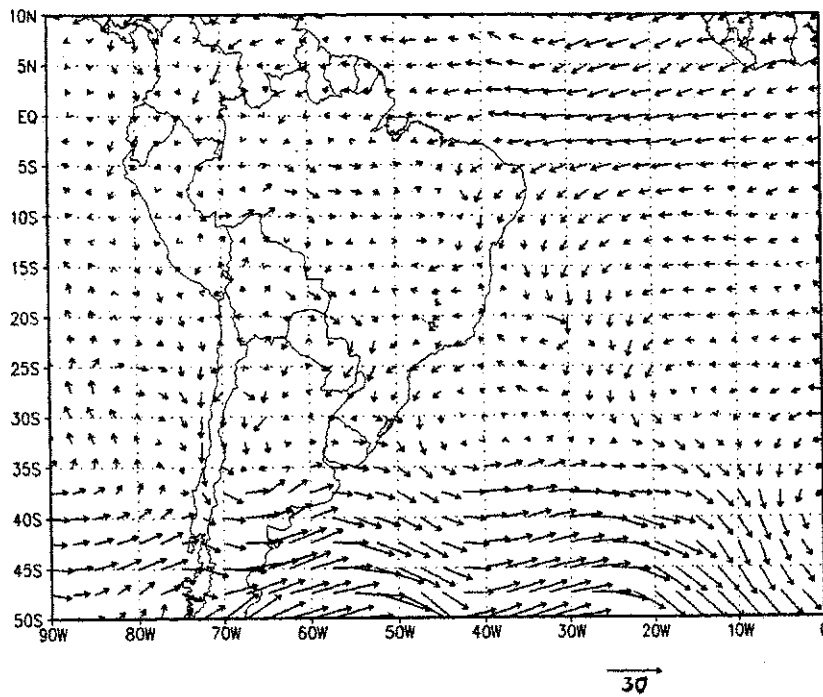
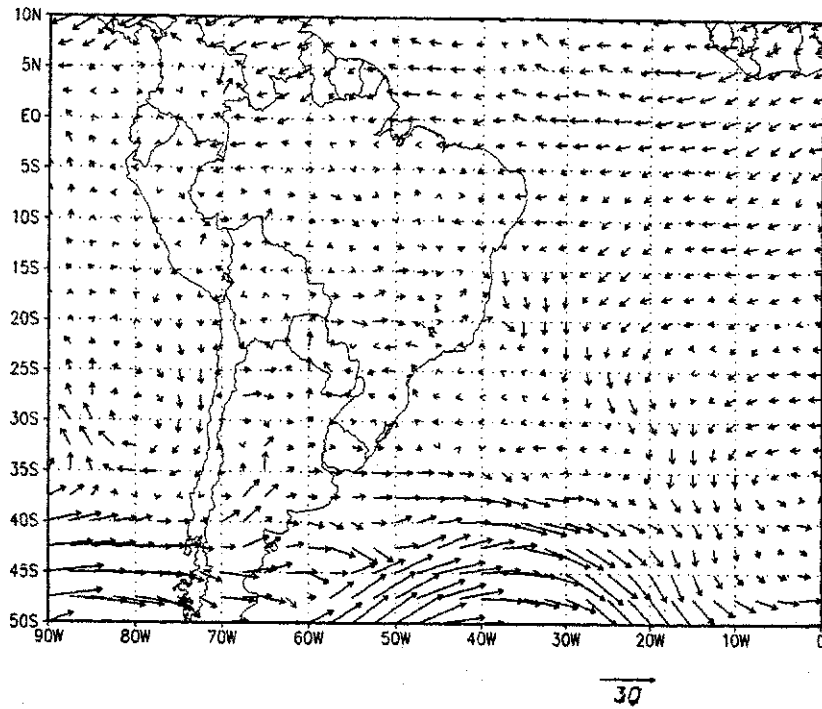
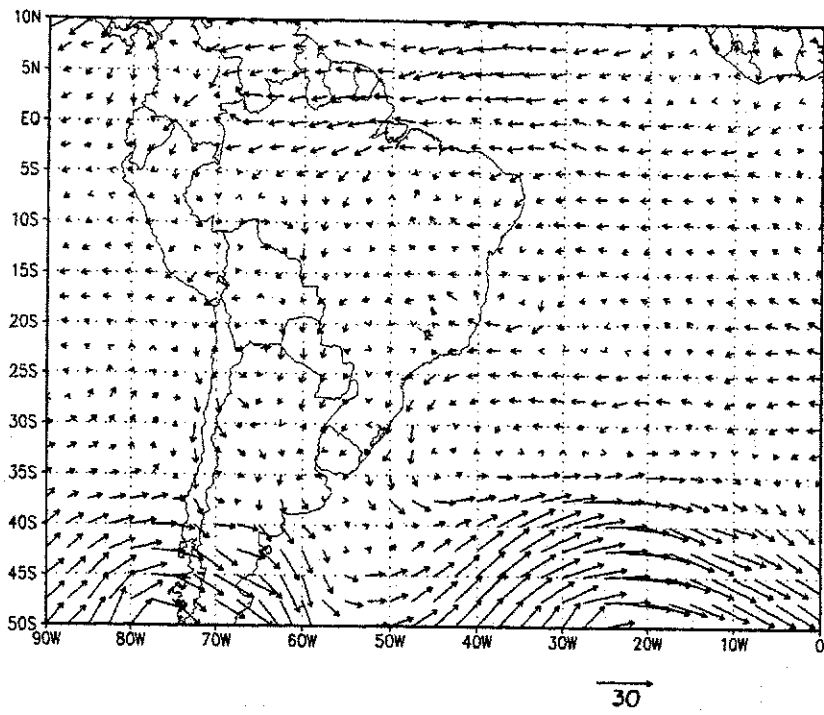
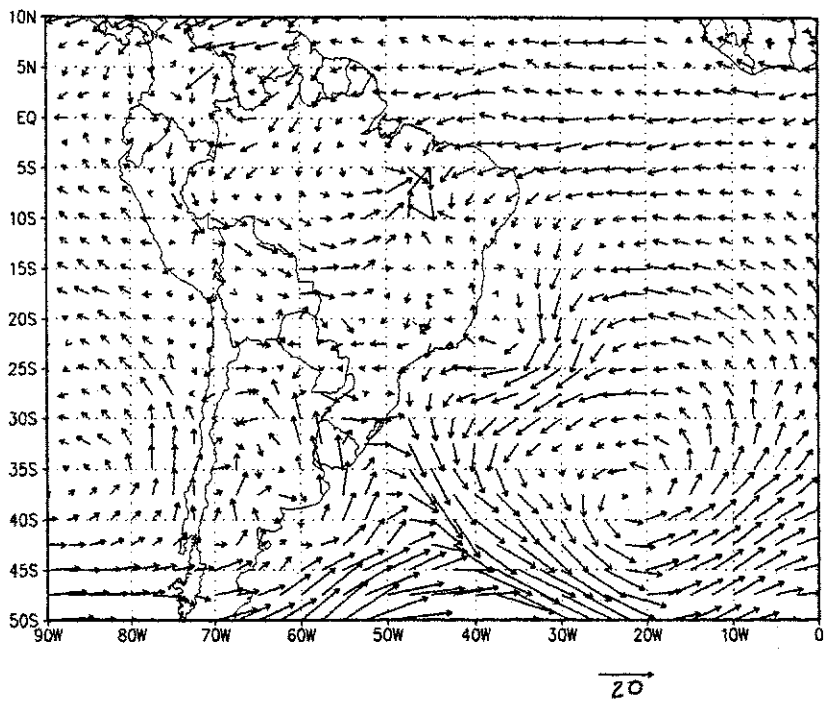


Fig.5.5 - Vetor vento (m/s) em 850 hPa, às 12:00 UTC para os dias (a)03/12/88, (b)04/12/88, (c)06/12/88, (d)08/12/88.

(continua)



(c)



(d)

Fig.5.5 - Conclusão.

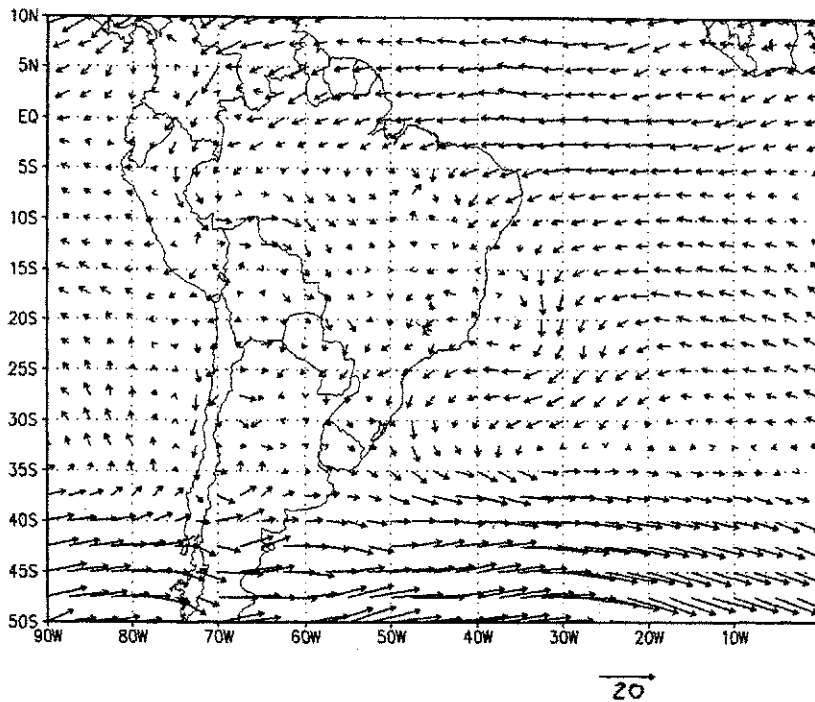


Fig.5.6 - Vetor vento médio (m/s) em 850 hPa às 12:00 UTC de 03 a 09/12/88.

O final do episódio coincide com a intensificação da ASAS, e conseqüentemente dos ventos alísios. A figura 5.6 mostra o campo do vetor vento médio entre os dias 03 e 09. Podemos observar uma circulação ciclônica centrada em aproximadamente 20°S, 40°W, associada aos sistemas ciclônicos que se formaram sobre aquela região. Observa-se também a ASAS mais fraca que o normal (ver fig.2.2) e a presença de ventos de nordeste sobre o NE.

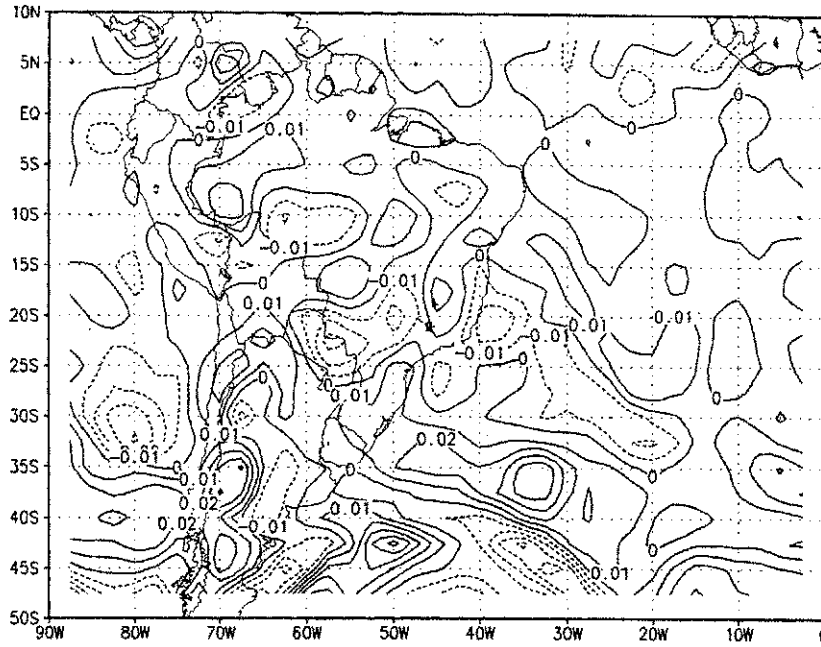
A análise do campo de vorticidade relativa em 850 hPa para este episódio (fig.5.7) evidencia bem a presença e o deslocamento dos vórtices ciclônicos. No dia 03 (fig.5.7.a) observa-se um centro de vorticidade negativa sobre o litoral do ES; este centro desloca-se para leste nos dias seguintes. No dia 06 (fig.5.7.c) observa-se um novo núcleo associado ao segundo vórtice próximo da região onde o núcleo anterior se formara. Este segundo núcleo apresentou

um lento deslocamento para sudeste nos dias seguintes, com centro localizado em aproximadamente 22°S, 35°W no dia 08 (fig.5.7.d).

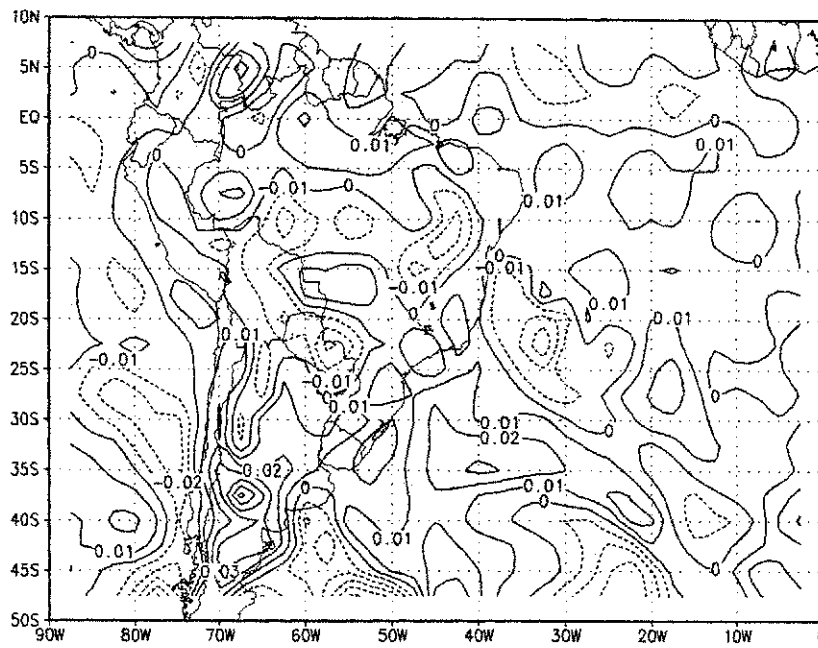
Pode-se observar que os centros de vorticidade negativa (ciclônica) em 850 hPa coincidem com a localização dos centros dos vórtices neste nível. Quando comparamos com a FxNC presente nas imagens de satélite, observa-se que esta se localiza a nordeste da região de máxima vorticidade ciclônica em baixos níveis.

Nos sistemas tropicais, como é o caso da FxNC que atua sobre o NE, a energia potencial devido ao gradiente térmico é pequena quando comparada com os sistemas extra-tropicais. Muitas vezes é difícil localizar um SF semi-estacionário ou uma banda de nebulosidade convectiva a partir de dados de temperatura em superfície, principalmente durante os meses de verão.

A principal fonte de energia dos sistemas tropicais de grande escala é o calor latente devido aos sistemas de nuvens convectivas (Holton, 1979). Todavia, o tratamento teórico dos movimentos convectivos é bastante complexo. Uma variável meteorológica que auxilia na avaliação da instabilidade da atmosfera tropical é a temperatura potencial equivalente (θ_e). Temperatura potencial equivalente é a temperatura potencial que uma parcela de ar teria se fosse condensada totalmente e o calor latente liberado utilizado para aquecer esta parcela. A temperatura potencial equivalente é utilizada para mensurar a chamada "instabilidade condicional", que é uma condição termodinâmica necessária à convecção nos trópicos.



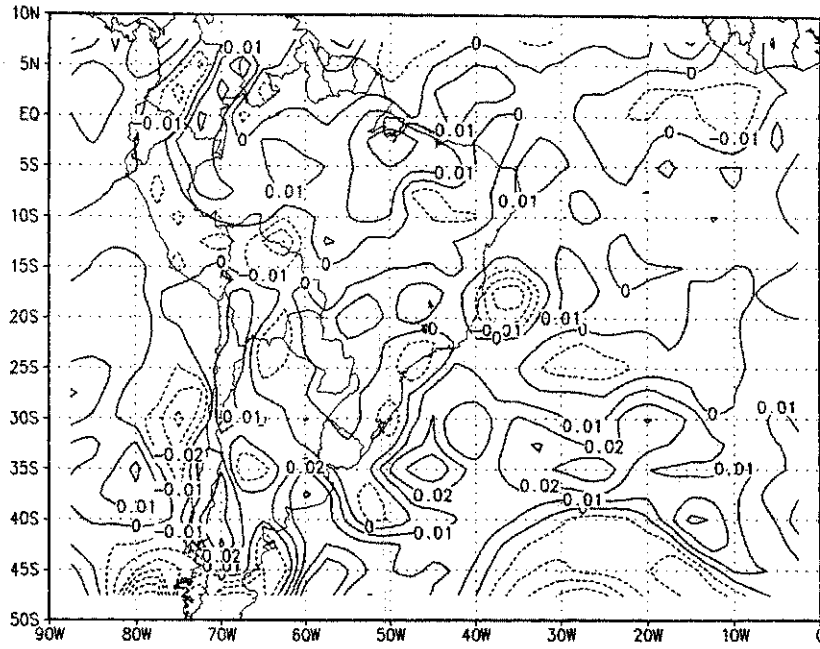
(a)



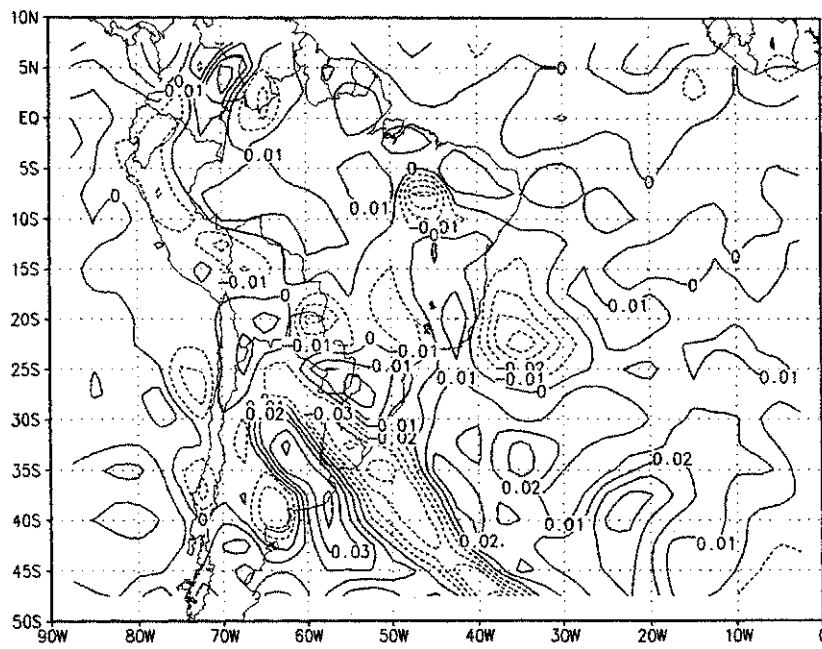
(b)

Fig.5.7 - Vorticidade relativa ($10^{-3}s^{-1}$) em 850 hPa às 12:00 UTC para os dias (a) 03/12/88, (b) 04/12/88, (c) 06/12/88 e (d) 08/12/88.

(continua)



(c)



(d)

Fig.5.7 - Conclusão.

O critério de estabilidade condicional para uma parcela saturada é (Holton, 1979):

$\partial\theta_e/\partial Z < 0$ - condicionalmente instável

$\partial\theta_e/\partial Z = 0$ - neutra

$\partial\theta_e/\partial Z > 0$ - condicionalmente estável

A figura 5.8 mostra o perfil vertical de θ_e para o dia 05 de dezembro na latitude de 10°S . Valores elevados de θ_e são observados em baixos níveis centrados em torno da longitude 45°W . Quando comparamos com a imagem de satélite do dia 05 observamos que estes máximos de θ_e localizam-se sob a região de máxima atividade convectiva.

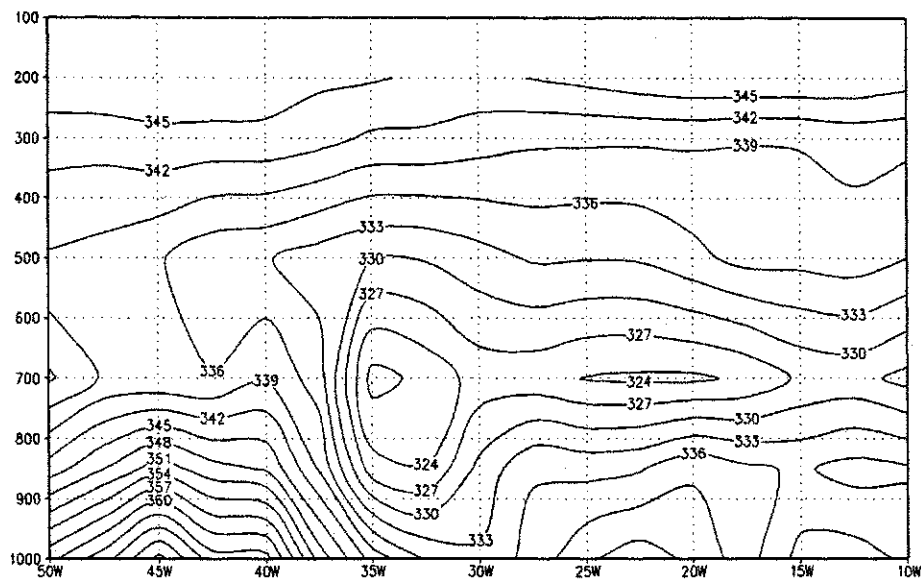
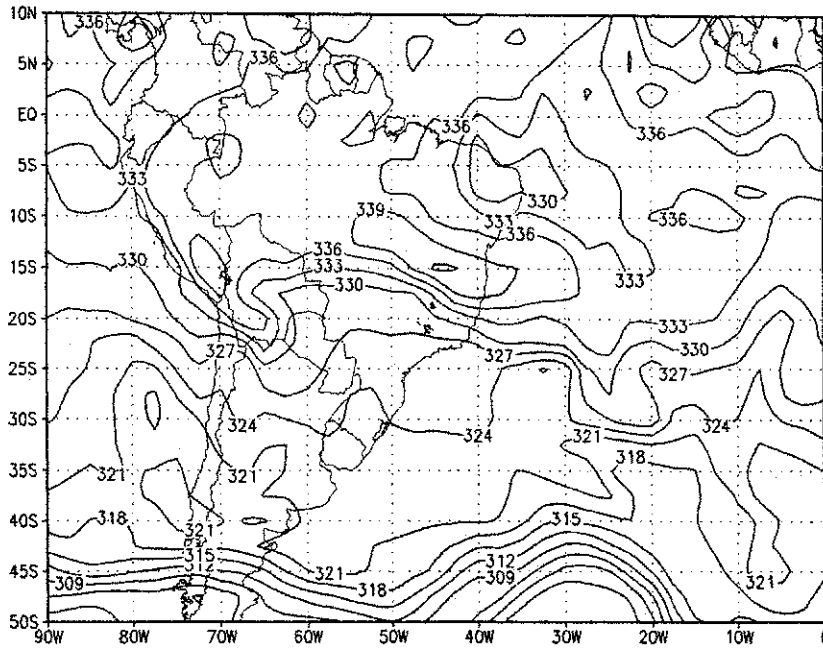


Fig.5.8 - Perfil vertical da temperatura potencial equivalente (K) na latitude de 10°S para o dia 05/12/88 às 12:00 UTC.

