




UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS



Programa de Pós-Graduação em Meteorologia

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

UM ESTUDO DE CASO SOBRE A INFLUÊNCIA DE SISTEMAS
EXTRATROPICAIS NO NORDESTE DO BRASIL UTILIZANDO A
VORTICIDADE POTENCIAL

AUTORA: GILDETE FERREIRA DA ROCHA
FEVEREIRO DE 1993



CTRn
Centro de Tecnologia
e Recursos Naturais

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**UM ESTUDO DE CASO SOBRE A INFLUÊNCIA DE SISTEMAS
EXTRATROPICAIS NO NORDESTE DO BRASIL UTILIZANDO A VORTICIDADE
POTENCIAL**

GILDETE FERREIRA DA ROCHA

CAMPINA GRANDE - PB
FEVEREIRO DE 1993

GILDETE FERREIRA DA ROCHA

**UM ESTUDO DE CASO SOBRE A INFLUÊNCIA DE SISTEMAS
EXTRATROPICAIS NO NORDESTE DO BRASIL UTILIZANDO A VORTICIDADE
POTENCIAL**

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Meteorologia da Universidade
Federal da Paraíba em cumprimento às
exigências para obtenção do Grau de Mestre.

Orientadora: MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO, Ph.D

Co-Orientadora: ZENAIDE ROSA SOBRAL, M.Sc

CAMPINA GRANDE - PB

FEVEREIRO DE 1993

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

R672e

Rocha, Gildete Ferreira da.

Um estudo de caso sobre a influência de sistemas extratropicais no Nordeste do Brasil utilizando a vortacidade potencial/Gildete Ferreira da Rocha. — Campina Grande, 1993.

71 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientadora: Profª. Ph.D. Maria Regina da Silva Aragão.

Referências.

1. Sistemas Extratropicais. 2. Vortacidade Potencial. 3. Nordeste Brasileiro. 4. Diagnóstico. 4. Prognóstico. I. Título.

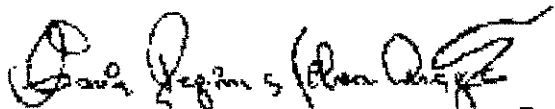
CDU 551.513.6(043)

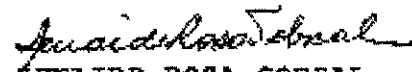
551.551.6(043)

UM ESTUDO DE CASO SOBRE A INFLUÊNCIA DE SISTEMAS EXTRATROPICAIS
NO NORDESTE DO BRASIL UTILIZANDO A VORTICIDADE POTENCIAL.

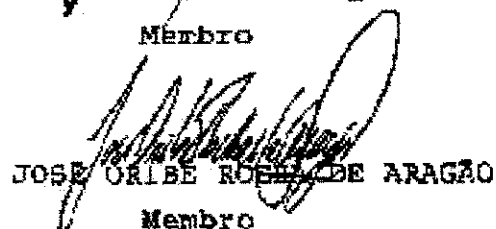
GILDETE PERREIRA DA ROCHA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 18/3/93


MARIA REGINA DE SILVA ARAGÃO
Orientadora


ZENAIDE ROSA SOBRAL
Co-Orientadora


VALDO DA SILVA MARQUES
Membro


JOSE ORIBE ROBERTO DE ARAGÃO
Membro

CAMPINA GRANDE

MARÇO - 1993

Com muito carinho, à minha mãe Maria
Ferreira da Rocha, ao meu esposo Marcos
Antonio da Silva e aos meus filhos José
Antônio Ferreira da Rocha Silva e Djamara
Virgínia Ferreira da Rocha Silva, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Dra. Maria Regina da Silva Aragão pela valiosa orientação e incentivo com que acompanhou essa pesquisa.

À MSc. Zenaide Rosa Sobral pela co-orientação, pelo fornecimento dos dados e pela análise dos mapas contidos neste trabalho.

À Universidade Federal da Paraíba, Campus II, através do Departamento de Ciências Atmosféricas e da Coordenação do Curso de Mestrado em Meteorologia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos.

À Engenheira Eyres Diana Ventura Silva e ao Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti pelo auxílio nos trabalhos de computação.

Às secretárias Divanete Cruz Rocha (pós-graduação em Meteorologia) e Lúcia Márcia Donato Quirino (pós-graduação em Engenharia Mecânica) pelo incentivo e amizade durante toda a fase de desenvolvimento desta pesquisa.

Às amigas Aninha, Alda de Nátia, Aldimar, Célia, Natália e Mulica (pensionato) pelo carinho, amizade e incentivo.

Finalizo com um agradecimento especial a "JESUS CRISTO" que me deu forças para alcançar o final deste trabalho, não decepcionando a todos aqueles que em mim confiaram.

RESUMO

O período de 13 a 18 de junho de 1975 foi estudado com o objetivo de determinar se o uso conjunto da vorticidade potencial e sua advecção horizontal, na média e alta troposfera, é eficiente no prognóstico qualitativo da evolução de sistemas extratropicais que influenciam o Nordeste do Brasil. Na maior parte do período estudado, a precipitação ocorreu em mesoescala em áreas litorâneas do norte e leste do Nordeste. A análise de sequências de imagens do satélite meteorológico GOES-E, na banda espectral do visível e infravermelho, evidenciou que áreas de nebulosidade com deslocamento para oeste ao sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) foram responsáveis pelas chuvas no litoral leste do estado do Rio Grande do Norte e litoral norte do Nordeste. A precipitação no restante do litoral leste foi provocada pela nebulosidade organizada nas bandas frontais em dissipação que atuavam sobre a costa.

Na média (500 hPa) e alta (300 hPa) troposfera, um cavado extratropical avançou sobre a Argentina, Uruguai e regiões Sul, Sudeste e sul do Nordeste, no sentido sudoeste-nordeste, na primeira metade do período. Nos três últimos dias, um cavado proveniente de oeste avançou sobre a América do Sul no sentido oeste-leste, dentro da faixa latitudinal de 15°S-25°S. Núcleos intensos de vorticidade potencial marcaram a presença desses cavados no nível de 500 hPa. Uma área de forte gradiente horizontal de vorticidade potencial assinalou a presença do jato subtropical que esteve posicionado numa faixa orientada de noroeste-sudeste passando por Caravelas-BA (17°S), cerca de 15° ao norte de sua posição média, em cinco dos seis dias analisados. Dois máximos secundários, um sobre o litoral leste do Nordeste e outro no seu interior, estiveram presentes em alguns dias do período. O uso conjunto dos campos da vorticidade potencial e de sua advecção horizontal na alta troposfera (300 hPa) proporcionou bons resultados no prognóstico qualitativo do desenvolvimento e deslocamento dos sistemas extratropicais na área analisada, nos seis dias do período de estudo.

ABSTRACT

The period from 13 to 18 June 1975 was studied with the objective of determining if the use of the potential vorticity and its horizontal advection, in the middle and upper troposphere, is efficient in providing a qualitative prognosis of the evolution of extratropical systems which influence Northeast Brazil. Most of the analyzed days had mesoscale precipitation areas on the northern and eastern coasts of Northeast Brazil. The analysis of sequences of visible and infrared satellite imagery indicated that areas of cloudiness moving westward to the south of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) were responsible for rainfall areas located on the eastern coast of Rio Grande do Norte state and on Northeast Brazil's northern coast. Rainfall on the remaining of the eastern coastal area was caused by dissipating frontal bands that moved northeastward over the coast.

On the middle (500 hPa) and high (300 hPa) troposphere, an extratropical trough moved northeastward over Argentina, Uruguay, the South and Southeast regions of Brazil and the southern area of Northeast Brazil, in the first half of the period of study. On the three remaining days, a west-east moving trough crossed South America within the latitudinal band of 15°S-25°S. Intense potential vorticity nuclei were associated with these troughs at the 500 hPa level. At 300 hPa an area of strong horizontal potential vorticity gradient indicated the location of the subtropical jet. This jet had a northwest-southeast band-like structure that passed over Caravelas-BA (17°S), about 15° to the north of its mean position, in five of the analyzed days. Two secondary maxima were seen over the Northeast Brazil on some days; one on the eastern coast and another on its interior. The use of the 300 hPa field of potential vorticity and its horizontal advection gave good results in the qualitative prognosis of the development and displacement of the extratropical systems within the analyzed area, during the entire period of study.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3. PERÍODO DE ESTUDO E DADOS	8
4. METODOLOGIA	12
4.1 – VORTICIDADE POTENCIAL.....	12
4.1.1 - Cálculo da Vorticidade Potencial e de sua Advecção Horizontal.....	14
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	15
5.1 ANÁLISE DA NEBULOSIDADE, PRECIPITAÇÃO, VENTO E VORTICIDADE POTENCIAL (VP).....	15
5.1.1 Dia 13/06/75.....	15
5.1.2 Dia 14/06/75.....	23
5.1.3 Dia 15/06/75.....	30
5.1.4 Dia 16/06/75.....	38
5.1.5 Dia 17/06/75.....	44
5.1.6 Dia 18/06/75.....	51
5.2 - ANÁLISE DA ADVECÇÃO HORIZONTAL DE VORTICIDADE POTENCIAL (AHVP) E DA DIFERENÇA (VARIAÇÃO) DE VORTICIDADE POTENCIAL EM 24 HORAS (DVP).....	57
5.2.1 Nível de 500 hPa.....	57
5.2.2 Nível de 300 hPa.....	60
6. CONCLUSÕES.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 – Localização da Região Nordeste em relação à América do Sul. 1
- Figura 3. 1 - Distribuição espacial da rede aerológica do Brasil. As estações de altitude estão identificadas pelo número sinótico. 10
- Figura 3.2 - Distribuição espacial dos postos pluviométricos do Nordeste do Brasil. Os postos estão numerados em cada estado. 11
- Figura 5.1 – Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 850 hPa para as 12:00 TMG do dia 13/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós..... 17
- Figura 5.2 – Imagem do satélite meteorológico GOES-E na banda do visível para as 15:00 TMG do dia 13/06/75..... 18
- Figura 5.3 – Análise de precipitação total diária (mm) observada às 12:00 TMG do dia 13/06/75. Os totais diários são vistos próximo ao círculo dos postos pluviométricos. O intervalo de análise é de 20 mm. A isoietas de menor valor é a de 10 mm. (Fonte dos dados: SUDENE) 19
- Figura 5.4 – Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 500 hPa para as 12:00 TMG do dia 13/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós..... 20
- Figura 5.5 – Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 13/06/75. O intervalo de análise é de 10 nós..... 21
- Figura 5.6 – Vorticidade potencial para as 12:00 TMG do dia 13/06/75 no nível de: (a) 500 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de zeros representa $0,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e (b) 300 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de nove representa $-1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos)..... 22
- Figura 5.7 – Imagem do satélite meteorológico GOES-E na banda do visível para as 15:00 TMG do dia 14/06/75..... 25
- Figura 5.8 – Análise de precipitação total diária (mm) observada às 12:00 TMG do dia

14/06/75. Os totais diários são vistos próximo ao círculo dos postos pluviométricos. O intervalo de análise é de 20 mm. A isoieta de menor valor é a de 10 mm. (Fonte dos dados: SUDENE)	26
Figura 5.9 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 500 hPa para as 12:00 TMG do dia 14/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós.....	27
Figura 5.10 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 14/06/75. O intervalo de análise é de 10 nós.	28
Figura 5.11 – Vorticidade potencial para as 12:00 TMG do dia 14/06/75 no nível de: (a) 500 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de nozes representa $-0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e (b) 300 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de zeros representa $0,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos).....	29
Figura 5.12 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 850 hPa para as 12:00 TMG do dia 15/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós.	32
Figura 5.13 - Imagem do satélite meteorológico GOES-E na banda do visível para as 15:00 TMG do dia 15/06/75.....	33
Figura 5.14 – Análise de precipitação total diária (mm) observada às 12:00 TMG do dia 15/06/75. Os totais diários são vistos próximo ao círculo dos postos pluviométricos. O intervalo de análise é de 20 mm. A isoieta de menor valor é a de 10 mm. (Fonte dos dados: SUDENE)	34
Figura 5.15 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 500 hPa para as 12:00 TMG do dia 15/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós.	35
Figura 5.16 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 15/06/75. O intervalo de análise é de 10 nós.	36

- Figura 5.17 – Vorticidade potencial para as 12:00 TMG do dia 15/06/75 no nível de: (a) 500 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de nozes representa $0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e (b) 300 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de zeros representa $0,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos)..... 37
- Figura 5.18 - Imagem do satélite meteorológico GOES-E na banda do visível para as 15:00 TMG do dia 16/06/75..... 39
- Figura 5.19 – Análise de precipitação total diária (mm) observada às 12:00TMG do dia 16/06/75. Os totais diários são vistos próximo ao círculo dos postos pluviométricos. A isoietas de menor valor é a de 10 mm. (Fonte dos dados: SUDENE) 40
- Figura 5.20 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 500 hPa para as 12:00 TMG do dia 16/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós. 41
- Figura 5.21 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 16/06/75. O intervalo de análise é de 10 nós. 42
- Figura 5.22 – Vorticidade potencial para as 12:00 TMG do dia 16/06/75 no nível de: (a) 500 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de nozes representa $-0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e (b) 300 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de zeros representa $0,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos)..... 43
- Figura 5.23 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 850 hPa para as 12:00 TMG do dia 17/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós. 45
- Figura 5.24 - Imagem do satélite meteorológico GOES-E na banda do visível para as 15:00 TMG do dia 17/06/75..... 46
- Figura 5.25 – Análise de precipitação total diária (mm) observada às 12:00 TMG do dia 17/06/75. Os totais diários são vistos próximo ao círculo dos postos pluviométricos. O

- intervalo de análise é de 20 mm. A isoietas de menor valor é a de 10 mm. (Fonte dos dados: SUDENE) 47
- Figura 5.26 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 500 hPa para as 12:00 TMG do dia 17/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós. 48
- Figura 5.27 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 17/06/75. O intervalo de análise é de 10 nós. 49
- Figura 5.28 – Vorticidade potencial para as 12:00 TMG do dia 17/06/75 no nível de: (a) 500 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de nozes representa $-0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e (b) 300 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de zeros representa $0,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos)..... 50
- Figura 5.29 - Imagem do satélite meteorológico GOES-E na banda do visível para as 15:00 TMG do dia 18/06/75..... 52
- Figura 5.30 – Análise de precipitação total diária (mm) observada às 12:00 TMG do dia 18/06/75. Os totais diários são vistos próximo ao círculo dos postos pluviométricos. O intervalo de análise é de 20 mm. A isoietas de menor valor é a de 10 mm. (Fonte dos dados: SUDENE) 53
- Figura 5.31 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 500 hPa para as 12:00 TMG do dia 18/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós. 54
- Figura 5.32 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 18/06/75. O intervalo de análise é de 10 nós. 55
- Figura 5.33 - Vorticidade potencial para as 12:00 TMG do dia 18/06/75 no nível de: (a) 500 hPa, onde o módulo do intervalo de análise é $0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de nozes representa $-0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e (b) 300 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é

$1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de zeros representa $0,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos)..... 56

Figura 5.34 – (a) Variação da vorticidade potencial devido a advecção horizontal no nível de 500 hPa para as 12:00 TMG do dia 13/06/75. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ (b) Diferença (variação) de vorticidade potencial em 24 horas (12:00 TMG de 14/06/75 menos 12:00 TMG de 13/06/75) no nível de 500 hPa. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. A linha de zeros representa o valor zero. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos)..... 58

Figura 5.35 - (a) Variação da vorticidade potencial devido a advecção horizontal no nível de 500 hPa para as 12:00 TMG do dia 16/06/75. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. (b) Diferença (variação) de vorticidade potencial em 24 horas (12:00 TMG de 17/06/75 menos 12:00 TMG de 16/06/75) no nível de 500 hPa. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. A linha de zeros representa o valor zero. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos)..... 59

Figura 5.36 - (a) Variação da vorticidade potencial devido a advecção horizontal no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 13/06/75. O módulo do intervalo de análise é $2,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. (b) Diferença (variação) de vorticidade potencial em 24 horas (12:00 TMG de 14/06/75 menos 12:00 TMG de 13/06/75) no nível de 300 hPa. O módulo do intervalo de análise é $2,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. A linha de zeros representa o valor zero. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos)..... 62

Figura 5.37 - (a) Variação da vorticidade potencial devido a advecção horizontal no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 14/06/75. O módulo do intervalo de análise é $2,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. (b) Diferença (variação) de vorticidade potencial em 24 horas (12:00 TMG de 15/06/75 menos 12:00 TMG de 14/06/75) no nível de 300 hPa. O módulo do intervalo de análise é $2,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. A linha de zeros representa o valor zero. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos)..... 63

Figura 5.38 – (a) Advecção horizontal da vorticidade potencial no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 15/06/75. O módulo do intervalo de análise é $2,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. (b) Diferença (variação) de vorticidade potencial em 24 horas (12:00 TMG de 16/06/75 menos 12:00 TMG de 15/06/75) no nível de 300 hPa. O módulo do intervalo de análise é

$2,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. A linha de zeros representa o valor zero. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) pra o centro são máximos (mínimos). 64

Figura 5.39 – (a) Variação da vorticidade potencial devido a advecção horizontal no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 16/06/75. O módulo do intervalo de análise é $2,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. (b) Diferença (variação) de vorticidade potencial em 24 horas (12:00 TMG de 17/06/75 menos 12:00 TMG de 16/06/75) no nível de 300 hPa. O módulo do intervalo de análise é $2,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. A linha de zeros representa o valor zero. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos)..... 65

Figura 5.40 – (a) Variação da vorticidade potencial devido a advecção horizontal no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 17/06/75. O módulo do intervalo de análise é $2,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. (b) Diferença (variação) de vorticidade potencial em 24 horas (12:00 TMG de 18/06/75 menos 12:00 TMG de 17/06/75) no nível de 300 hPa. O módulo do intervalo de análise é $2,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. A linha de zeros representa o valor zero. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos)..... 66

LISTA DE SIGLAS

AHVP	-	Advecção Horizontal de Vorticidade Potencial
CTA	-	Centro Tecnológico da Aeronáutica
DEPV	-	Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Voo
DHN	-	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DVP	-	Diferença de Vorticidade Potencial em 24 Horas
GOES-E	-	Geostationary Operational Environmental Satellite
hPa	-	Hectopascal
IAE	-	Instituto de Atividades Espaciais
INMET	-	Instituto Nacional de Meteorologia
NCAR	-	National Center for Atmospheric Research
NE	-	Nordeste
NMC	-	National Meteorological Center
ROL	-	Radiação de Ondas Longas
SUDENE	-	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TMG	-	Tempo Médio de Greenwich
VP	-	Vorticidade Potencial
ZCIT	-	Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS E VARIÁVEIS

P	-	Vorticidade Potencial
V	-	Vetor velocidade horizontal
ω	-	Movimento vertical, no sistema isobárico
p	-	Subíndice que se refere a valores calculados numa superfície isobárica
u e v	-	Componentes zonal e meridional do vento
f	-	Parâmetro de Coriolis
g	-	Aceleração da gravidade
θ	-	Temperatura potencial
p	-	Pressão
T	-	Temperatura do ar
P_o	-	Pressão de referência
R	-	Constante específica para o ar seco
C_p	-	Calor específico à pressão constante

1. INTRODUÇÃO

Conhecido como uma região sujeita a variações climáticas extremas, o Nordeste do Brasil, aqui também denominado Nordeste ou NE (Fig. 1.1), se caracteriza pela alta variabilidade espacial e temporal da precipitação. A maior parte do Nordeste tem clima semi-árido, o que contrasta com totais anuais de precipitação em torno de 2.000mm na área litorânea leste e com valores ainda maiores na Amazônia (Magalhães e Rebouças, 1987).

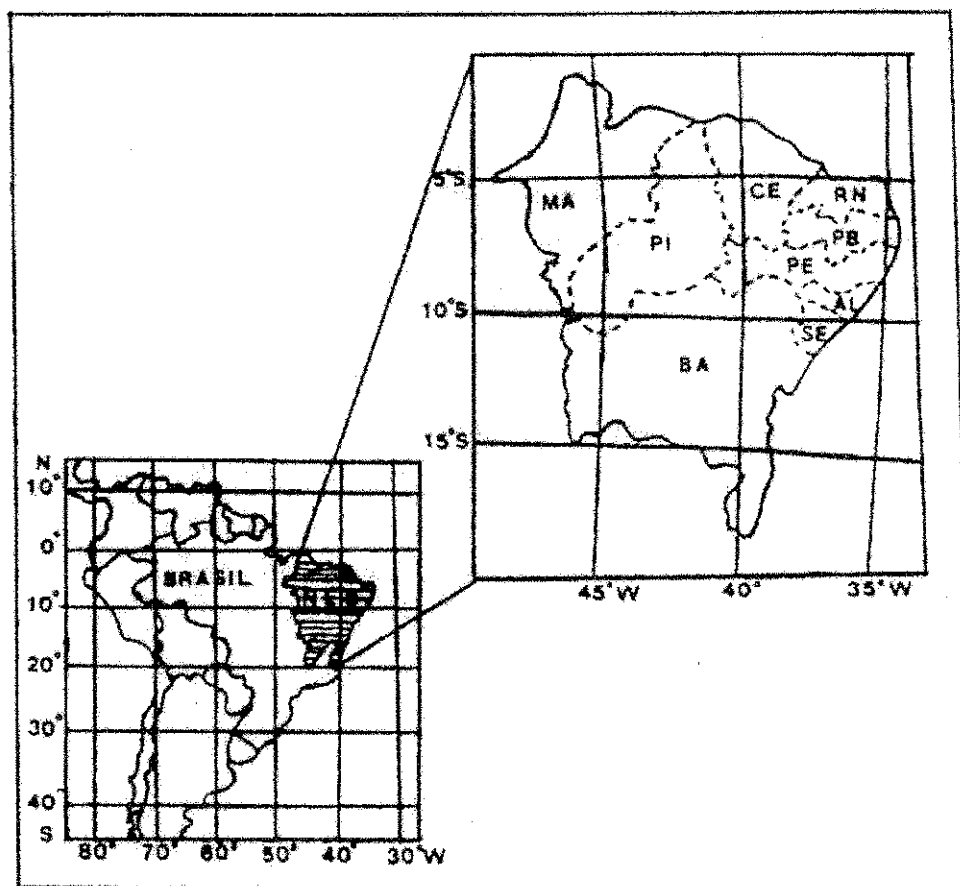


Figura 1.1 – Localização da Região Nordeste em relação à América do Sul.

A alta variabilidade da precipitação no NE se deve à atuação de fenômenos atmosféricos pertencentes a várias escalas de tempo e espaço. Eles vão desde a pequena escala (convecção isolada) até a grande escala (distúrbios de leste, vórtices ciclônicos da alta troposfera, sistemas frontais, zona de convergência intertropical (ZCIT), oscilação de 30-60 dias, circulações associadas a anomalias na temperatura da superfície do mar no Pacífico (El Niño-Oscilação Sul) e no Atlântico Norte e Sul), passando pela mesoescala (aglomerados convectivos, linhas de instabilidade, brisas). O El Niño-Oscilação Sul, em particular, age como modulador de sistemas com escalas de tempo mais curtas.

Vale ressaltar que mesmo os sistemas de grande escala não atuam da mesma forma, tanto espacial quanto temporalmente, sobre todo o NE. Isso faz com que existam três regiões distintas (Kousky, 1979) quando considerados os períodos de máxima precipitação: (a) Ceará, oeste do Rio Grande do Norte, interior da Paraíba e Pernambuco: março-abril; (b) interior-sul da Bahia: dezembro; (c) costa leste, desde o Rio Grande do Norte até a área de Salvador, Bahia: abril-julho. A área central da Bahia, onde ocorre superposição, tem dois máximos: dezembro e março.

Estudos já realizados indicam que sistemas frontais contribuem, direta ou indiretamente, para os totais pluviométricos dos diversos períodos de máxima precipitação. Considerando que esse fato tem implicação direta para a previsão do tempo, utilizou-se neste trabalho um enfoque de diagnóstico para estudar a influência de sistemas sinóticos extratropicais sobre a nebulosidade e precipitação no litoral oriental do NE. Assim, este trabalho foi elaborado com o objetivo de testar um modelo de diagnóstico através da sua aplicação a uma situação sinótica em que sistemas extratropicais influenciaram o tempo no litoral leste do Nordeste do Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A nível da escala planetária, as circulações zonais associadas ao fenómeno El Niño-Oscilação Sul podem exercer considerável influência sobre o regime pluviométrico do Nordeste na escala interanual. Isso ficou bem evidenciado no intenso episódio de 1982-1983 quando o NE sofreu os efeitos de uma seca prolongada (Nobre e Rennó, 1985; Rao et al., 1986).

Vários outros estudos observacionais tratam da possível interligação entre o El Niño e as secas no NE. Cita-se dentre eles o trabalho pioneiro de Caviedes (1973) que investigou a relação entre as secas na América do Sul e o fenómeno El Niño utilizando 83 anos de dados (1890-1972). Caviedes concluiu que o noroeste do Peru é a área que sofre maior influência do fenómeno e destacou o Nordeste do Brasil como sendo a região com maior percentual de ocorrência de secas, em torno de 60%, quando o Peru atravessa um ano de El Niño.

