



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CAMPUS II

**DEPARTAMENTO DE
CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PÓS - GRADUAÇÃO
EM METEOROLOGIA**

ESTUDO DOS FLUXOS HORIZONTAIS E VERTICAIS DO VAPOR D'ÁGUA NA TROPOSFERA
SOBRE O NORDESTE DO BRASIL

OR: JOSÉ UELITON PINHEIRO

LIÇÃO DCA/CMM TD - nº 01 1991

IDE

91

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

UM ESTUDO DOS FLUXOS HORIZONTAIS E VERTICAIS DO VAPOR D'AGUA NA
TROPOSFERA SOBRE O NORDESTE DO BRASIL.

POR

JOSE UELITON PINHEIRO

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

CAMPINA GRANDE
ABRIL - 1991

UFPb / BIBLIOTECA / PRAI

JOSE UELITON PINHEIRO

UM ESTUDO DOS FLUXOS HORIZONTAIS E VERTICAIS DO VAPOR D'AGUA NA
TROPOSFERA SOBRE O NORDESTE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao curso
de MESTRADO EM METEOROLOGIA da
Universidade Federal da Paraíba,
em cumprimento às exigências pa-
ra obtenção do Grau de Mestre.

AREA DE CONCENTRAÇÃO: DINAMICA


JOSE ORIBE ROCHA DE ARAGAO, Ph.D.
Orientador


CAMPINA GRANDE
ABRIL-1991

UM ESTUDO DOS FLUXOS HORIZONTAIS E VERTICAIS DO VAPOR D'ÁGUA NA
TROPOSFERA SOBRE O NORDESTE DO BRASIL

JOSÉ UELITON PINHEIRO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 17/4/91


JOSÉ ORIBE ROCHA DE ARAGÃO, Ph.D
Orientador


MANOEL FRANCISCO GOMES FILHO, MSc.
Membro


CARLOS AFONSO NOBRE, Dr
Membro

CAMPINA GRANDE
ABRIL - 1991

DEDICATORIA

A meus pais

Ademar Pinheiro e,

Neuza Pinheiro

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal da Paraíba, Campos II, pelo apoio e contribuição dados por intermédio do departamento de Ciências Atmosféricas e Coordenação de Pós-Graduação em Meteorologia para o meu aperfeiçoamento profissional.

A Coordenação de Aperfeiçoamento do pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo nível mestrado.

Ao Dr. José Oribe Rocha de Aragão pela valiosa orientação e incentivo na elaboração deste trabalho.

Ao Msc Enilson Palmeira Cavalcanti pelo seu incentivo, que foi de suma importância, pelo auxílio nos trabalhos de computação.

A professora Zenaide Rosa Sobral pelo incentivo, pelo fornecimento das fotografias de satélite contidas no presente trabalho.

Ao Departamento Nacional de Meteorologia (DNMET), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e ao Centro Tecnológico da Aeronáutica (CTA) pelo fornecimento dos dados de temperatura e Umidade relativa.

E, finalmente, meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que, num ato de solidariedade e amizade, contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

Dois períodos contrastante com respeito a chuva foram estudados no Nordeste do Brasil, um chuvoso e outro seco. Esses períodos foram os que mostraram os maiores desvios com relação à média durante os anos de 1969 a 1978.

Durante o período chuvoso selecionado (16 a 20 de junho de 1975), o sistema principal causador das chuvas foi um sistema frontal proveniente do sul. Conglomerados de nuvens da ZCIT e sistemas de brisa também contribuíram para os elevados totais de precipitação observados, no litoral.

No período seco selecionado (11 a 15 de maio de 1976), o fato mais significativo foi um "bloqueio" dos sistemas que provocam chuva sobre o Nordeste. Durante este período, valores baixos de precipitação registrados no litoral podem ser atribuídos aos sistemas locais de brisas. Também, foi observado movimentos convectivos fortes no Atlântico Norte em contraste com a subsidência anômala sobre o Nordeste.

Os campos do movimento vertical (método cinemático), divergência horizontal do vapor d'água e fluxo vertical de umidade, mostraram-se mais organizados durante o período chuvoso, quando comparado com o período seco, embora não exista um padrão perfeitamente definido. Em outras palavras, esses campos, em geral, mostraram-se com o mesmo sinal na troposfera durante o período chuvoso, mas eles alternam mais frequentemente o sinal durante o período seco.