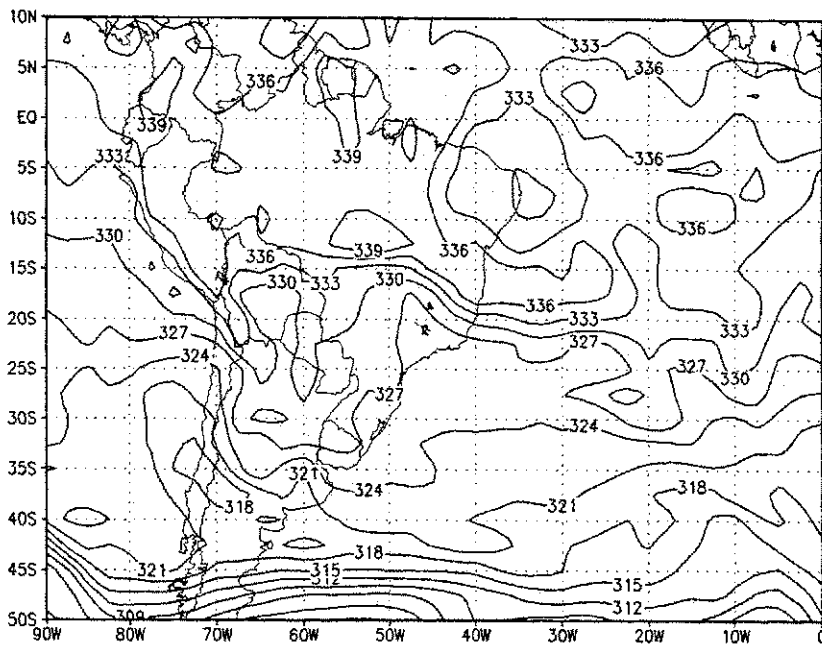
Valores altos de θ_e , em geral, são condição necessária para iniciar a atividade convectiva na região tropical. Pode-se notar também na figura 5.8 que o calor é levado até os níveis mais altos nos núcleos convectivos (ascensão pseudo-adiabática). Observa-se ainda um mínimo de θ_e em baixos níveis em aproximadamente 10°S , 33°W , justamente na periferia da FxNC. Todavia, o simples mecanismo de instabilidade condicional não é suficiente para organizar a CT como uma banda de nebulosidade convectiva em grande escala, como no nosso caso.

A força de ascensão necessária para a convecção deve ocorrer, sobretudo, em uma região de convergência de umidade em baixos níveis. Esta região de convergência ocorre quando há atuação, por exemplo, de SFs ou vórtices ciclônicos. Este mecanismo em que a convecção cúmulos fornece calor necessário aos sistemas de grande escala, e os sistemas de grande escala produzem convergência de umidade em baixos níveis necessária à convecção cúmulos, organizando a CT, é o que comumente se denomina de "Instabilidade Condicional de Segundo Tipo" (CISK) (Holton, 1979).

As regiões em que há uma maior ascensão de ar quente e úmido até os níveis médios pode ser observada na figura 5.9, que mostra o campo de θ_e em 500 hPa. Nos dias 04 e 05 (fig.5.9.a e b) observa-se uma faixa de máximos de θ_e no sentido noroeste-sudeste sobre o norte do SE e sul do NE. Observa-se ainda um mínimo sobre o nordeste do NE, formando uma espécie de dipolo.



(a)



(b)

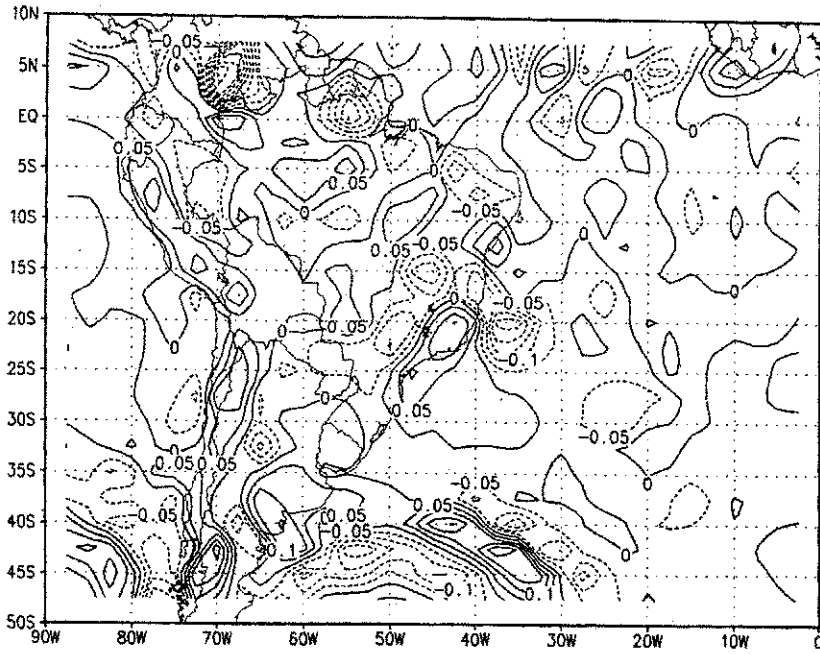
Fig.5.9 - Temperatura potencial equivalente (K) em 500 hPa às 12:00 UTC para os dias (a) 04/12/88, (b) 05/12/88.

O forte gradiente de θ_e na borda sul da região de máxima temperatura, como observado na figura 5.9.a e b indica que a FxNC delimita massas de ar de diferentes características neste nível, ou seja, observa-se uma massa de ar mais quente e úmida ao norte desta borda e uma massa mais fria e seca ao sul. Este gradiente de θ_e em 500 hPa também foi observado por Kodama (1992) e Quadro (1994) em estudos de zonas de convergência como a ZCAS.

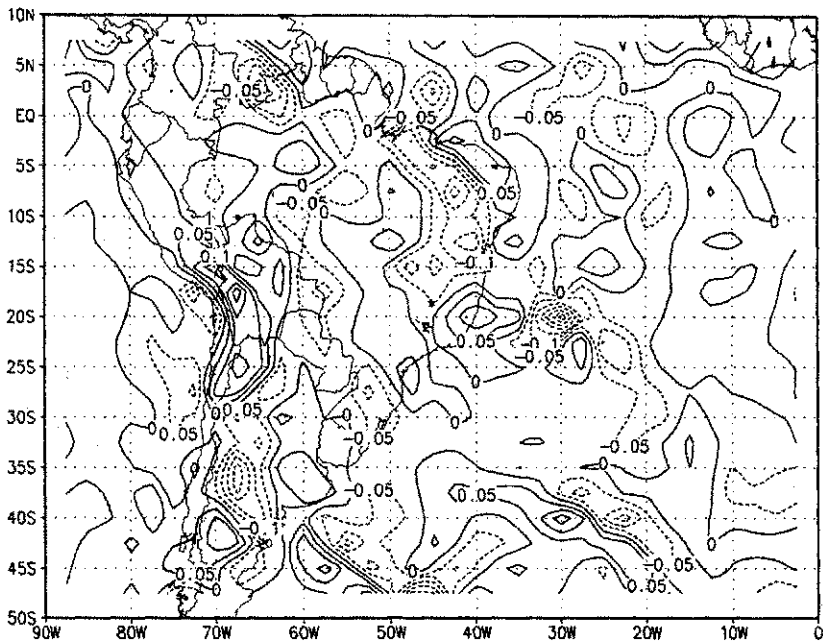
O campo de divergência de umidade em 850 hPa mostra no dia 03 (fig.5.10.a) forte convergência de umidade sobre a região sul do NE e regiões oceânicas adjacentes. No dia 04 (fig.5.10.b) observa-se convergência de umidade em praticamente todo NE. A faixa de convergência de umidade em baixos níveis desloca-se durante o período acompanhando a região de máxima nebulosidade, contribuindo, desta forma, na manutenção do sistema através do mecanismo CISK.

A análise das linhas de corrente em 500 hPa do dia 03 (fig.5.11.a) mostra um cavado (circulação ciclônica aberta) que vai desde a Amazônia até o Oceano Atlântico Sul; e também um anticiclone sobre o Oceano Atlântico, à leste do NE. O cavado sofre uma alongação no dia 04, formando-se uma circulação ciclônica fechada (vórtice ciclônico) a partir do dia 05, centrada aproximadamente sobre o Rio de Janeiro (fig.5.11.b).

Do dia 05 até o dia 07 (fig.5.11.c) o ciclone deslocou-se para leste e nordeste, intensificando-se; nebulosidade é observada à nordeste do ciclone. O anticiclone sobre o litoral leste do NE sofre um deslocamento para leste com a intensificação do ciclone, como pode-se observar na análise do dia 08 (fig.5.11.d). Intenso fluxo de ar é observado no sentido noroeste-sudeste entre os dias 07 e 09 sobre o NE.



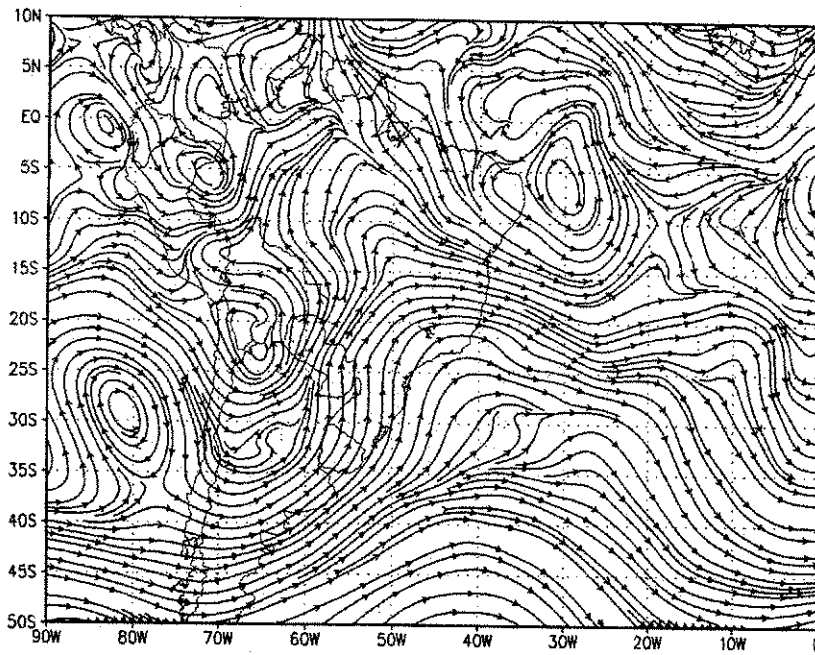
(a)



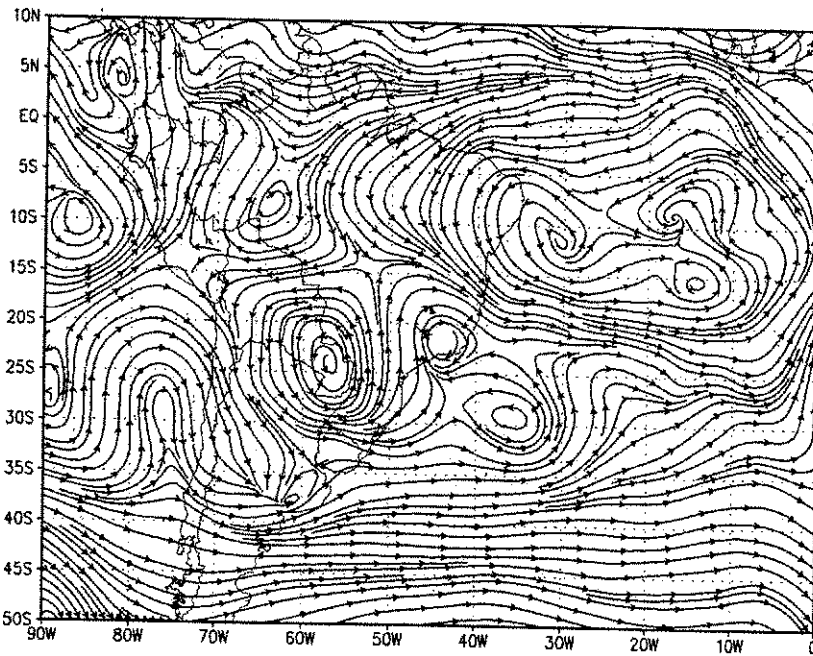
(b)

Fig.5.10 - Divergência do fluxo de umidade ($10^{-3}s^{-1}$) em 850 hPa às 12:00 UTC para os dias (a)03/12/88, (b)04/12/88.

(continua)



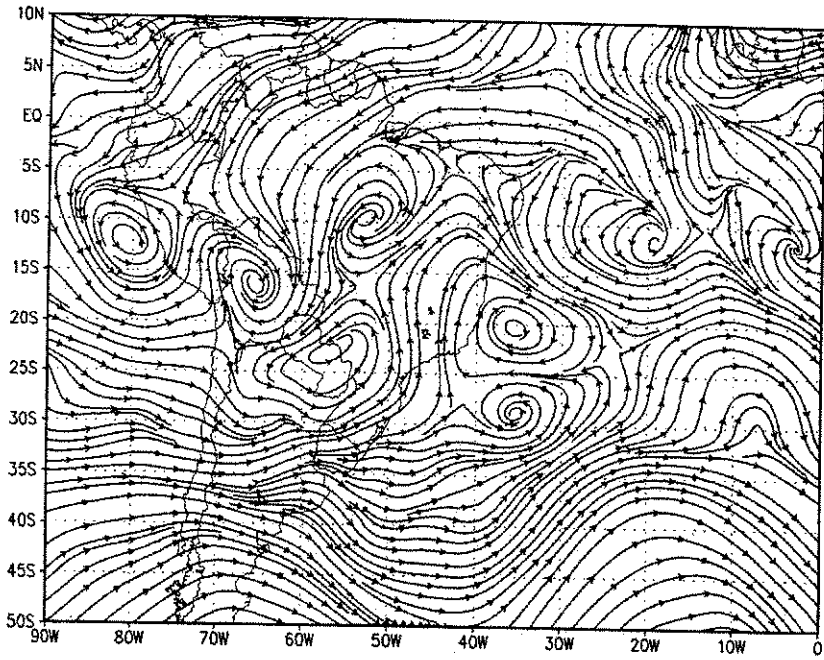
(a)



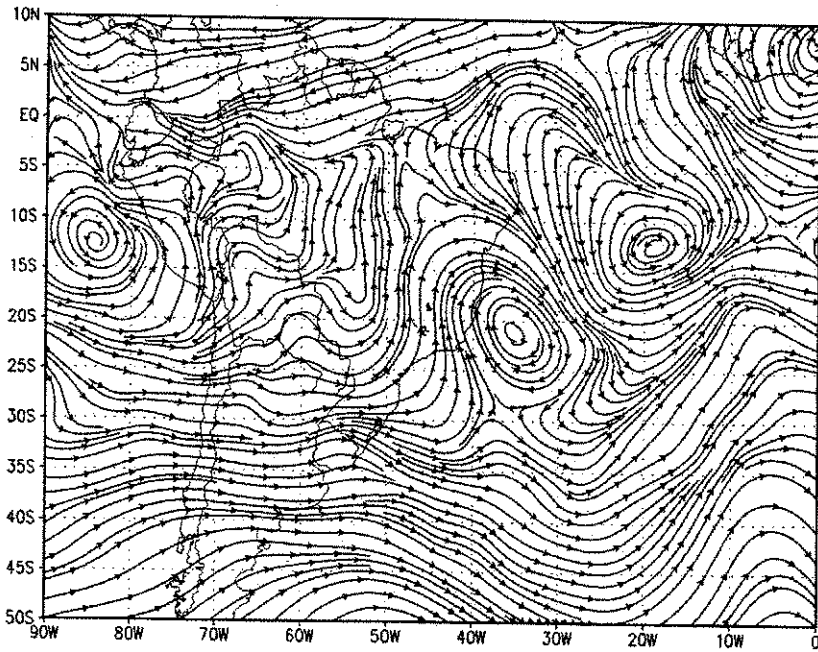
(b)

Fig.5.11 - Linhas de corrente em 500 hPa às 12:00 UTC para os dias (a)03/12/88, (b)05/12/88, (c)07/12/88, (d)08/12/88.

(continua)



(c)



(d)

Fig.5.11 - Conclusão.

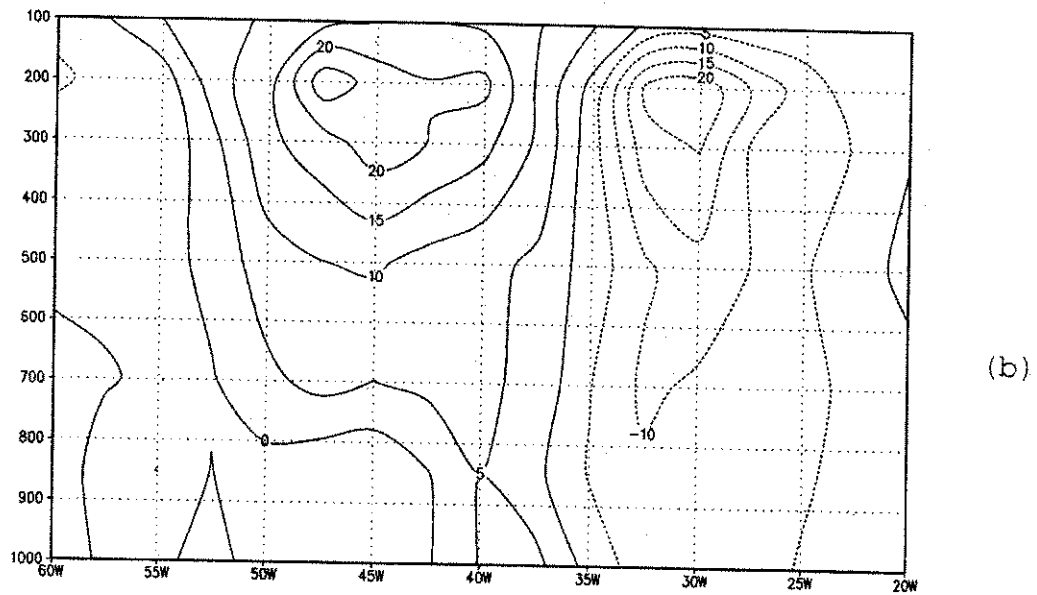
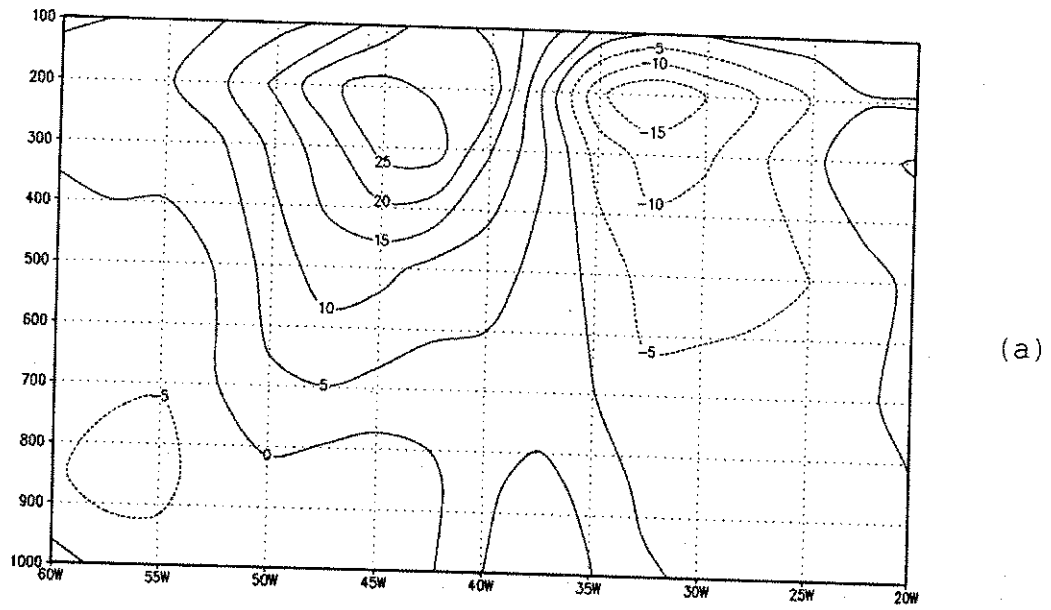
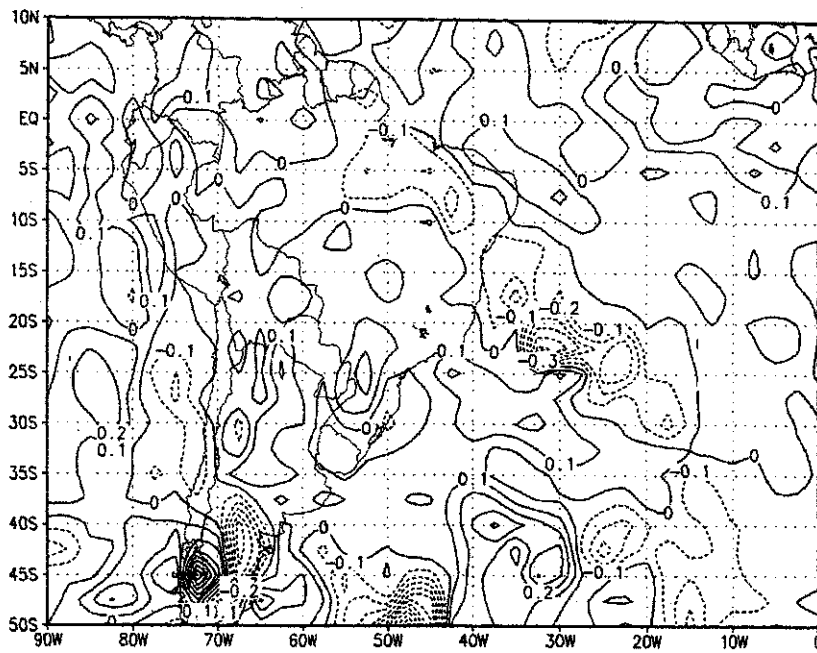
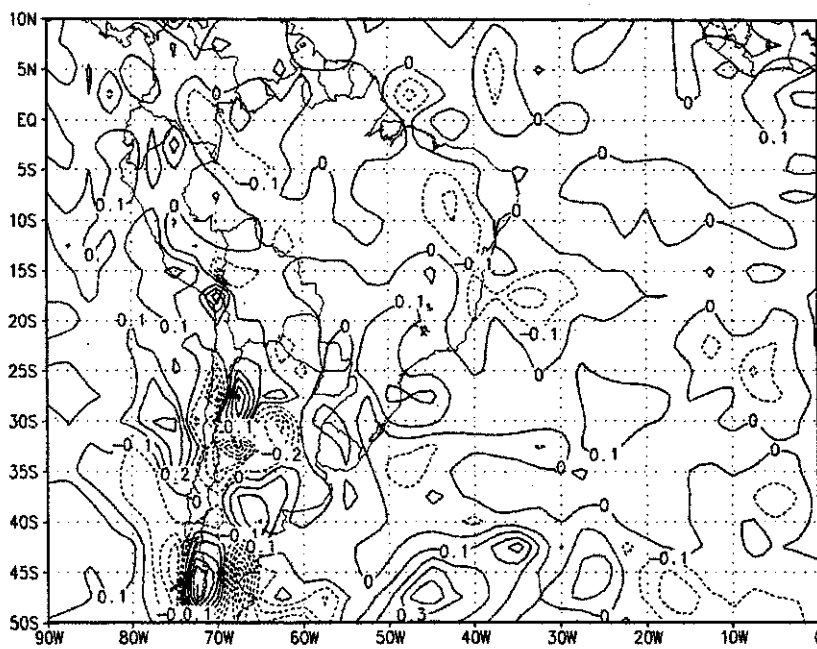


Fig.5.12 - Perfil vertical do vento meridional (m/s) em 20°S para os dias (a) 07/12/88, (b) 08/12/88, às 12:00 UTC.