Aragão (1986) abordou o assunto sob o enfoque da modelagem numérica utilizando o modelo de circulação geral do National Center for Atmospheric Research (NCAR). O autor comparou a precipitação obtida no modelo com séries longas de 57 postos pluviométricos do Nordeste encontrando reduções significativas na precipitação em anos de El Niño. Circulações meridionais forçadas por anomalias na temperatura da superfície do mar no Atlântico Norte e Sul também tem sido associadas ao regime pluviométrico do NE (Moura e Shukla, 1981).

Mais recentemente, tem-se investigado o papel desempenhado pela oscilação de 30-60 dias nas variações intra-sazonais das chuvas no Nordeste. Kayano et al. (1990) e Brito (1990) sugerem que a distribuição temporal da precipitação no NE durante o verão e outono de 1990 esteve diretamente relacionada com a oscilação. Posteriormente, Kayano et al. (1991) encontraram o sinal da oscilação analisando a precipitação no sul do Ceará nos verões e outonos de 1974/75 a 1988/89.

Há diversos sistemas de grande escala que contribuem diretamente para os totais pluviométricos do NE, atuando nas escalas inter ou intra-sazonais, a saber: os distúrbios de leste, a zona de convergência intertropical (ZCIT), os vórtices ciclônicos da alta troposfera e os sistemas frontais.

Os distúrbios de leste que atingem o litoral oriental do NE no período de maio a agosto estão entre os sistemas menos estudados. Neiva (1975) foi o primeiro a documentar tais distúrbios. Utilizando dados em pontos de grade do National Meteorological Center (NMC) e sondagens de ar superior de algumas estações localizadas no Atlântico Equatorial Sul e litoral norte e nordeste do Brasil, observou que as ondas se propagavam com períodos entre 4 e 6 dias tendo comprimento de onda de aproximadamente 6.000 km e velocidade de fase de 11° de longitude por dia.

Yamazaki e Rao (1977), utilizando sequências temporais de imagens de satélite para o período de 01 de junho a 31 de agosto de 1967 na banda latitudinal de 5° a 10° S, detectaram aglomerados de nuvens que se propagavam de leste para oeste, com velocidade média de 10m/s e comprimento de onda de 4.000 km.

Utilizando dados de radiação de ondas longas (ROL) e dados do NMC, Chan (1990) estudou os distúrbios de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial. Ela encontrou sinais de distúrbios durante todo o ano no campo do vento meridional. As ondas se propagam para oeste com velocidade de 9,5 m/s e comprimento de onda de 3.300 km de março a maio e velocidade de 15 m/s e comprimento de onda de 5.200 km de junho a agosto.

Os sistemas de tempo que constituem a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) afetam principalmente as porções norte e central do Nordeste. A ZCIT se movimenta latitudinalmente dentro da faixa tropical acompanhando o deslocamento aparente do Sol com um atraso de dois meses, aproximadamente. Sobre o Atlântico Sul, sua posição média fica em torno de 2° S. Chuvas abundantes ocorrem em grande parte do Nordeste quando sua posição extrema fica entre 5° - 6° S. O inverso ocorre quando a ZCIT não cruza o equador, já que a Região fica sob o domínio de movimentos descendentes, fator este preponderante na escassez de precipitação. Uvo (1989) constatou que a qualidade da estação chuvosa na parte norte do NE não depende apenas da posição da ZCIT mas também do tempo de permanência da mesma em suas posições mais ao sul.

Caviedes (1973) detectou uma interrelação entre a ZCIT e o fenômeno El Niño. Ele verificou que para anos normais de precipitação a ZCIT alcança latitudes próximas de 3° S

enquanto que em anos de El Niño a ZCIT não atinge o NE e os ventos alísios tem intensidade acima da média.

Um número razoável de estudos observacionais verificou a interrelação entre a intensificação ou enfraquecimento da alta subtropical do Atlântico Sul e o posicionamento da ZCIT em anos extremos de precipitação (Namias, 1972; Hastenrath e Heller, 1977; Nobre et al., 1984). Eles notaram que a circulação atmosférica sobre o Atlântico Sul é bastante distinta em anos extremos de precipitação. Anos de anomalia negativa implicam na presença do anticiclone subtropical e dos ventos alísios de sudeste com intensidade acima da normal e a ZCIT mais deslocada para norte. O inverso é observado em anos de anomalia positiva ou seja, o anticiclone e os ventos alísios mais enfraquecidos favorecem o deslocamento da ZCIT para sul.

Os vórtices ciclônicos da alta troposfera estão entre os mais estudados sistemas atmosféricos causadores de chuva no Nordeste. Eles ocorrem no verão, época do ano em que está presente na alta troposfera o par anticiclone da Bolívia-cavado oceânico próximo ao NE. A correlação direta entre a intensidade desses dois sistemas foi sugerida por Dean (1971) e determinada por Carvalho (1989).

Aspectos sinótico-dinâmicos desses sistemas foram primeiro abordados por Aragão (1975) em um estudo de diagnóstico para o período de 20 a 23 de janeiro de 1970. Aragão constatou que grandes totais de precipitação só ocorrem quando a circulação ciclônica e movimento ascendente associado se estendem na troposfera até, pelo menos, o nível de 700 hPa. O autor ainda assinala não haver observado nenhum deslocamento sistemático do sistema durante o período estudado.

Com base em imagens de satélite, Kousky e Gan (1981) fizeram uma climatologia dos vórtices ciclônicos ocorridos sobre o Atlântico Sul no período de 1975-1979 constatando que eles se formam principalmente no verão, sendo janeiro o mês com maior ocorrência de casos. Utilizando dados em pontos de grade do NMC, estudaram um vórtice que se forma próximo à costa sudeste do Brasil e se move para oeste até dissipar sobre a Bahia. O aspecto mais interessante na evolução do sistema é que ele se forma à frente de uma crista de ar superior em amplificação sobre o norte da Argentina. Essa crista está relacionada com um intenso sistema frontal localizado a oeste do vórtice. A interrelação entre o sistema frontal e a formação do ciclone da alta troposfera é sintetizada pelos autores em um modelo conceitual.

Numa investigação voltada para a determinação do mecanismo gerador dos vórtices ciclônicos da alta troposfera ocorridos num período de três meses, Rao e Bonatti (1987)

concluíram que eles não poderiam ser explicados pela existência de instabilidade barotrópica, sugerindo outros mecanismos para sua formação.

Recentemente, Silva (1992) fez estudos de caso nos quais sistemas frontais austrais desempenharam papel decisivo na formação de ciclones da alta troposfera. Seus resultados levaram a um modelo sinótico para as várias fases de desenvolvimento desses ciclones, relacionando-as com a orientação e intensidade da corrente de jato subtropical sobre a América do Sul.

Os estudos de Kousky e Gan (1981) e Silva (1992) referenciados acima, sugerem um outro fator provocador de chuvas no NE: a influência de sistemas sinóticos extratropicais favorecendo a formação e/ou intensificação de sistemas de tempo no Nordeste. Kousky (1979), usando três observações diárias de superfície para um período de 10 anos (1961 - 1970), investigou penetrações de frentes e sua influência na precipitação, pressão e nebulosidade sobre o NE. A estação de Caravelas foi selecionada para observar as passagens dos sistemas frontais com base nas seguintes características: direção do vento, queda da temperatura do bulbo úmido e continuidade com estações mais ao sul no Brasil. Kousky detectou 152 casos de penetrações frontais concluindo que frentes frias, ou seus vestígios (frentes em dissipação), ocorrem o ano inteiro, com maior ou menor intensidade, contribuindo para os totais de precipitação desde a Bahia até o Rio Grande do Norte. Kousky observou ainda que nos anos em que há mais chuva ocorre igualmente uma maior frequência de passagens frontais. Na parte sul do NE (interior da Bahia) as incursões ocorrem, em sua maior parte, no período de novembro a fevereiro enquanto o litoral é afetado no período de maio a julho. Os sistemas frontais favorecem a ocorrência de precipitação mesmo que indiretamente. Até no verão, quando o número de passagens de frentes diminui consideravelmente, as variações de pressão na estação de Caravelas estão também presentes em estações de latitudes mais baixas, embora a maior parte delas não experimente as penetrações frontais. Esta ligação latitudinal, que concorre para a diminuição da pressão à superfície, causa efeitos convectivos sobre o NE e, conseqüentemente, a precipitação.

Posteriormente, Oliveira (1982) estudou a relação entre a passagem de zonas de convergência frontal no Atlântico Sul (Ilha de Trindade) e a variabilidade da precipitação no Nordeste para o período 1966-1978, constatando que um número maior de passagens está associado a uma maior quantidade de chuva no Nordeste.

Mais recentemente, Alves e Kayano (1991) verificaram para o período 1981-1989 que a penetração de frentes é um dos principais mecanismos produtores de chuva no sul do Ceará,

nos meses de novembro a janeiro. Segundo eles, esses sistemas atuam organizando a convecção ou em associação a vórtices ciclônicos da alta troposfera.

A leitura dos trabalhos que tratam de penetrações frontais no Nordeste também deixa claro que há, por vezes, um acoplamento com outros sistemas de circulação atmosférica tais como a ZCIT (Kousky, 1979; Oliveira, 1982; Alves e Kayano, 1991), o anticiclone da Bolívia (Kousky e Gan, 1981) e os vórtices ciclônicos de ar superior (Kousky e Gan, 1981; Alves e Kayano, 1991; Silva, 1992). Esses estudos também evidenciam que penetrações de frentes ou de seus vestígios (frentes em dissipação) contribuem de forma significativa para os totais pluviométricos do Nordeste.

3. PERÍODO DE ESTUDO E DADOS

Os dias de estudo foram escolhidos dentro do mês de junho de 1975. Esse foi um dos meses estudados por Oliveira (1982) em uma investigação da relação entre a passagem de zonas de convergência frontal na Ilha de Trindade e a variabilidade da precipitação no Nordeste do Brasil. Baseando-se em 25 dias com dados, o autor detectou 2 passagens frontais nesse mês, número este ligeiramente abaixo da média por ele obtida com base em 13 anos de informações (1966-1978). A primeira passagem ocorreu no dia 10 e a segunda no dia 25. Por outro lado, os totais mensais de precipitação para Natal-RN, Recife-PE, Maceió-AL e Aracaju-SE mostraram desvios positivos em relação a médias de longo período.

Posteriormente, Sobral et al. (1987) enfocaram a circulação atmosférica de grande escala presente no período de 12 a 24 desse mês, através de análises do campo do vento nos níveis de 850, 500 e 200 hPa. Os autores assinalam que, de maneira geral, esse período teve como características mais marcantes: (a) no nível de 850 hPa, o domínio do anticiclone subtropical do Atlântico Sul, cujo centro oscilava entre 25°S e 30°S e a presença no NE dos alísios de sudeste com intensidade acima dos valores médios mensais obtidos por Dean (1971) para o ano de 1969; (b) no nível de 500 hPa, a presença de sistemas extratropicais sob a forma de cavados ou vórtices que se moviam para latitudes mais baixas no sentido leste-nordeste, ao longo da porção noroeste do anticiclone subtropical; (c) no nível de 200 hPa, um cavado bem definido e a presença, sobre território brasileiro, de duas fortes correntes de jato de oeste com eixos em torno de 10°S e 25°S, respectivamente.

Mais recentemente, Pinheiro (1991) estudou um período seco e outro chuvoso buscando relacionar a precipitação ocorrida no NE com os fluxos horizontal e vertical do vapor d'água sobre a região. O caso chuvoso selecionado abrange os dias de 16 a 20 de junho de 1975. O mapa de desvios de precipitação para o período mostra valores positivos em partes do litoral norte e leste, e desvios particularmente acentuados no litoral e interior dos estados de Alagoas

e Sergipe. Em particular, os mapas de precipitação total diária mostram a ocorrência de chuva nesses estados em todos os dias do período.

Os resultados aqui descritos indicam que os totais pluviométricos do mês de junho de 1975 no NE foram ocasionados, pelo menos parcialmente, por sistemas extratropicais. Esses sistemas, juntamente com as correntes de jato a eles associadas, tem na vortacidade potencial uma variável de diagnóstico conveniente, devido aos fortes cisalhamentos e grandes variações em estabilidade estática presentes em tais sistemas. Assim, levando-se em conta principalmente o número de radiossondagens existente, foi escolhido para estudo o período de 13 a 18 de junho de 1975.

Os dados básicos usados na realização desta pesquisa foram :

- (a) imagens diárias do satélite meteorológico Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES-E), na banda do infravermelho e do visível, disponíveis em microfilme para vários horários;
- (b) mapas de superfície publicados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) do Ministério da Marinha;
- (c) dados de radiossonda – vento da rede aerológica do Brasil (Fig. 3.1) para o horário das 12:00 Tempo Médio de Greenwich (TMG), nos níveis padrões de 850, 700, 500, 300 e 200 hPa, fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pela Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Voo (DEPV) e pelo Instituto de Atividades Espaciais (IAE) do Centro Tecnológico da Aeronáutica (CTA);
- (d) dados de precipitação total diária para 217 postos pluviométricos (Fig. 3.2) fornecidos pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE).

Convém assinalar que a utilização de imagens de satélite disponíveis para diversos horários nos vários dias do período permitiu acompanhar o desenvolvimento de sistemas de escala sub-sinótica como, por exemplo, bandas de nebulosidade organizadas e/ou intensificadas com a penetração de sistemas frontais no Nordeste. Tal acompanhamento seria impossível apenas com os dados de altitude devido à resolução espacial e temporal dos mesmos.



Figura 3. 1 - Distribuição espacial da rede aerológica do Brasil. As estações de altitude estão identificadas pelo número sinótico.

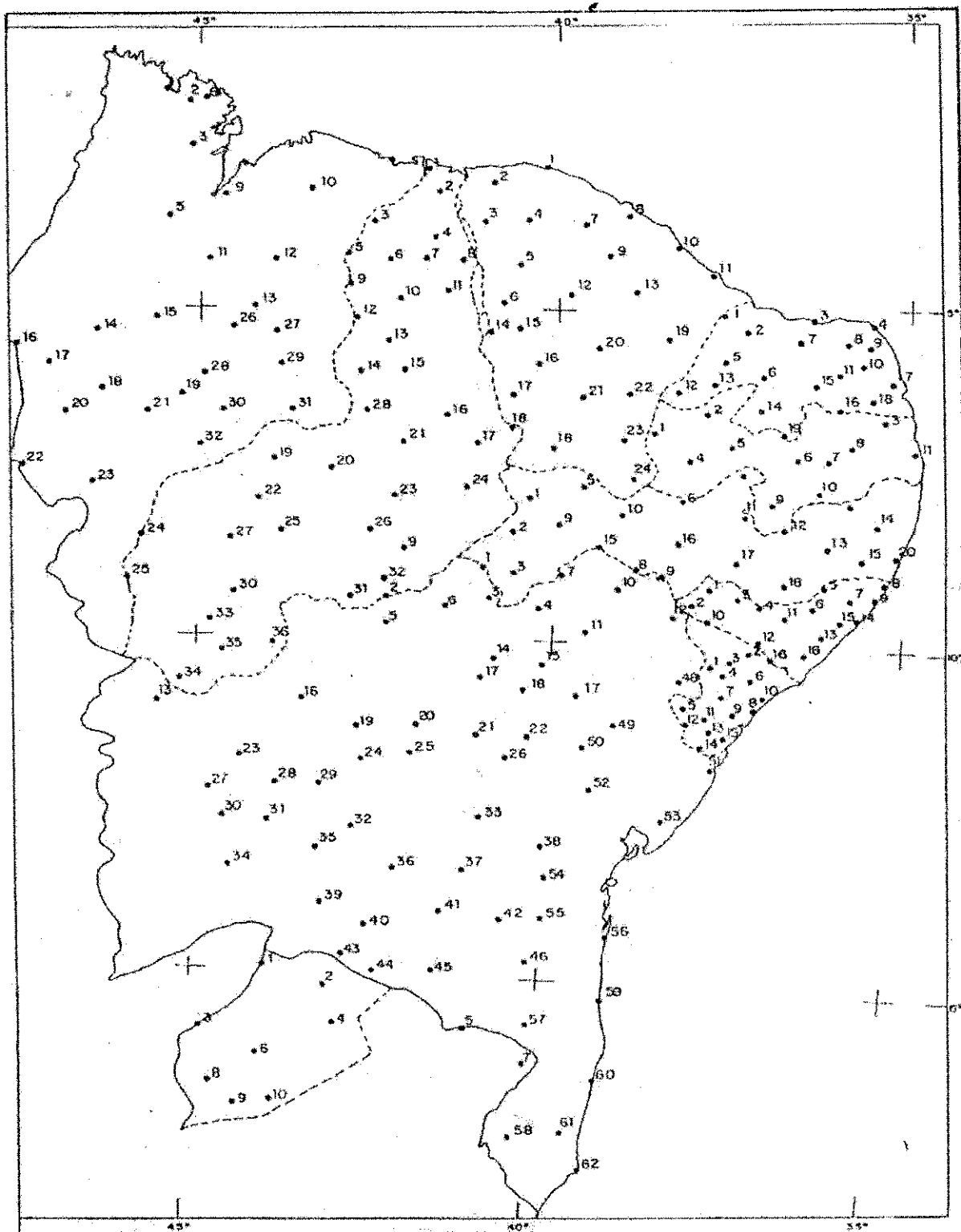


Figura 3.2 - Distribuição espacial dos postos pluviométricos do Nordeste do Brasil. Os postos estão numerados em cada estado.

4. METODOLOGIA

4.1 – VORTICIDADE POTENCIAL

A vorticidade potencial (aqui representada por P) é uma das propriedades conservativas da atmosfera ou, mais precisamente, P é conservada na ausência de efeitos diabáticos e friccionais (Hoskins et al., 1985). É sabido, entretanto, que efeitos diabáticos e friccionais se fazem presentes, em maior ou menor grau, na maioria dos fenômenos atmosféricos. Apesar disso, a utilização da vorticidade potencial tem permitido um melhor entendimento da dinâmica dos sistemas atmosféricos.

Uma das vantagens na utilização da vorticidade potencial no estudo de sistemas atmosféricos está em que ela permite uma visão unificada dos campos de vento e de massa. Outras propriedades, por vezes conservativas, estão relacionadas apenas com o campo de vento, como é o caso da vorticidade cinemática, ou com o campo de massa, como é o caso da temperatura potencial.

A vorticidade potencial (P) expressa em coordenadas isobáricas utilizando-se a aproximação hidrostática é dada por:

$$P = -g \left\{ \left[\left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)_p - \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_p + f \right] \frac{\partial \theta}{\partial p} - \left[\frac{\partial v}{\partial p} \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_p - \frac{\partial u}{\partial p} \left(\frac{\partial \theta}{\partial y} \right)_p \right] \right\} \quad (4.1)$$

na qual o subíndice p se refere a valores calculados numa superfície de pressão constante, u e v são as componentes zonal e meridional do vento, f é o parâmetro de Coriolis, g é a aceleração da gravidade, θ é a temperatura potencial e p é a pressão. O primeiro termo do lado direito dessa equação envolve a componente vertical da vorticidade absoluta e a estabilidade estática, enquanto que os demais termos representam a transformação entre coordenadas isobáricas e isentrópicas.

A vorticidade potencial expressa em coordenadas isentrópicas é matematicamente mais simples do que a forma isobárica. A forma isentrópica não contém o segundo termo entre chaves que aparece no lado direito da Equação 4.1 já que as partículas de ar permanecem sobre uma superfície isentrópica na ausência, também, de efeitos diabáticos e friccionais. Entretanto, P é uma grandeza conservativa em ambos os casos, desde que não haja efeitos diabáticos e friccionais. Assim,

$$\frac{dP}{dt} = 0 \quad (4.2)$$

ou, ainda:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -V \cdot \nabla_p P - \omega \frac{\partial P}{\partial p} \quad (4.3)$$

em coordenadas isobáricas na qual $V = ui + vj$ é o vetor velocidade horizontal e ω é o movimento vertical, no sistema isobárico.

A comparação entre a forma isobárica e a forma isentrópica evidencia uma outra vantagem na utilização da vorticidade potencial em coordenadas isentrópicas; a de que mudanças locais em P ($\equiv \frac{\partial P}{\partial t}$) são devidas somente à advecção horizontal enquanto que em coordenadas isobáricas é necessário conhecer também $\omega \equiv \frac{\partial p}{\partial t}$ já que parcelas individuais de ar não permanecem, em geral, numa superfície isobárica.

Apesar das dificuldades mencionadas no parágrafo anterior, a utilização do campo de vorticidade potencial em superfícies isobáricas pode ser de grande auxílio no estudo de sistemas atmosféricos. Elsberry e Kirchoffer (1988) buscaram relacionar episódios de ciclogênese explosiva no Atlântico e Pacífico Norte com a presença de correntes de jato e de núcleos de valores máximos de vorticidade potencial no nível de 300 hPa. Eles verificaram que o ciclone e o núcleo de máxima advecção de vorticidade potencial se movem e desenvolvem concomitantemente. Além disso, determinaram que a presença de uma corrente de jato sobre o ciclone é um fator de grande importância no seu desenvolvimento. Finalmente, utilizando uma técnica de análise discriminante, obtiveram 90% de acerto na previsão de curto prazo de episódios de ciclogênese explosiva para uma entre três possíveis categorias de intensidade.

Considerando que a análise isobárica é a ferramenta de uso diário nos centros de previsão do tempo, é importante determinar o potencial de aplicação da Equação 4.1. A

presença de correntes de jato com suas grandes variações horizontais em velocidade e estabilidade estática sugere que a utilização dessa equação para a alta troposfera terá maior probabilidade de sucesso devido à existência de núcleos bem definidos de vorticidade potencial. Um outro ponto favorável à utilização de um nível na alta troposfera é que nele não há contribuição da fricção. Por outro lado, é importante assinalar que o período de estudo não exclui contribuições diabáticas. Entretanto, elas ocorrem em mesoescala em quase todo o período já que, conforme será visto mais adiante, não há precipitação na maior parte da área analisada.

O objetivo na aplicação da Equação 4.1 é verificar se valores instantâneos de advecção podem ser utilizados como um indicador qualitativo das mudanças que o campo de vorticidade potencial sofrerá um certo período de tempo depois. Aqui apenas a advecção horizontal foi calculada sob a hipótese de que a mesma é predominante. Entretanto, a advecção vertical desempenha um papel importante em situações nas quais há fortes intrusões de ar estratosférico na troposfera como, por exemplo, em situações de desenvolvimento de ciclones extratropicais intensos.

4.1.1 - Cálculo da Vorticidade Potencial e de sua Advecção Horizontal

A vorticidade potencial e sua advecção horizontal foram calculadas nos níveis padrão de 500 hPa e 300 hPa, em uma grade horizontal com espaçamento de 2,5° de latitude e longitude, limitada pelos paralelos de 0°S-30°S e pelos meridianos de 60°W-32,5°W.

O cálculo da vorticidade potencial envolve o conhecimento da temperatura potencial θ , que foi calculada utilizando a equação de Poisson, ou seja,

$$\theta = T \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{R}{C_p}} \quad (4.4)$$

na qual T é a temperatura do ar, p_0 é uma pressão de referência, R é a constante específica para o ar seco e C_p é o calor específico à pressão constante.

O campo do vento e da temperatura potencial foram subjetivamente analisados para os níveis padrão de 200, 300, 500, 700 e 850 hPa. Os campos das componentes zonal e meridional do vento foram submetidos ao filtro utilizado por Aragão (1975), com a finalidade de eliminar contribuições de pequena escala.

Foram utilizadas diferenças finitas centradas para o cálculo das derivadas que aparecem nas equações 4.1 e 4.3.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 ANÁLISES DA NEBULOSIDADE, PRECIPITAÇÃO, VENTO E VORTICIDADE POTENCIAL (VP)

5.1.1 Dia 13/06/75

A configuração das linhas de corrente em 850 hPa (Fig. 5.1) indica a presença de um ciclone extratropical com centro localizado sobre o oceano, próximo da Região Sudeste. A crista do anticiclone subtropical se encontra no Espírito Santo, enquanto que a do anticiclone polar está sobre a Região Sul. A imagem (Fig. 5.2) mostra que apenas o interior do continente apresenta céu claro. A banda de nebulosidade associada ao ciclone, com orientação noroeste-sudeste, está situada sobre o sudeste do Brasil. A imagem evidencia ainda que o Nordeste sofre influência de uma banda de nebulosidade remanescente de outro ciclone frontal, em dissipação sobre o oceano. Uma seqüência de imagens anteriores (não mostrada) sugere que essa banda contribui para uma área de precipitação localizada em parte do litoral leste do NE (Fig. 5.3). Pode-se ver ainda na imagem uma área de nebulosidade ao sul da ZCIT, a leste do Rio Grande do Norte.

O ciclone frontal também está presente em 500 hPa (na forma de cavado) e abrange toda a Região Sudeste, parte do Centro-oeste e a Bahia (Fig. 5.4). Neste nível o anticiclone subtropical se apresenta dividido em duas células situadas sobre o oceano: uma nas proximidades do Nordeste e outra na faixa latitudinal dos estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro. O cavado também pode ser visto em 300 hPa (Fig. 5.5) localizado sobre o Paraguai e norte da Argentina enquanto que uma crista domina grande parte do Brasil. No campo das isotacas há um núcleo de máxima velocidade (jato subtropical) sobre o sudeste da Bahia, com

eixo orientado de noroeste-sudeste, apresentando vento de 330° e 62 nós em Caravelas-BA (83497).