Existe uma fraca indicação de que o fluxo vertical de umidade é mais importante na parte norte do Nordeste, enquanto

que o transporte horizontal de vapor d'água mostra-se mais importante na parte sul.

O fato de, nas análises realizadas neste trabalho, não existir um padrão bem definido dos movimentos verticais, e dos transportes verticais e horizontais de vapor d'água, aponta para a necessidade de se efetuar diariamente, pelo menos duas observações sinóticas de ar superior para detectar todas as transformações na estrutura da troposfera.

ABSTRACT

Two contrasting periods with respect to rainfall were studied in the Northeast of Brazil, one wet and other dry. These periods were found to be those which showed the biggest deviations with respect to the long term mean during the ten years period spanning from 1969 to 1978.

During the wet period (June 16 to 20, 1975), the main system that produced the rainfall was a frontal system from the south. Cluster from the ITCZ and breeze systems also contributed to the rainfall amounts.

In the dry period (May 11 to 15, 1976), the most significant fact was a "blocking" of the systems which produce rainfall over Northeast. Few rainfall amounts registered along the coast may be attributed to the local breeze systems. It has been also observed strong convective movements in the North Atlantic, in contrast with the anomalous subsidence over the Northeast.

The fields of vertical motion (kinematic), horizontal divergence of water vapour and vertical flux of humidity, had been showed more organized during the wet period in comparison to the dry period, although there is not a perfectly defined pattern. I. e. , those fields had showed to be of the same sign along the troposphere in the wet period, but they alternate sign during the dry period, in general.

There is weak indication that the vertical flux of humidity is more important in the northern part of the Northeast, while the horizontal transport of water vapour shows more important in the southern.

The fact that is not a well defined pattern of the vertical movements, and the vertical and horizontal transport of water vapour, may indicate that there is the necessity of at least two synoptic observations in order to detect all the transformations in the tropospheric structure.

LISTAS DE FIGURAS E TABELA

		Página
Figura 1.1	- Localização da região Nordeste do Brasil..	4
Figura 3.1	- Distribuição dos postos pluviométricos no NEB.....	14
Figura 3.2	- Localização das estação de radiossonda-gens.....	15
Figura 3.3	- Discretização da coluna atmosférica para o cálculo do movimento vertical.....	16
Figura 4.1	- Mapa do desvio de precipitação do período chuvoso com relação média de longo período.....	34
Figura 4.2	- Imagem de Satélite GOES-ESTE das 15:00 GMT do dia 16/06/75 no visível	35
Figura 4.3	- Valores e isoietas da precipitação total das 24 horas (12:00 GMT de 15/06/75 às 12:00 GMT de 16/06/76) sobre o NEB.....	36
Figura 4.4	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 850 mb para o dia 16/06/75 às 12:00 GMT.....	37
Figura 4.5	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 500 mb para o dia 16/06/75 às 12:00 GMT.....	37
Figura 4.6	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 300 mb para o dia 16/06/75 às 12:00 GMT.....	38
Figura 4.7	- Campo da divergência horizontal do vapor d'água em 850 mb para o dia 16/06/75 às 12:00 GMT.....	38
Figura 4.8	- Campo da divergência horizontal do vapor d'água em 700 mb para o dia 16/06/75 às 12:00 GMT.....	39
Figura 4.9	- Campo da divergência horizontal do vapor d'água em 500 mb para o dia 16/06/75 às 12:00 GMT.....	39