(a)



(b)

Fig.5.13 - Movimento vertical de ar (hPa/s) em 500 hPa às 12:00 UTC para os dias (a) 04/12/88 e (b) 06/12/88.

A análise deste vórtice ciclônico de escala sinótica, mostra que ele atingiu todos os níveis da atmosfera, sendo mais intenso em altos níveis, como pode ser observado nos campos dos diversos níveis, e no perfil vertical do vento meridional em 20°S para os dias 07 e 08 (fig.5.12.a e b).

A faixa de movimento vertical ascendente apresentou um deslocamento preferencial para nordeste, acompanhando a FxNC. A análise do movimento vertical mostrou que as regiões de maior movimento ascendente coincidem com as áreas de maior nebulosidade convectiva, conforme mostram as análises dos dias 04 e 06 (fig.5.13.a e b), sendo útil, desta forma, na localização da FxNC.

A análise do campo de vento em altos níveis mostra no dia 03 (fig.5.14.a) o jato subtropical entre 20°S e 30°S sobre a América do Sul. O escoamento observado é preferencialmente de oeste. A Alta da Bolívia (AB) aparece no dia 03 pouco intensa e deslocada para nordeste da sua posição climatológica (ver fig.2.2.a).

A intensificação da AB, observada no dia 06 (fig.5.14.c) esteve associada com ventos de sul que colaboraram com a formação do cavado a leste do continente. Este cavado contribuiu para a formação do vórtice em altos níveis (fig.5.14.d) com centro localizado sobre o litoral do Rio de Janeiro, Espírito Santo e sul da Bahia.

A nebulosidade associada a este vórtice atingiu o norte do NE. Comparando com as imagens de satélite, observa-se que a região próxima ao centro do vórtice apresenta condições de céu claro, enquanto que as bordas mais afastadas do centro do vórtice apresentam bastante nebulosidade.

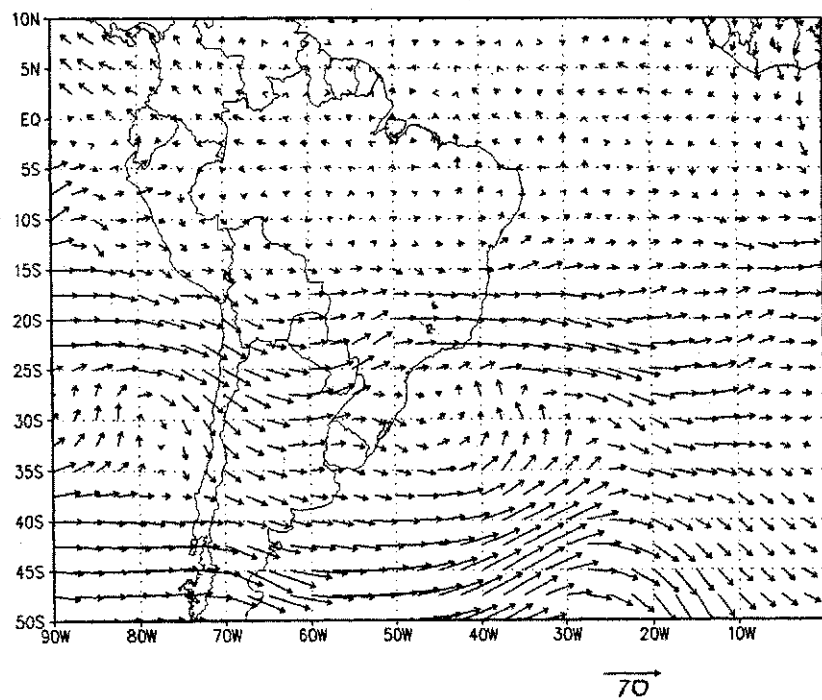
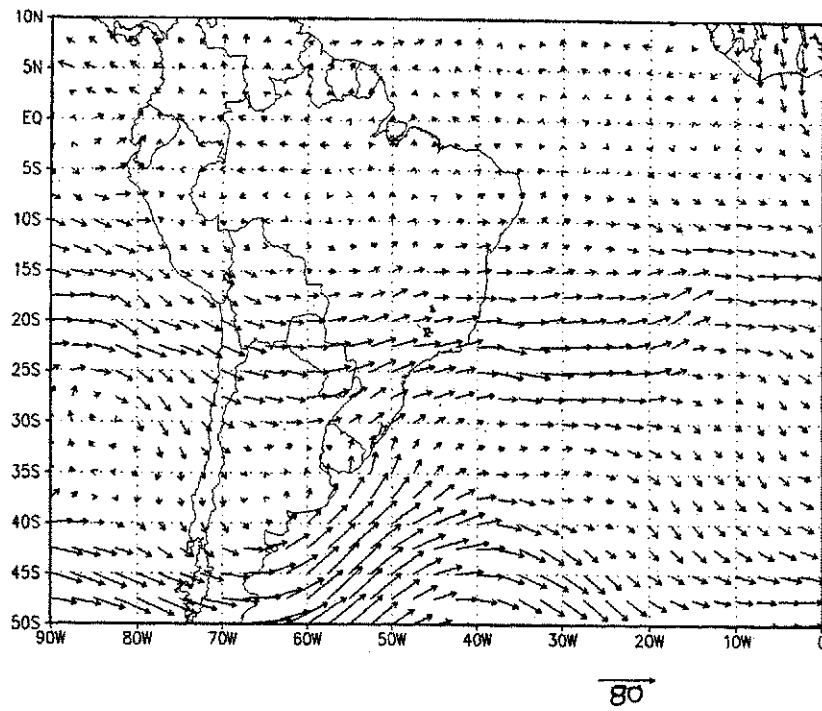


Fig.5.14 - Vetor vento (m/s) em 200 hPa às 12:00 UTC para os dias (a) 03/12/88, (b) 04/12/88, (c) 06/12/88, (d) 08/12/88.

(continua)

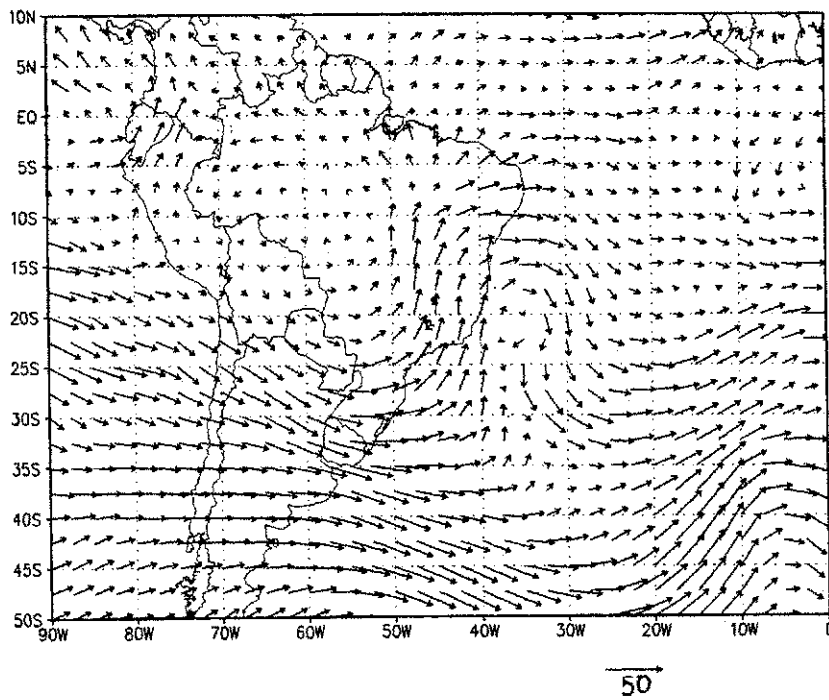
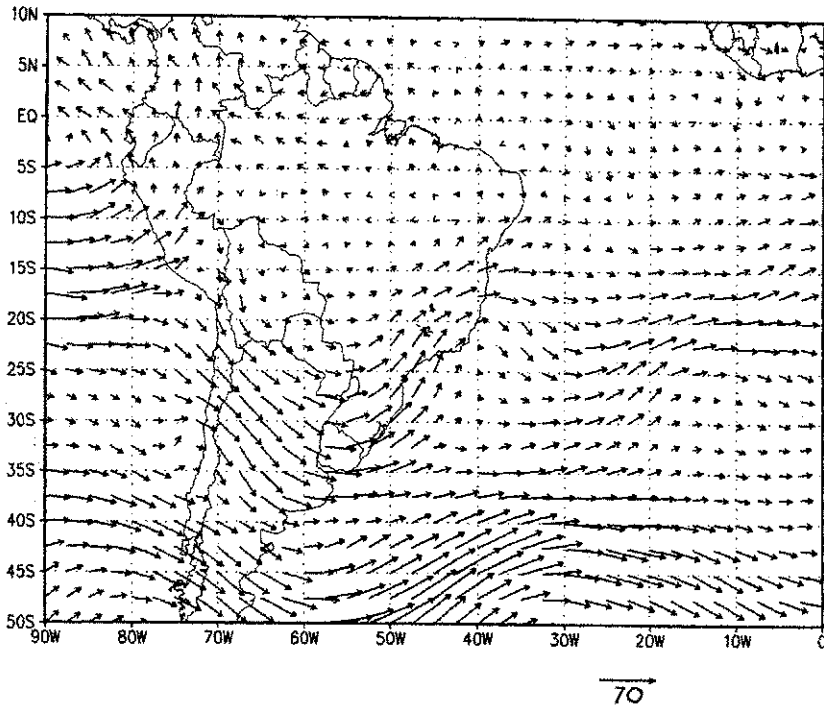


Fig.5.14 - Conclusão.

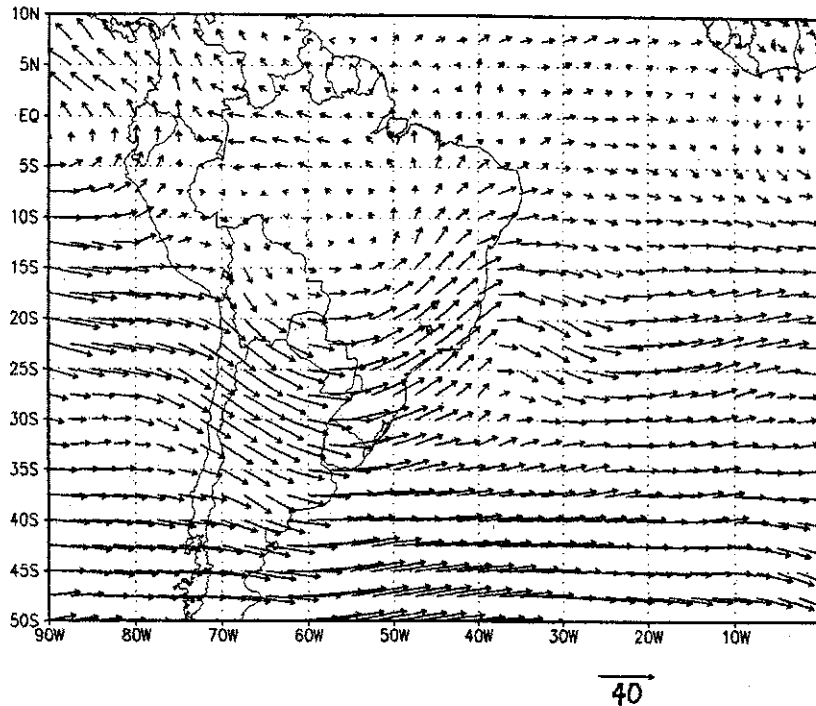


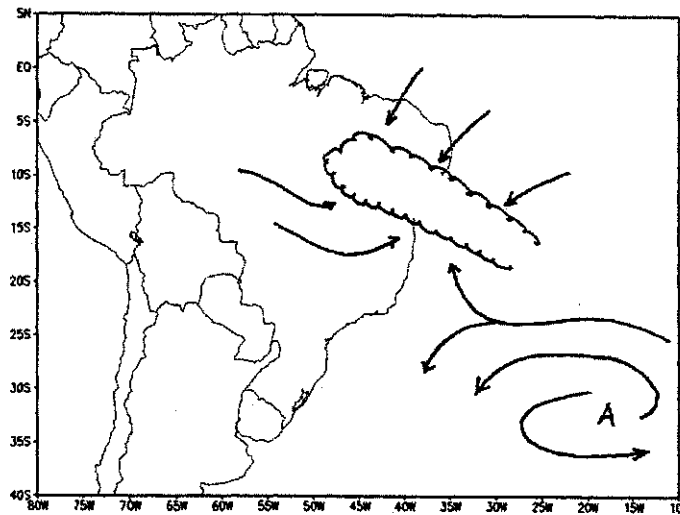
Fig.5.15 - Vetor vento médio (m/s) em 200 hPa às 12:00 UTC de 03 a 09/12/88.

O campo médio do vetor vento em 200 hPa (fig.5.15) mostra a AB centrada a nordeste de sua posição normal (ver fig. 2.2.a) e um cavado sobre a costa leste do Brasil, intensificado em função do vórtice sinótico que atuou durante o período.

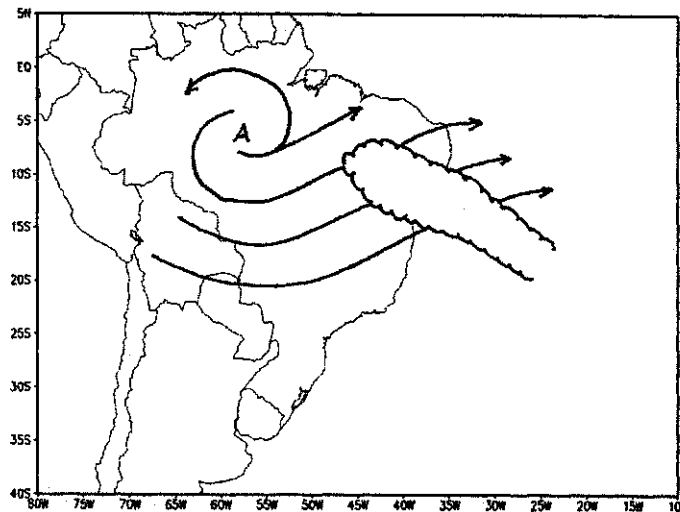
A configuração do escoamento em altos níveis observada nos primeiros dias do episódio, juntamente com a ASAS enfraquecida deve ter criado condições favoráveis à ocorrência de ciclogênese em baixos níveis e de deslocamento da zona de convergência para nordeste.

O mecanismo proposto é ilustrado na figura 5.16. Em baixos níveis (fig.5.16.a), a presença da ASAS menos intensa e deslocada para sudeste de sua posição climatológica permite o aparecimento de ventos de norte e

nordeste sobre a região norte do NE. Em altos níveis (fig.5.16.b) a AB se apresenta menos intensa que o normal e deslocada para norte (ou noroeste), não permitindo o aparecimento de VCATs sobre o NE e de situações de bloqueio em altos níveis.

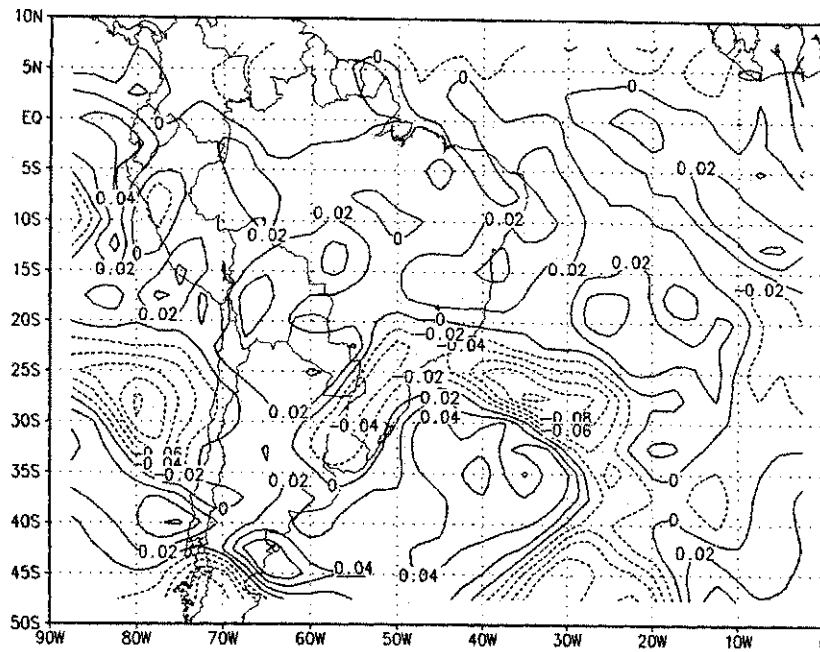


(a)

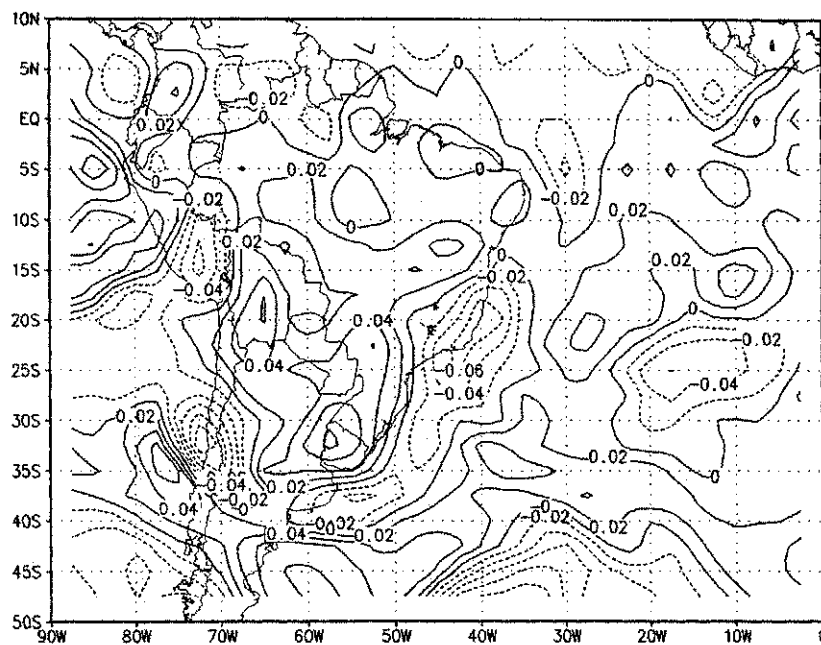


(b)

Fig.5.16 - Esquema ilustrando a circulação para os casos tipo A em (a)baixos níveis, (b)altos níveis.