A VP em 500 hPa (Fig. 5.6a) mostra um mínimo com centro sobre o oceano, ao sul do Estado do Rio de Janeiro, correspondendo ao cavado visto na Figura 5.4. Pode-se ver ainda dois máximos: um localizado sobre o oceano, se prolongando até o Espírito Santo, associado a uma das células do anticiclone subtropical, e outro localizado sobre a Região Sul, correspondendo ao anticiclone polar. A parte norte da área analisada apresenta um mínimo de vorticidade potencial. No nível de 300 hPa (Fig. 5.6b) as características mais marcantes são: (a) localizada sobre a Bahia, a banda orientada de noroeste-sudeste com forte gradiente horizontal de VP associada ao jato subtropical (Fig. 5.5); (b) sobre o oceano, um mínimo cujo eixo se prolonga até o Mato Grosso e (c) um outro mínimo associado ao cavado visto na Figura 5.5. Um núcleo de máxima separa os mínimos citados em (b) e (c).

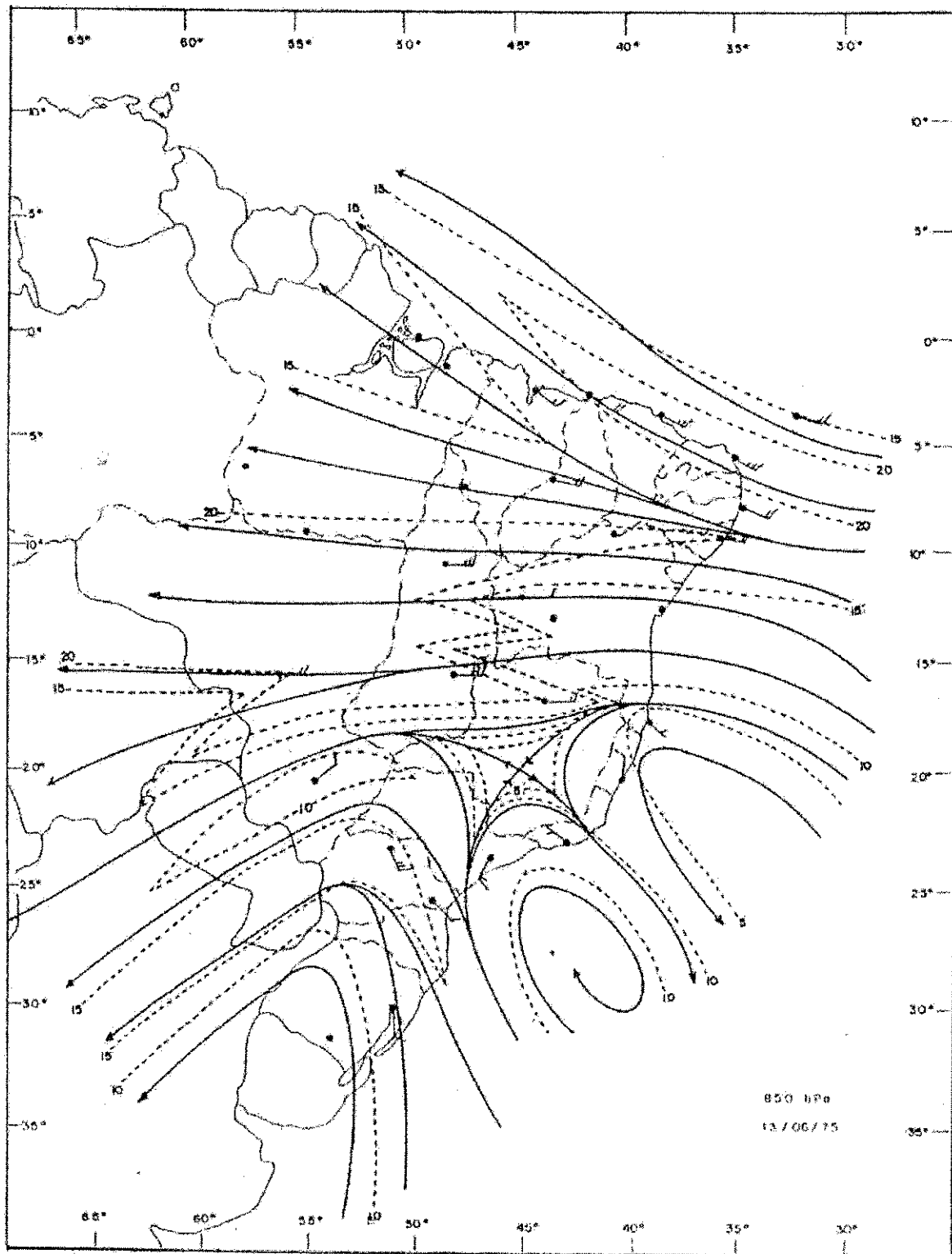


Figura 5.1 – Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 850 hPa para as 12:00 TMG do dia 13/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós.

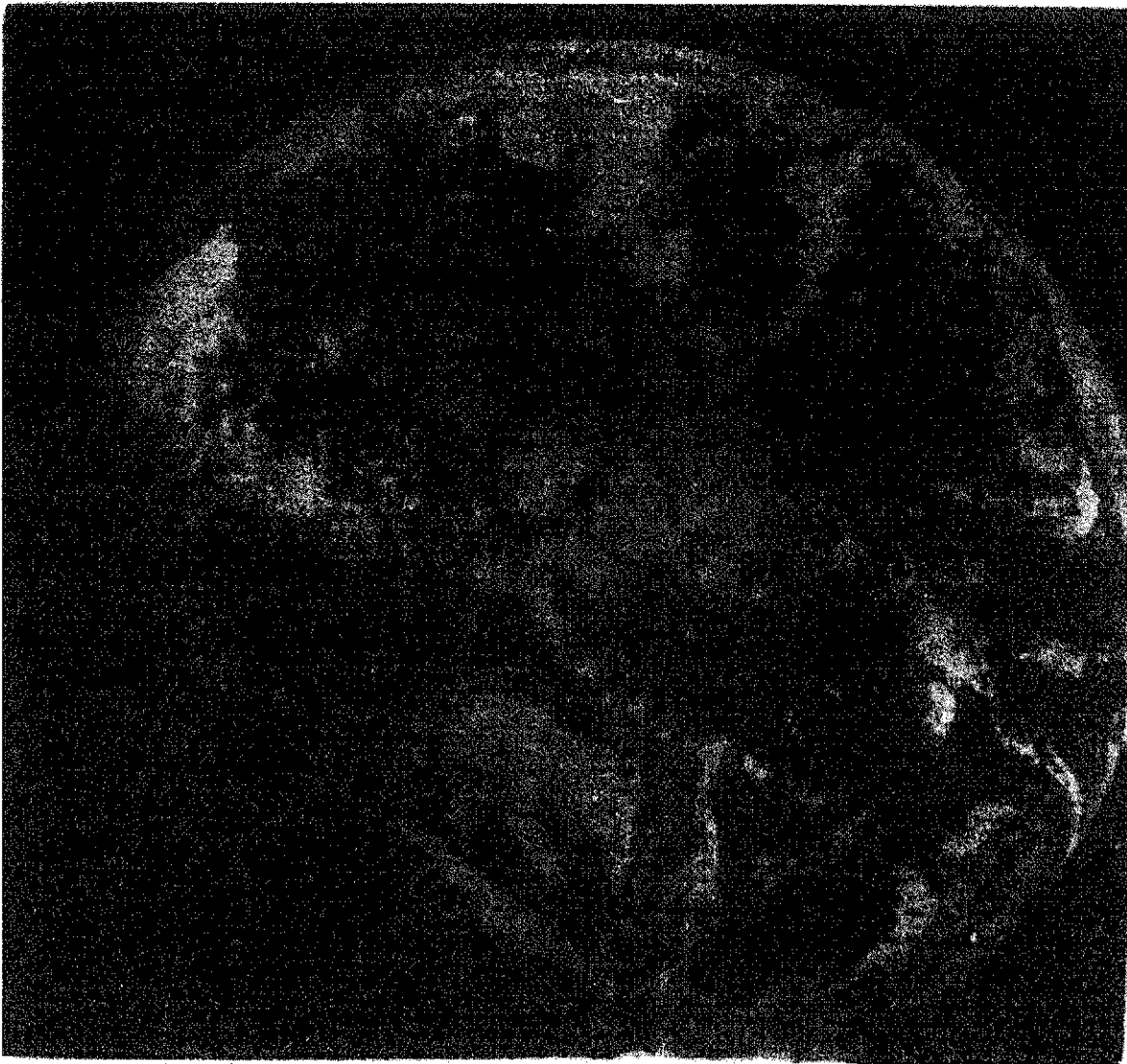


Figura 5.2 – Imagem do satélite meteorológico GOES-E na banda do visível para as 15:00 TMG do dia 13/06/75.

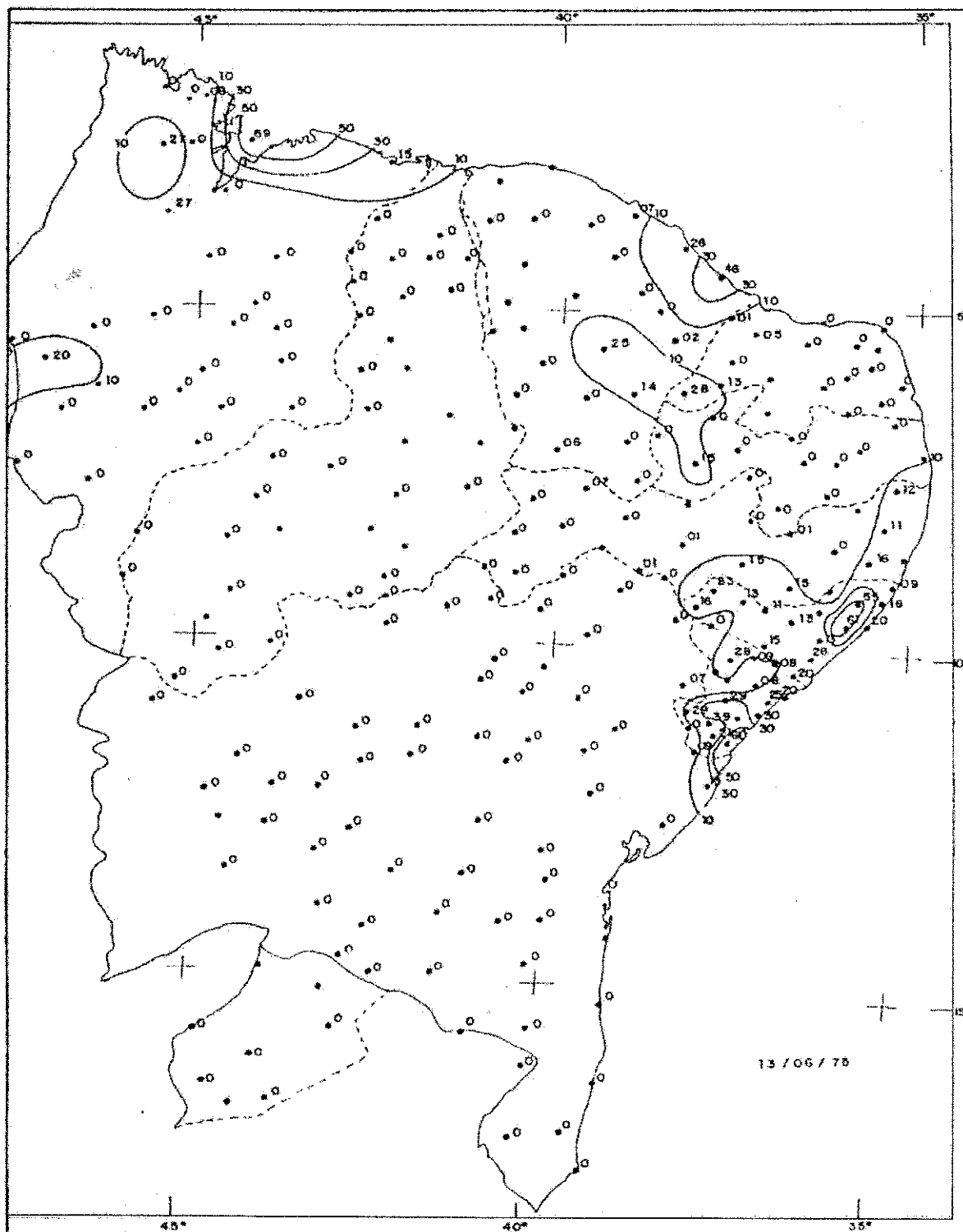


Figura 5.3 – Análise de precipitação total diária (mm) observada às 12:00 TMG do dia 13/06/75. Os totais diários são vistos próximo ao círculo dos postos pluviométricos. O intervalo de análise é de 20 mm. A isoietta de menor valor é a de 10 mm. (Fonte dos dados: SUDENE)

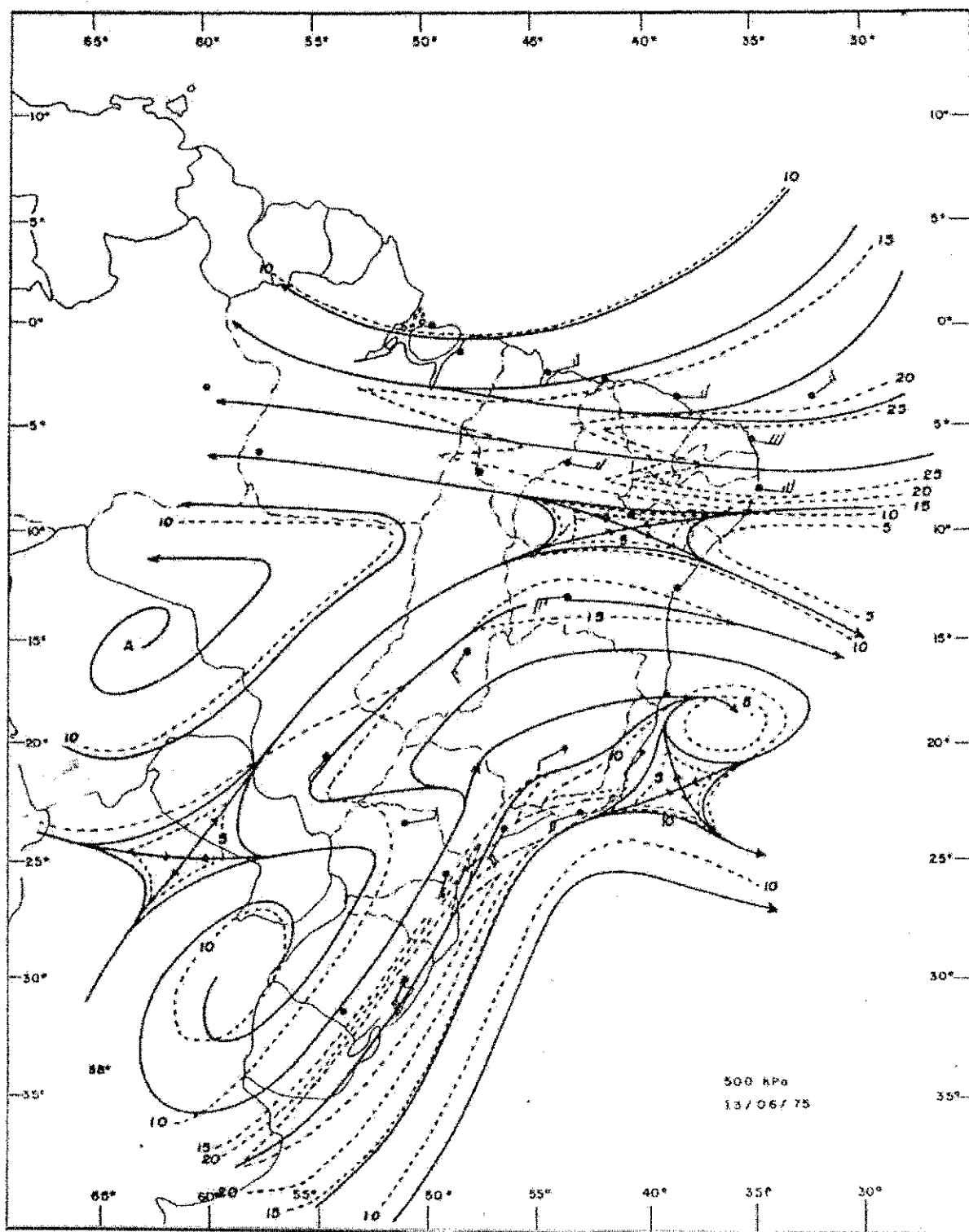


Figura 5.4 – Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 500 hPa para as 12:00 TMG do dia 13/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós.

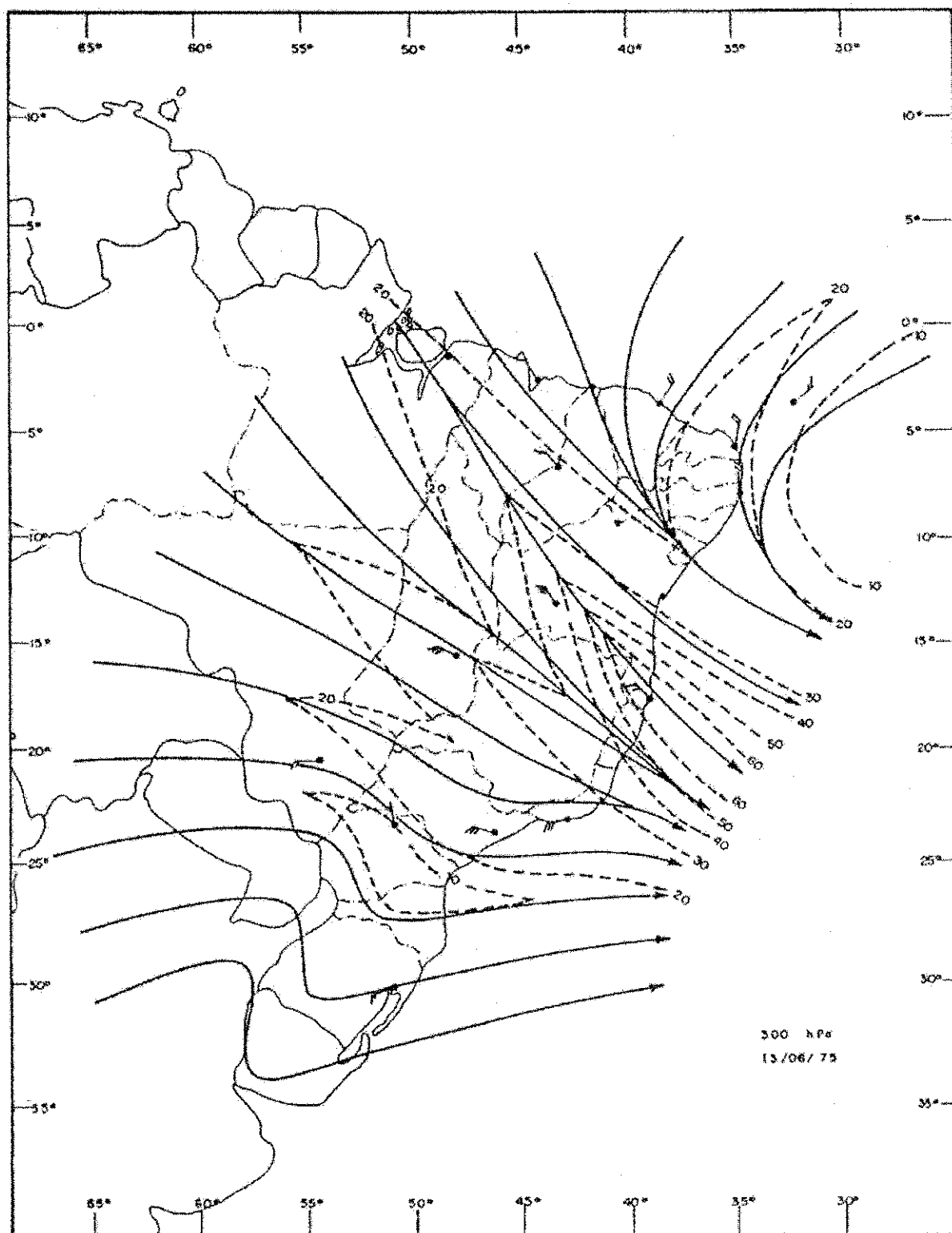
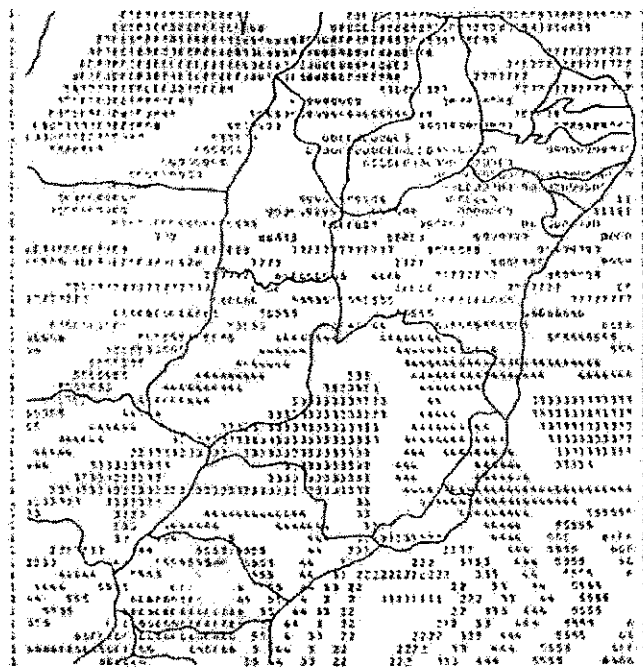
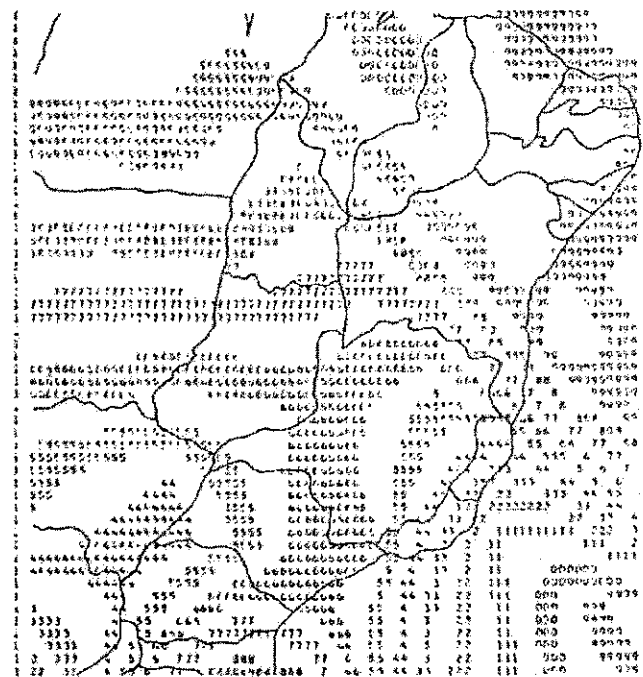


Figura 5.5 – Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 13/06/75. O intervalo de análise é de 10 nós.



(a)



(b)

Figura 5.6 – Vorticidade potencial para as 12:00 TMG do dia 13/06/75 no nível de: (a) 500 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de zeros representa $0,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e (b) 300 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de nove representa $-1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos).

5.1.2 Dia 14/06/75

Na análise das linhas de correntes em 850 hPa (não mostrada) podem ser vistos dois anticiclones: um com centro sobre Santa Catarina e outro no litoral do Espírito Santo. O ciclone extratropical identificado na Figura 5.1 encontra-se totalmente sobre o oceano. Também neste dia o interior do continente apresenta céu claro (Fig. 5.7), enquanto que desapareceu da Região Sudeste a banda de nebulosidade ali anteriormente localizada (Fig. 5.2). Neste dia ela está melhor organizada e totalmente situada sobre o oceano, já que o ciclone frontal se deslocou para leste. A porção quase zonal dessa banda está nas proximidades do Espírito Santo - sul da Bahia. Ela deve ser responsável pela área de precipitação vista no sul da Bahia na Figura 5.8. Na imagem de satélite também podem ser vistas: (a) a banda de nebulosidade associada a um ciclone em dissipação identificada na Figura 5.2 e (b) a área de nebulosidade ao sul da ZCIT e agora mais próxima do litoral oriental do Rio Grande do Norte. É interessante observar ainda que o Espírito Santo e o Rio de Janeiro estão encobertos.

A análise da precipitação para este dia também mostra um núcleo quase que totalmente localizado sobre Alagoas e Sergipe (Fig. 5.8), causado pela atuação da banda de nebulosidade citada no parágrafo anterior. Além disso, existe agora um pequeno núcleo na parte oriental do Rio Grande do Norte, possivelmente já provocado pela área de nebulosidade que se deslocou sobre o oceano no sentido leste - oeste, ao sul da ZCIT.

A configuração das linhas de correntes em 500 hPa (Fig. 5.9) é semelhante a do dia anterior (Fig. 5.4), com exceção do cavado amplificado e da presença de circulação anticiclônica sobre o Nordeste. Um detalhe importante na análise das isotacas é o máximo de velocidade no eixo do cavado, o que sugere a presença de uma onda curta.