Figura 4.10	- Campo do fluxo vertical em 700 mb para o dia 16/06/75 às 12:00 GMT.....	40
Figura 4.11	- Imagem de Satélite GOES-ESTE das 15:00 GMT do dia 17/06/75 no visível.....	41
Figura 4.12	- Valores e isoietas da precipitação total das 24 Horas (12:00 GMT de 16/06/75 às 12:00 GMT de 17/06/75) sobre o NEB.....	42
Figura 4.13	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 500 mb para o dia 17/06/75 às 12:00 GMT.....	43
Figura 4.14	- Campo da divergência horizontal do vapor d'água em 850 mb para o dia 17/06/75 às 12:00 GMT.....	43
Figura 4.15	- Campo da divergência horizontal do vapor d'água em 700 mb para o dia 17/06/75 às 12:00 GMT.....	44
Figura 4.16	- Campo da divergência horizontal do vapor d'água em 500 mb para o dia 17/06/75 às 12:00 GMT.....	44
Figura 4.17	- Campo do fluxo vertical em 500 mb para o dia 17/06/75 às 12:00 GMT.....	45
Figura 4.18	- Imagem de satélite GOES-ESTE das 15:00 GMT do dia 18/06/75 no visível.....	46
Figura 4.19	- Valores e isoietas de precipitação total das 24 horas (12:00 GMT de 17/06/75 às 12:00 GMT de 18/06/75).sobre o NEB.....	47
Figura 4.20	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 700 mb para dia 18/06/75 às 12:00 GMT.....	48
Figura 4.21	- Campo da divergência horizontal do vapor d'água em 850 mb para o dia 18/06/75 às 12:00 GMT.....	48
Figura 4.22	- Campo do fluxo vertical em 500 mb para o dia 18/06/75 às 12:00 GMT.....	49
Figura 4.23	- Imagem de satélite GOES-ESTE das 15:00 GMT do dia 19/06/75 no visível.....	50

Figura 4.24	- Valores e isoietas de precipitação total das 24 horas (12:00 GMT de 18/06/75 às 12:00 GMT de 19/06/76).....	51
Figura 4.25	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 500 mb para o dia 19/06/75 às 12:00 GMT.....	52
Figura 4.26	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 200 mb para o dia 19/06/75 às 12:00 GMT.....	52
Figura 4.27	- Campo da divergência horizontal do vapor d'água em 700 mb para o dia 19/06/75 às 12:00 GMT.....	53
Figura 4.28	- Campo do fluxo vertical em 700 mb para o dia 19/06/75 às 12:00 GMT.....	53
Figura 4.29	- Imagem de satélite GOES-ESTE das 15:00 GMT do dia 20/06/75 no visível.....	54
Figura 4.30	- Valores e isoietas de precipitação total das 24 horas (12:00 GMT de 19/06/75 às 12:00 GMT de 20/06/75) sobre o NEB.....	55
Figura 4.31	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 500 mb para o dia 20/06/75 às 12:00 GMT.....	56
Figura 4.32	- Campo da divergência horizontal do vapor d'água em 700 mb para o dia 20/06/76 às 12:00 GMT.....	56
Figura 4.33	- Campo do fluxo vertical em 700 mb para o dia 20/06/76 às 12:00 GMT.....	57
Figura 4.34	- Mapa do desvio de precipitação do período seco com relação a média de longo período.....	58
Figura 4.35	- Imagem do satélite GOES-ESTE das 23:00 GMT do dia 04/05/76 no infra-vermelho.....	59
Figura 4.36	- Imagem do satélite GOES-ESTE das 15:00 GMT do dia 11/05/76 no visível.....	60
Figura 4.37	- Valores e isoietas da precipitação total das 24 horas (12:00 GMT de 10/05/76 às 12:00 GMT de 11/05/76) sobre o NEB.....	61

Figura 4.38	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 700 mb para o dia 11/05/76. às 12:00 GMT.....	62
Figura 4.39	- Campo da divergência horizontal do vapor d'água em 850 mb para o dia 11/05/76 às 12:00 GMT.....	62
Figura 4.40	- Campo do fluxo vertical em 700 mb para o dia 11/05/75 às 12:00 GMT.....	63
Figura 4.41	- Imagem de satélite GOES-ESTE das 15:00 GMT do dia 12/05/76 no visível.....	64
Figura 4.42	- Valores e isoietas de precipitação total das 24 horas (12:00 GMT de 11/05/76 às 12:00 GMT de 12/05/76).....	65
Figura 4.43	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 700 mb para o dia 12/05/76 às 12:00 GMT.....	66
Figura 4.44	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 300 mb para o dia 12/05/76 às 12:00 GMT.....	66
Figura 4.45	- Campo da divergência horizontal do vapor d'água em 850 mb para o dia 12/05/76 às 12:00 GMT.....	67
Figura 4.46	- Campo do fluxo vertical em 700 mb para o dia 12/05/76 às 12:00 GMT.....	67
Figura 4.47	- Imagem de satélite GOES-ESTE das 16:00 GMT do dia 13/05/76 no visível.....	68
Figura 4.48	- Valores e isoietas de precipitação total das 24 horas(12:00 GMT de 12/05/76 às 12:00 GMT de 13/05/76) sobre o NEB.....	69
Figura 4.49	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 850 mb para o dia 13/05/76 às 12:00 GMT.....	70
Figura 4.50	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 200 mb para o dia 13/05/76 às 12:00 GMT.....	70
Figura 4.51	- Campo da divergência horizontal do vapor d'água em 850 mb para o dia 13/05/76 às 12:00 GMT.....	71