(a)



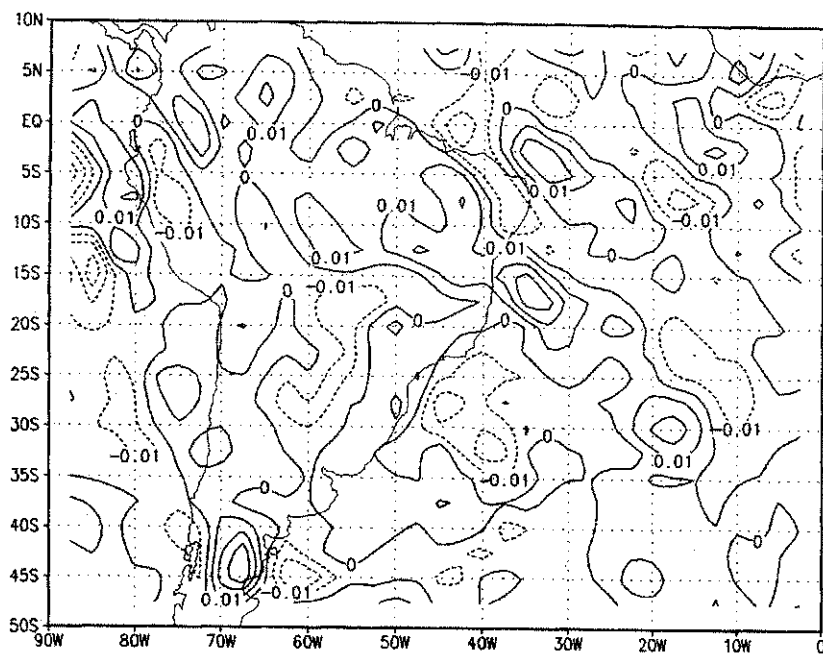
(b)

Fig.5.17 - Vorticidade relativa ($10^{-3}s^{-1}$) em 200 hPa às 12:00 UTC para os dias (a) 04/12/88, (b) 06/12/88.

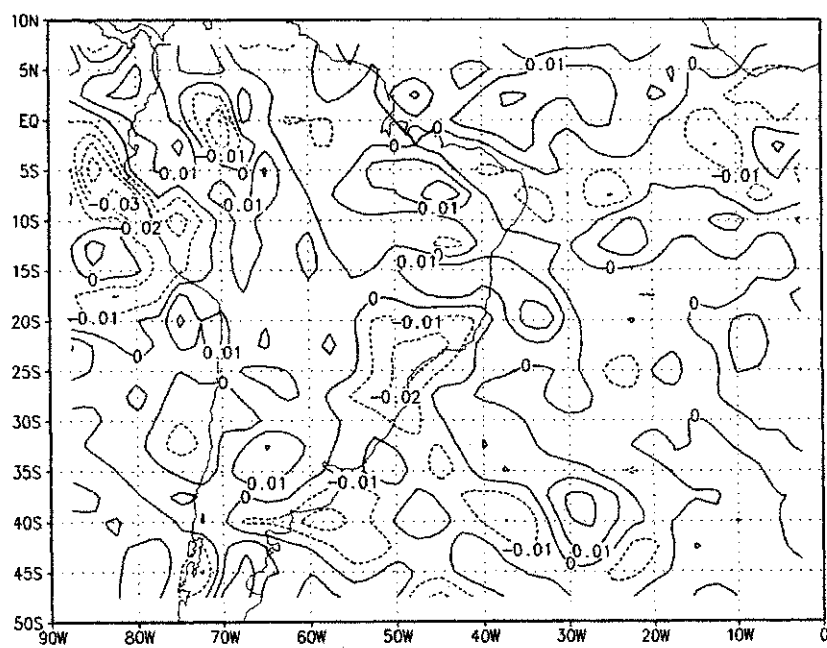
Os campos de vorticidade relativa em 200 hPa para os dias 04 e 06 (fig.5.17.a e b) mostram vorticidade anticiclônica sobre as regiões de maior atividade convectiva, concordando com estudos como o de Quadro (1994), que observou ser uma das características da ZCAS a presença de vorticidade anticiclônica em altos níveis. Ao sul da faixa de maior atividade convectiva observa-se forte vorticidade negativa. Os núcleos de vorticidade negativa estão associados às circulações ciclônicas (vórtices e cavados) observadas nos altos níveis.

A análise dos campos de divergência do fluxo de massa em 200 hPa para os dias 04 e 06 (fig.5.18.a e b) mostra que na região da FxNC observa-se divergência de massa, e a norte-nordeste da FxNC observa-se normalmente uma faixa de convergência de massa. Esta configuração de dipolo, que também foi observada no campo de θ_e em 500 hPa sugere que condições mais secas que o normal devem ser observadas na região norte-nordeste do NE quando a FxNC se localiza sobre o sul e oeste do NE devido ao movimento subsidente na periferia da FxNC.

Através da análise deste caso, classificado como tipo A, observou-se que a FxNC se organizou no dia 03 a partir da formação de um vórtice ciclônico de escala sub-sinótica. Mecanismo semelhante ocorreu com a formação de outro vórtice no dia 06, que intensificou a FxNC. A organização da convecção como FxNC devido à presença de vórtices de diferentes escalas espaciais mostra que a CT é bastante sensível à sistemas que atuam sobre a região. Esses vórtices ocorreram na presença da ASAS e da AB enfraquecidas.



(a)



(b)

Fig.5.18 - Divergência do fluxo massa (10^{-3} s^{-1}) em 200 hPa às 12:00 UTC para os dias (a) 04/12/88, (b) 06/12/88.

Os dois vórtices de mesoescala foram pouco visíveis nas análises do ECMWF devido possivelmente ao espaçamento da grade ($2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ de latitude-longitude) ou à inconsistências nos dados de altitude; as evidências maiores aparecem nos níveis médios e altos, avaliadas a partir da localização dos centros observados nas imagens de satélite. A nebulosidade associada a estes vórtices se apresentou mais intensa na borda de direção de deslocamento do sistema, concordando com os resultados obtidos por Kousky e Gan (1981) e Riehl (1977).

Segundo Kousky e Gan (1981), a presença de maior nebulosidade na borda do lado para qual o vórtice se desloca se deve ao aumento da circulação ciclônica nesta borda ($\partial\zeta/\partial t < 0$) (ver Apêndice B). No nosso caso, este aumento da circulação se dá na borda leste do vórtice, na direção do deslocamento.

O fato de observarmos no estudo climatológico uma maior frequência de sistemas deste tipo no período da primavera é consistente com uma maior frequência de sistemas frontais observados nesta época; e consistente com as observações de que a ASAS está mais próxima do continente no verão do que na primavera.

Posteriormente, a formação de um vórtice (observado primeiramente no nível de 500 hPa) sobre o e sul do NE, em associação com a intensificação da ASAS e da AB (e do cavado corrente abaixo), provocou o deslocamento para norte da FxNC, atingindo o norte do NE. É provável que os casos tipo A em que a FxNC atuou sobre o norte do NE, observados no estudo climatológico, tenham ocorrido devido a formação de um VCAT sobre o sudeste do NE, como neste caso.

5.2) CASO OCORRIDO DE 14 A 19 DE DEZEMBRO DE 1988

No segundo caso estudado (tipo S) a CT foi organizada a partir da penetração de um SF na Região Sudeste do Brasil. A FxNC associou-se a um vórtice ciclônico em altos níveis que havia se formado sobre o NE.

5.2.1) Análise das Imagens de Satélite

Para o estudo deste caso (tipo S) também utilizou-se imagens do satélite meteorológico GOES-E das 12:00 UTC para localização da FxNC.

A figura 5.19 mostra a localização da região central da FxNC entre os dias 14 e 18. Como podemos observar, o sistema mantém-se semi-estacionário por pelo menos quatro dias sobre a Região Sudeste do Brasil, oscilando entre os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo.

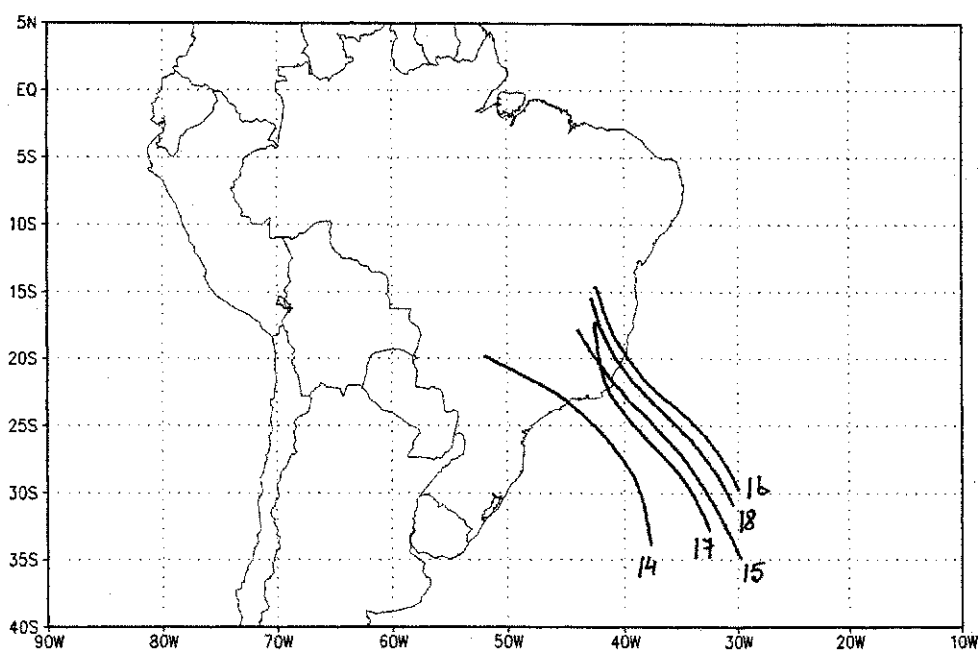


Fig.5.19 - Localização da FxNC de 14 a 18/12/88 pela análise das imagens de satélite das 12:00 UTC.

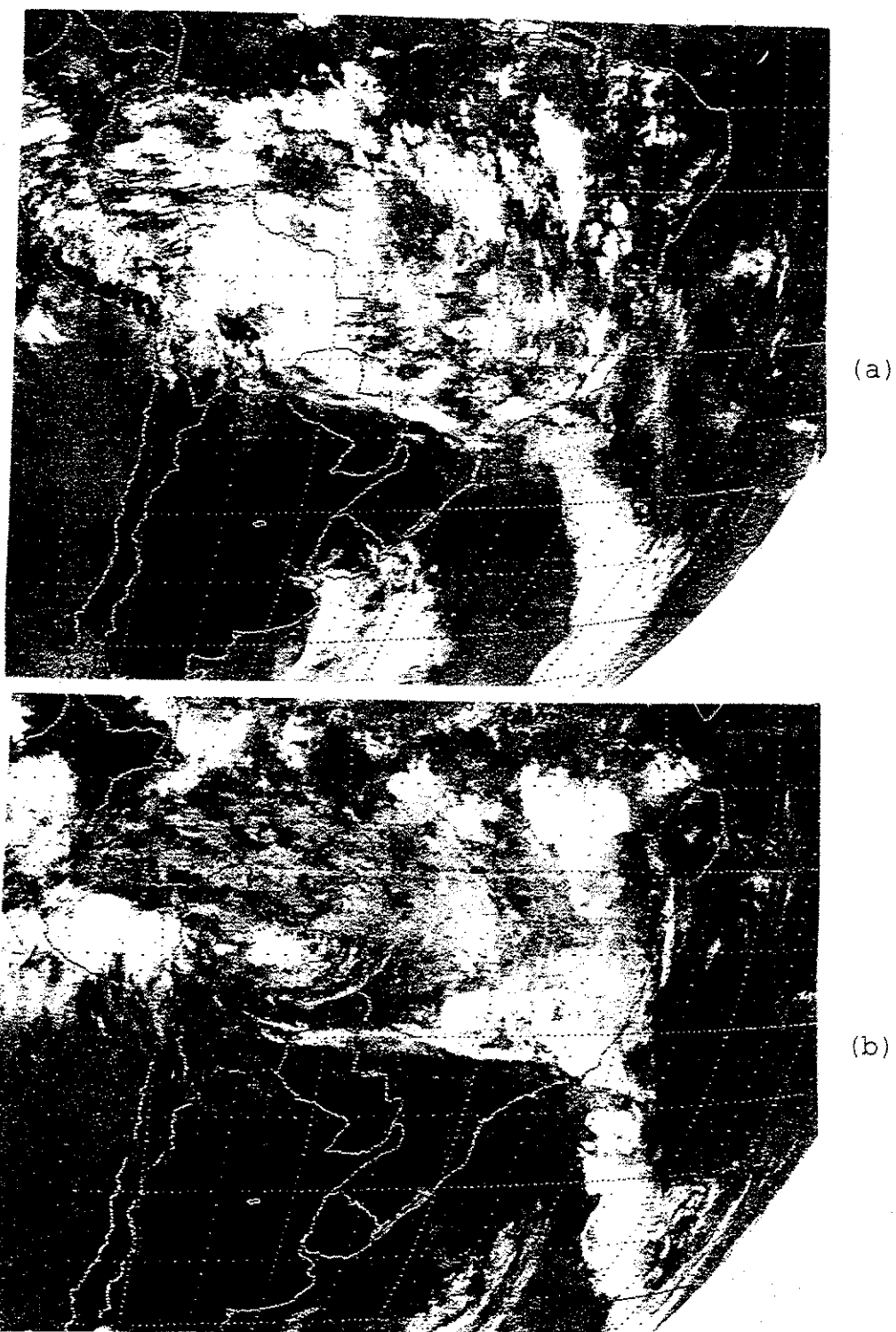
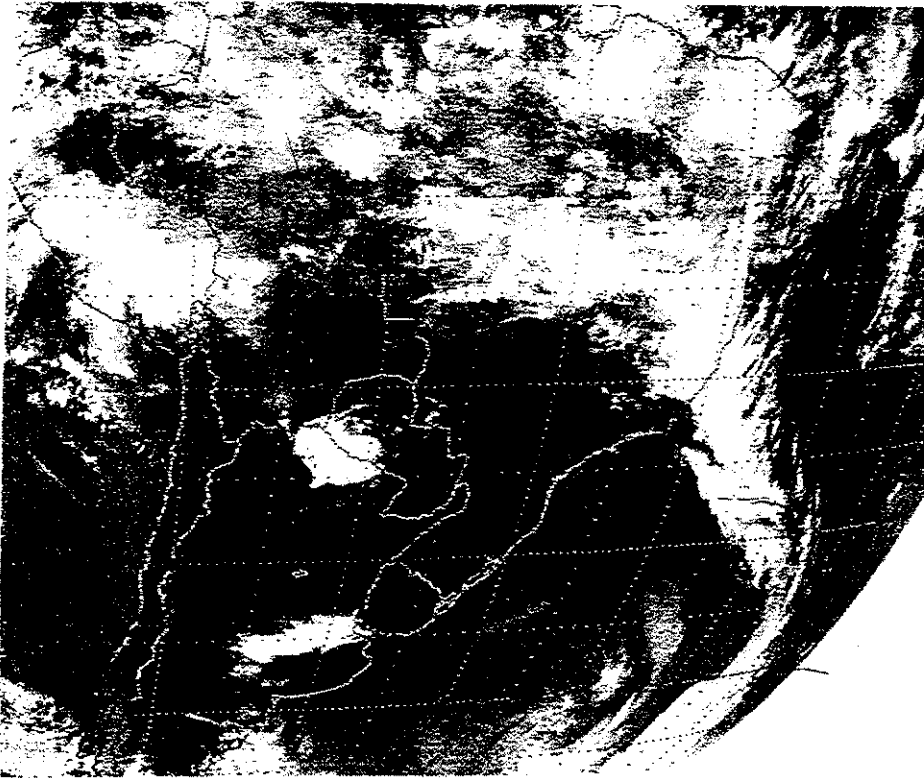
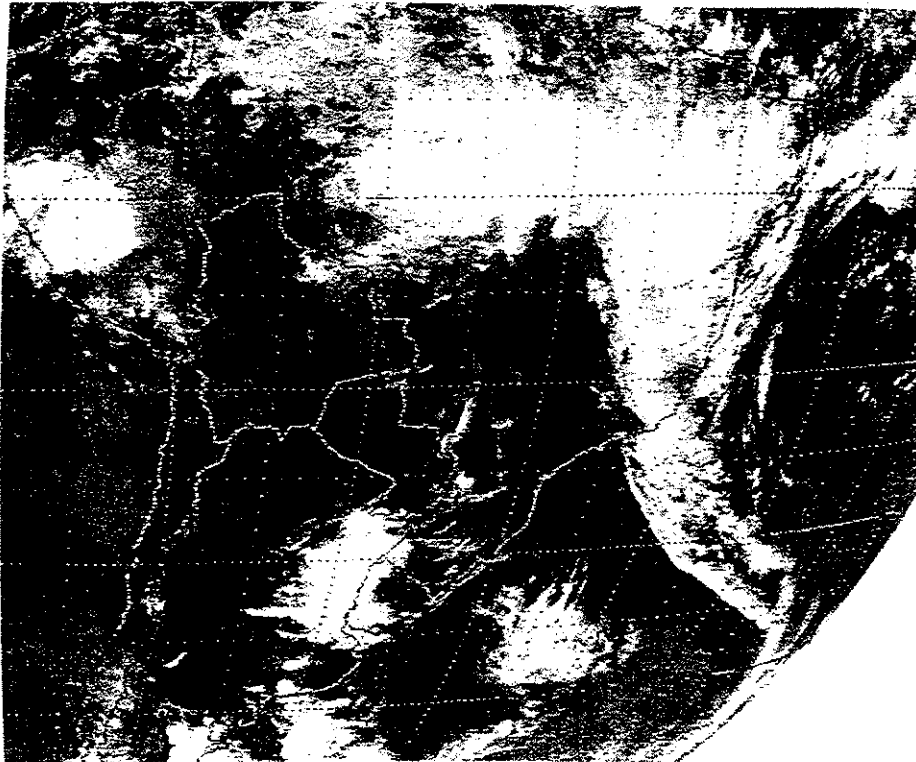


Fig.5.20 - Imagens do satélite GOES-E no canal infravermelho para os dias (a)14/12/88 (18:00 UTC), (b)15/12/88 (12:00 UTC) (c)16/12/88 (12:00 UTC), (d)17/12/88 (12:00 UTC), (e)18/12/88 (09:00 UTC), (f)19/12/88 (12:00 UTC).

(continua)

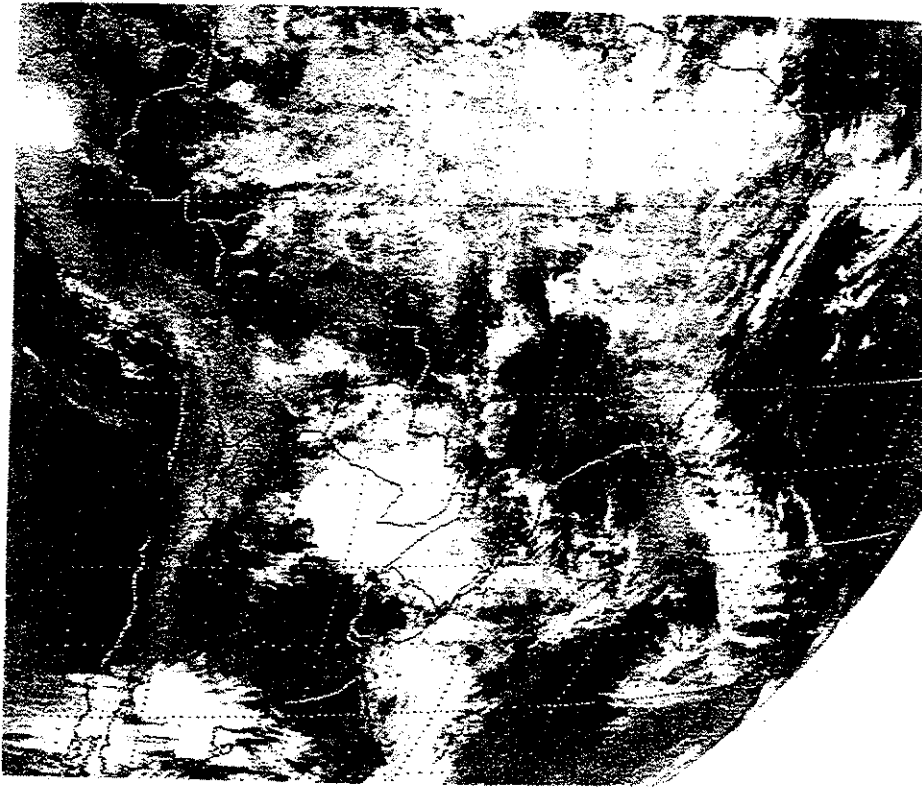


(c)

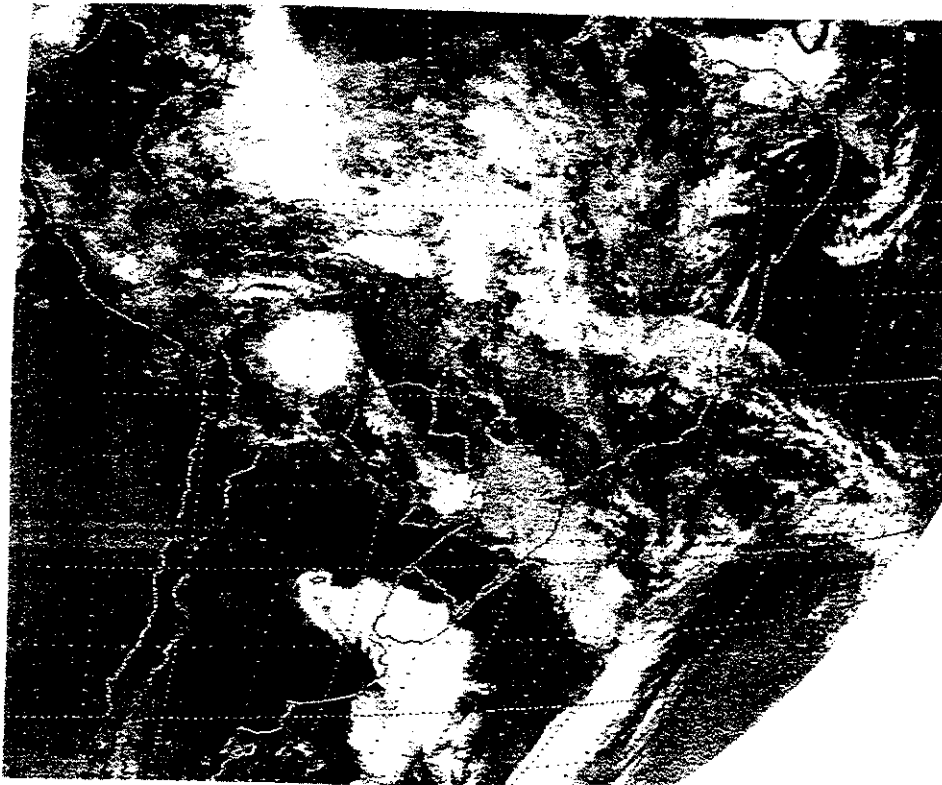


(d)

Fig.5.20 - Continuação.