No nível de 300 hPa (Fig. 5.10) houve um deslocamento da crista para norte e leste enquanto que o cavado se deslocou para leste, estando agora mais no interior do continente. As isotacas mostram que o núcleo de máxima velocidade (jato subtropical) permanece na posição do dia anterior, embora menos intenso, apresentando velocidade de 52 nós em Caravelas-BA (83497).

A VP no nível de 500 hPa (Fig. 5.11a) apresenta como modificação mais significativa a presença de um mínimo oceânico mais intenso, deslocado para leste e atuando sobre uma área continental menor.

Permanece em 300 hPa (Fig. 5.11b) a área de forte gradiente horizontal de VP associada ao jato subtropical enquanto que o deslocamento para nordeste do máximo visto na Figura 5.6b possibilitou que o mínimo anteriormente localizado sobre o Paraguai e o estado do Mato Grosso do Sul se deslocasse para o oceano.

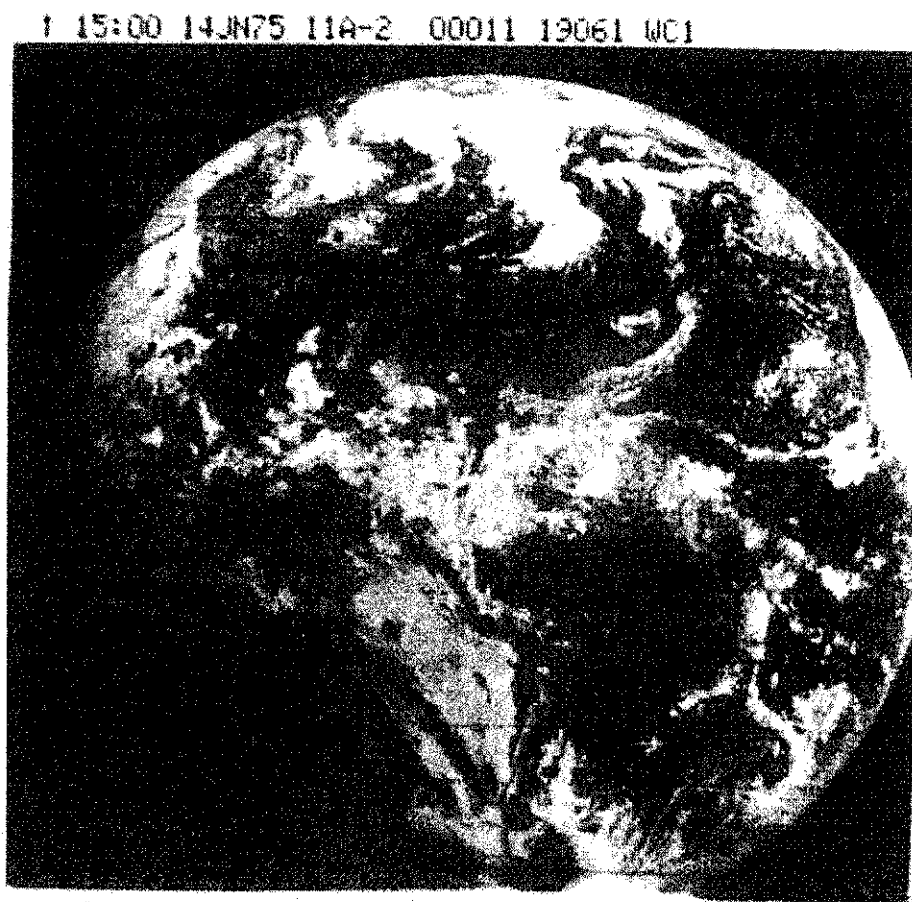


Figura 5.7 – Imagem do satélite meteorológico GOES-E na banda do visível para as 15:00 TMG do dia 14/06/75.

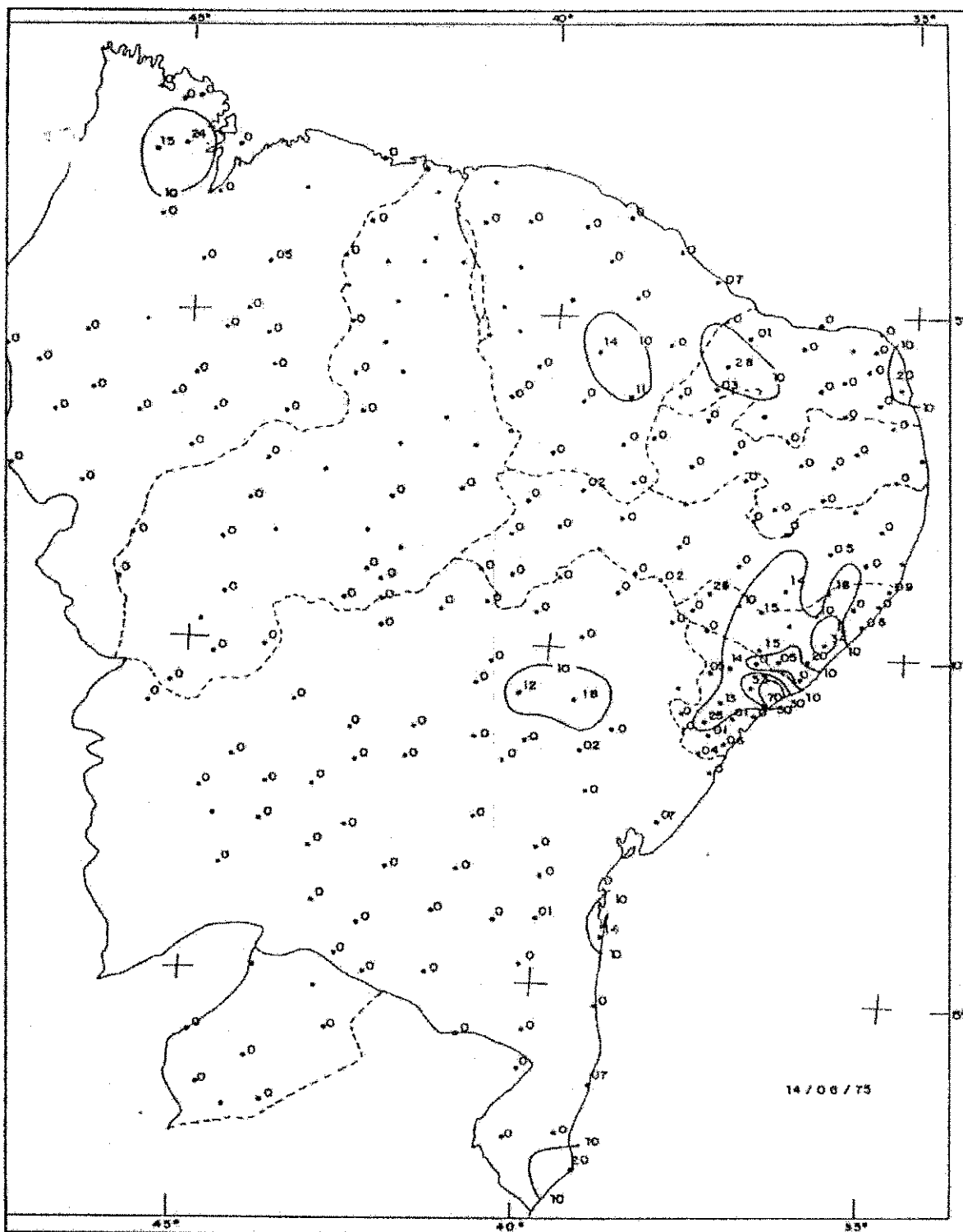


Figura 5.8 – Análise de precipitação total diária (mm) observada às 12:00 TMG do dia 14/06/75. Os totais diários são vistos próximo ao círculo dos postos pluviométricos. O intervalo de análise é de 20 mm. A isoieta de menor valor é a de 10 mm. (Fonte dos dados: SUDENE)

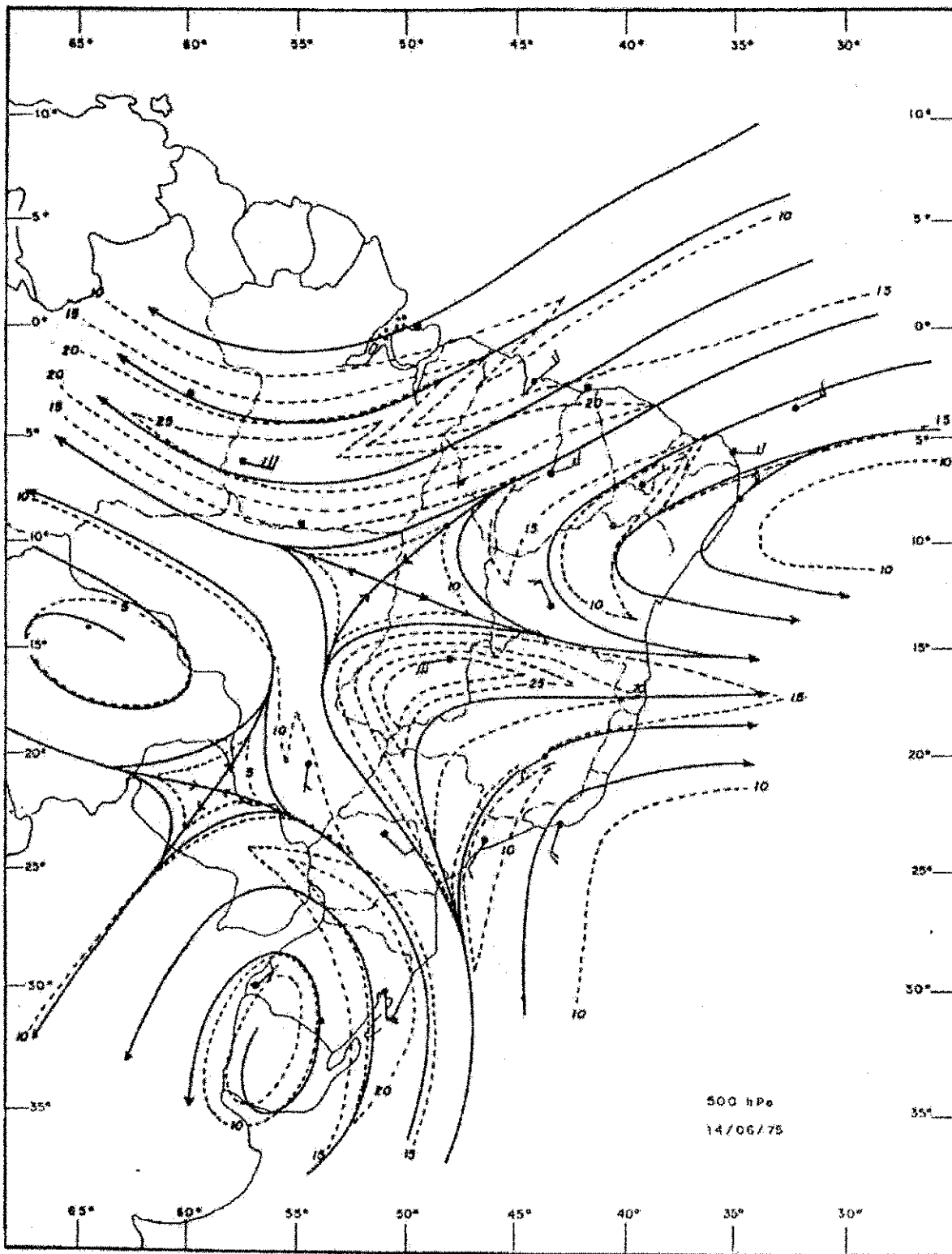


Figura 5.9 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 500 hPa para as 12:00 TMG do dia 14/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós.

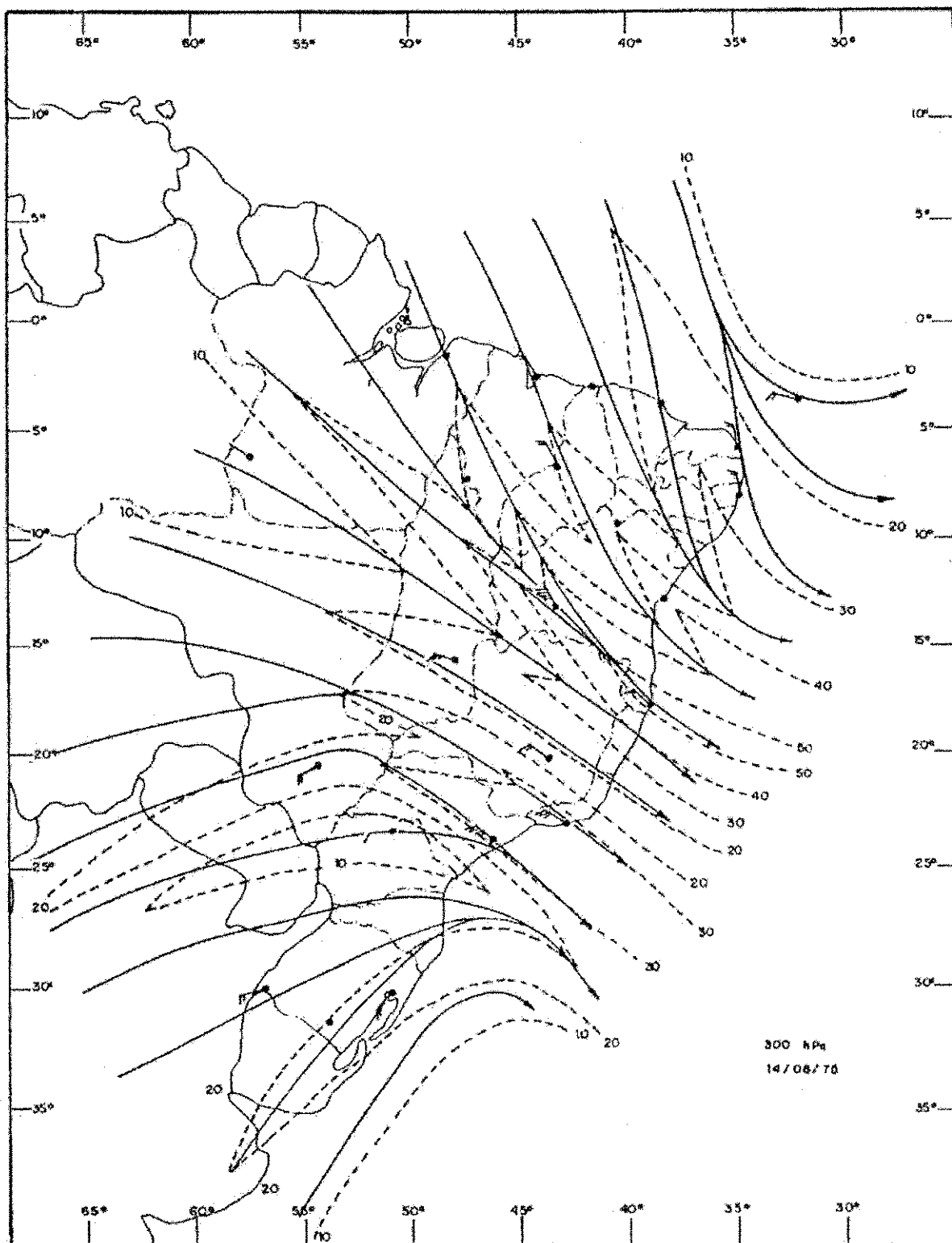
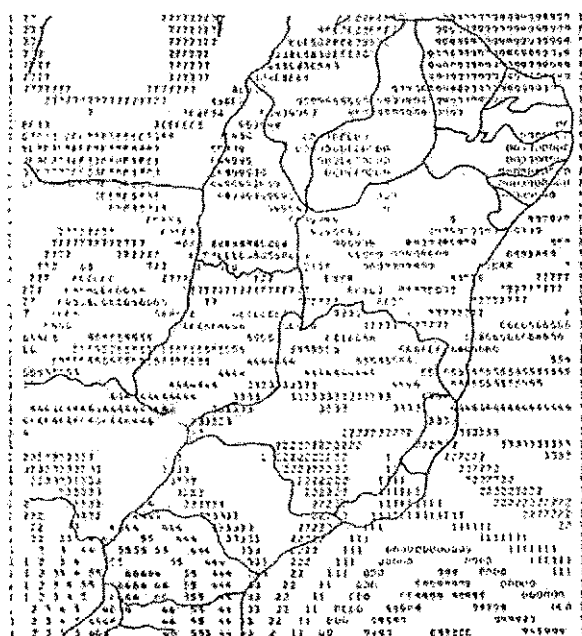
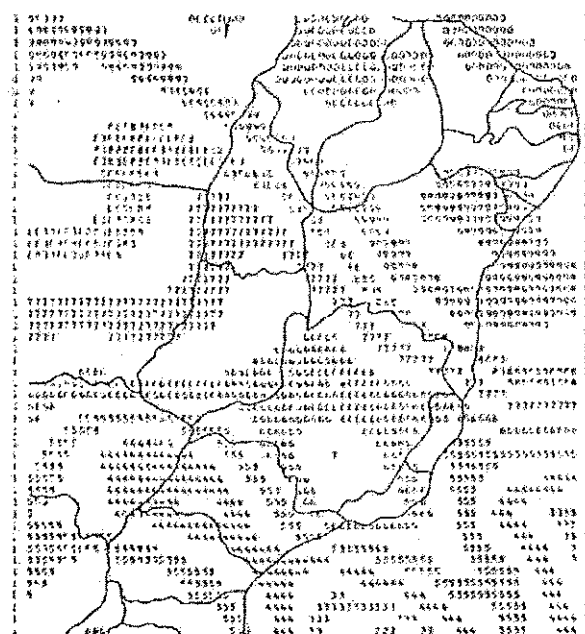


Figura 5.10 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 14/06/75. O intervalo de análise é de 10 nós.



(a)



(b)

Figura 5.11 – Vorticidade potencial para as 12:00 TMG do dia 14/06/75 no nível de: (a) 500 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de nove representa $-0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e (b) 300 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de zeros representa $0,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos).

5.1.3 Dia 15/06/75

A carta sinótica de 850 hPa (Fig. 5.12) mostra uma crista que abrange todo o Brasil com eixo orientado de sudoeste-nordeste, correspondendo à área sem nebulosidade vista na imagem (Fig. 5.13). O ciclone frontal não está mais presente neste nível. A comparação da imagem deste dia com a do dia anterior (Fig. 5.7) indica que o ciclone avançou para leste, concordando assim com a análise. Esse deslocamento fez com que a frente fria a ele associada se movesse na direção sudoeste-nordeste, de forma a avançar para norte ao longo da costa, favorecendo assim o aumento da nebulosidade também no interior da Bahia. Tudo indica que as chuvas ocorridas nesse estado (Fig. 5.14) foram provocadas pela banda frontal.

A imagem sugere que houve um pequeno deslocamento para sul, sobre o oceano, tanto da banda de nebulosidade situada mais ao norte - que inclusive está mais ativa - quanto da área de nebulosidade que se deslocou para oeste ao sul da ZCIT. Isso viria ao encontro da sugestão de Kousky (1979) de que a penetração de distúrbios frontais no NE favoreceria o deslocamento da ZCIT para sul devido à diminuição da pressão à superfície. Embora neste caso não se trate da ZCIT propriamente dita, o raciocínio permanece válido. A banda de nebulosidade e a área de nuvens que se deslocou sobre o oceano são as responsáveis pelos núcleos de precipitação localizados sobre Sergipe e Rio Grande do Norte (Fig. 5.14), respectivamente.

No nível de 500 hPa (Fig. 5.15) o cavado está situado ligeiramente a norte e leste da posição ocupada no dia anterior (Fig. 5.9), em concordância com as mudanças vistas na baixa troposfera. Esse avanço é concomitante com a aproximação de um cavado vindo de oeste.

A configuração das linhas de corrente em 300 hPa (Fig. 5.16) se apresenta bastante diferente em comparação com o dia anterior (Fig. 5.10). A crista está situada sobre o oceano, com eixo nas proximidades do litoral oriental do NE. Há um ciclone sobre Alagoas, Sergipe e Bahia e, ao sul dele, dois ciclones sobre a porção central do continente, entre os paralelos de 15° e 20°S e uma crista com eixo sobre Paraguai, norte da Argentina e centro-oeste do Brasil. O núcleo de velocidade máxima está centrado em Brasília-DF (83378), com velocidade de 50 nós.

A VP no nível de 500 hPa (Fig. 5.17a) apresenta neste dia um máximo sobre o Nordeste e outro sobre o Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. A Região Sul está agora dominada pelo máximo visto na Figura 5.11a, enquanto que o mínimo situado sobre o oceano está posicionado mais a leste embora seu eixo se prolongue até o oeste de Minas Gerais.

No nível de 300 hPa (Fig. 5.17b) a VP apresenta uma drástica mudança: a presença de um mínimo intenso sobre a maior parte do Nordeste, associado ao ciclone visto na Figura 5.16, e de um máximo sobre o Maranhão e Piauí. Enquanto isso, a Região Sul e a área oceânica próxima são dominadas por um mínimo menos intenso que o do dia anterior (Fig. 5.11b).

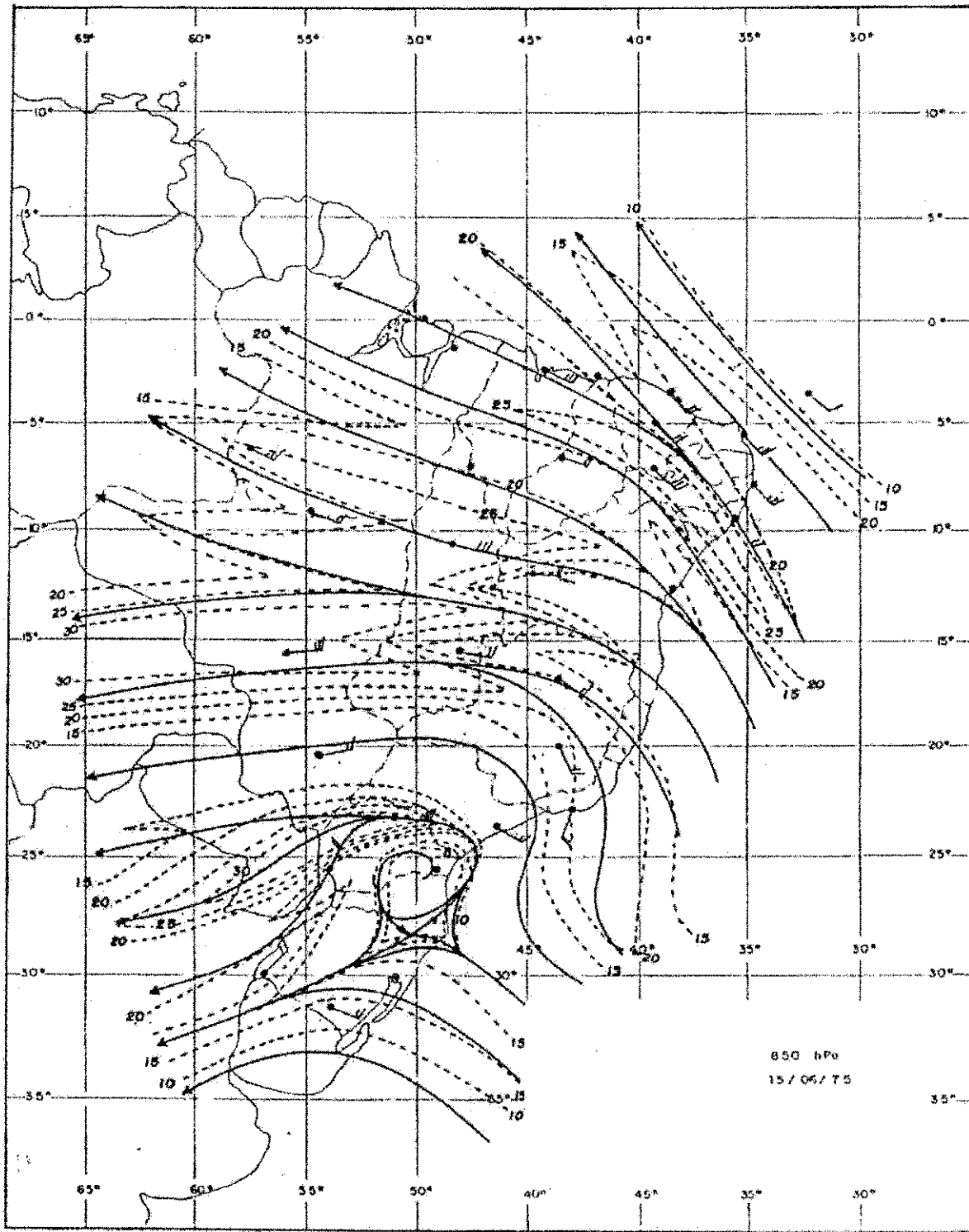


Figura 5.12 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 850 hPa para as 12:00 TMG do dia 15/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós.