Figura 4.52	- Campo do fluxo vertical em 500 mb para o dia 13/05/76 às 12:00 GMT.....	71
Figura 4.53	- Imagem do satélite GOES-ESTE das 15:00 GMT do dia 14/5/76 no visível.....	72
Figura 4.54	- Valores e isoietas de precipitação total das 24 horas (12:00 GMT de 13/05/76 às 12:00 GMT de 14/05/76) sobre o NEB.....	73
Figura 4.55	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 700 mb para o dia 14/05/76 às 12:00 GMT.....	74
Figura 4.56	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 500 mb para o dia 14/05/76 às 12:00 GMT.....	74
Figura 4.57	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 300 mb para o dia 14/05/76 às 12:00 GMT.....	75
Figura 4.58	- Campo da divergência horizontal do vapor d'água em 700 mb para o dia 14/05/76 às 12:00 GMT.....	75
Figura 4.59	- Campo do fluxo vertical em 700 mb para o dia 14/06/75 às 12:00 GMT.....	76
Figura 4.60	- Imagem de satélite GOES-ESTE das 15:00 GMT do dia 15/05/76 às 15:00 GMT no infra-vermelho.....	77
Figura 4.61	- Valores e isoietas da precipitação total das 24 horas (12:00 GMT de 14/05/76 às 15:00 GMT de 15/06/75) sobre o NEB.....	78
Figura 4.62	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 850 mb para o dia 15/05/76 às 12:00 GMT.....	79
Figura 4.63	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 700 mb para o dia 15/05/76 às 12:00 GMT.....	79
Figura 4.64	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 500 mb para o dia 15/05/76 às 12:00 GMT.....	80
Figura 4.65	- Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 300 mb para o dia 15/05/76 às 12:00 GMT.....	80

Figura 4.66 - Campo da velocidade vertical suavizada e ajustada em 200 mb para o dia 15/05/76 às 12:00 GMT.....	81
Figura 4.67 - Campo da divergência horizontal do vapor d'água em 850 mb para o dia 15/05/76 às 12:00 GMT.....	81
Figura 4.68 - Campo da divergência horizontal do vapor d'água em 700 mb para o dia 15/05/76 às 12:00 GMT.....	82
Figura 4.69 - Campo da divergência horizontal do vapor d'água em 500 mb para o dia 15/05/76 às 12:00 GMT.....	82
Figura 4.70 - Campo do fluxo vertical em 700 mb para o dia 15/05/76 às 12:00 GMT.....	83
Tabela 3.3.1 - Relação das estações de radiossondagens usadas no trabalho.....	17

SUMARIO

	Página
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - REVISAO BIBLIOGRAFICA.....	5
3 - DADOS E METODOLOGIA.....	8
3.1 - Escolha dos períodos de estudo.....	8
3.2 - Dados de altitude.....	9
3.3 - Formulação Teórica.....	9
3.3.1 - Divergência Horizontal.....	9
3.3.2 - Movimento vertical.....	11
3.3.3 - O fluxo de vapor d'água	12
3.3.3.1 - Divergência horizontal do transporte de d'água	13
3.3.3.2 - Fluxo vertical de umidade.....	13
4 - RESULTADOS E DISCUSSOES.....	18
4.1 - Período de 16 a 20 de junho de 1975.....	18
4.1.1 - Dia 16/06/75.....	19
4.1.2 - Dia 17/06/75.....	20
4.1.3 - Dia 18/06/75.....	21
4.1.4 - Dia 19/06/75.....	23
4.1.5 - Dia 20/06/75.....	24
4.2 - Período de 11 a 15 de maio de 1976.....	25
4.2.1 - Dia 11/05/76.....	26

4.2.2 - Dia 12/05/76.....	28
4.2.3 - Dia 13/05/76.....	29
4.2.4 - Dia 14/05/76.....	30
4.2.5 - Dia 15/05/76.....	32
5 - DISCUSSOES E CONCLUSOES.....	84
6 - REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	88

APENDICE

1 - INTRODUÇÃO

A Região Nordeste do Brasil (NEB), que abrange o chamado Polígono das Secas, está situada entre os meridianos de 35°W e 47°W e os paralelos de 1°S e 18°S. Sendo habitada por um terço da população brasileira, ou seja, aproximadamente 45 milhões de habitantes, sua área territorial é de cerca de $1,5 \times 10^6 \text{ km}^2$ o que representa cerca de 18% do território do Brasil (Figura 1.1).