(e)



(f)

Fig.5.20 - Conclusão.

A imagem de satélite das 18:00 UTC do dia 14 (fig.5.20.a) mostra pouca convecção sobre parte do NE do Brasil; intensa convecção é observada sobre a Bolívia. A nebulosidade associada a um sistema frontal com pouca atividade convectiva é observada sobre o SE.

No dia 15 (fig.5.20.b) as 12:00 UTC observa-se que o SF deslocou-se para nordeste, atingindo o Espírito Santo e interagindo com a convecção sobre as regiões CO e NE, formando uma FxNC. No dia 16 (fig.5.20.c), a FxNC permanece intensa, atingindo todo o NE, CO e parte do SE. A partir do dia 16 observa-se uma configuração de um vórtice próximo à costa leste do NE. A FxNC mantém-se praticamente estacionária no dia 17 (fig.5.20.d), e enfraquece-se no dia 18 (fig.5.20.e), muito embora se possa observar ainda muitos núcleos convectivos sobre o NE até o dia 19 (fig.5.20.f), bem como a presença do vórtice à leste do NE.

5.2.3) Análise da Precipitação

A figura 5.21 mostra a precipitação acumulada de 14 a 20 de dezembro de 1988. Podemos observar neste caso que os maiores valores de precipitação ocorreram na região central do NE. Precipitação durante os sete dias de atuação da FxNC acima da normal mensal (31 dias) foram observados sobre a região central do Piauí, norte da Bahia e oeste de Pernambuco.

Diversas outras regiões do NE tiveram totais pluviométricos próximos à normal mensal, o que nos leva a concluir que também os sistemas tipo Y são importantes no regime de precipitação sobre o NE, principalmente sobre a região central.

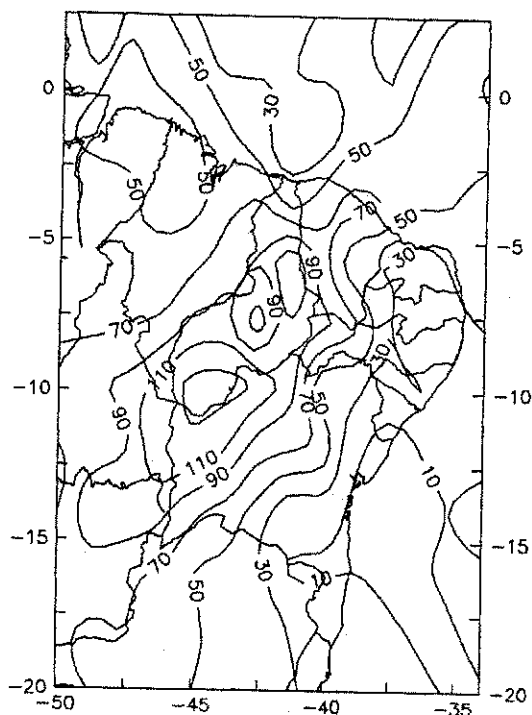


Fig.5.21 - Precipitação acumulada (mm) de 14 a 20/12/88.

5.2.4) Análise de Altitude

Para análise das condições meteorológicas em altitude deste caso foram utilizados os campos de vento em 850 hPa e 200 hPa, divergência do fluxo de umidade em 850 hPa, vorticidade relativa em 850 hPa e 200 hPa, altura geopotencial em 500 hPa, velocidade vertical em 500 hPa e divergência de massa em 200 hPa.

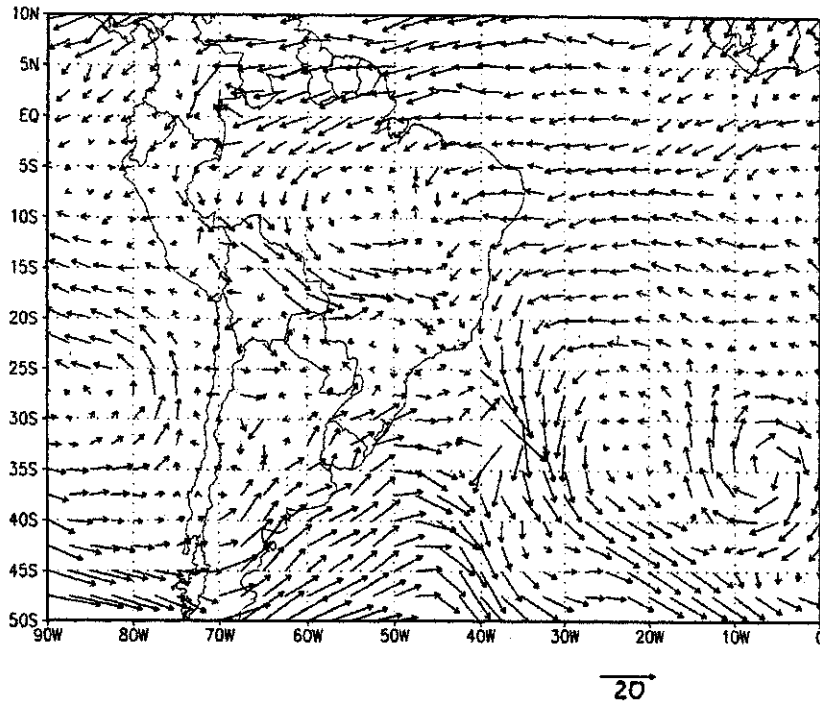
O campo de vento em 850 hPa no dia 14 apresentou a ASAS mais fraca que o normal (não mostrado). A partir do dia 15 há uma intensificação e deslocamento para norte da ASAS, conforme pode-se observar nas figuras 5.22.a e 5.22.b. Esta configuração favoreceu o transporte de umidade do oceano para o continente. Observa-se também na figura 5.22.a um núcleo de circulação anticiclônica sobre a região

amazônica centrado em aproximadamente 08°S , 55°W , favorecendo o transporte de umidade desta região para o oeste do NE, numa faixa longitudinal em torno de 47°W . A presença da ASAS intensa parece ter favorecido a manutenção da FxNC em latitudes mais altas.

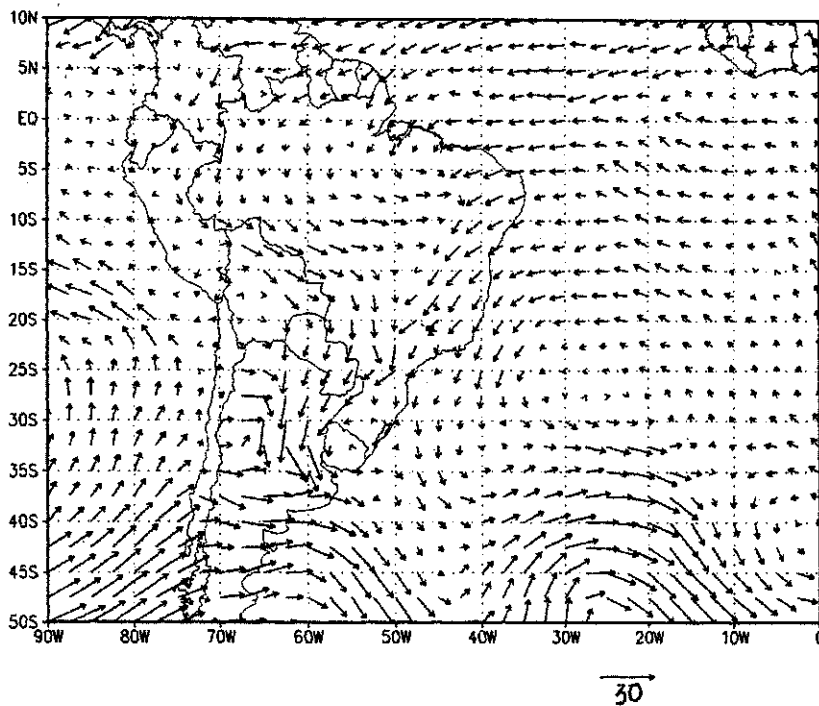
A figura 5.23 mostra o campo médio de 14 a 19 de dezembro do vetor vento em 850 hPa para o episódio. Nesta figura podemos observar a ASAS intensa, fluxo convergente no oeste do NE e ventos de leste sobre a maior parte do NE.

O campo de divergência do fluxo de umidade em 850 hPa para os dias 15 e 17 (fig.5.24.a e 5.24.b) mostra forte convergência nas regiões sul e central do NE, e divergência sobre o litoral. Esta faixa de convergência manteve-se praticamente estacionária sobre esta região até o dia 20. Como no caso tipo A analisado anteriormente, observou-se coincidência entre as regiões de máxima convergência de umidade e de maior atividade convectiva.

A divergência de umidade em baixos níveis observada sobre o litoral do NE também foi observada por Quadro (1994), trabalhando com campos médios pentadais de episódios de ZCAS. Segundo Quadro, esta divergência pode indicar que os sistemas não conseguem penetrar além do SE, pelo litoral brasileiro, devido à presença de um agente bloqueador, que pode ser o VCAT sobre o oceano à leste do NE. Pode-se sugerir ainda que a configuração do escoamento em altos níveis pode criar uma situação de bloqueio que favoreça a formação do VCAT, enquanto impede a penetração dos sistemas oriundos do sul do país.



(a)



(b)

Fig.5.22 - Vetor vento (m/s) em 850 hPa às 12:00 UTC para os dias (a)15/12/88, (b)17/12/88.

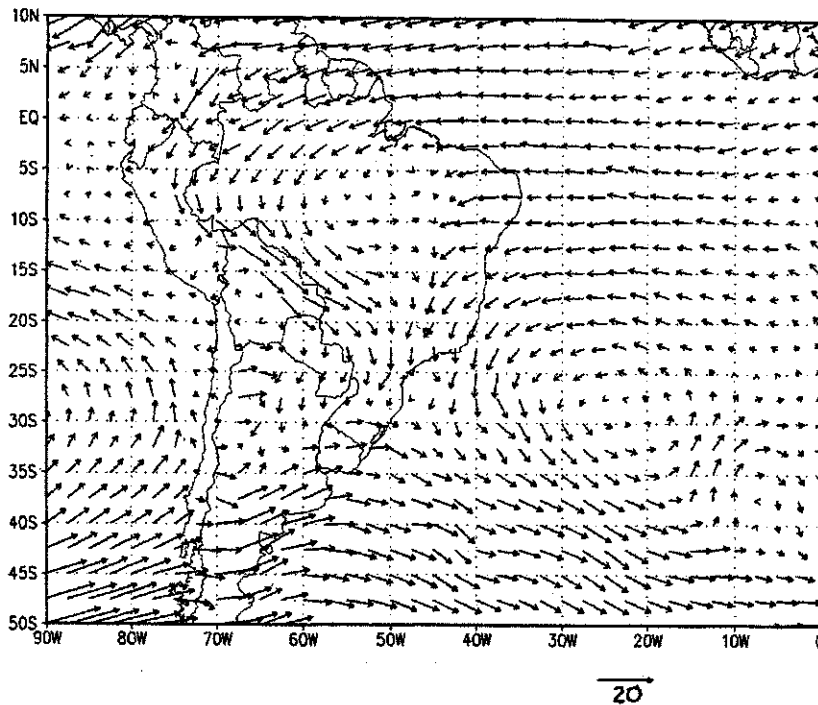
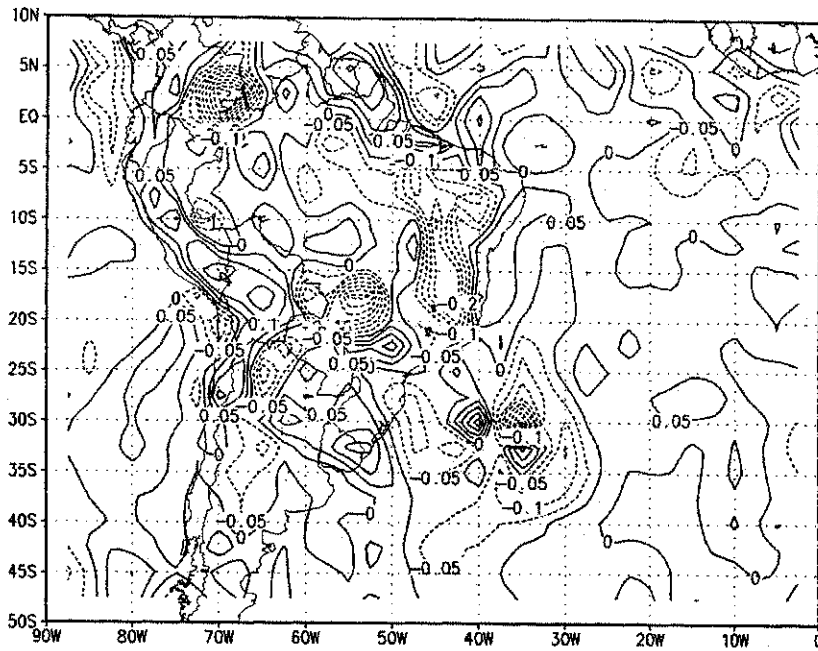


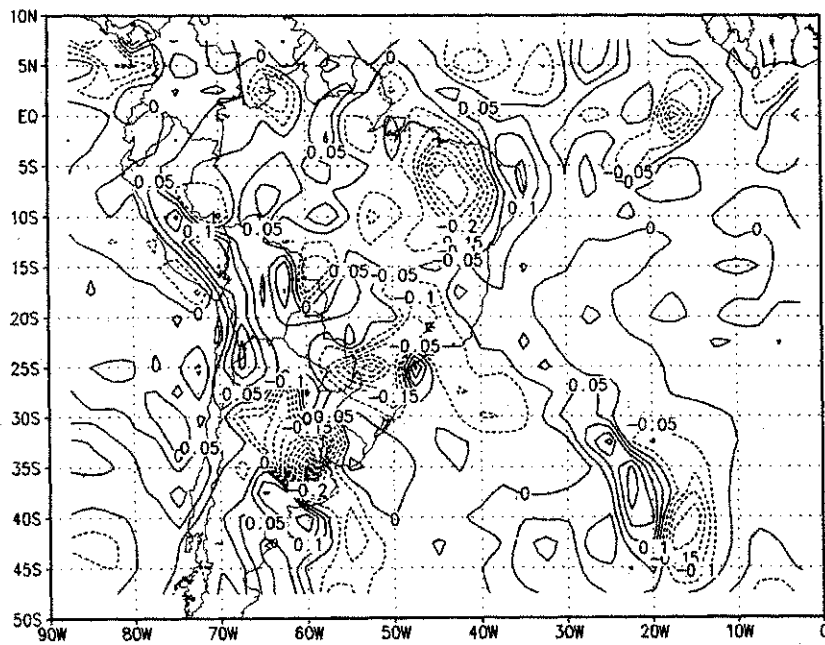
Fig.5.23 - Vetor vento médio (m/s) em 850 hPa às 12:00 UTC de 14 a 20/12/88.

A análise da vorticidade relativa em 850 hPa do dia 15 (fig.5.25.a) mostra um fraco núcleo de vorticidade negativa centrado em aproximadamente 07°S, 50°W. É observada ainda vorticidade ciclônica associada ao SF sobre o SE. No dia 17 (fig.5.25.b) observa-se uma faixa de vorticidade ciclônica sobre o sul e oeste do NE, associada a FxNC.

Pode-se observar que o centro de vorticidade ciclônica associado à baixa frontal desloca-se para leste. Notou-se ainda que as áreas de máxima atividade convectiva sobre a região tropical aparecem a nordeste do centro de vorticidade ciclônica em baixos níveis.

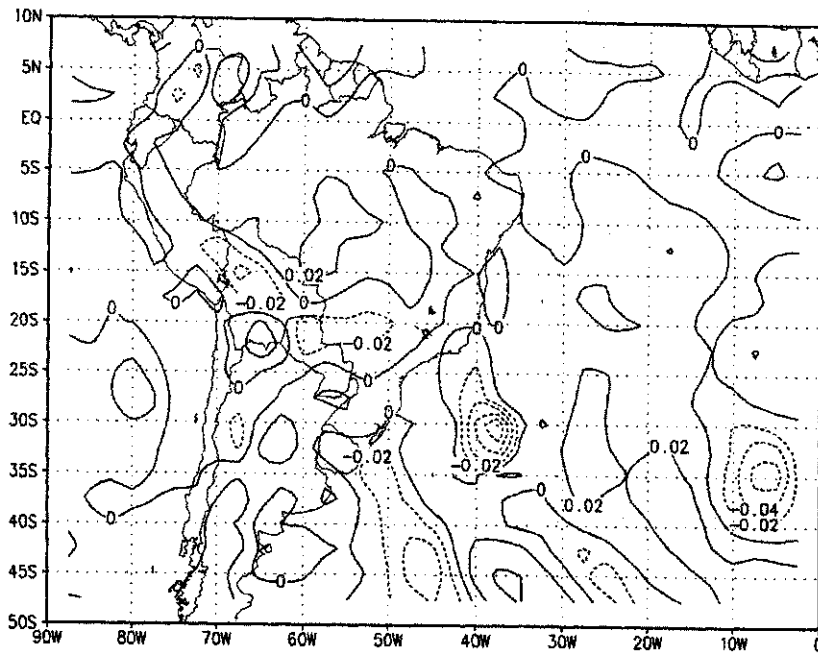


(a)

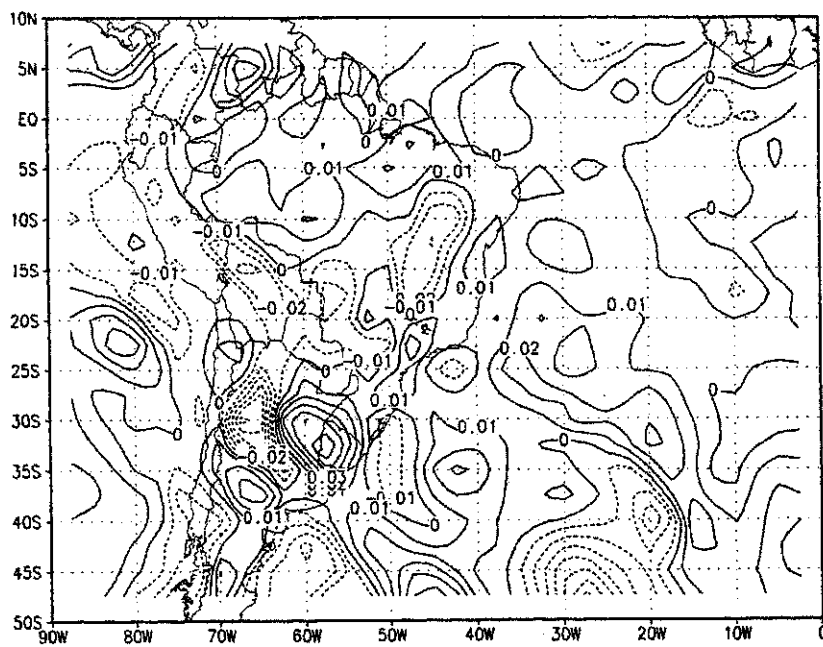


(b)

Fig.5.24 - Divergência do fluxo de umidade (10^{-3}s^{-1}) em 850 hPa às 12:00 UTC para os dias (a)15/12/88, (b)17/12/88.

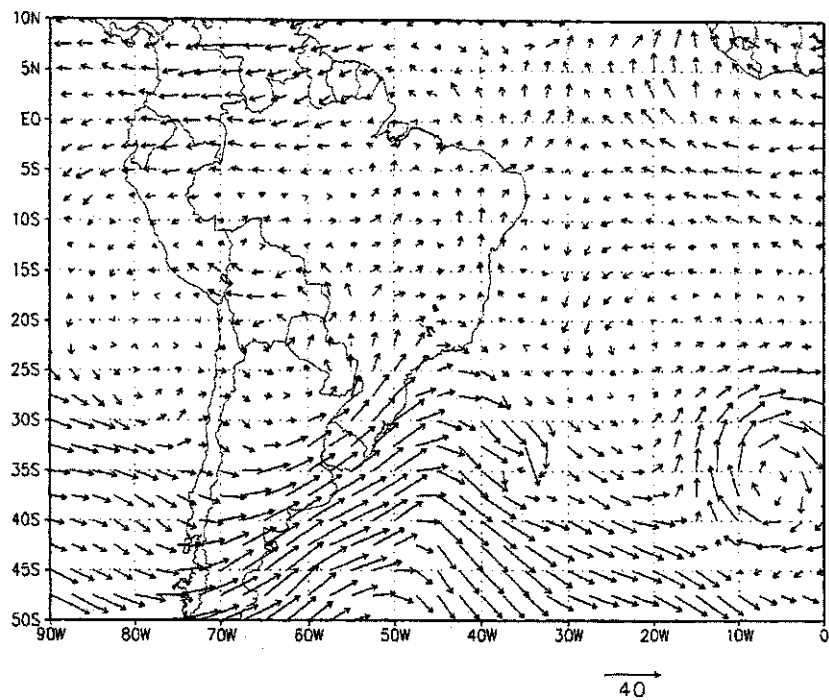


(a)

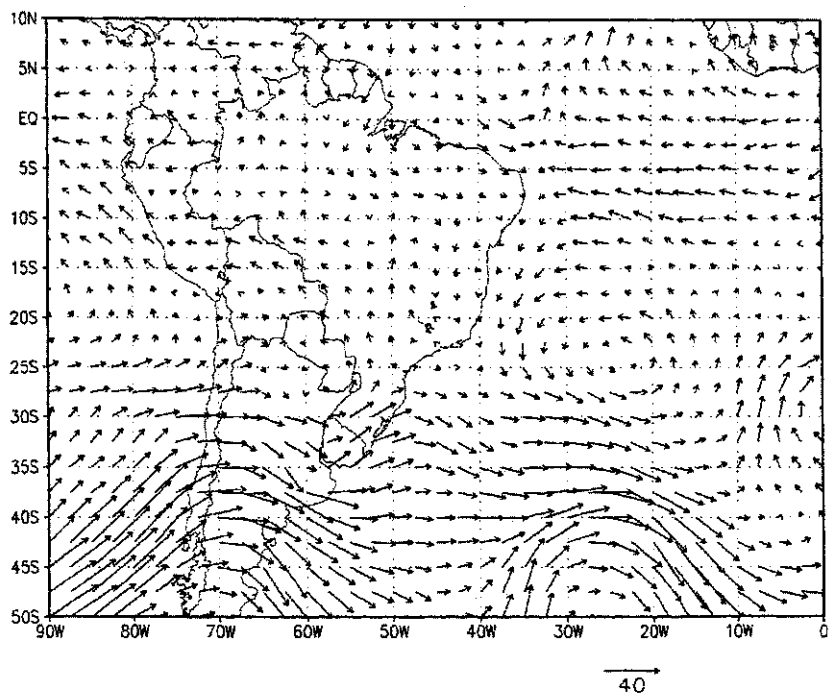


(b)

Fig.5.25 - Vorticidade relativa ($10^{-3}s^{-1}$) em 850 hPa às 12:00 UTC para os dias (a) 15/12/88, (b) 17/12/88.