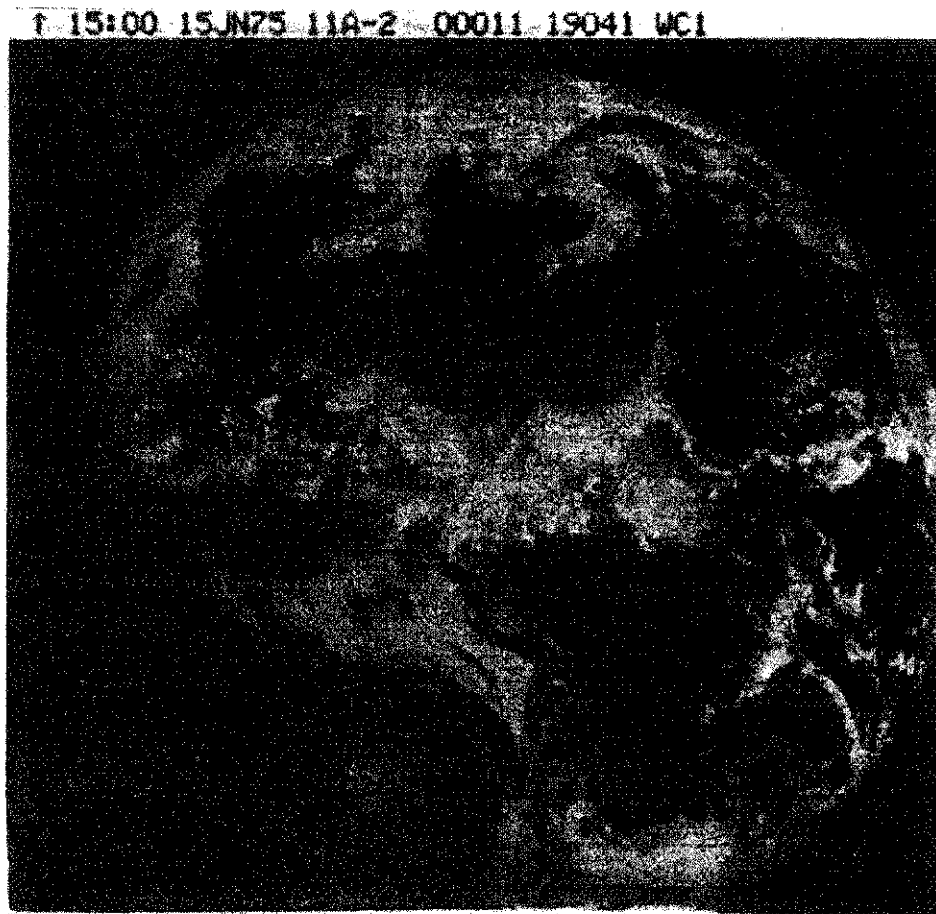


Figura 5.13 - Imagem do satélite meteorológico GOES-E na banda do visível para as 15:00 TMG do dia 15/06/75.

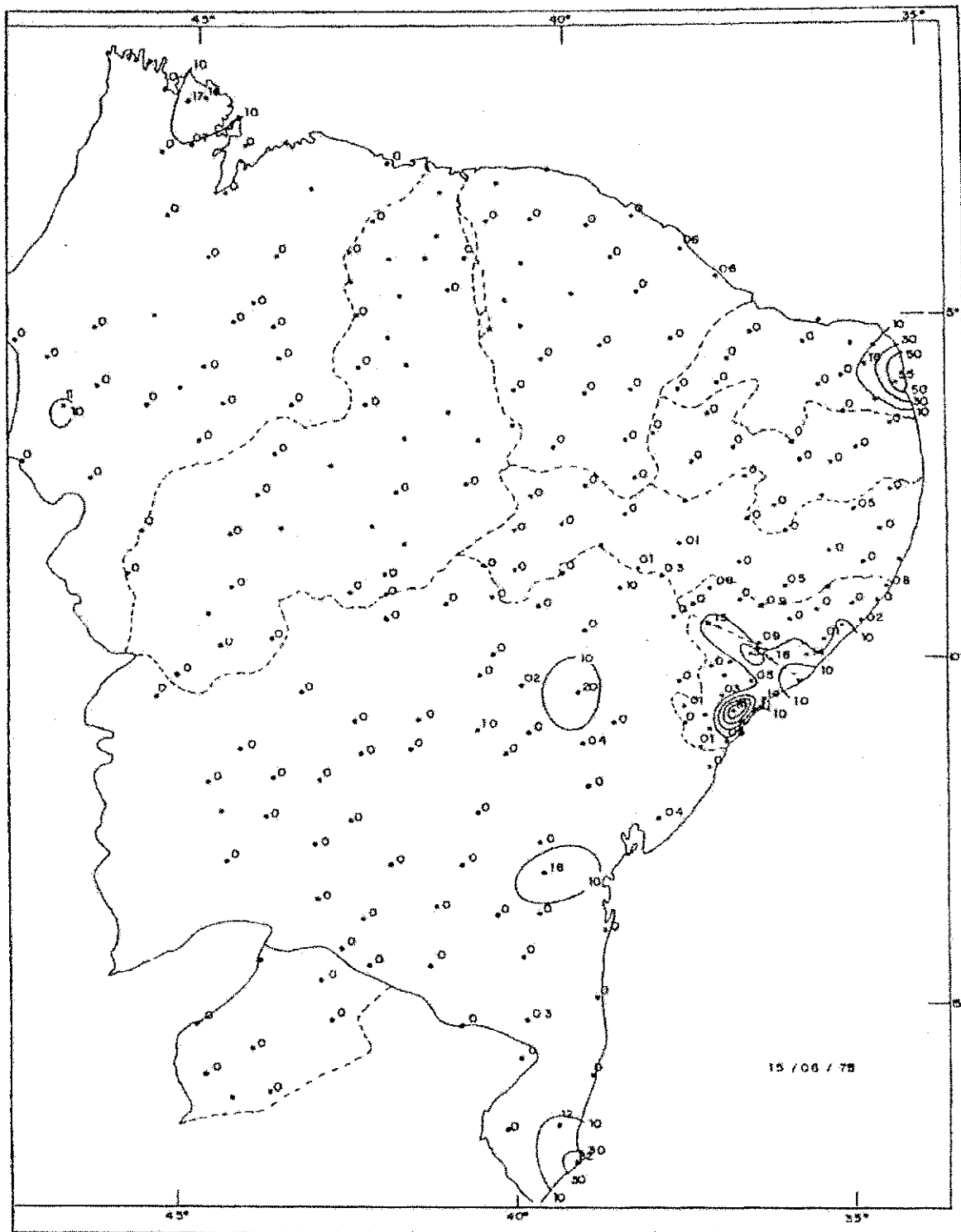


Figura 5.14 – Análise de precipitação total diária (mm) observada às 12:00 TMG do dia 15/06/75. Os totais diários são vistos próximo ao círculo dos postos pluviométricos. O intervalo de análise é de 20 mm. A isoietta de menor valor é a de 10 mm. (Fonte dos dados: SUDENE)

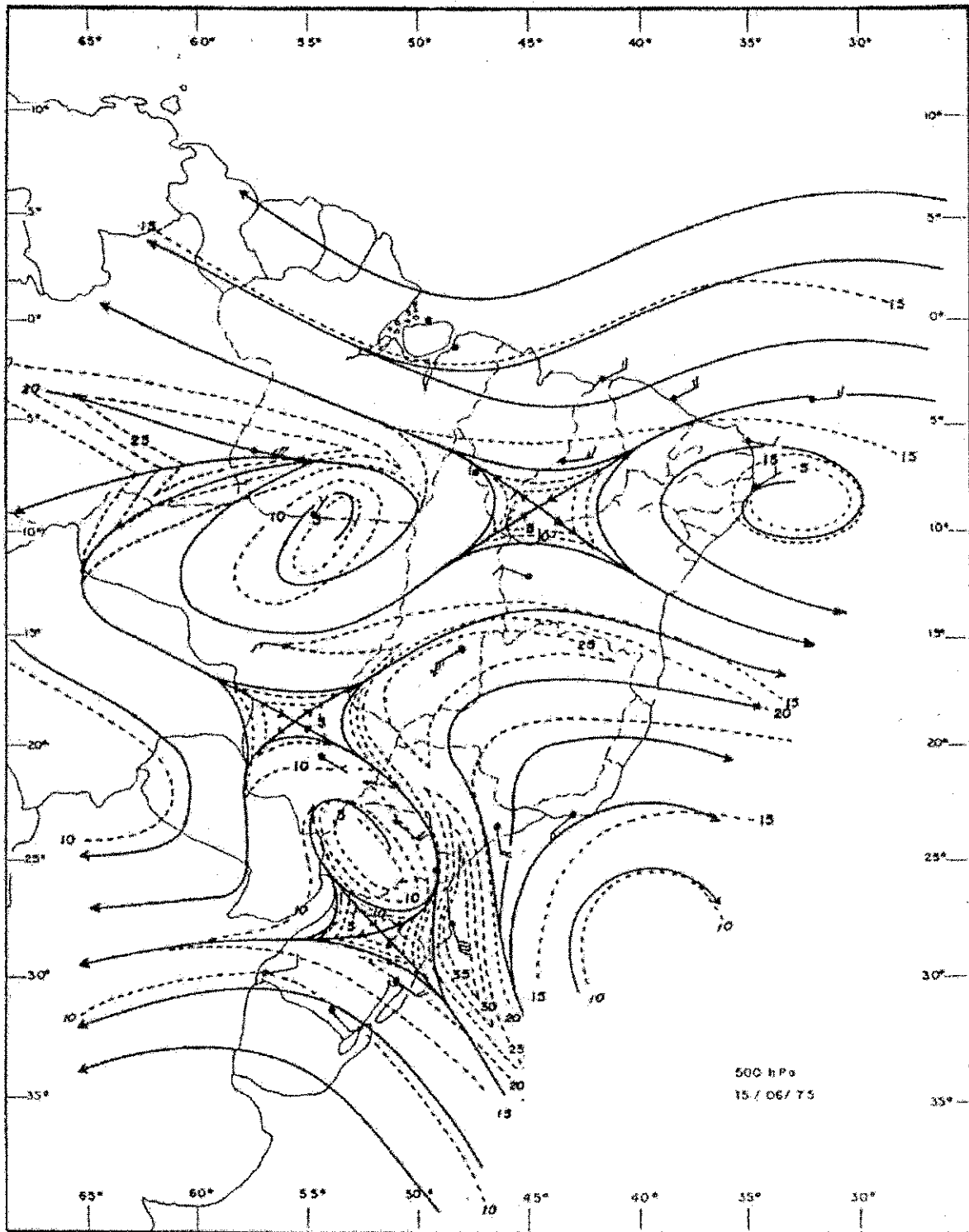


Figura 5.15 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 500 hPa para as 12:00 TMG do dia 15/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós.

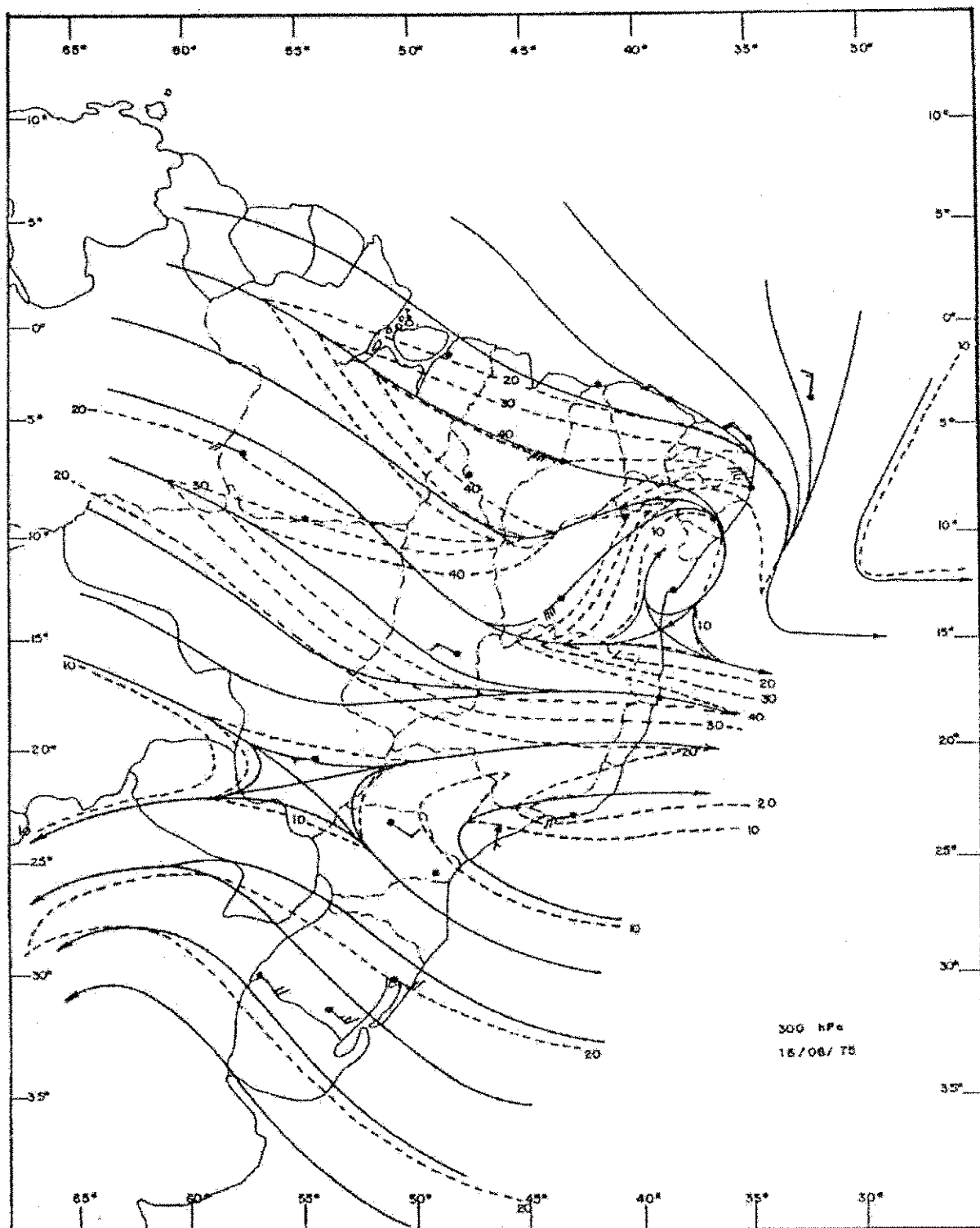


Figura 5.16 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 15/06/75. O intervalo de análise é de 10 nós.

5.1.4 Dia 16/06/75

A configuração das linhas de corrente em 850 hPa (não mostrada) é semelhante a do dia anterior (Fig. 5.12). Há na imagem deste dia (Fig. 5.18) duas bandas de nebulosidade bem definidas: uma tangenciando o litoral oriental do Rio Grande do Norte e outra penetrando no continente pelo litoral central da Bahia. Essas bandas apareceram primeiro na imagem das 19:00 TMG do dia anterior (não mostrada), embora houvesse nela uma terceira banda localizada sobre Alagoas e Sergipe. Neste dia também há uma área de precipitação no litoral oriental do Rio Grande do Norte e outra mais ao sul, abrangendo Alagoas, Sergipe, parte do interior de Pernambuco e o extremo norte do litoral da Bahia (Fig. 5.19).

A análise de 500 hPa (Fig. 5.20) mostra um ciclone centrado sobre o Espírito Santo, resultado da intensificação do cavado visto na Figura 5.15. O vórtice situado em 300 hPa no dia anterior (Fig. 5.16) não está presente neste dia (Fig. 5.21) enquanto que permanecem os demais sistemas, só que deslocados para nordeste. As isotacas evidenciam que o núcleo de máxima velocidade voltou à posição ocupada nos dias 13 e 14, sendo de 64 nós a velocidade observada em Caravelas-BA (83497).

Neste dia a VP em 500 hPa (Fig. 5.22a) mostra um mínimo intenso centrado no Espírito Santo e Rio de Janeiro, resultado da intensificação do cavado visto na Figura 5.15. Outra característica importante desse campo é a presença de outro mínimo sobre o Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, associado a um cavado vindo de oeste cuja penetração no Brasil já é sugerida na análise do campo do vento para o dia 13 (Fig. 5.4).

Na VP em 300 hPa (Fig. 5.22b) há sensíveis mudanças na área do Nordeste já que sua metade norte está sob a influência de um máximo, enquanto que reapareceu na Bahia a área de gradiente horizontal intenso associada ao jato subtropical. Há também neste nível dois mínimos: um sobre o Centro-oeste e outro sobre o Sudeste do Brasil.



Figura 5.18 - Imagem do satélite meteorológico GOES-E na banda do visível para as 15:00 TMG do dia 16/06/75.

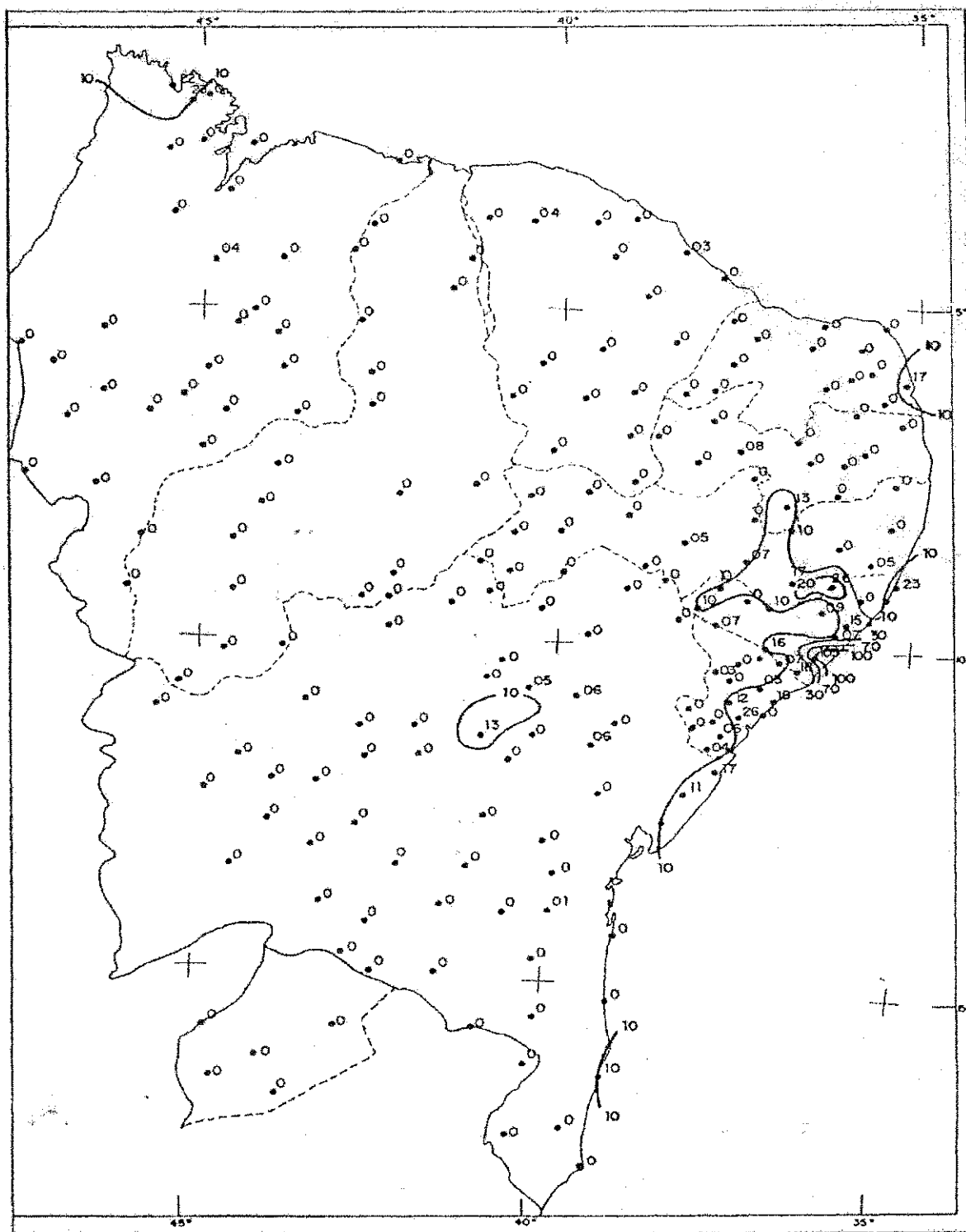


Figura 5.19 – Análise de precipitação total diária (mm) observada às 12:00TMG do dia 16/06/75. Os totais diários são vistos próximo ao círculo dos postos pluviométricos. A isoieta de menor valor é a de 10 mm. (Fonte dos dados: SUDENE)

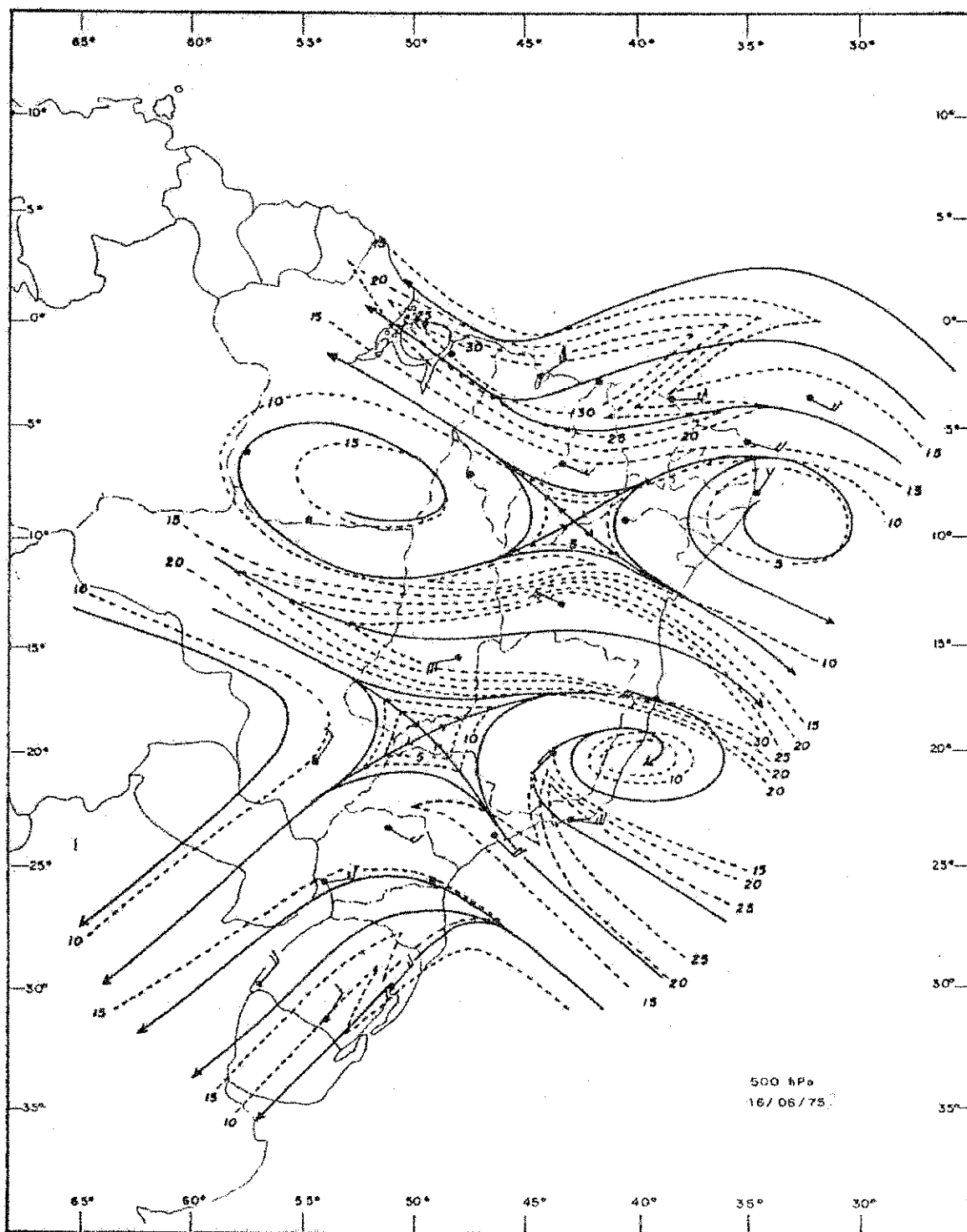


Figura 5.20 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 500 hPa para as 12:00 TMG do dia 16/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós.