O NEB possui uma grande variação interanual de precipitação e, em alguns anos, apresenta-se com condição de seca extrema. Isto é verdade especialmente na zona semi-árida que corresponde a 52% da Região, onde a precipitação total anual média em muitas localidades varia de 500 a 700 mm (KOUSKY, 1978), enquanto que a região costeira recebe mais de 2000 mm (STRANG, 1972). A seca, como um dos mais sérios problemas do NEB, traz consequências econômicas e sociais muito graves. Quanto às econômicas, a seca provoca perda parcial ou total da produção agrícola, castiga a pecuária e desorganiza toda a estrutura desses setores primários da economia. Quanto às sociais, temos o deslocamento de grandes frações da população, principalmente dos trabalhadores rurais empregados ou arrendatários, às vezes chegando mesmo a provocar o deslocamento de pequenos proprietários.

MOURA E MOLION (1976) constataram a baixa taxa de precipitação sobre o chamado Polígono das secas, em contraste com o que ocorre na Amazônia na mesma faixa latitudinal. Em média, 4 meses do ano são excessivamente secos no NEB. Existe enorme divergência do fluxo de vapor d'água sobre a região,

indicando que, potencialmente, a atmosfera local seria capaz de evaporar uma quantidade maior de água do que a precipitação que ocorre na região.

A precipitação no NEB é influenciada por diferentes mecanismos da circulação atmosférica, tais como: a circulação de Hadley associada à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); sistemas frontais; ondas de leste; brisas; e ciclones na alta troposfera. Esses mecanismos podem ser alterados pela orografia e condições de solo e vegetação. Em alguns casos, as secas no NEB são relacionadas com anomalias oceano-atmosfera de larga escala, por exemplo, o fenômeno EL NINO/OSCILAÇÃO do SUL (ENOS). Alguns eventos ENOS chegam a durar quase dois anos (fase negativa de Oscilação do Sul) coincidindo com as secas no NEB. Por outro lado, existem secas que se estendem por três ou quatro anos, não totalmente relacionadas com fenômeno ENOS.

Estudos anteriores procuraram mostrar a estrutura média da atmosfera sobre o NEB durante períodos contrastantes de precipitação e estiagem, com base em médias mensais (MARQUES, 1981; ARAUJO, 1982; DI PACE, 1984; RATHOR et alii, 1983). MEDEIROS (1990) realizou um trabalho que apresentou a evolução da estrutura física dos sistemas numa base diária, embora sem apresentar a distribuição espacial diária dos parâmetros calculados, ou seja, fluxo de vapor d'água, divergência horizontal do vapor d'água e água precipitável.

Os fenômenos de transporte de vapor d'água e energia dos sistemas que provocam precipitação no NEB ainda não foram totalmente avaliados. Com o objetivo de um melhor entendimento desses fenômenos, foram estudados períodos contrastantes em termos de precipitação, ou sejam, um período de seca extrema e um período de chuva intensa, onde para cada período foram escolhidos cinco dias.

A finalidade básica deste trabalho é avaliar a divergência horizontal do vapor d'água e o fluxo vertical de umidade, numa área delimitada do NEB, utilizando-se dados de rádio-sondagem para o horário sinótico das 12:00 TMG, em períodos secos e chuvosos, procurando fazer um estudo diagnóstico dos sistemas sinóticos que provocaram ou inibiram precipitação nos períodos relacionados.