(a)



(b)

Fig.5.26 - Vetor vento (m/s) em 500 hPa às 12:00 UTC para os dias (a) 15/12/88, (b) 17/12/88.

A análise do campo de vento em 500 hPa (fig.5.26) mostra o deslocamento para leste de um cavado (circulação ciclônica) em latitudes médias, todavia este deslocamento pouco atuou sobre o continente nas latitudes abaixo de 25°S, como pode-se notar na análise do dia 17 (fig.5.26.b), dia em que observou-se forte atividade convectiva. O deslocamento para leste em latitudes médias e altas do centro de vortacidade ciclônica associado á baixa frontal e do cavado observado no campo de vento em 500 hPa mostra que não há bloqueio dos sistemas nestas latitudes; sendo assim, a manutenção da FxNC semi-estacionária se dá pela atuação de sistemas de bloqueio em latitudes mais baixas

Segundo Satyamurti et al (1980), um cavado semi-estacionário em 500 hPa, conforme observado neste caso, próximo à costa leste da América do Sul, originado segundo eles pela forçante orográfica dos Andes, serve como recipiente dos sistemas de baixa pressão e vórtices de mesoescala por períodos longos, permitindo assim a manifestação da FxNC por vários dias. Um outro mecanismo provável de formação deste cavado semi-estacionário é a forçante térmica associada à liberação de calor latente devido à convecção tropical (Vianello, 1981).

O campos do movimento vertical de ar em 500 hPa para os dias 15 e 17 (fig.5.27.a e b) mostram movimento ascendente numa região alongada no sentido norte-sul, passando pela região central do NE, sendo mais intensa nos dias 15, 16 e 17. Os núcleos de movimento ascendente, assim como no caso A, coincidem com as regiões de maior atividade convectiva.

Em altos níveis observa-se no dia 15 (fig.5.28.a) a AB bem definida, centrada em aproximadamente 15°S, 70°W, fluxo de sul sobre o NE e um vórtice ciclônico sobre o oceano, à

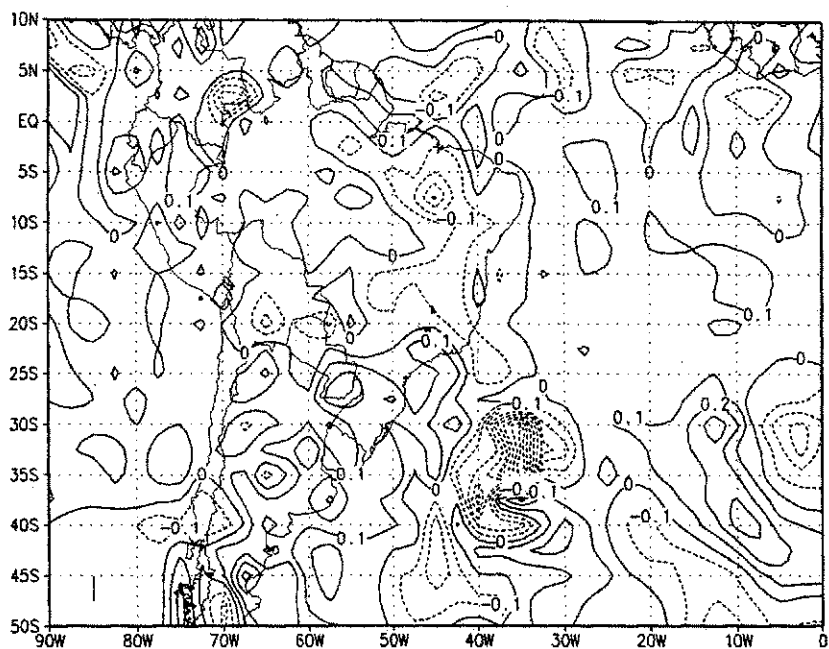
leste do NE. A AB e o conseqüente fluxo de ar para norte sobre o continente enfraquecem no dia 18.

A figura 5.29 mostra o campo do vetor vento médio de 14 a 20 em 200 hPa. Nesta figura pode-se observar a AB bastante intensa e próxima de sua posição climatológica. Sobre o litoral do NE observa-se a presença do VCAT que atuou no período.

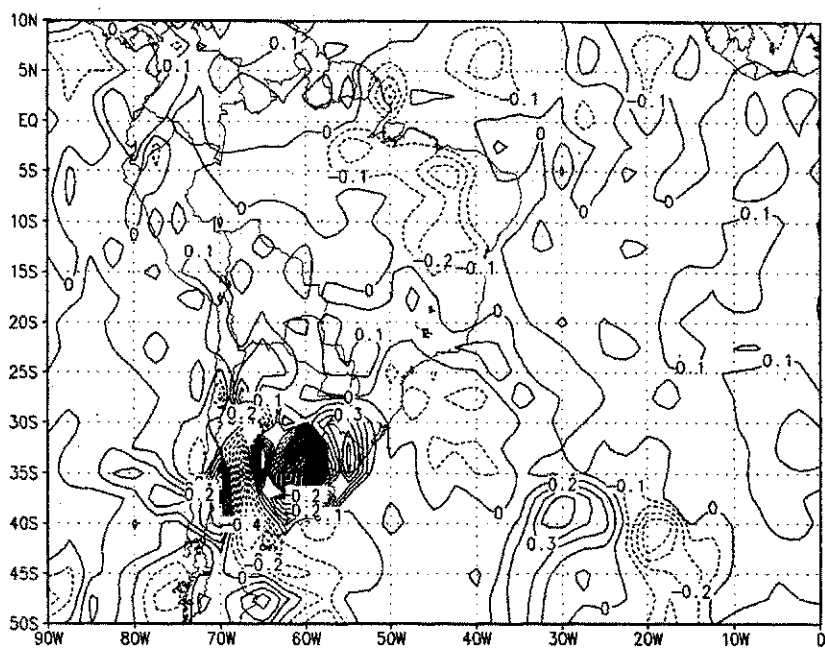
A penetração do SF no SE do Brasil no dia 14 pode ter favorecido a intensificação da AB através da advecção quente em médios e baixos níveis que normalmente ocorre à frente de uma frente fria, conforme mecanismo proposto por Kousky e Gan (1981). A frente fria serve também para organizar a CT.

A configuração da circulação proposta para os casos tipo S é ilustrada esquematicamente na fig 5.30. Em baixos níveis (fig.5.30.a) a ASAS intensa provoca transporte de umidade para o NE e impede a penetração para nordeste da FxNC. Um outro anticiclone a oeste do NE, sobre a região amazônica, favorece o transporte de umidade desta região até uma faixa longitudinal em torno de 50°W. Em altos níveis (fig.5.30.b), a AB intensa e próxima de sua posição climatológica, em associação com um VCAT a leste do NE, provocando uma configuração de bloqueio, que mantém a FxNC semi-estacionária por vários dias.

Apesar de alguns estudos, como Sakamoto (1992), relacionarem a intensificação da FxNC com o deslocamento para leste da AB, isto não foi observado neste caso.

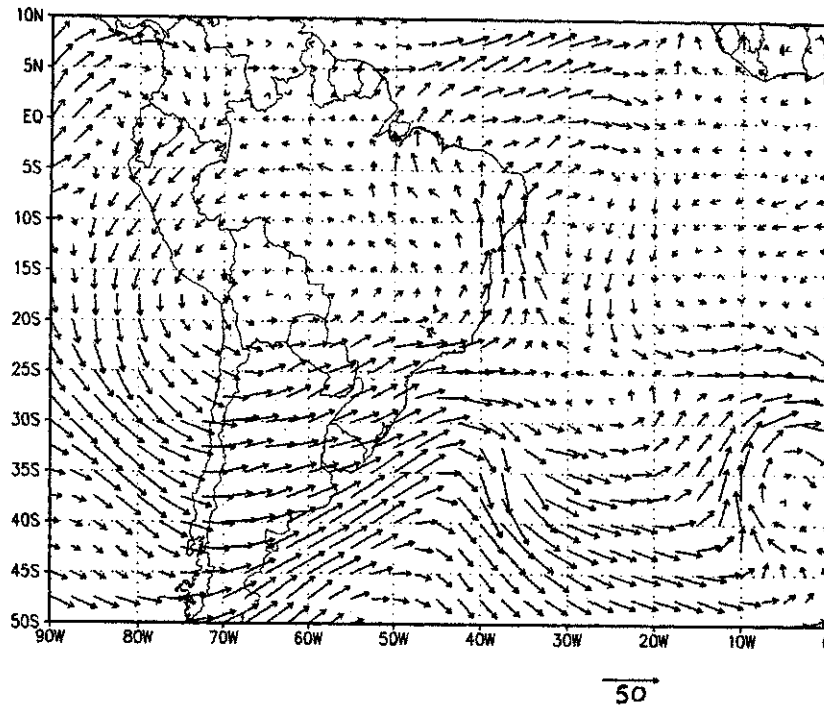


(a)

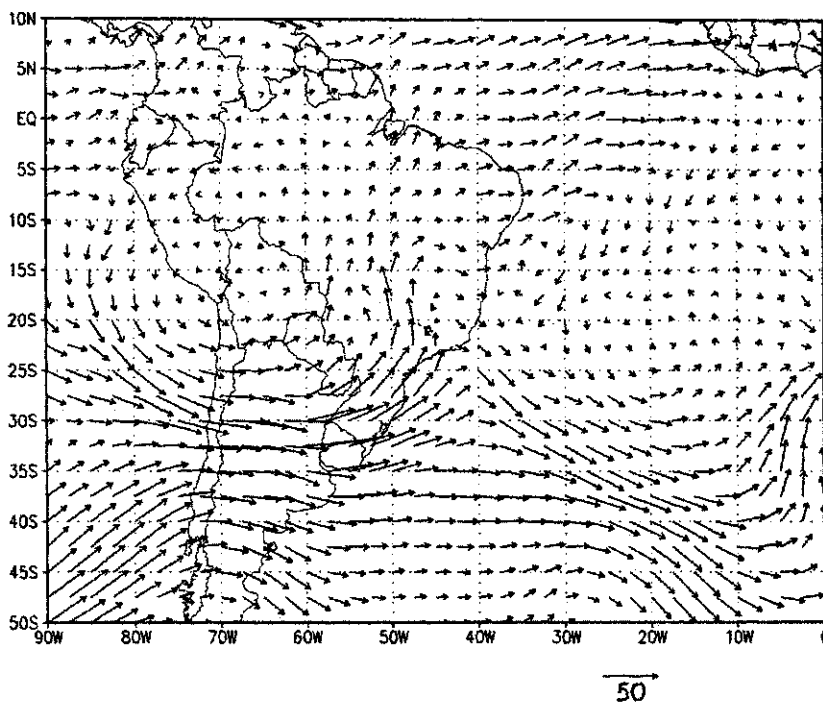


(b)

Fig.5.27 - Movimento vertical (hPa/s) em 500 hPa às 12:00 UTC para os dias (a) 15/12/88, (b) 17/12/88.



(a)



(b)

Fig.5.28 - Vetor vento (m/s) em 200 hPa às 12:00 UTC para os dias (a) 15/12/88, (b) 17/12/88.

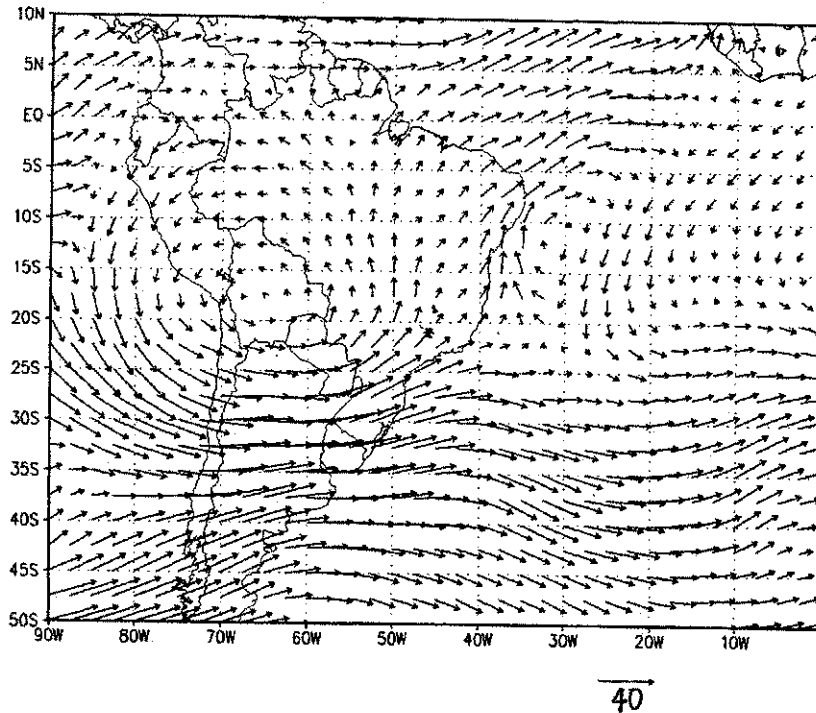


Fig.5.29 - Vetor vento médio (m/s) em 200 hPa às 12:00 UTC de 14 a 20/12/88.

Por outro lado, a intensificação da AB parece ter tido papel decisivo na formação e posicionamento da FxNC. Existem indícios observacionais de que quando a AB aparece bem definida, normalmente as chuvas no CO e SE são acima ou em torno da média (Climanálise, dez. 1987). Estas chuvas sobre o SE estão associadas ao posicionamento e estacionaridade da FxNC, principalmente pela ocorrência de sistemas tipo S. Pode-se inferir, desta forma, também um aumento da precipitação nas regiões oeste e central do NE.

Existem, de fato, fortes evidências de que a posição da AB é determinante na localização da FxNC, como mostraram estudos como os de Carvalho (1989), Sugahara (1991), entre outros.

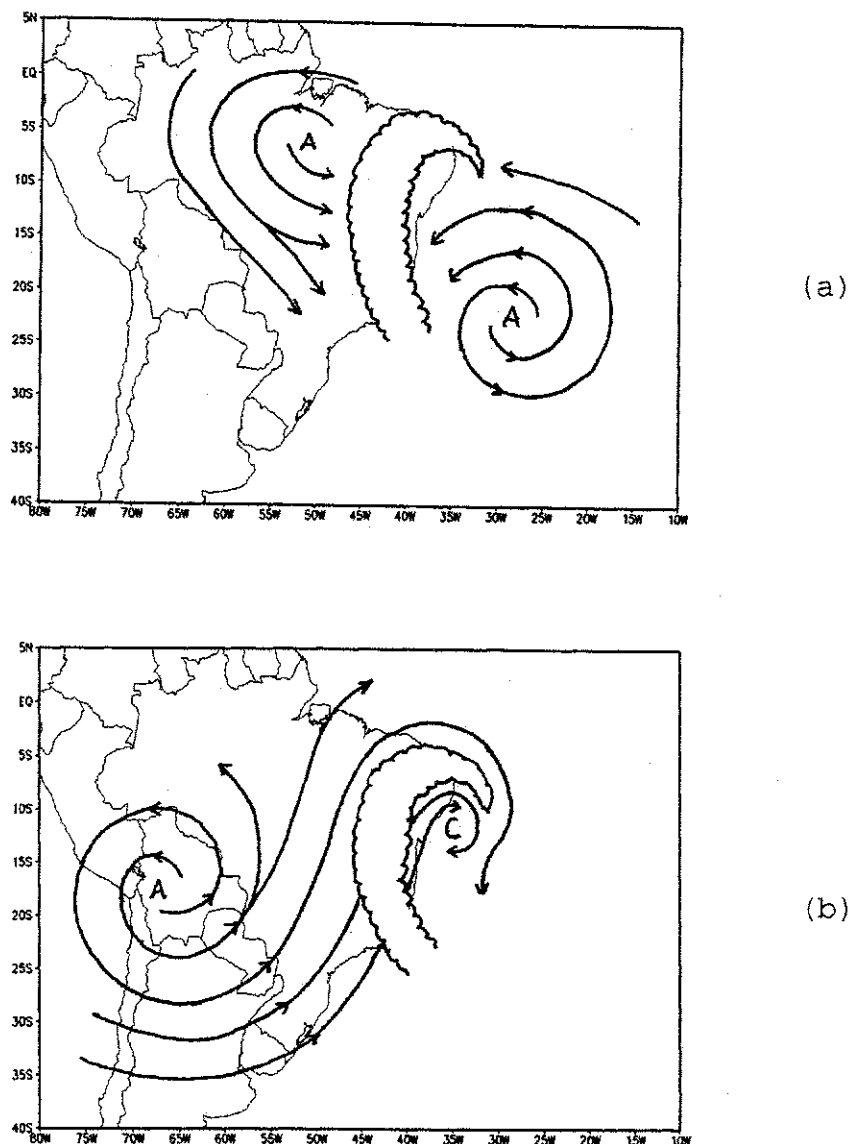


Fig.5.30 - Esquema ilustrando a circulação para os casos tipo S em (a)baixos níveis, (b)altos níveis.

Embora não seja objeto direto deste estudo, parece interessante investigar a influência do fenômeno ENOS na localização da FxNC. Jones e Horel (1990) observaram que durante o episódio El Niño, o centro da AB localiza-se a oeste da sua posição climatológica. Quadro (1994) observou

que a ZCAS localiza-se fora da sua posição preferencial em um evento El Niño. Assim sendo, uma possível influência seria um maior número de episódios tipo A e um menor número de casos tipo S em um evento El Niño, causando excesso de chuvas no sul do NE (como observado por Aceituno, 1989) e escassez nas regiões central e oeste do NE. Todavia, não houve evidências significativas de que isto tenha ocorrido nos episódios de El Niño utilizados no estudo climatológico (1982/83 e 1987/88).

O campo de vorticidade relativa em 200 hPa (fig.5.31) mostra vorticidade ciclônica associada ao cavado e posteriormente ao VCAT à leste do NE e o centro de vorticidade anticiclônica à oeste da região ciclônica. Nas regiões de vorticidade ciclônica em altos níveis observa-se pouca nebulosidade nas imagens de satélite, enquanto que a região da FxNC apresenta vorticidade anticiclônica em altos níveis.

A análise da divergência do fluxo de massa em altos níveis para os dias 15 e 17 (fig.5.32.a e b)) mostra uma faixa de movimento divergente sobre as áreas de maior convecção e região de convergência de massa sobre parte da região norte e litoral leste do NE.

No presente caso, classificado como tipo S, a FxNC organizou-se a partir do dia 15 em associação a um SF que atingiu o SE. As análises mostraram que a baixa frontal deslocou-se para leste, porém a FxNC manteve-se semi-estacionária até o dia 18 numa orientação norte-sul sobre o continente, interagindo com um VCAT sobre o oceano próximo à costa leste do NE. Esta FxNC atingiu principalmente as regiões norte, oeste e central do NE.