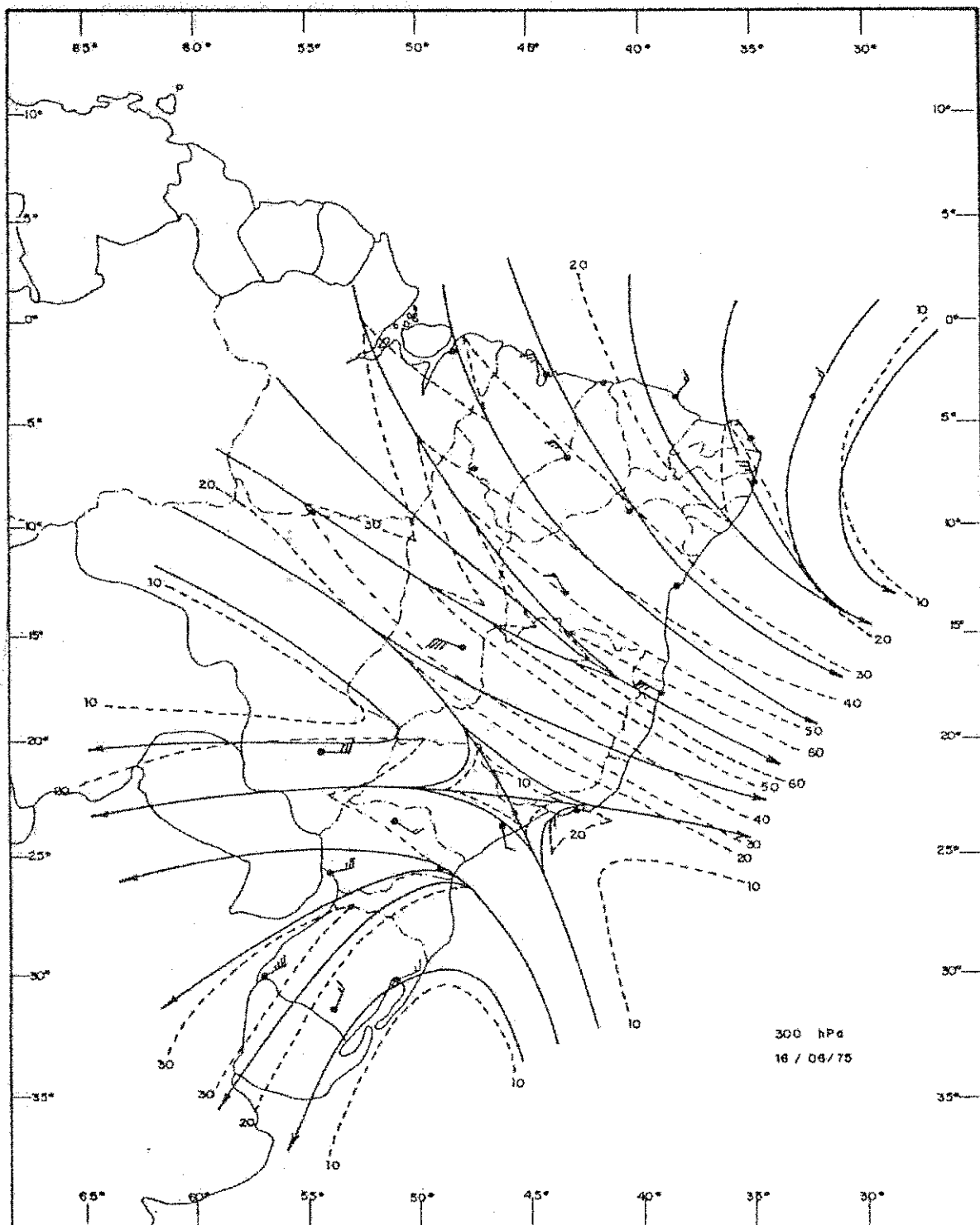
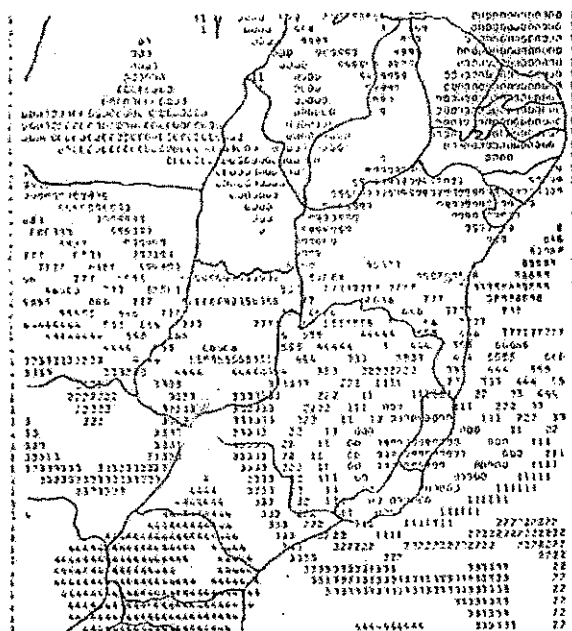
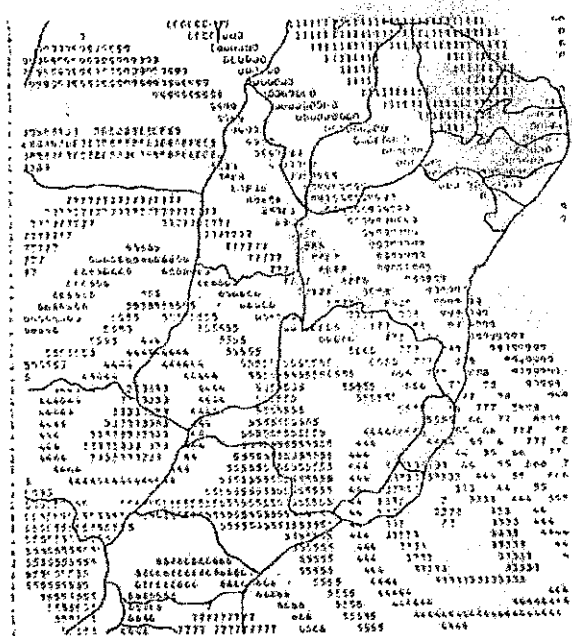


Figura 5.21 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 16/06/75. O intervalo de análise é de 10 nós.



(a)



(b)

Figura 5.22 – Vorticidade potencial para as 12:00 TMG do dia 16/06/75 no nível de: (a) 500 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de nove representa $-0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e (b) 300 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de zeros representa $0,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos).

5.1.5 Dia 17/06/75

A crista do anticiclone subtropical permanece dominando todo o País em 850 hPa (Fig. 5.23) fazendo com que o interior continue sem nebulosidade (Fig. 5.24). Aparentemente, o sistema frontal vindo de sul favoreceu a formação de nuvens sobre a porção norte do NE a partir do dia 15 (Fig. 5.13). Esse aumento da área encoberta deve estar relacionado com a diminuição da pressão à superfície e conseqüente aumento da convergência de massa, o que favoreceu a precipitação registrada no Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba (Fig. 5.25). O núcleo localizado sobre Alagoas, Sergipe e extremo norte do litoral da Bahia foi provocado pela banda de nebulosidade frontal discutida até aqui. No campo do vento em 500 hPa (Fig. 5.26) a diferença mais significativa em relação ao dia anterior (Fig. 5.20) é que os sistemas se encontram deslocados para nordeste.

No nível de 300 hPa (Fig. 5.27) as duas áreas de circulação ciclônica estão deslocadas para leste-sudeste em relação à posição ocupada no dia anterior (Fig. 5.21), sendo que uma está fechada sobre Goiás, Minas Gerais e São Paulo. A circulação anticiclônica está fechada sobre o sul do País e região oceânica adjacente. A crista situada na faixa latitudinal do NE avançou mais sobre a Região.

O nível de 500 hPa (Fig. 5.28a) continua apresentando um máximo de VP sobre o Nordeste enquanto que os mínimos localizados ao sul se deslocaram bastante para sudeste em comparação com o dia anterior (Fig. 5.22a).

A VP em 300 hPa (Fig. 5.28b) também evidencia que os mínimos se deslocaram para sudeste. Outra mudança significativa neste nível é a ausência do jato subtropical neste dia.

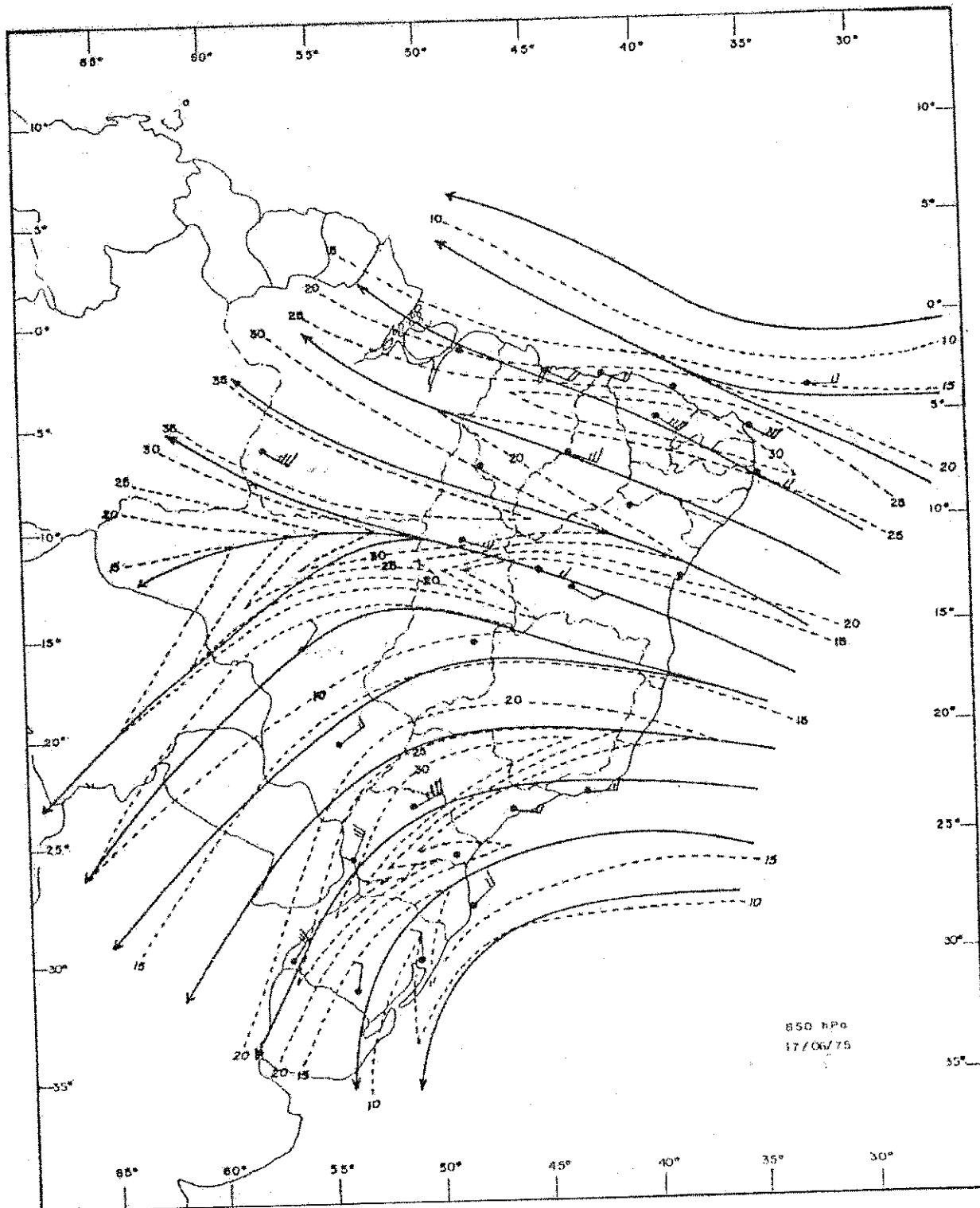


Figura 5.23 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 850 hPa para as 12:00 TMG do dia 17/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós.



Figura 5.24 - Imagem do satélite meteorológico GOES-E na banda do visível para as 15:00 TMG do dia 17/06/75.

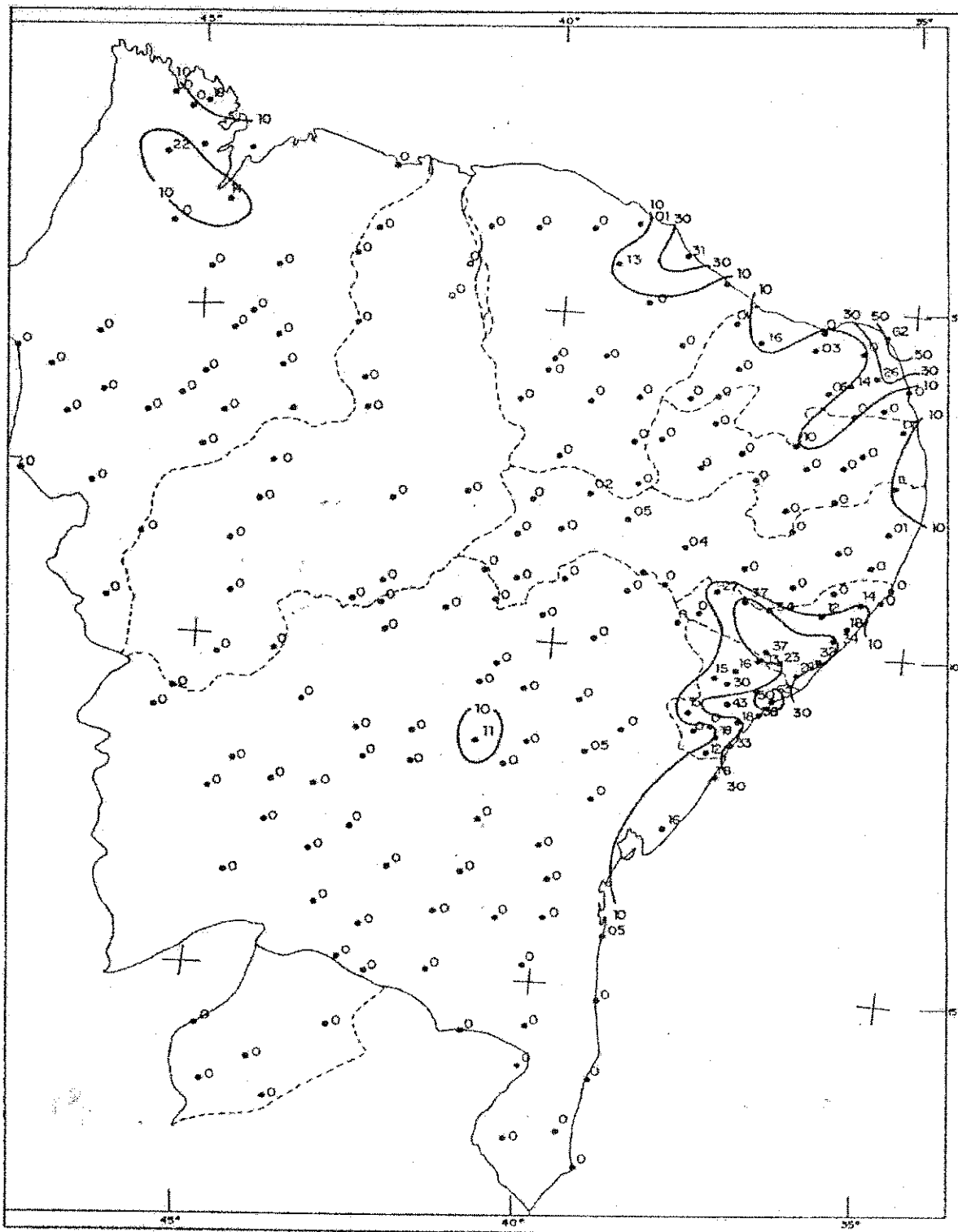


Figura 5.25 – Análise de precipitação total diária (mm) observada às 12:00 TMG do dia 17/06/75. Os totais diários são vistos próximo ao círculo dos postos pluviométricos. O intervalo de análise é de 20 mm. A isoieta de menor valor é a de 10 mm. (Fonte dos dados: SUDENE)

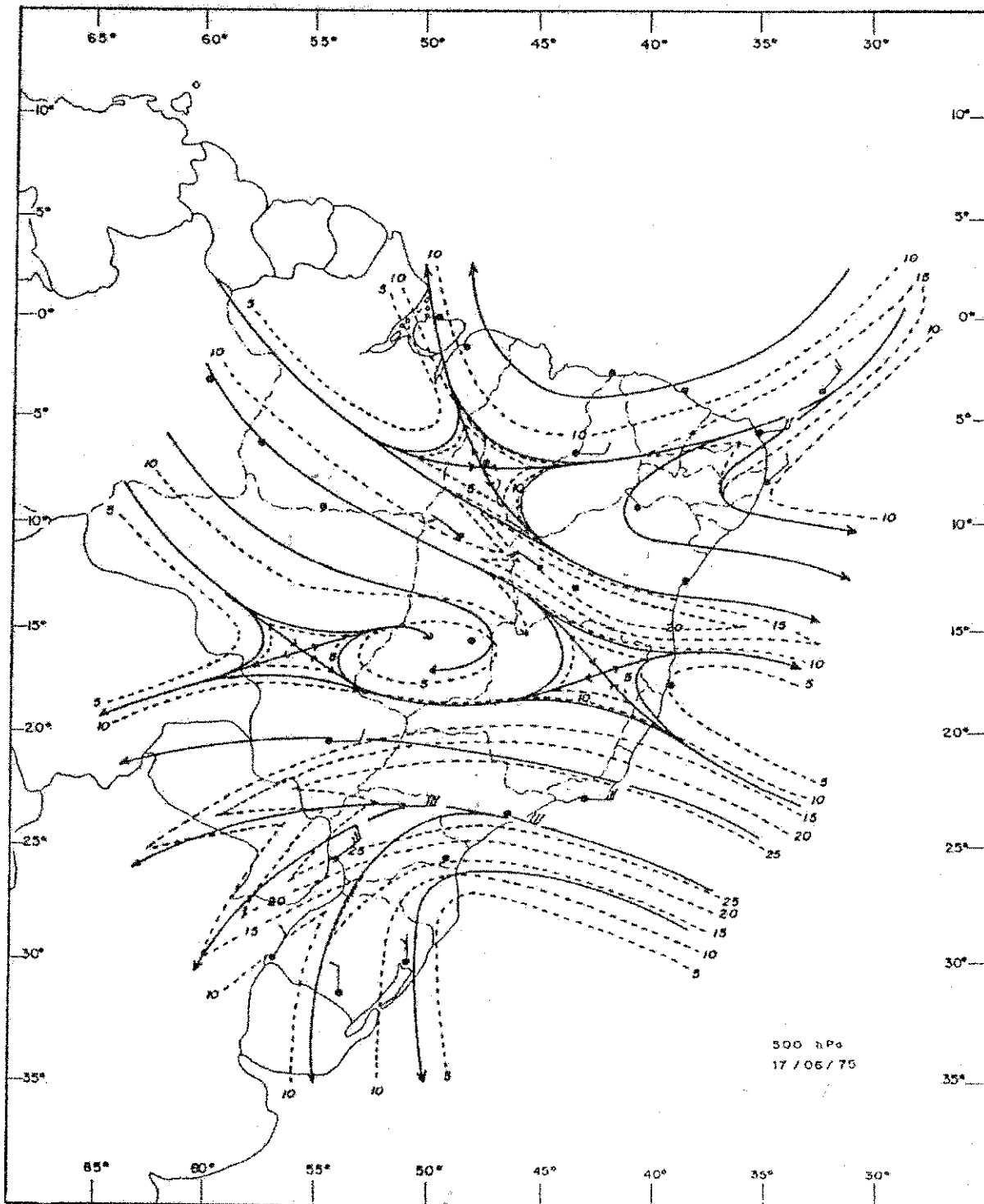


Figura 5.26 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 500 hPa para as 12:00 TMG do dia 17/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós.

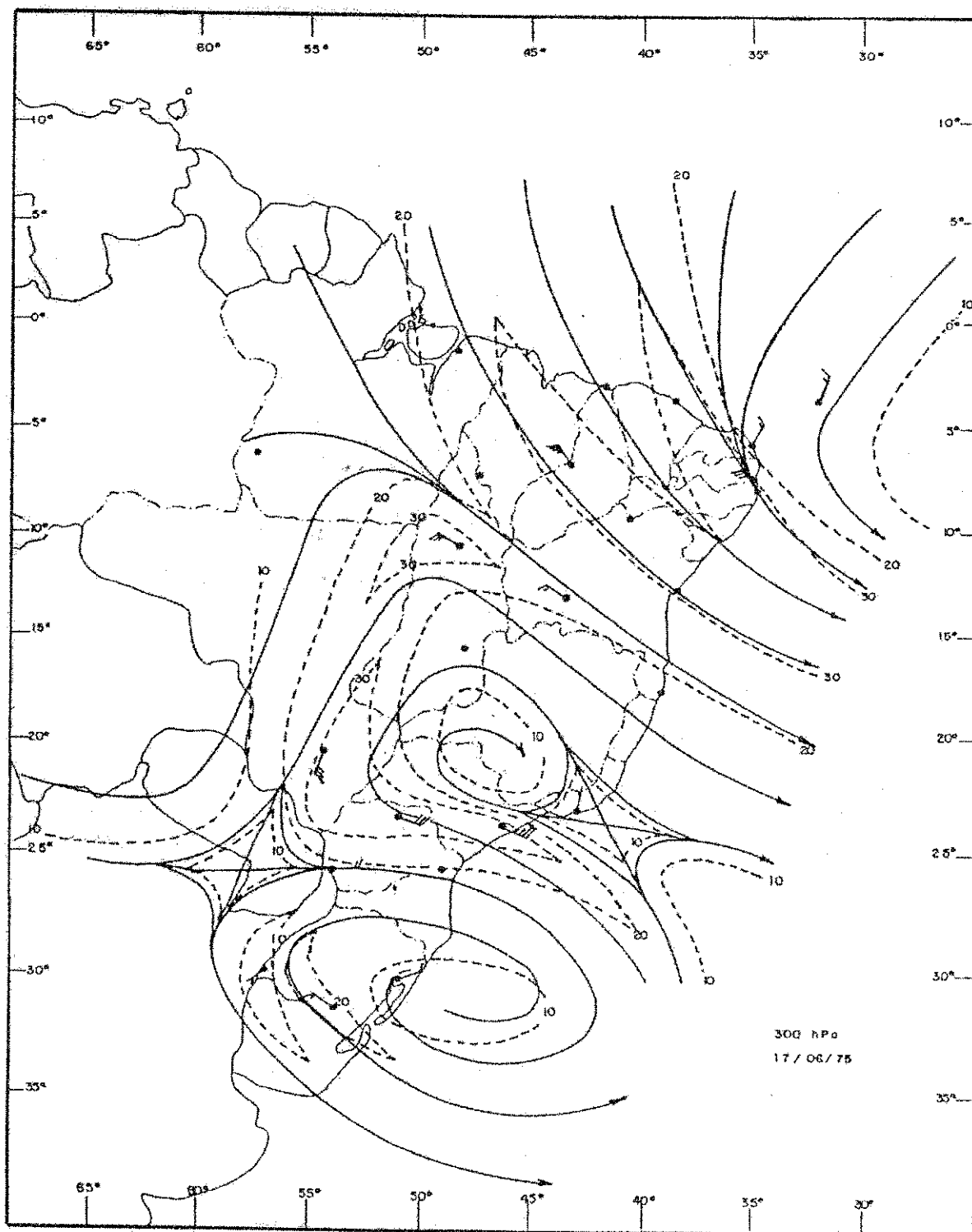
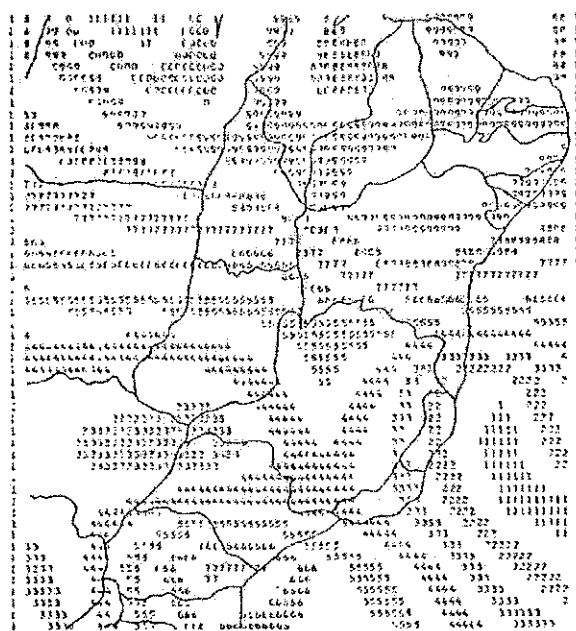
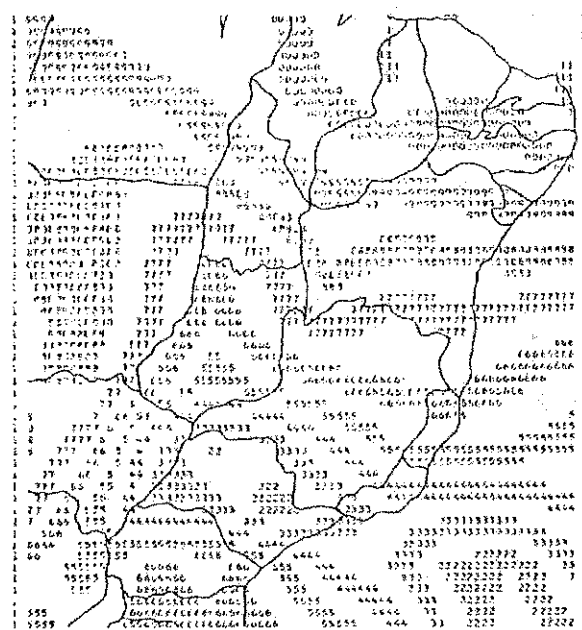


Figura 5.27 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 17/06/75. O intervalo de análise é de 10 nós.



(a)



(b)

Figura 5.28 – Vorticidade potencial para as 12:00 TMG do dia 17/06/75 no nível de: (a) 500 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de nove representa $-0,5 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e (b) 300 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ e a linha de zeros representa $0,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos).

5.1.6 Dia 18/06/75

As linhas de corrente em 850 hPa não apresentam grandes mudanças em relação ao dia anterior ilustrado na Figura 5.23. Neste dia é maior a cobertura de nuvens tanto sobre o Nordeste quanto sobre o oceano (Fig. 5.29). Esse aumento ocorre associado ao deslocamento para norte, sobre o oceano, de bandas de nebulosidade orientadas zonalmente, associadas ao sistema frontal que se deslocou para leste sobre o oceano. Ainda podem ser vistas faixas de nebulosidade na área do Nordeste, só que não tão bem configuradas quanto no dia 16 (Fig. 5.18). Há também neste dia uma maior cobertura de nuvens na Amazônia.