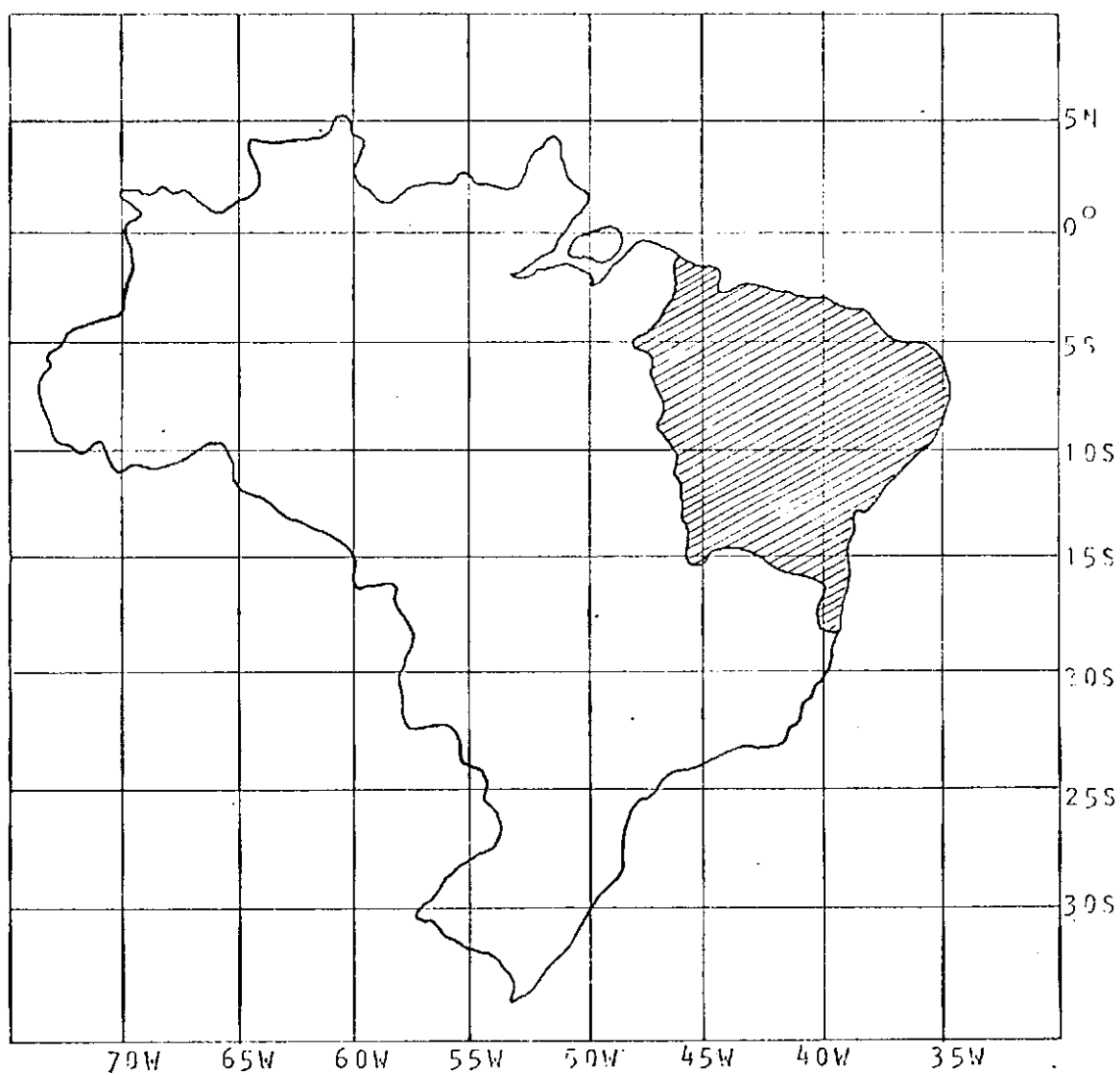


Fig. 1.1 - Localização da Região Nordeste do Brasil.

2 - REVISAO BIBLIOGRAFICA

Revisamos neste capítulo alguns trabalhos relacionados com os sistemas meteorológicos e climáticos que influenciam a precipitação no NEB. Centenas de artigos têm sido escrito sobre o assunto. No entanto, vamos nos restringir àqueles mais diretamente ligados ao assunto da pesquisa.

ARAGAO (1975) afirmou que, durante os períodos de seca não há falta de umidade nos baixos níveis da troposfera, mas inexistente um mecanismo dinâmico capaz de provocar movimentos ascendentes que tenha como resultado formação de nuvens suficientemente desenvolvidas para produzir a precipitação.