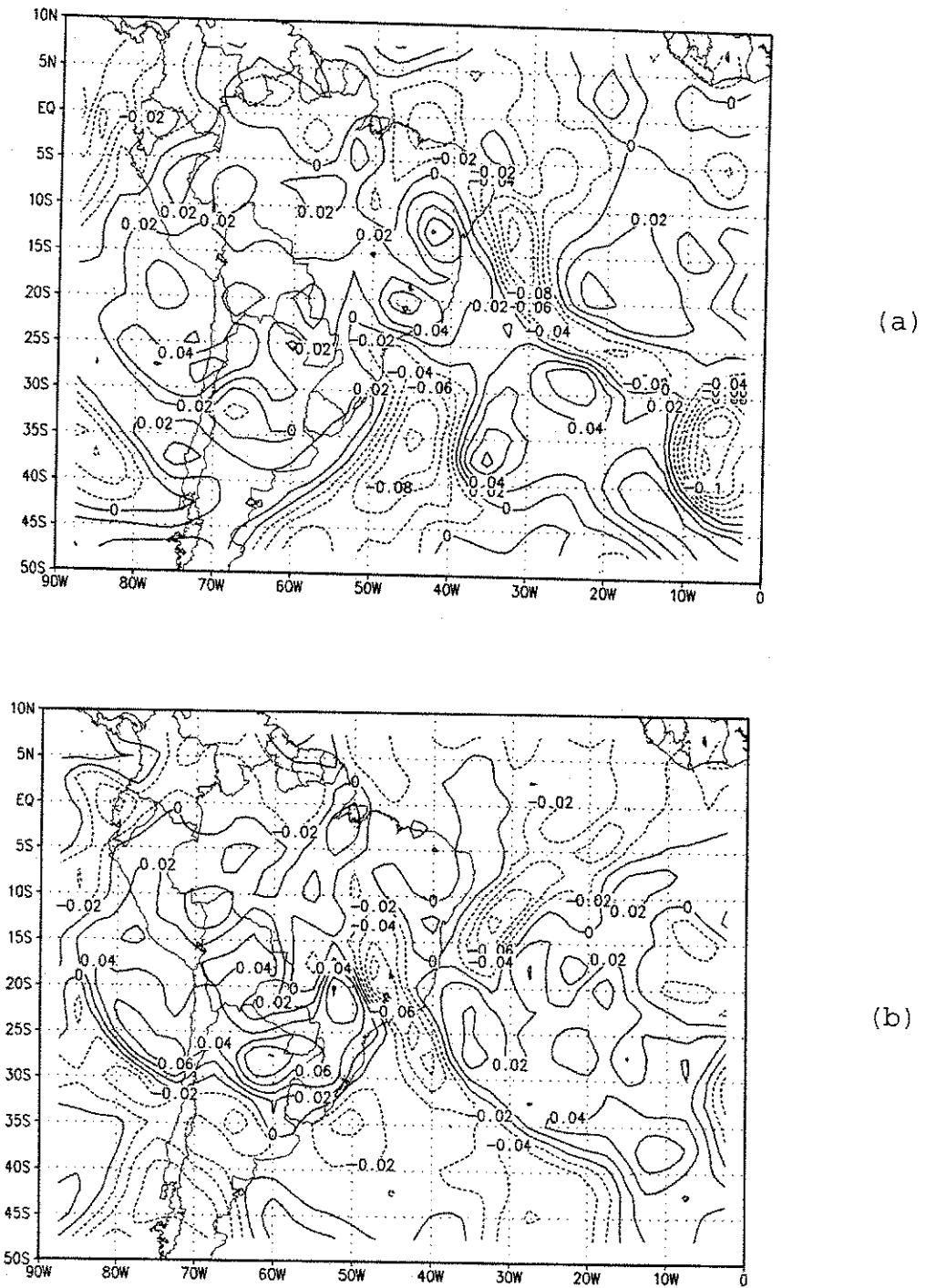
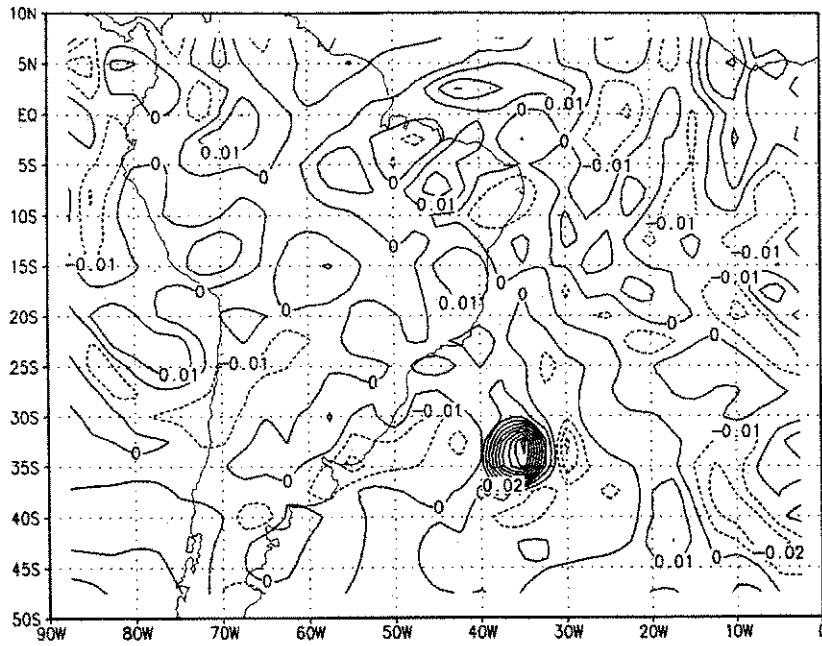
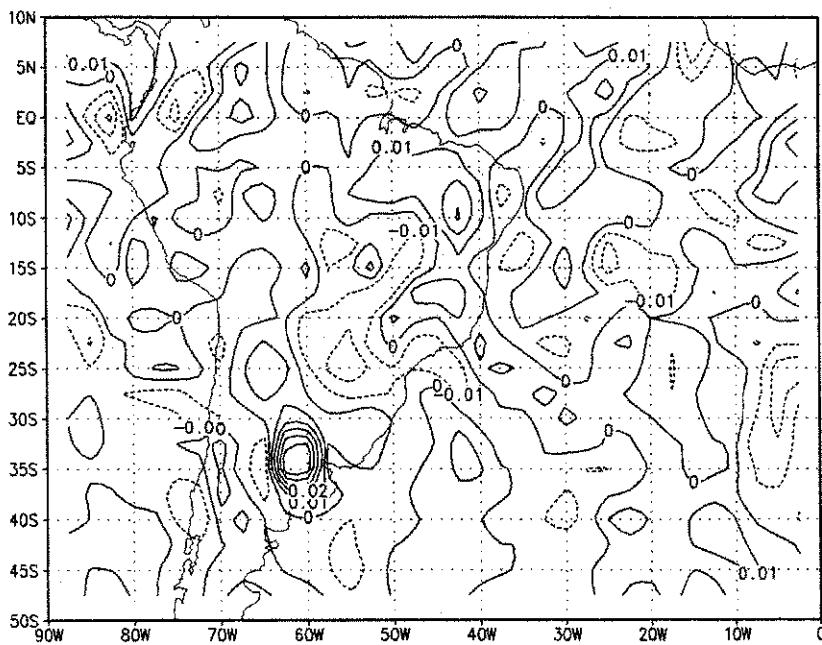


Fig.5.31 - Vorticidade relativa (10^{-3}s^{-1}) em 200 hPa às 12:00 UTC para os dias (a) 15/12/88, (b) 17/12/88.



(a)



(b)

Fig.5.32 - Divergência do fluxo de massa ($10^{-3}s^{-1}$) em 200 hPa às 12:00 UTC para os dias (a)15/12/88, (b)17/12/88.

A presença do VCAT nos casos tipo S foi confirmada, provocando nebulosidade organizada também sobre a região norte do NE. Como foi observado no estudo climatológico, a maior frequência de casos tipo S ocorre em janeiro e fevereiro, concordando com os meses de maior frequência de VCATs sobre o NE, observados por Kousky e Gan (1982).

O padrão de escoamento em altos níveis associado aos sistemas que atuam nos casos tipo S, como a AB mais intensa que o normal e a presença do VCAT à leste do NE parece configurar de fato uma situação de bloqueio, conforme mecanismo proposto por Casarin (1983)

5.3) CASO OCORRIDO DE 27 DE NOVEMBRO A 02 DE DEZEMBRO DE 1987

Este terceiro caso (tipo A) ocorreu devido à penetração de um SF na região tropical, que organizou a FxNC numa orientação noroeste-sudeste, atingindo principalmente o sul e o oeste do NE. Nesta época do ano é bastante comum a atuação de SFs sobre o sul do NE, conforme mostrou o estudo climatológico. Estes resultados concordam também com Kousky (1979).

Para este caso estudou-se somente o campo de vento pois considerou-se que modificações nos padrões atmosféricos devam refletir mudanças no comportamento da circulação da atmosfera. Todavia, seria interessante que uma análise mais cuidadosa deste caso fosse feita futuramente com o objetivo de ratificar as considerações apresentadas.

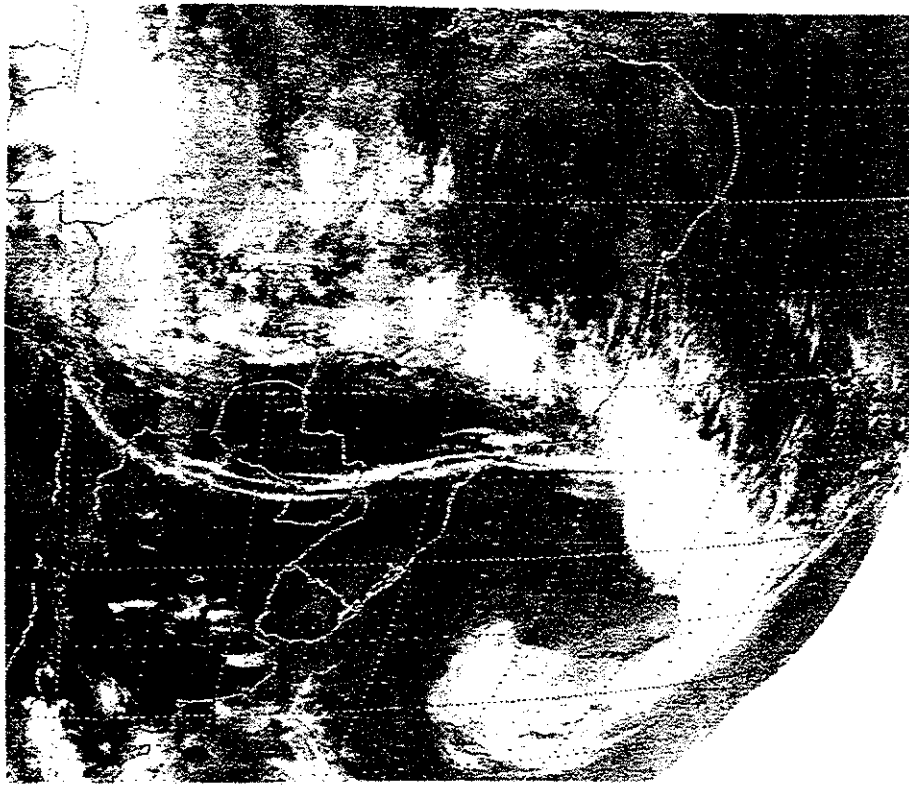
5.3.1) Análise das Imagens de Satélite

A imagem de satélite do dia 27 (12:00 UTC) mostra o SF sobre a Região Sudeste do Brasil (fig.5.33.a). Este sistema sofre um pequeno deslocamento para nordeste, como mostra a imagem do dia 29 das 09:00 UTC (fig.5.33.b), e organiza a CT sobre o norte do SE, região central do Brasil e sul e oeste do NE.

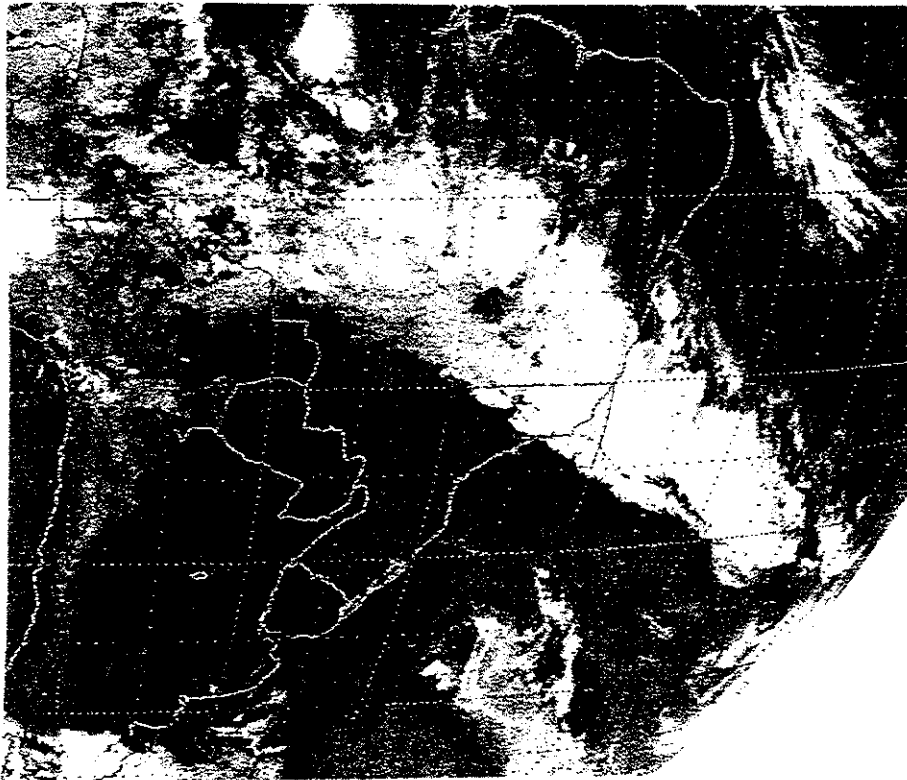
5.3.2) Análise do Campo de Vento

Pela análise do campo de vento em 850 hPa neste episódio observa-se no dia 27 (fig.5.34.a) um sistema de baixa frontal, centrado em aproximadamente 35°S, 40°W associado ao SF sobre o SE. A ASAS aparece centrada em aproximadamente 25°S, 20°W e não muito intensa. Observa-se que no dia 29 (fig.5.34.b) que a baixa frontal dissipou-se e a ASAS aparece deslocada para leste. Assim como no primeiro caso analisado, em que a ASAS aparece enfraquecida e mais afastada do continente, também neste caso o deslocamento da FxNC esteve associado com uma posição mais afastada da ASAS com relação ao continente.

Em altos níveis, a AB aparece no dia 27 (fig.5.35.a) próxima de sua posição climatológica. Pode-se observar também a presença de um VCAT sobre o litoral leste do NE. No dia 29 (fig.5.35.b), com o deslocamento para nordeste do SF observa-se a AB numa posição mais a oeste associado com a dissipação do VCAT.



(a)



(b)

Fig.5.33 - Imagens do satélite GOES-E no canal infravermelho para os dias (a) 27/11/87 (12:00 UTC), (b) 29/11/87 (09:00 UTC).

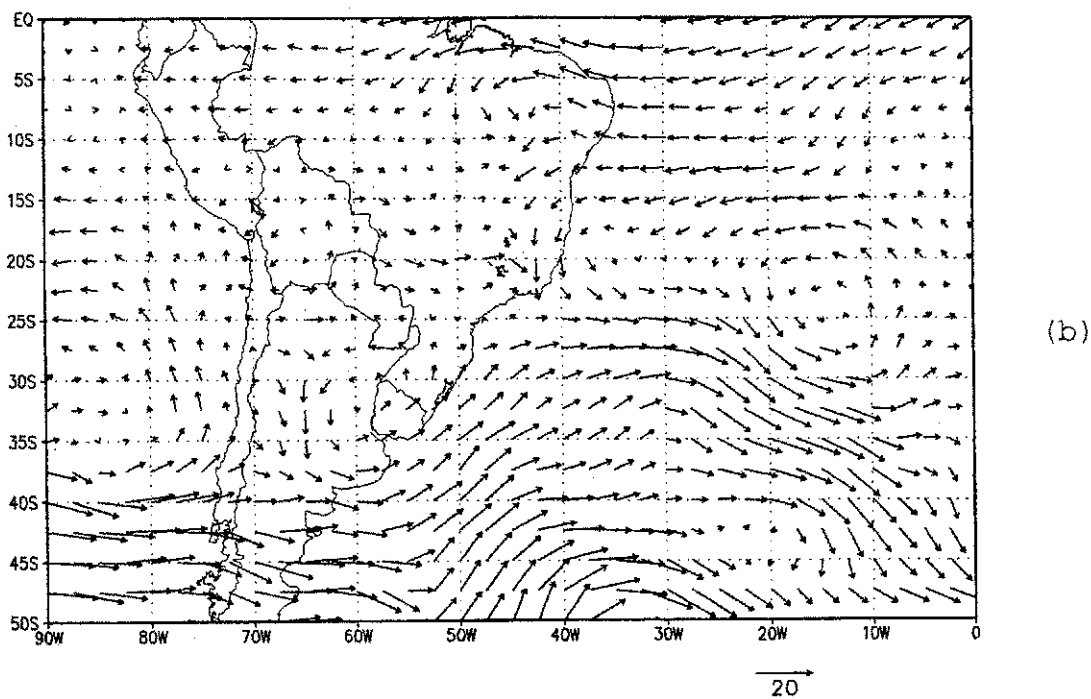
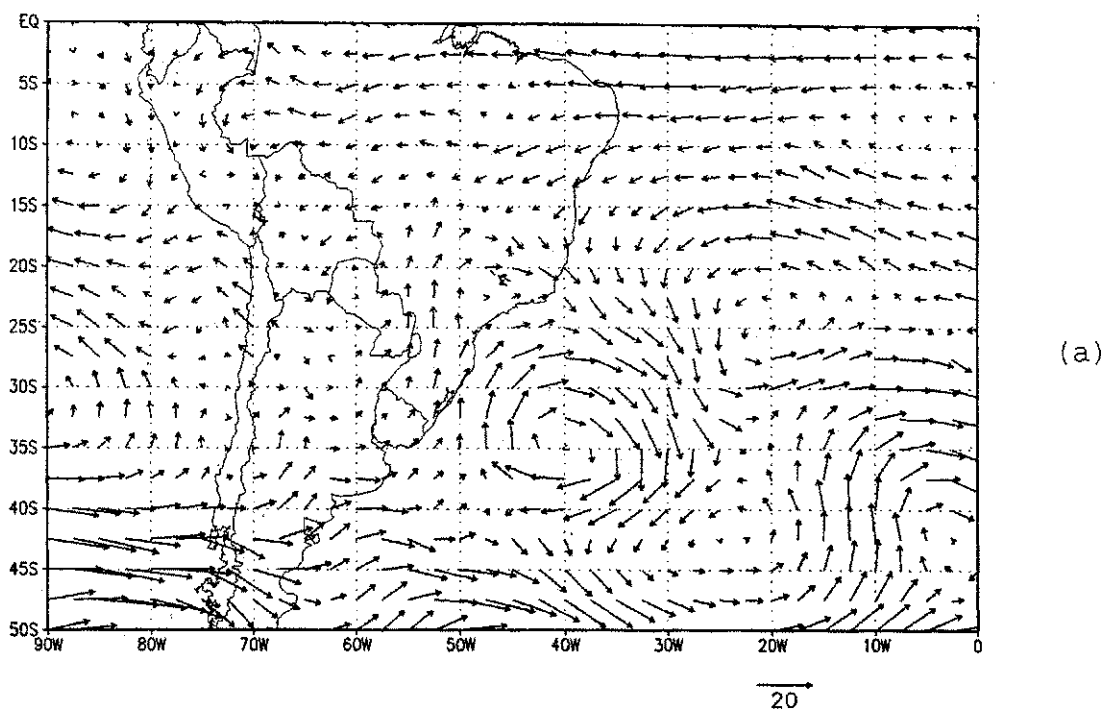


Fig.5.34 - Vetor vento (m/s) em 850 hPa às 12:00 UTC para os dias (a) 27/11/87, (b) 29/11/87.

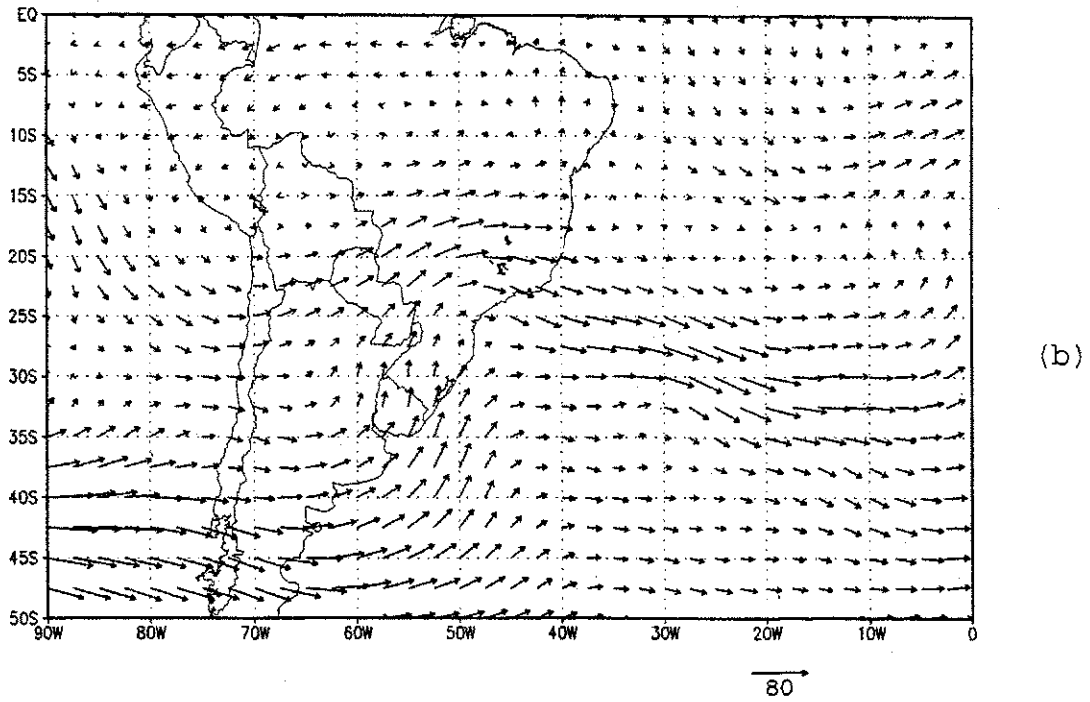
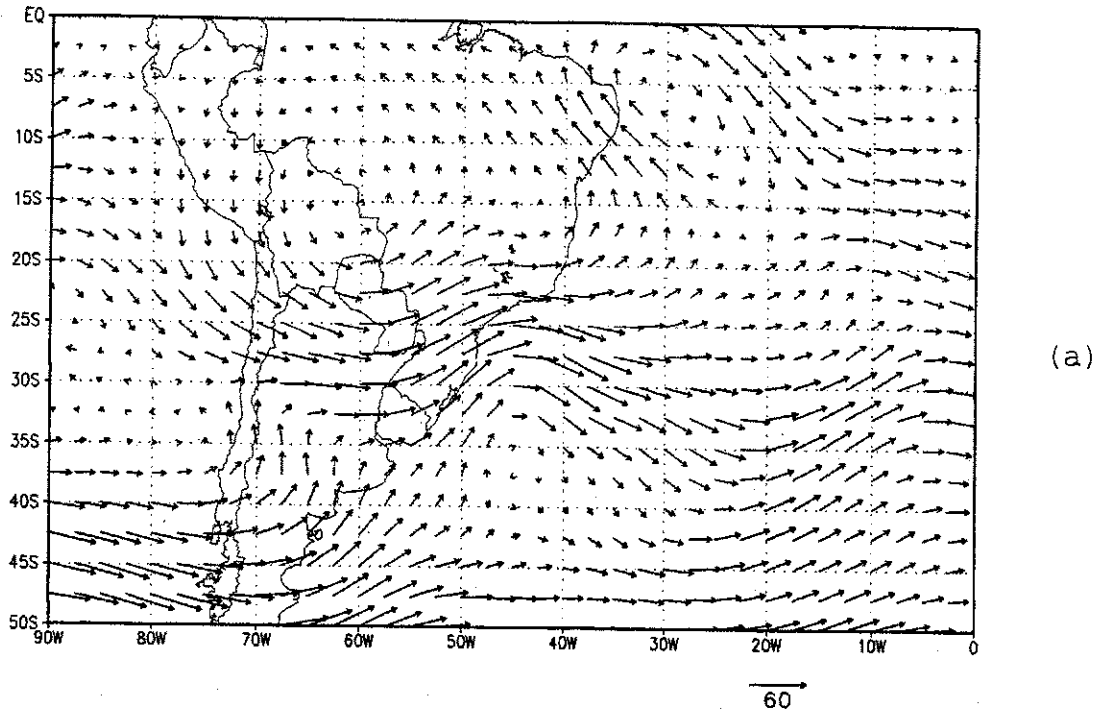


Fig.5.35 - Vetor vento (m/s) em 200 hPa às 12:00 UTC para os dias (a)27/11/87, (b)29/11/87.