A chuva no litoral norte (Fig. 5.30), que se concentrou na porção norte-oriental do Ceará, é representada por um núcleo que se alonga para o interior desse estado, abrangendo ainda o oeste do Rio Grande do Norte. Outra área de precipitação ocupa a parte oriental do Rio Grande do Norte e uma terceira área abrange todo o litoral pernambucano, alagoano e sergipano. Nos dois últimos estados, o total diário de precipitação foi acima de 20 mm em 90% dos postos. Existe ainda um núcleo no litoral central da Bahia e outro na sua parte sul. A precipitação nessas três últimas áreas foi devida ao deslocamento, para norte, das bandas frontais citadas anteriormente.

No nível de 500 hPa (Fig. 5.31), prosseguiu o deslocamento para leste dos ciclones alinhados ao longo da direção zonal no interior do continente. O nível de 300 hPa (Fig. 5.32) mostra sensíveis modificações ao norte do litoral do Nordeste com a presença de duas circulações, sendo uma horária e a outra anti-horária. Permanece o ciclone sobre a Região Sudeste, enquanto que o anticiclone que estava ao sul desloca-se para o oceano e outro anticiclone está situado sobre o norte da Argentina. As isotacas mostram a presença do jato subtropical bem definido ao norte do vórtice ciclônico, sendo a velocidade máxima de 62 nós registrada na estação de Campo Grande-MS.

O Nordeste permanece dominado por um máximo de VP no nível de 500 hPa (Fig. 5.33a), enquanto que os mínimos localizados ao sul prosseguiram seu deslocamento se situando agora a sudeste da posição que ocupavam no dia anterior (Fig. 5.28a)

O máximo de VP sobre o Nordeste também aparece em 300 hPa (Fig. 5.33b), enquanto que a área de forte gradiente horizontal associada ao jato subtropical aparece agora com curvatura ciclônica sobre o Mato Grosso do Sul, Goiás e sul da Bahia. Dois mínimos podem ser vistos ao sul do jato.



Figura 5.29 - Imagem do satélite meteorológico GOES-E na banda do visível para as 15:00 TMG do dia 18/06/75.

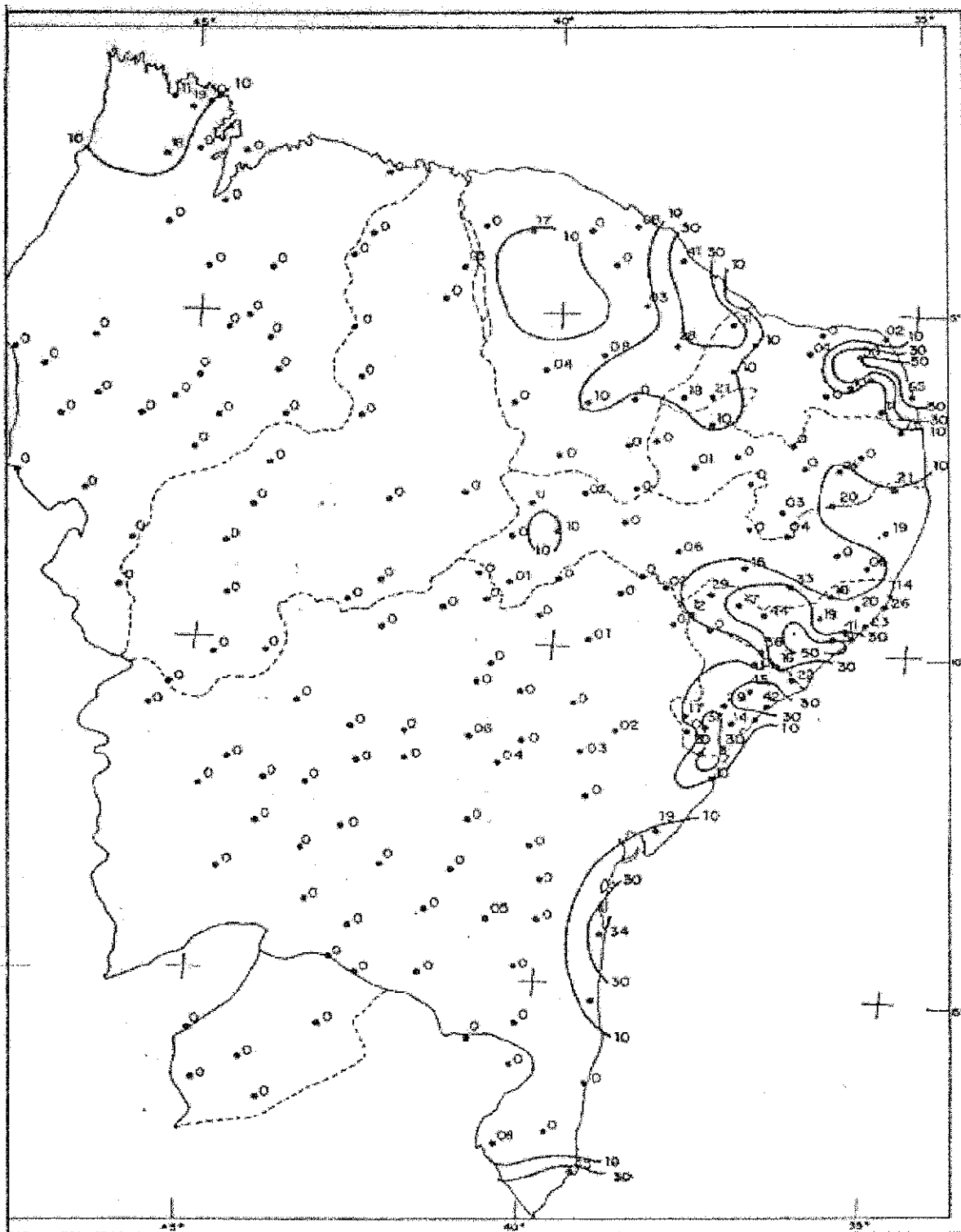


Figura 5.30 – Análise de precipitação total diária (mm) observada às 12:00 TMG do dia 18/06/75. Os totais diários são vistos próximo ao círculo dos postos pluviométricos. O intervalo de análise é de 20 mm. A isoieta de menor valor é a de 10 mm. (Fonte dos dados: SUDENE)

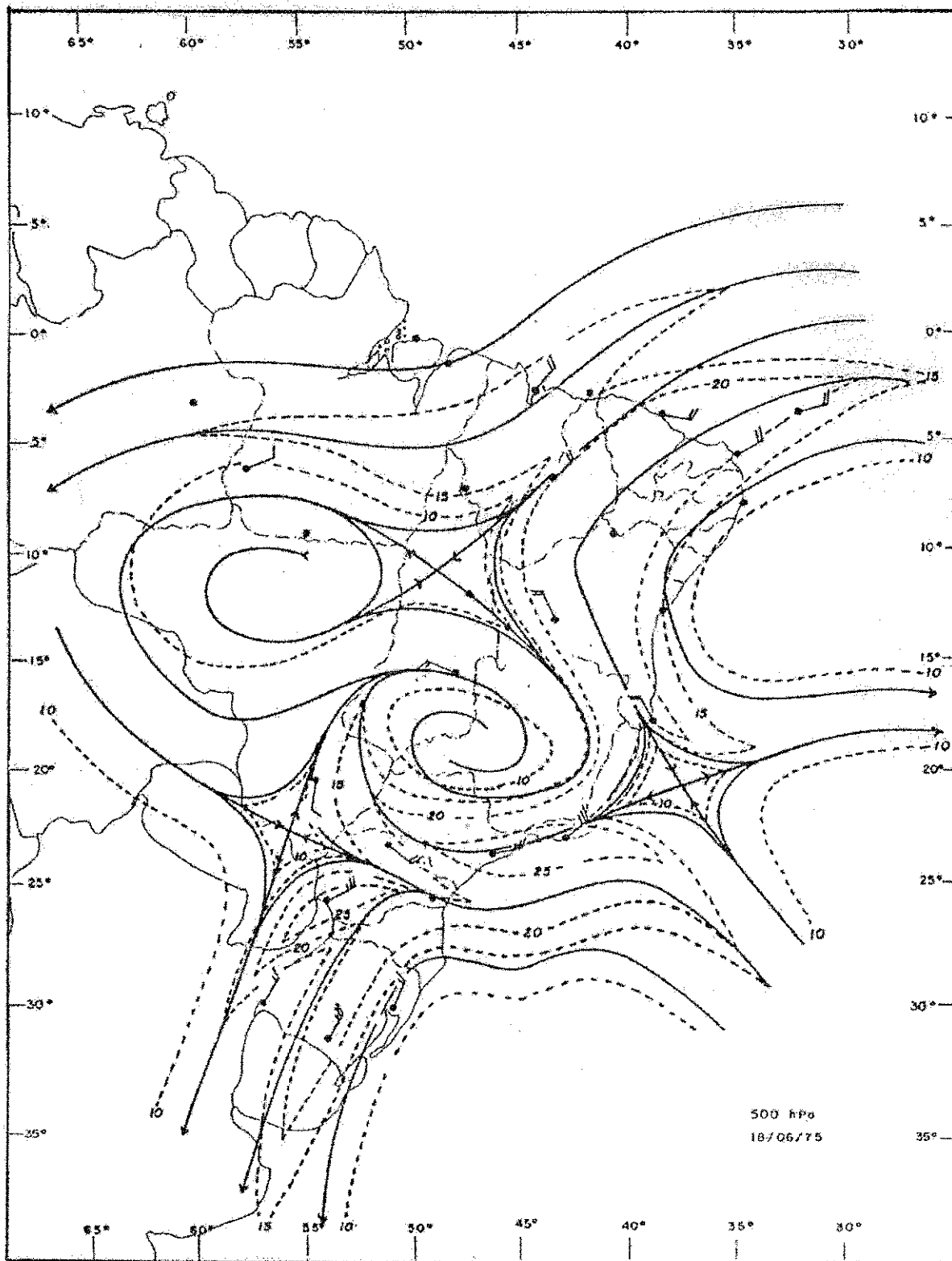


Figura 5.31 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 500 hPa para as 12:00 TMG do dia 18/06/75. O intervalo de análise é de 5 nós.

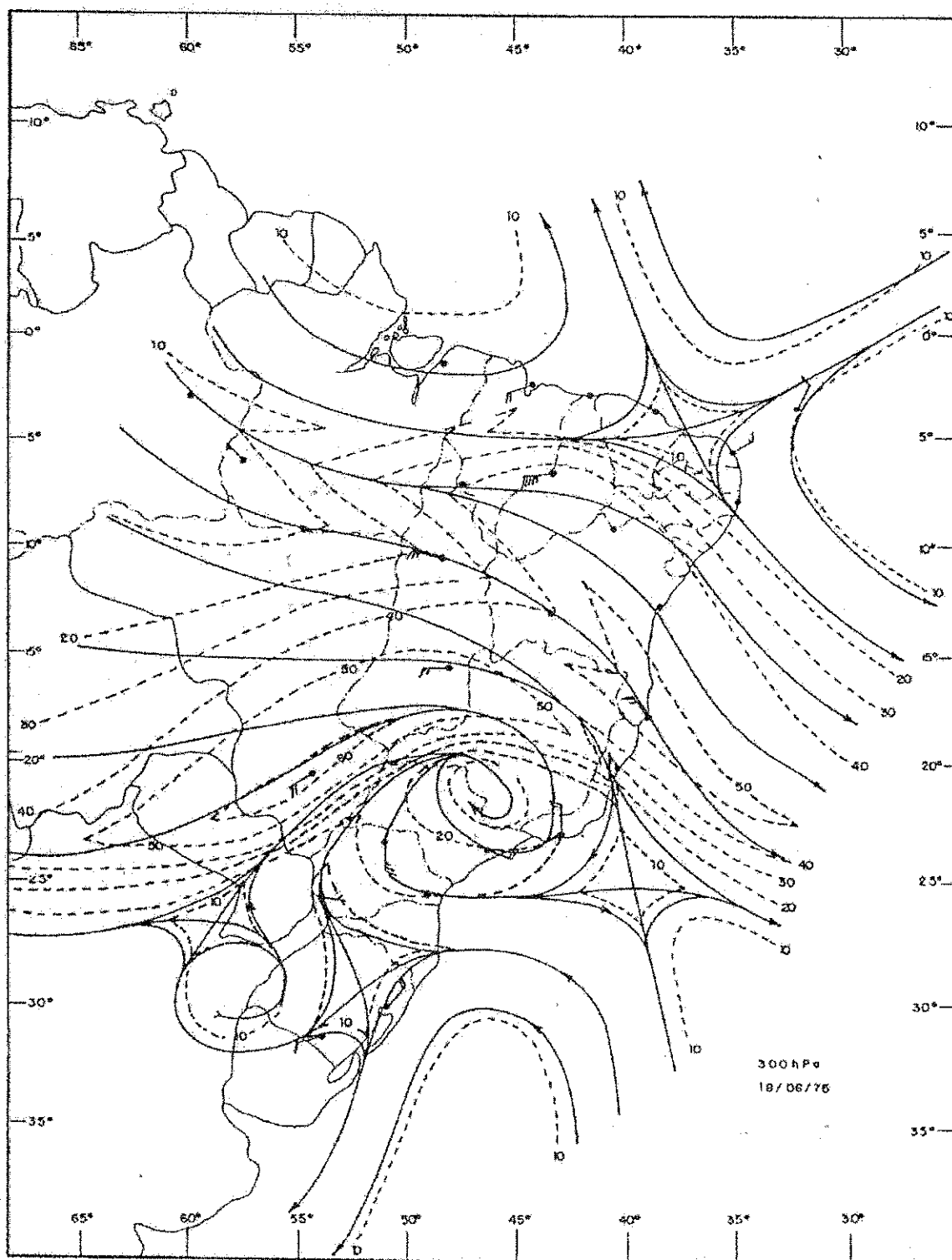
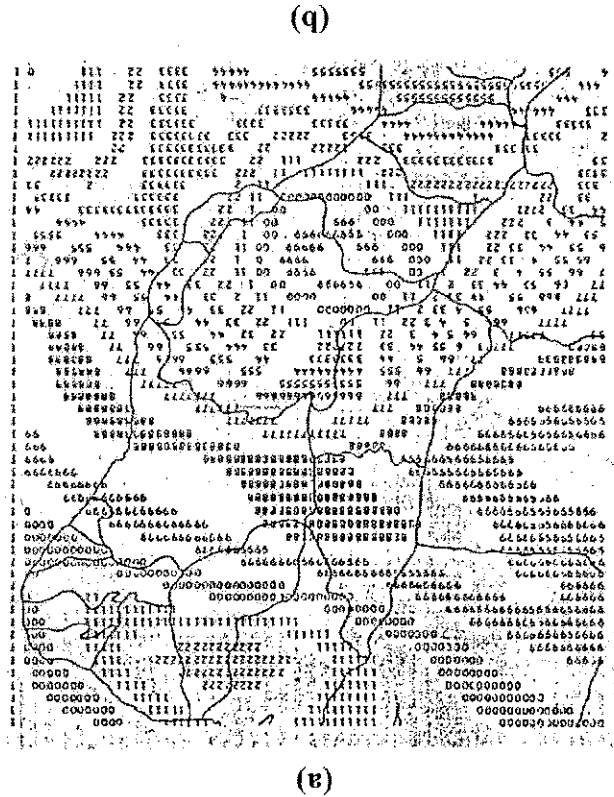


Figura 5.32 - Linhas de corrente (linhas contínuas) e isotacas em nós (linhas tracejadas) no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 18/06/75. O intervalo de análise é de 10 nós.

Figura 5.33 - Vorticidade potencial para as 12:00 T.M.G do dia 18/06/75 no nível de: (a) 500 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $0,5 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ Kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ e a linha de nozes representa $-0,5 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ Kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ e (b) 300 hPa, no qual o módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ Kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ e a linha de zeros representa $0,0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ Kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos).



5.2 - ANÁLISE DA ADVECÇÃO HORIZONTAL DE VORTICIDADE POTENCIAL (AHVP) E DA DIFERENÇA (VARIAÇÃO) DE VORTICIDADE POTENCIAL EM 24 HORAS (DVP)

A aplicabilidade da utilização da AHVP como indicador qualitativo da evolução do campo de VP nos altos níveis é testada comparando-a com a DVP ocorrida num período de 24 horas. Convém ressaltar que a AHVP é um valor instantâneo enquanto que a DVP é uma variação ocorrida dentro de um certo intervalo de tempo. A comparação é feita, por exemplo, entre a AHVP para as 12:00 TMG do dia 13 e a diferença entre a VP para as 12:00 TMG do dia 14 e a VP para as 12:00 TMG do dia 13.

5.2.1 Nível de 500 hPa

A AHVP no nível de 500 hPa apresenta, em geral, núcleos pouco intensos. A comparação desses campos com os de DVP para os vários dias do período de estudo mostra pouca concordância entre as áreas dominadas por núcleos positivos (negativos) indicativos do aumento (diminuição) da VP com o tempo. A comparação só é razoável em áreas com núcleos intensos de AHVP, ou seja, núcleos com valor central cujo módulo está acima de $3 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{K kg}^{-1}$.

Um exemplo de pouca concordância em 500 hPa é o dia 13. Tanto a AHVP (Fig. 5.34a) quanto a DVP (Fig. 5.34b) mostram núcleos pouco intensos na área analisada, só havendo concordância entre eles na Região Sudeste e área oceânica adjacente.

Um exemplo de concordância razoável em 500 hPa é dado pela AHVP (Fig. 5.35a) e DVP (Fig. 5.35b) para o dia 16. Embora não haja concordância entre as partes centrais dos núcleos, ela existe para a área positiva localizada na Região Sudeste e que se prolonga sobre o oceano e as áreas negativas sobre a Região Centro-oeste e o oeste do Nordeste. Entretanto, o conjunto dos resultados obtidos não recomenda a utilização da AHVP como um indicador da evolução dos sistemas atmosféricos no nível de 500 hPa.

Figura 5.34 – (a) Variação da vortacidade potencial devido a advecção horizontal no nível de 500 hPa para as 12:00 TMG do dia 13/06/75. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$ (b) Diferença (variação) de vortacidade potencial em 24 horas (12:00 TMG de 14/06/75 menos 12:00 TMG de 13/06/75) no nível de 500 hPa. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$. A linha de zeros representa o valor zero. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos).

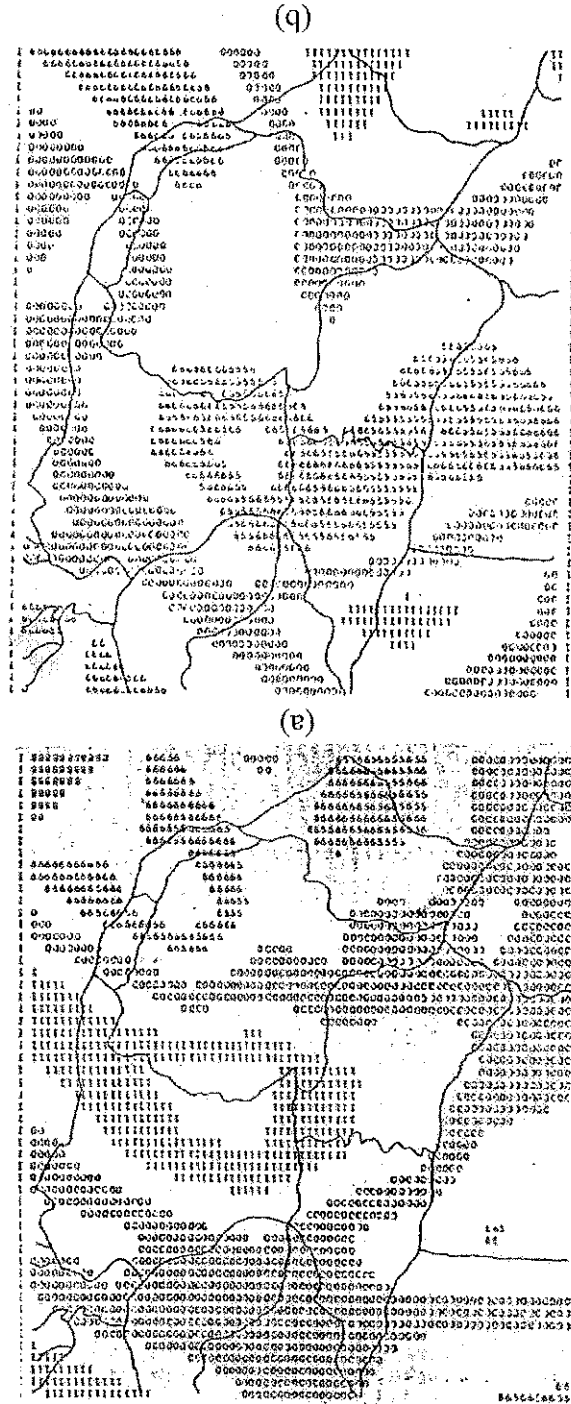
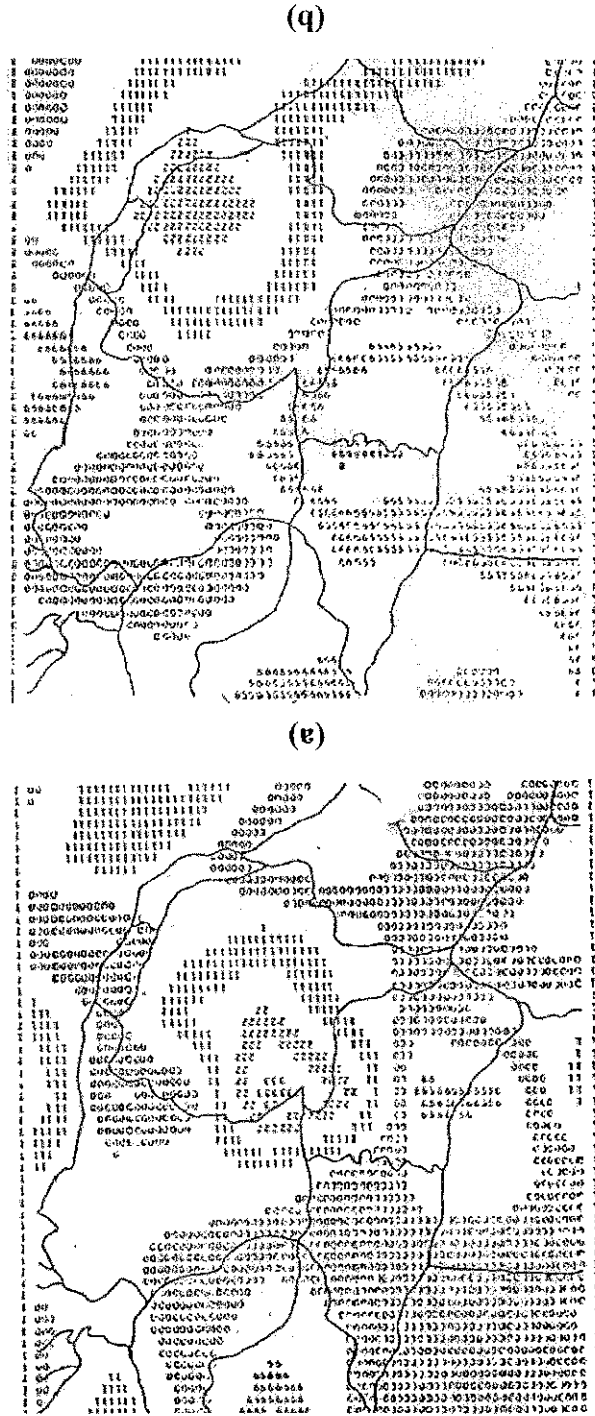


Figura 5.35 - (a) Variação da vorticidade potencial devido a advecção horizontal no nível de 500 hPa para as 12:00 TMG do dia 16/06/75. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$. (b) Diferença (variação) de vorticidade potencial em 24 horas (12:00 TMG de 17/06/75 menos 12:00 TMG de 16/06/75) no nível de 500 hPa. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$. A linha de zeros representa o valor zero. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos).



5.2.2 Nível de 300 hPa

Os campos de AHVP e DVP em 300 hPa mostram uma boa concordância em termos do posicionamento das áreas positivas (áreas de AHVP anticiclônica) e negativas (áreas de AHVP ciclônica), embora não haja coincidência na posição da parte central dos núcleos. Isso ocorre particularmente na Região Sudeste, onde há núcleos bem definidos de AHVP.

Um bom exemplo do que foi escrito acima são os campos correspondentes ao dia 13 (Fig. 5.36). O núcleo positivo de AHVP (Fig. 5.36a) centrado no Espírito Santo-Rio de Janeiro sugere o enfraquecimento do núcleo ciclônico centrado sobre o oceano na Figura 5.6b. Por outro lado, o núcleo negativo sobre São Paulo e Paraná indica o deslocamento para leste do mínimo localizado sobre o Paraguai e Mato Grosso do Sul. Tais alterações estão em concordância com o campo de VP visto na Figura 5.11b, o que se reflete nas configurações de AHVP (Fig. 5.36a) e DVP (Fig. 5.36b).