GOMES FILHO (1979), procurando prováveis causas locais como explicação do clima semi-árido, estudou as influências do albedo superficial e da orografia nos mecanismos geradores de precipitação no NEB. Ele mostrou que a orografia e também o albedo induzem velocidade vertical descentente, com máximo localizado exatamente sobre a zona semi-árida da Região.

MARQUES (1981), analisando o fluxo de vapor d'água sobre a atmosfera do NEB durante o período de 1971-1978, conclui que durante a estação chuvosa (março-abril-maio) há uma importação de vapor d'água em baixos níveis e exportação em altos níveis, estimulando a precipitação. Durante a estação seca (setembro-outubro-novembro), há uma exportação de vapor em baixos níveis e importação em altos níveis, provando a seca. No entanto, nos meses secos e chuvosos a atmosfera sobre o NEB possui valores de umidade específica praticamente idênticos.

ARAÚJO (1982), analisando o comportamento do vapor d'água sobre o NEB para o ano de 1975, observou que os valores elevados de água precipitável foram condição necessária, mas não suficiente, para provocar valores altos de precipitação. Os aspectos sinóticos e possivelmente orográficos que originam movimentos verticais na atmosfera também devem ser considerados.]

DI PACE (1984), estudando o campo de vapor d'água, seu transporte e sua divergência para a atmosfera sobre o Brasil concluiu que as isolinhas de água precipitável mostraram um gradiente significativo sobre o NEB e seu litoral leste, apresentando uma configuração do tipo "cavado", com eixo localizado na direção nordeste-sudoeste, com valores menores de água precipitável localizados mais a sudoeste. O eixo desse cavado localiza-se sobre o chamado Polígono das secas e é constante com a acentuada deficiência de precipitação observada no NEB.

RAO e MARQUES (1984) realizaram um estudo das características do vapor d'água sobre o NEB em dois anos contrastantes, 1974 e 1976, escolhidos como anos chuvoso e seco, respectivamente. Eles observaram que a diferença da água precipitável entre os dois anos era muito pequena e que esta diferença também era pequena da estação seca para estação chuvosa. Contudo, observaram que a "eficiência de precipitação" (a razão entre a precipitação média diária e a quantidade de água precipitável) era encontrada nas regiões costeiras e que esta eficiência cai do ano de 1974 para o ano de 1976. Por outro lado, a menos eficiente era encontrada no interior da região do NEB, pois esta região apresentou precipitação inferior à região costeira. Todavia, notaram que o vapor d'água em ambos anos penetrava do lado leste e saía do lado oeste da região descartando a possibilidade da região Amazônica ser a fonte de vapor d'água para o NEB e concluíram que o vapor de água sobre o NEB deve ser proveniente, principalmente, do oceano Atlântico Sul.

CAVALCANTI (1986) procurou diagnosticar os aspectos energéticos da atmosfera sobre o NEB para o ano de 1986. Ele concluiu que a atmosfera sobre o NEB comportou-se como fonte de energia latente, e consequentemente como fonte de vapor d'água, no mês seco (março) e normal (janeiro) e como sumidouro no mês chuvoso (fevereiro) do ano estudado.

MEDEIROS (1990), avaliando o comportamento do vapor d'água sobre o NEB para os meses de dezembro de 1977 (chuvoso), março de 1978 (relativamente seco) e junho de 1978 (normal), concluiu que o conteúdo d'água precipitável e o transporte de vapor d'água são mais favoráveis à precipitação no período noturno. O fluxo de vapor d'água de nordeste é a condição mais propícia à precipitação no mês de março, fluxo de vapor d'água de nordeste-norte-noroeste favorece a ocorrência de chuvas em dezembro enquanto que outros fatores parecem influenciar a precipitação em maio.

3.1- ESCOLHA DOS PERIODOS DE ESTUDO

O critério utilizado para a escolha dos períodos em estudo (seco e chuvoso) e os dados de precipitação pluviométrica usados neste trabalho são os que constam no estudo realizado por Sobral et alii (1986).

Selecionou-se 249 postos pluviométricos do NEB com séries de dados diários maiores que 10 anos até o ano de 1978 (APENDICE A). Estes dados foram gentilmente cedidos pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e a distribuição dos postos pluviométricos é apresentada na Figura 3.1.