O padrão de escoamento em altitude observado para este episódio concordou com os resultados obtidos no caso A estudado anteriormente, ou seja, os casos em que a FxNC atua sobre o sul do NE estão associados com a ASAS pouco intensa e afastada do continente, e com a AB também pouco intensa e deslocada para oeste-noroeste de sua posição climatológica.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Este trabalho investiga as formas de atuação das faixas de nebulosidade convectiva (FxNC), observadas nas imagens de satélite, que atingem a Região Nordeste do Brasil (NE), principalmente durante o período de verão.

Através de climatologia baseada na análise visual de 6 anos de imagens de satélites meteorológicos, observou-se dois tipos principais de atuação da faixa de nebulosidade convectiva organizada sobre o NE, tendo sido classificados como tipo A e tipo S.

Os casos tipo A são aqueles em que a FxNC possui uma orientação noroeste-sudeste e sofre um deslocamento para nordeste, atingindo principalmente as regiões sul, central e oeste do NE, causando episódios chuvosos nestas regiões.

Os casos tipo S são aqueles em que a FxNC, originada por um sistema frontal (SF) que penetra no Sudeste do Brasil, mantém-se semi-estacionária sobre esta região. Esta FxNC possui uma orientação norte-sul, atuando principalmente em uma faixa longitudinal sobre o oeste e centro do NE. Nestes casos, há interação com vórtices ciclônicos da alta troposfera (VCATs) sobre o Oceano Atlântico a leste do NE. Em muitos casos há interação também com a Zona de Convergência Intertropical, principalmente nos meses em que esta se encontra mais ao sul. Também foram observados nos casos tipo S índices pluviométricos significantes para as regiões de atuação do sistema.

Observou-se que os casos tipo A ocorrem com maior frequência nos meses de outubro e novembro, enquanto que os casos tipo S ocorrem mais nos meses de janeiro, fevereiro e março. Dezembro foi considerado um mês de transição, em que ambos os casos ocorrem. Praticamente não foram observados casos durante o inverno.

Do estudo de casos observou-se padrões característicos a cada um dos tipos atuantes de FxNC sobre o NE. Os casos tipo A estão associados às zonas de convergência formadas por SF ou vórtices ciclônicos que atinjam a região sul do NE. Os vórtices ciclônicos observados nestes casos localizam-se à sudeste do NE. Uma análise de um número maior de casos se faz necessária para avaliar inclusive os processos ciclogenéticos, como observado no primeiro caso deste estudo. Por tratar-se de uma região termodinamicamente instável, observou-se que a CT organiza-se também a partir de sistemas em escala inferior à escala sinótica.

Associado aos casos tipo A observou-se a ASAS enfraquecida e deslocada para sudeste de sua posição climatológica, permitindo o aparecimento de ventos de norte sobre o norte do NE. Em altos níveis observou-se a AB menos intensa que o normal.

Os caso tipo S estão associados a SF que atinjam o SE e organizam a CT. O sistema de baixa frontal se desloca para leste em latitudes médias, enquanto a FxNC mantém-se semi-estacionária sobre o continente.

Associado aos casos tipo S observou-se a ASAS intensa e próxima de sua posição climatológica, contribuindo no sentido de levar umidade do oceano para o continente;

observou-se também circulação anticiclônica a oeste do NE contribuindo para levar umidade da região amazônica para o NE. Em altos níveis, observou-se nos casos tipo S a AB bastante intensa, ventos de sul sobre boa parte do continente e a presença do VCAT sobre o Oceano Atlântico, próximo à costa leste do NE.

Os campos de temperatura potencial equivalente e de divergência do fluxo de umidade mostraram fortes evidências de que os sistemas se mantêm através do mecanismo de "Instabilidade Condicional de Segundo Tipo" (CISK), onde o calor e umidade são levados até níveis mais altos da atmosfera pela ascensão nos núcleos convectivos.

Observou-se, na região da FxNC, movimento vertical ascendente de ar em 500 hPa e divergência de massa em altos níveis. Na periferia da FxNC observou-se movimento subsidente de ar em 500 hPa e convergência do fluxo de massa, sugerindo condições mais secas que o normal na periferia da FxNC.

Por fim, pode-se sugerir para trabalhos futuros:

- utilização de um novo conjunto de dados, bem como a aplicação de testes estatísticos no conjunto de dados utilizados de forma a avaliar a confiabilidade dos resultados obtidos neste estudo;

- estudo de mais casos de atuação da FxNC, de forma a permitir um tratamento estatístico-dinâmico mais aprofundado e conclusivo da influência destes sistemas sobre o NE;

- estudo da dinâmica da FxNC através de modelagem numérica, com o objetivo de investigar melhor os processos

de formação, manutenção e dissipação destes sistemas, de forma, inclusive, a auxiliar na previsão de eventos chuvosos na Região Nordeste do Brasil;

- estudo da influência do fenômeno El Niño-Oscilação Sul na formação e localização da FxNC, utilizando os procedimentos citados acima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aceituno, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part II: Upper-air circulation. **Journal of Climate**, 4(2):341-355, Abr.1989.

Aragão, J.O. **Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil**. (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1976 (INPE-2638-TDL/114).

Bolton, O. The computation of equivalent potential temperature. **Monthly Weather Review**, 108:1046-1053, 1980.

Buchmann, J.; Moura, A.D. e Hirata, M.H. **A synoptic study of the influence of extra-tropical latitude systems on the climatic variability in Northeast Brazil**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1984 (INPE-3225-PRE/576).

Calheiros, R.V. e Silva Dias, P.L. Como prever melhor. **Climanálise**, 3(2):31-31, Fev.1988.

Carleton, A.M. A synoptic climatology of satellite-observed extra-tropical cyclone activity for the Southern

Hemisphere winter. *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser.*,
27:265-279, 1979.

Carvalho, A.M.G. **Conexões entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América do Sul.** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989 (INPE-4923-TDL/383).

Casarin, D.P. **Um estudo observacional sobre os sistemas de bloqueio no Hemisfério Sul.** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1983 (INPE-2638-TDL/114).

Casarin, D.P. e Kousky, V.E. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 1(2):83-90, Dez.1986.

Chan, C.S. **Análise dos distúrbios ondulatórios de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul.** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1990 (INPE-5222-TDL/437).

Chu, P.S. Diagnostic studies of rainfall anomalies in Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 111:1655-1664, 1983.

Chung, J.C. Correlations between the Tropical Atlantic trade winds and precipitation in Northeastern Brazil. **Journal of Climatology**, 2:35-46, 1982.

Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática-
3(12), Dez.1988. Instituto Nacional de Pesquisas
Espaciais, São José dos Campos, 1988.

Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática-
2(12), Dez.1987. Instituto Nacional de Pesquisas
Espaciais, São José dos Campos, 1987.

Danard, M.B. On the influence of released latent heat on cyclone development. **Journal of Applied Meteorology**, 3(1):27-37, 1964.

Dean, G.A. **The three dimensional wind structure over South America and associated rainfall over Brazil**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1971 (INPE-LAFE-164).

Doty, B.E. **Using the Grid Analysis and Display System**. Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions (COLA), University of Maryland, Jan. 1992.

Godbole, R.V.; Shukla, J. **Global analysis of january and july sea level pressure**. NASA Technical Memorandum

82097, Goddard Space Flight Center, Greenbelt,
Maryland, 52pp., 1981.

Hastenrath, S. Predictability of Northeast Brazil drought.
Nature, 307:531-533, 1984.

Hastenrath, S.; Heller, L. Dynamics of climate hazards in
Northeast Brazil. **Quarterly Journal Royal Meteorology
Society**, 103:77-92, 1977.

Holton, J.R. **An Introduction to Dynamic Meteorology**. 2.ed.
Academic Press, New York, 1979.

Hoskins, B.J.; Karoly, D.J. The steady linear response of a
spherical atmosphere to thermal and orographic forcing.
Journal of Atmospheric Science, 38(6):1179-1196, Jun.
1981.

Hoskins, B.J.; Hsu, H.H.; James, I.N.; Masutani, M.;
Sardeshmukh, P.D.; White, G.H. **Diagnostics of the
global atmospheric circulation based on ECMWF analysis
1979-1989**. UGAMP Technical Report. Department of
Meteorology - University of Reading, ago/1989, 217pp.

Iribarne, J.V.; Godson, W.L. **Atmospheric Thermodynamics**.
1.ed. Holland, 223p - 1973.

Jones, C.; Horel, J.D. A circulação da Alta da Bolívia e a atividade convectiva sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 5(1):379-387, 1990.

Kayano, M.T.; Rao, V.B.; Moura, A.D. Tropical circulation and the associated rainfall anomalies during two contrasting years. **Journal of Climatology**, 8:477-488, 1988.

Kodama, Y. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, 70(4):813-836, 1992.

Kousky, V.E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, 108(4):488-498, 1980.

Kousky, V.E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South America sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 3:217-231, 1988.

Kousky, V.E. Frontal influences on the Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, 107(4):1140-1153, 1979.

Kousky, V.E.; Cavalcanti, I.F.A.; Gan, M.A. Contrasts between wet and dry periods within the 1981 rainy season in Northeast Brazil. **First Intern. Confer.on**

South America, São José dos Campos. Anais:112-115, 1983.

Kousky, V.E.; Chu, P.S. Fluctuations in annual rainfall for Northeast Brazil. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, 56(5):457-465, 1978.

Kousky, V.E.; Ferreira, N.J. Interdiurnal surface pressure variations in Brazil: their spatial distributions, origins and effects. **Monthly Weather Review**, 109:1999-2008, 1981.

Kousky, V.E.; Gan, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the Tropical South Atlantic. **Tellus**, 33(6):538-550, 1981.

Kousky, V.E.; Gan, M.A. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no Oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 1(1):19-28, 1986.

Kousky, V.E.; Moura, A.D. Previsão de precipitação no Nordeste do Brasil: o aspecto dinâmico. **IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos**, Fortaleza, 1981.

Kousky, V.E.; Virji, H. Regional and global aspects of a low latitude frontal penetration in Amazonas and associated tropical activity. **First Intern. Confer.on South America**, São José dos Campos, 1983.

Lima, M.C. **Variabilidade da precipitação no litoral leste da Região Nordeste do Brasil.** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1991 (INPE-5283-TDI/453).

Markhan, M.G.; Mc Lain, D.R. Sea surface temperature related to rain in Ceara, northeastern Brazil. **Journal of Applied Meteorology**, 13:176-179, 1979.

Nobre C.A. Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: A importância do Oceano Atlântico. **Climanálise**, 3(4):30-35, Abr.1988.

Obregon, G.O. **Teleconexões no campo de vortacidade relativa durante o verão de 1979/80 do Hemisfério Sul.** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1991 (INPE-5308-TDI/458).

Oliveira, A.S. **Interação entre sistemas na América do Sul e convecção na Amazônia.** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986 (INPE-4008-TDL/239).

Oliveira, A.S. e Nobre, C.A. Interações entre sistemas frontais da América do Sul e a convecção na Amazônia.

Parte 1: aspectos climatológicos. **IV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Brasília. Anais 1:311-316, 1986.

Oliveira, L.L. **Zonas de Convergência do Atlântico Sul e suas influências no regime de precipitação do Nordeste do Brasil**. (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1982 (INPE-2307-TDL/074).

Quadro, M.F.L. **Estudo de Episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

Rao, V.B.; Marques, V.S. Water vapour characteristics over Northeast Brazil during two contrasting years. **Journ. Clim. Appl. Meteor.**, 23:440-444, 1984.

Ratisbona, C.R. **The Climate of Brazil**. In: **Climates of Central and South America**. World Survey of Climatology, Elsevier, 12:219-293, 1976.

Riehl, H. Venezuelan rain systems and the general circulation of the summer tropics II: Relations between low and high latitudes. **Monthly Weather Review**, 105:1421-1443.

Sakamoto, M. S. **Balanço de energia cinética associado a uma frente estacionária no verão de 1989.** (Dissertação de Mestrado em Ciências Atmosféricas) - Instituto Astronômico e Geofísico - Universidade de São Paulo, São Paulo. 139pp, 1992 (USP-AGM35).

Satyamurti, P.; Santos, R.; Lemes, M.A. On the stationary trough generated by the Andes. **Monthly Weather Review**, 108(4):510-519, 1980.

Silva Dias, P.L.; Schubert, W.H.; De Maria, M. Large-scale response of the tropical atmosphere to the transient convection. **Journal of Atmospheric Science**, 115(11):2689-2707, 1983.

Silva Dias, P.L.; Caplan, P.; Kousky, V.E. As chuvas intensas de fevereiro de 1988: Circulação global e previsibilidade. **V Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Rio de Janeiro. Anais 2, 1988.

Strang, D.M.G. **Climatological analysis of rainfall normals in Northeast Brazil.** Relatório Técnico I.A.E.-MD2/72, São José dos Campos, 1972.

Sugahara, S. **Flutuações interanuais, sazonais e intrasazonais da precipitação no Estado de São Paulo.** (Tese de Doutorado em Meteorologia) - DCA, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

Taljaard, J.J. The cloud bands of the South Pacific and Atlantic Oceans. **Meteorological Monographs**, 13(35):189-192, 1972.

Uvo, C.R.B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte do Nordeste Brasileiro.** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989 (INPE-4887-TDL/378).

Vianello, R.L. **Ondas estacionárias forçadas pela topografia e pelas forçantes e sumidouros de calor no Hemisfério Sul.** (Tese de Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1981 (INPE-2080-TDL/055).

Weickmann, K.M.; Lussy, G.R.; Kutzbach, J.E. A global-scale analysis at intraseasonal fluctuations of outgoing longwave radiation and 250 mb streamfunction during northern winter. **Monthly Weather Review**, 113:941-961, 1985.

Yamazaki, S.; Rao, V.B. Topical cloudiness over the South Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, 55:205-207, 1977.

Yasunari, T. Stationary waves in the Southern Hemisphere mid-latitude zonal revealed from average brightness

charts. *Journal of the Meteorological Society of Japan*,
55(3):274-285, 1977.

APÊNDICE A

a) Fórmula utilizada para cálculo da razão de mistura (r) (Iribarne e Godson, 1973):

$$r = \frac{UR \times 0,622 \{ 6,11 \times E [7,5 T / (T + 237,3)] \}}{100 \{ p - 6,11 \times E [7,5 T / (T + 237,3)] \}}$$

onde p é a pressão em hPa no nível considerado, T é a temperatura do ar, em °C e UR é a umidade relativa, em %.

b) Fórmula utilizada para cálculo da temperatura potencial equivalente (θ_e) (Bolton, 1980):

$$\theta_e = (T + 273,15) \times (1000/p) \times E(0,2854(1 - 0,28 \times 10^{-3} r)) \\ \times E[(3,376 / T_L - 0,00254) \times r(1 + 0,81 \times 10^{-3} r)]$$

onde T_L é a temperatura do nível de condensação por levantamento, expressa por:

$$T_L = 1 / [1 / (T + 218,15) - \ln (UR/100) / 2840] + 55$$

APÊNDICE B

Segundo Kousky e Gan (1981), uma maneira de avaliarmos a região de maior convecção em sistemas tipo vórtices ciclônicos pode ser obtida através da Equação da Vorticidade.

Pela Equação da Vorticidade em coordenadas de pressão, desconsiderando o termo de inclinação, temos:

$$d(\zeta+f)/dt = -(\zeta+f) \nabla_p$$

$$-\partial\zeta / \partial t + v \cdot \nabla(\zeta+f) = -(\zeta+f) \nabla \cdot v$$

Considerando que a intensidade do sistema não varia, a contribuição do deslocamento do sistema pode ser medido por $\partial\zeta/\partial t$. Para distúrbios ciclônicos no HS temos ainda que $-(\zeta+f) > 0$, então podemos expressar qualitativamente os efeitos do deslocamento como:

$$\partial\zeta/\partial t \propto \nabla \cdot v$$

O deslocamento para leste dos vórtices ciclônicos em altitude implica que na borda leste do vórtice temos $\partial\zeta/\partial t < 0$ (aumento da circulação ciclônica). A maior atividade convectiva é, desta forma, fortalecida na borda de deslocamento do vórtice.

APÊNDICE C

TABELA DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS
DA SUDENE UTILIZADAS NO ESTUDO

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	LAT °S	LON °W	ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	LAT °S	LON °W
MARANHÃO			PERNAMBUCO		
Luiz Domingues	1,18	45,52	Bom Sossego	9,25	40,43
Vianna	3,13	45,00	Santa Paula	8,23	38,20
Urbano Santos	3,12	43,24	Craibas	9,03	37,15
Timbiras	4,15	43,57	Tacaimbo	8,19	36,18
Grajau	5,50	46,08	Cucau	8,38	35,17
Gonçalves Dias	4,58	44,14	ALAGOAS		
S. Domingos	6,49	44,39	Flecheiras	9,17	35,43
Coqueiro	7,40	46,28	Major Isidoro	9,32	36,59
PIAUI			PARAÍBA		
Alto Alegre	4,01	41,27	Cajazeiras	6,53	38,34
Altos	5,02	42,28	Teixeira	7,13	37,16
Aroases	6,07	41,47	Bananeiras	6,46	35,38
Oeiras	7,01	42,08	Bodocongó	7,32	35,59
Paulistana	8,08	41,09	Alhandra	7,26	34,55
Bertolinia	7,38	43,57	BAHIA		
S. João do Piauí	8,22	42,15	Bedengo	9,57	39,09
Bom Jesus	9,04	44,21	Remanso	9,41	42,04
Corrente	10,27	45,09	Bela Vista	10,44	41,02
CEARÁ			Tucano	10,58	38,46
Camocim	2,54	40,50	Santo Inácio	11,07	42,44
Caucaia	3,44	38,39	São João	12,28	40,11
Lacerda	5,26	39,21	Tagua	11,44	44,31
Crato	7,13	39,23	Saudavel	12,06	42,11
RIO GRANDE DO NORTE			São Manoel	13,26	44,28
Mossoró	5,12	37,21	Rio das Contas	13,34	41,49
S. Rafael	5,48	36,55	Nazaré	13,01	39,00
Jacumã	5,35	35,14	Encruzilhada	15,32	40,56
SERGIPE			Itabuna	14,48	39,16
Manicoba	10,23	37,28	Ibirapua	17,39	40,08
Pacatuba	10,27	36,39			

APÊNDICE D

TABELA DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS
DO INMET UTILIZADAS NO ESTUDO

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	LAT °S	LON °W	ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	LAT °S	LON °W
MARANHÃO			PERNAMBUCO		
82571 - Barra do Corda	5,30	45,16	82890 - Arco Verde	8,25	37,05
82765 - Carolina	7,20	47,28	82886 - Cabrobó	8,31	39,20
82476 - Caxias	4,52	43,21	82887 - Floresta	8,36	38,34
82568 - Grajaú	5,48	46,27	82893 - Garanhuns	8,53	36,31
82564 - Imperatriz	5,32	47,30	82983 - Petrolina	9,23	40,29
82280 - São Luis	2,32	44,18	82900 - Recife	8,03	34,55
82198 - Turiaçu	1,43	45,24	82797 - Surubim	7,50	35,43
82376 - Zé Doca	3,43	45,32	82789 - Triunfo	7,51	38,08
PIAUI			ALAGOAS		
82975 - Bom J. do Piauí	9,06	44,07	82994 - Maceió	9,40	35,42
82678 - Floriano	6,46	43,01	82992 - Palm. dos Índios	9,27	36,42
82267 - Parnaíba	2,55	41,36	BAHIA		
82882 - Paulistana	8,08	41,08	83249 - Alagoinhas	12,17	38,35
82780 - Picos	7,04	41,29	83179 - Barra	11,05	43,10
82578 - Teresina	5,05	42,49	82236 - Barreiras	12,09	45,00
CEARÁ			83288 - Bom J. da Lapa	13,16	43,25
82784 - Barbalha	7,19	39,18	83339 - Caetité	14,03	42,37
82777 - Campos Sales	7,00	40,23	83226 - Camaçari	12,40	38,19
82583 - Crateús	5,10	40,40	83398 - Canavieiras	15,40	38,57
82397 - Fortaleza	3,46	38,36	83498 - Caravelas	17,44	39,15
82487 - Guarimiranga	4,17	39,00	83408 - Carinhanha	14,10	43,55
82686 - Iguatu	6,22	39,18	83192 - Cipó	11,05	38,31
82493 - Jaguaruana	4,47	37,36	83286 - Correntina	13,28	44,46
82588 - Morada Nova	6,05	39,23	83446 - Guaratinga	16,44	39,44
82586 - Quixeramobim	5,12	39,18	83348 - Ilhéus	14,48	39,04
82392 - Sobral	3,42	40,21	83182 - Irecê	11,18	41,52
82683 - Tauá	6,00	40,25	83244 - Itaberaba	12,33	40,26
RIO GRANDE DO NORTE			83295 - Itiruçu	13,22	39,57
82590 - Apodi	5,39	37,48	83292 - Ituaçu	13,49	41,18
82596 - Ceará Mirim	5,39	35,25	83186 - Jacobina	11,11	40,28
82683 - Cruzeta	6,26	36,35	83242 - Lençóis	12,34	41,23
82691 - Florania	6,07	36,49	83090 - Monte Santo	10,25	39,18
82594 - Macau	5,07	36,38	83184 - Morro do Chapéu	11,13	41,13
82591 - Mossoró	5,11	37,20	82986 - Paulo Afonso	9,24	38,13
PARAÍBA			82979 - Remanso	9,38	42,06
82795 - Campina Grande	7,13	35,53	83229 - Salvador	13,01	38,31
82798 - João Pessoa	7,06	34,52	83076 - S. R. de Cássia	11,01	44,31
82792 - Monteiro	7,53	37,04	83088 - Sr. do Bonfim	10,28	40,11
82689 - São Gonçalo	6,45	38,13	83190 - Serrinha	11,38	38,58
SERGIPE			83344 - Vit. da Conq.	15,57	40,53
Aracajú	10,55	37,03			