A AHVP para o dia 14 (Fig. 5.37a) sugere como alteração mais significativa para o campo de VP desse dia (Fig. 5.11b) o reposicionamento, ligeiramente a leste, do núcleo ciclônico localizado sobre o Mato Grosso do Sul, São Paulo e região oceânica adjacente. Há de fato um reposicionamento e também um enfraquecimento do gradiente horizontal nesse núcleo, conforme comprova a Figura 5.17b. O restante do campo de AHVP apresenta valores positivos, com exceção de uma pequena área no nordeste da Bahia. A comparação entre os campos de AHVP (Fig. 5.37a) e DVP (Fig. 5.37b) mostra concordância nas configurações com exceção do núcleo positivo localizado sobre o oceano na Figura 5.37a.

O campo da AHVP para o dia 15 (Fig. 5.38a) mostra três centros bem definidos: (a) um núcleo intenso de AHVP anticiclônica centrado no noroeste da Bahia; (b) um núcleo de AHVP ciclônica sobre o Tocantins e parte do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás; e (c) um outro núcleo de AHVP anticiclônica centrado em Minas Gerais. Isso sugere para o campo de VP visto na Figura 5.17b: (a) enfraquecimento do núcleo ciclônico centrado no nordeste da Bahia; (b) enfraquecimento do núcleo anticiclônico localizado sobre o Tocantins e parte do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás e (c) intensificação da VP ciclônica em Minas Gerais. Tais mudanças estão presentes no campo de VP para o dia 16 (Fig. 5.22b) embora esse apresente também outras mudanças não sugeridas pelo campo de AHVP, quais sejam: (a) um núcleo ciclônico centrado no Mato Grosso do Sul-sul de Goiás e (b) um núcleo anticiclônico sobre o Paraná e Santa Catarina. Também neste dia é boa a concordância entre a

AHVP (Fig. 5.38a) e a DVP (Fig. 5.38b), com exceção do nordeste da Bahia e das áreas onde se localizam os dois últimos núcleos citados.

O campo da AHVP para o dia 16 (Fig. 5.39a) mostra AHVP anticiclônica em todo o domínio, com exceção do Mato Grosso do Sul e região oceânica a leste do Espírito Santo e do Rio de Janeiro. A comparação entre a AHVP (Fig. 5.39a) e a DVP (Fig. 5.39b) só não é boa para esses dois núcleos. O campo da VP para o dia 17 (Fig. 5.28b) comprova isso, inclusive com mudanças pouco evidentes como a ocorrida no oeste da Bahia, onde o campo de VP assumiu curvatura anticiclônica.

O campo da AHVP (Fig. 5.40a) para o dia 17 não apresenta núcleos intensos. Apesar disso, há concordância com o campo de DVP (Fig. 5.40b), com exceção do Paraná e grande parte de Minas Gerais. Vale assinalar que a mudança mais significativa representada pela DVP é o posicionamento do jato subtropical que apresenta curvatura ciclônica no campo de VP do dia 18 (Fig. 5.33b).

Figura 5.36 - (a) Variação da vorticidade potencial devido a advecção horizontal no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 13/06/75. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^7 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$. (b) Diferença (variação) de vorticidade potencial em 24 horas (12:00 TMG de 14/06/75 menos 12:00 TMG de 13/06/75) no nível de 300 hPa. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^7 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$. A linha de zeros representa o valor zero. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos).

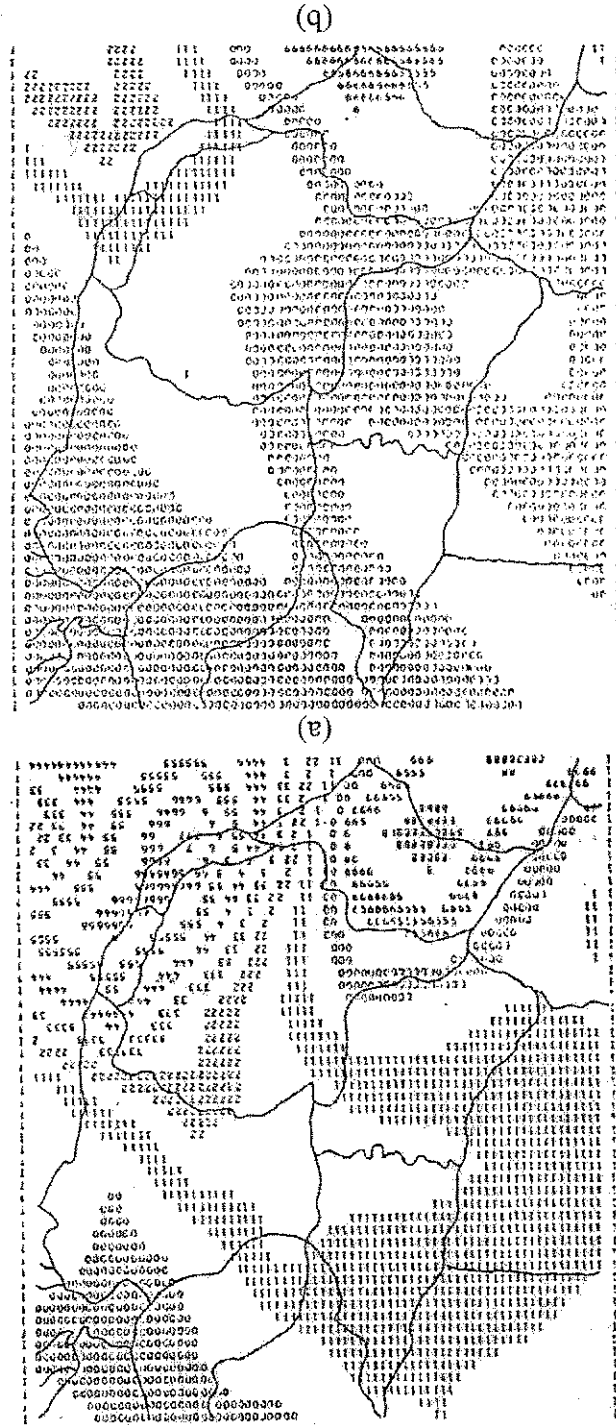


Figura 5.37 - (a) Variação da vorticidade potencial devido a advecção horizontal no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 14/06/75. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^7 \text{ m}^2 \text{ Kg}^{-1}$. (b) Diferença (variação) de vorticidade potencial em 24 horas (12:00 TMG de 15/06/75 menos 12:00 TMG de 14/06/75) no nível de 300 hPa. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^7 \text{ m}^2 \text{ Kg}^{-1}$. A linha de zeros representa o valor zero. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos).

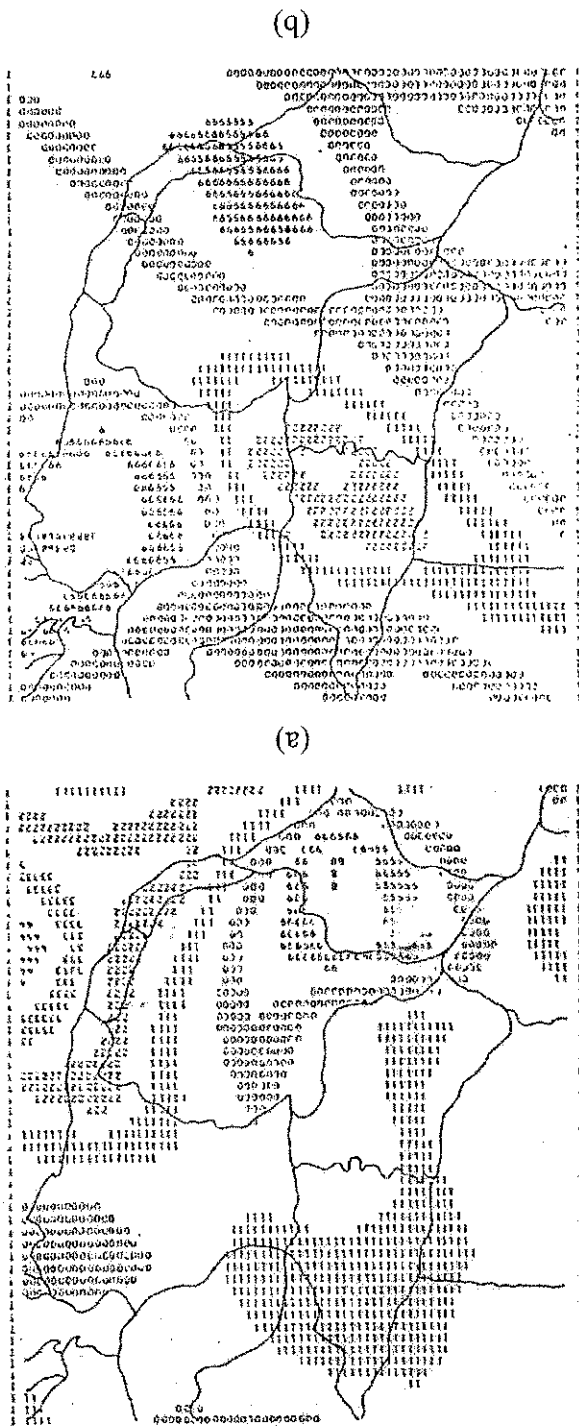


Figura 5.38 – (a) Advecção horizontal da vorticidade potencial no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 15/06/75. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$. (b) Diferença (variação) de vorticidade potencial em 24 horas (12:00 TMG de 16/06/75 menos 12:00 TMG de 15/06/75) no nível de 300 hPa. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$. A linha de zeros representa o valor zero. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) pra o centro são máximos (mínimos).

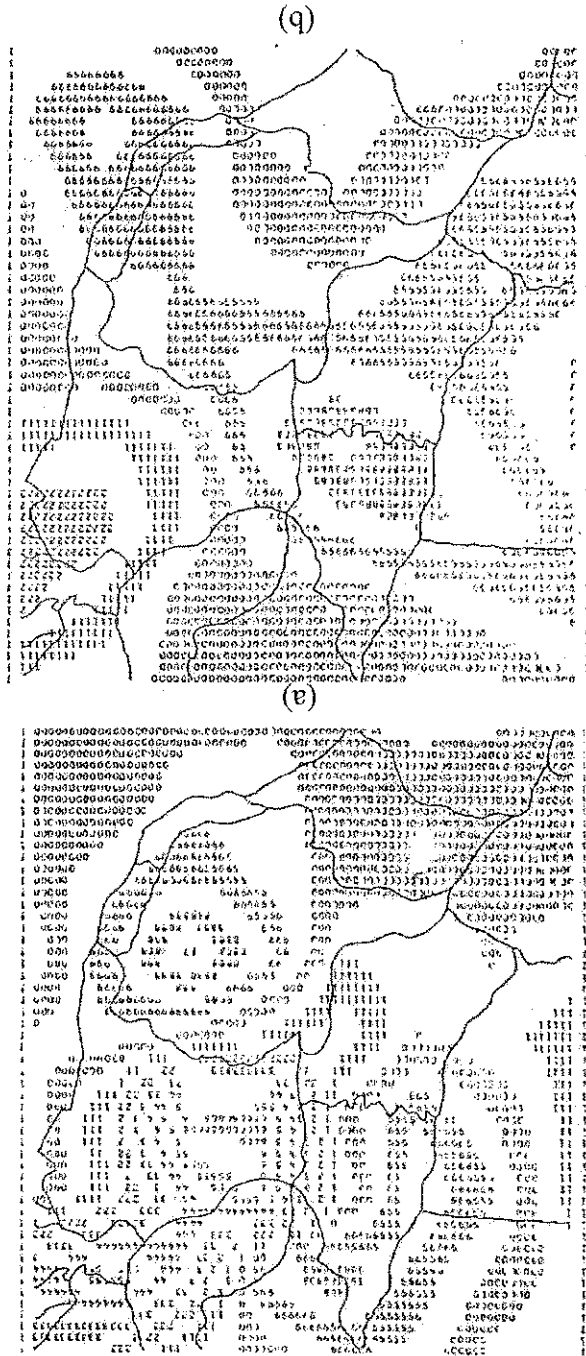
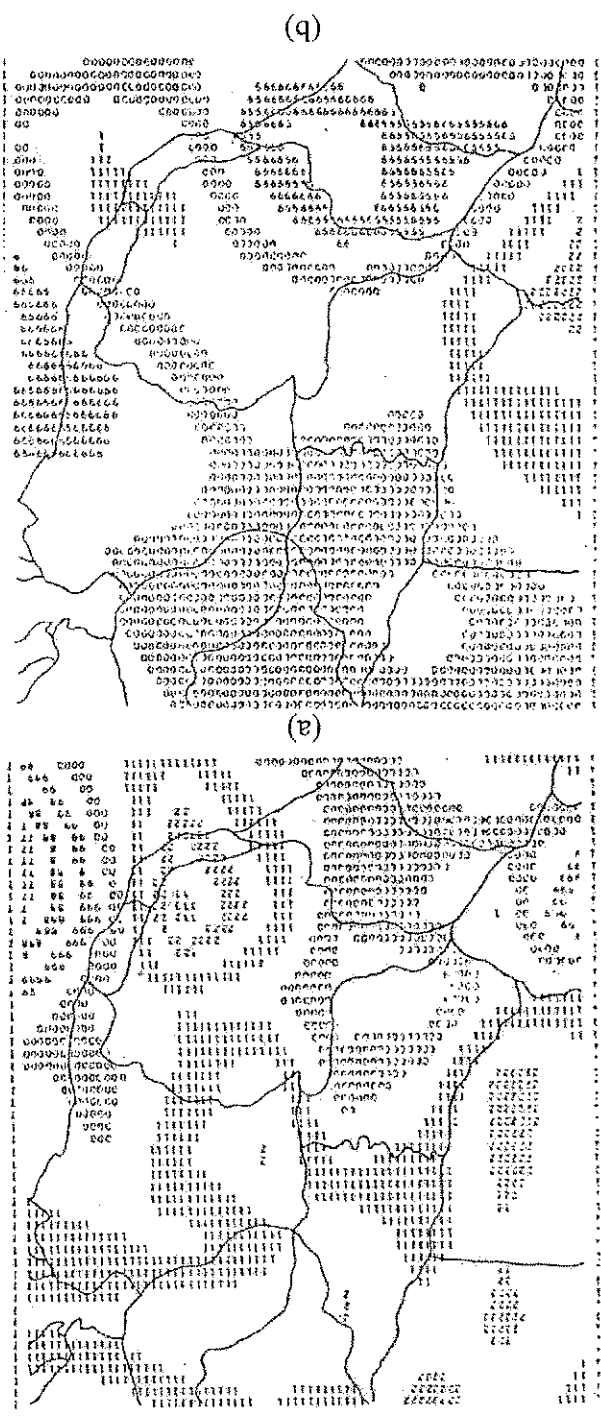


Figura 5.39 – (a) Variação da vorticidade potencial devido a advecção horizontal no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 16/06/75. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ Kg}^{-1}$. (b) Diferença (variação) de vorticidade potencial em 24 horas (12:00 TMG de 17/06/75 menos 12:00 TMG de 16/06/75) no nível de 300 hPa. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ Kg}^{-1}$. A linha de zeros representa o valor zero. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos).



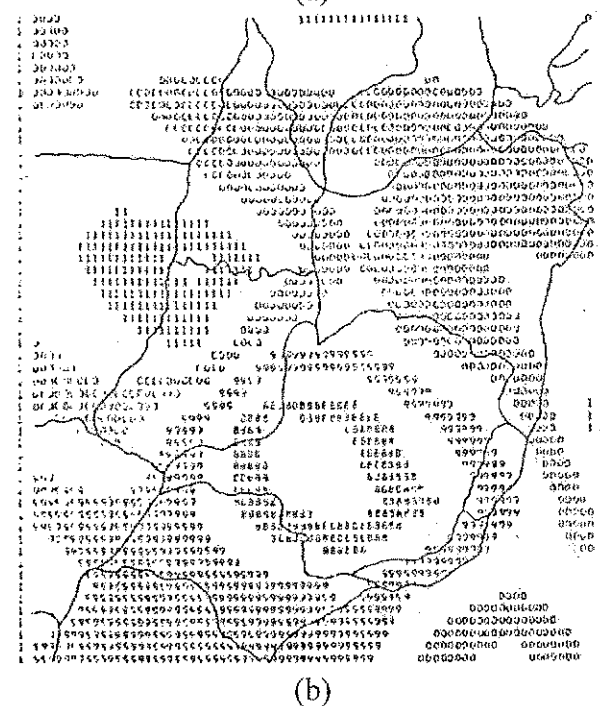
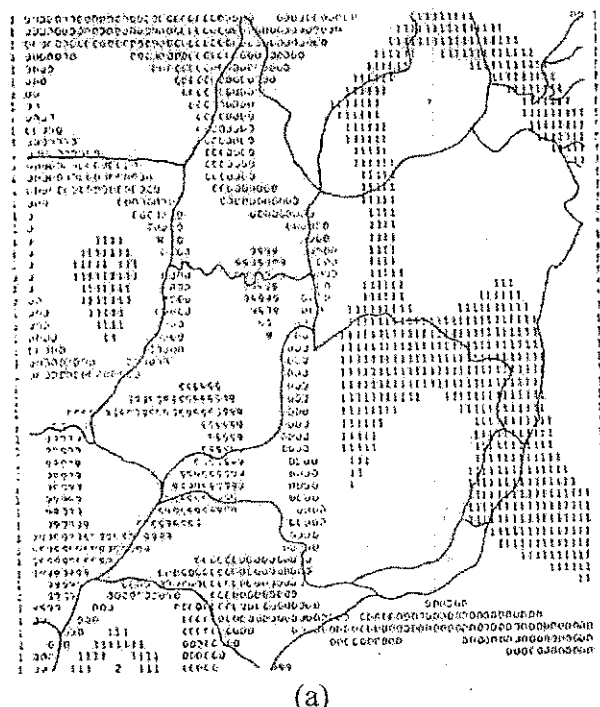


Figura 5.40 – (a) Variação da vorticidade potencial devido a advecção horizontal no nível de 300 hPa para as 12:00 TMG do dia 17/06/75. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. (b) Diferença (variação) de vorticidade potencial em 24 horas (12:00 TMG de 18/06/75 menos 12:00 TMG de 17/06/75) no nível de 300 hPa. O módulo do intervalo de análise é $1,0 \times 10^{-7} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$. A linha de zeros representa o valor zero. Os núcleos com dígitos cujo valor aumenta (diminui) para o centro são máximos (mínimos).

6. CONCLUSÕES

No período de 13 a 18 de junho de 1975 foram diagnosticadas áreas de precipitação em mesoescala na área litorânea do Nordeste. A análise de sequências de imagens do satélite meteorológico GOES-E indicou que o litoral norte da região e o litoral leste do Rio Grande do Norte foram influenciados por áreas de nebulosidade que se propagavam de leste para oeste ao sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). No restante do litoral leste as imagens mostraram bandas frontais em dissipação que se deslocaram no sentido sudoeste-nordeste no decorrer do período, favorecendo a ocorrência de chuva na Bahia, Sergipe e Alagoas. Essa interrelação foi investigada através dos campos do vento, da vorticidade potencial e sua advecção horizontal.

Nas análises do campo do vento na baixa (850 hPa), média (500 hPa) e alta (300 hPa) troposfera foi possível diagnosticar dois cavados extratropicais que influenciaram o Brasil : o primeiro, no início do período, com propagação no sentido sudoeste-nordeste sobre a Argentina, Uruguai e Brasil, penetrando no Nordeste, e o segundo, no final do período, que cruzou a América do Sul de oeste para leste, na faixa latitudinal de 15°S – 25°S. Esses cavados foram acompanhados pelo jato subtropical que se manteve com orientação noroeste-sudeste sobre o Brasil, passando por Caravelas-BA, no sul da Bahia, cerca de 15° ao norte de sua posição média, em cinco dias do período analisado. Dois máximos secundários também foram identificados em alguns dias: um sobre o litoral leste e outro no interior do Nordeste.

No campo da vorticidade potencial no nível de 500 hPa esses cavados puderam ser visualizados como núcleos intensos. Uma área de forte gradiente horizontal de vorticidade potencial assinalou a localização do jato subtropical no nível de 300 hPa.

O uso conjunto dos campos da vorticidade potencial e de sua advecção horizontal na alta troposfera (300 hPa) proporcionou bons resultados no prognóstico qualitativo do desenvolvimento e deslocamento de sistemas extratropicais na área analisada, no período de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J.M.B.; KAYANO, M.T. Estudo preliminar da precipitação no sul do Ceará durante a pré-estação chuvosa. *Climanálise*, 4 (6), 41-50, 1991.

ARAGÃO, J.O.R. Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos- SP, Brasil, 1975, 219 p. (INPE-789-TPT/017).

_____. A general circulation model investigation of the atmospheric response to El Niño. Tese de Doutorado. University of Miami and National Center for Atmospheric Research, cooperative thesis, 100, 1986, 144 p. (NCAR/CT-100).

BRITO, J.I.B. A estação chuvosa de 1990 no norte do Nordeste. *Climanálise*, 5 (7), 47-56, 1990.

CARVALHO, A.M.G. Conexões entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América do Sul. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, Brasil, 1989, 121 p. (INPE-4923-TDL/383).

CAVIEDES, C.N. Secas and El Niño: Two simultaneous climatical hazards in South America. *Proceedings of the Association of American Geographers*, 5, 44-49, 1973.

CHAN, C.S. Análise de distúrbios ondulatórios de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, Brasil, 1990, 134 p. (INPE 5222-TDL/437).

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

ELSBERRY, R.L.; KIRCHOFFER, P.J. Upper-level forcing of explosive cyclogenesis over the ocean based on operationally analyzed fields. *Weather and Forecasting*, 3, 205-216, 1988.

HOSKINS, B.J.; MCINTYRE, M.E.; ROBERTSON, W. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 111(470), 877-946, 1985.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 102 (435), 77 - 92, 1977.

KAYANO, M.T.; KOUSKY, V.E.; STUDZINSKI, C.D.; DIAS, P.L.S. As variações intra-sazonais da precipitação no Brasil durante o verão de 1989/1990. *Climanálise*, 5(4), 40-50, 1990.

_____.; SATYAMURTI, P.; ALVES, J.M.B. Oscilações intra-sazonais na precipitação do sul do Ceará. *Climanálise*, 6(8), 38-45, 1991.

KOUSKY, V.E. Frontal influences on Northeast Brazil. *Mon. Wea. Rev.*, 107, 1140-1153, 1979.

_____.; GAN, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the Tropical South Atlantic. *Tellus*, 33, 538-551, 1981.

LIMA, M.C. Variabilidade da precipitação no litoral leste da Região Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, Brasil, 1991, 222p. (INPE 5283-TDI/453).

MAGALHÃES, A.R.; REBOUÇAS, O.M. Drought as a policy and planning issue in Northeast Brazil. In: "The effects of climatic variations on agriculture in Northeast Brazil". International Institute - for Applied System Analysis, United Nations Environment Programme, Luxemburg/Austria, 1987, 109p.

MOURA, A.D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, 38, 2653-2075, 1981.

NAMIAS, J. Influence of Northern Hemisphere circulation on drought in Northeast Brazil. *Tellus*, 24, 335-349, 1972.

NEIVA, E.J.F. An investigation of wave-type disturbances over the Tropical South - Atlantic. Tese de Mestrado. Naval Post Graduate School, Monterey-CA, USA, 1975.

NOBRE, C.A.; YANASSE, H.H.; YANASSE, C.C.F. Drought prediction in Northeast Brasil by harmonic analysis. Second WMO Symposium on Tropical Drought, TPM Report Series, 15, 113- 116, 1984.

_____. RENNÓ, N. O. Droughts and floods in South America due to the 1982-1983 El Niño/Southern Oscillation episode. In: Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology. *Am. Meteor. Soc.*, 15, 1985.

OLIVEIRA, L.L. Zonas de convergência no Atlântico Sul e suas influências no regime de precipitação no Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, Brasil, 1982, 125p. (INPE-2307-TDL/074).

OLIVEIRA, A.S. Interação entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, Brasil, 1986, 115p.

PINHEIRO, J.U. Um estudo dos fluxos horizontais e verticais do vapor d'água na troposfera sobre o Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande-PB, 1991, 116p. (DCA/CMM TD-N- 01 1991).

RAO, V.B.; SATYAMURTY, P.; BRITO, J.L.B. On the 1983 drought in North-East Brasil. *J. Climatology*, 6, 43-51, 1986.

_____. BONATTI, J.P. On the origin of upper tropospheric cyclonic vortices in the South Atlantic Ocean and adjoining Brazil during the summer. *Meteor. and Atmos. Physics*, 37(1), 11-16, 1987.

SILVA, F.M. Vórtices ciclônicos da alta troposfera: Dois estudos de caso para o Nordeste do Brasil. Dissertação de mestrado em Meteorologia. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande-PB, Brasil, 1992, 125p.

SOBRAL, Z.R.; CORREIA, M.F.; ARAGÃO, J.O.R. Caracterização da estrutura dinâmica da atmosfera em períodos anômalos de precipitação no Nordeste do Brasil. Anais do II Congresso Interamericano de Meteorologia e V Congresso Argentino de Meteorologia, Buenos Aires, Argentina: 6.12.1-6.12.3.

UVO, C.R.B. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região norte do Nordeste Brasileiro. Dissertação de mestrado em Meteorologia. Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, Brasil, 1989, 99p. (INPE-4887-TDL/378).

YAMAZAKI, Y.; RAO, V.B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. J. Meteor. Soc. Japan, 55, 205-207, 1977.