Define-se para a escolha dos períodos secos e chuvosos o seguinte critério: um mês é considerado chuvoso (seco) quando mais de 70% dos postos pluviométricos do NEB apresentam total mensal de precipitação acima (abaixo) da média climatológica. Nestes termos, o mês de junho de 1975 foi considerado chuvoso e o mês de maio de 1976 como seco.

Após esta primeira separação entre meses secos e chuvosos, selecionou-se através das cartas de precipitação diárias os cinco dias mais chuvosos (16-20 de junho de 1975) e os cinco dias mais secos (11-15 de maio de 1976), onde para ambos casos foram dias consecutivos.

3.2 - DADOS DE ALTITUDE

9

Para realizar este estudo foram utilizados dados de direção e velocidade do vento, obtidos através de radiossondagens realizadas diariamente no horário sinótico das 12:00 TMG para os níveis padrão de 850, 700, 500, 300 e 200mb. Estes parâmetros foram analisados subjetivamente e extraídos em pontos de grade (2.5 graus de latitude por 2.5 graus de longitude, 2.5° x 2.5°), numa área que se estende entre os paralelos de 0°N e 20°S e meridianos de 32,5°W e 60,0°W (SOBRAL et alii, 1986).

Os dados de umidade relativa e temperatura para os mesmos níveis padrão foram obtidos de maneira idêntica.

A Tabela 3.1 mostra a relação das estações de radiossondagens usadas, e cuja distribuição se encontra na Figura 3.2

3.3 - FORMULAÇÃO TEORICA

3.3.1 - DIVERGENCIA HORIZONTAL

O cálculo da divergência levando em conta a convergência dos meridianos pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$\nabla_{\vec{p}} \cdot \vec{V}_H = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{v}{a} \operatorname{tg} \phi \quad (3.1)$$

onde: u = componente zonal do vento horizontal;
 v = componente meridional do vento horizontal;
 a = raio médio da terra (6370 km);
 ϕ = latitude;
 λ = longitude;
 g = constante gravitacional.

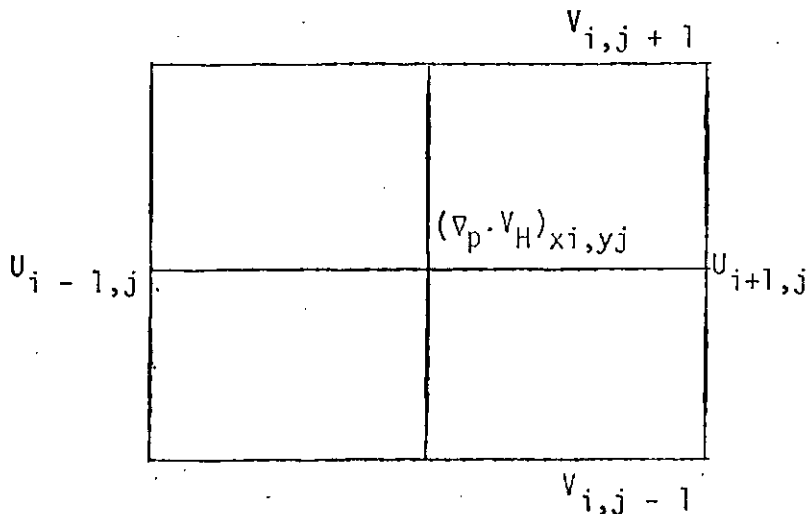
Considerando que o estudo foi realizado para uma região em latitudes baixas, o termo devido a convergência dos meridianos ($v/a \operatorname{tg} \phi$) pode ser desprezado, sem erro apreciável. Assim, a equação (3.1) reduz-se à expressão seguinte, cuja unidade é s^{-1}

$$\nabla_p \cdot \vec{V}_H = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad (3.2)$$

Aplicando o método das diferenças finitas na equação (3.2) com as componentes zonal $U(i,j)$ e meridional $V(i,j)$ e usando-se uma grade com $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ (0° - 20° S e 32.5° W - 60° W) a equação (3.2) pode ser expressa da seguinte forma:

$$\nabla_p \cdot \vec{V}_H = \left[\frac{U_{(i+1,j)} - U_{(i-1,j)}}{\cos \phi} + (V_{(i,j+1)} - V_{(i,j-1)}) \right] \times 9 \cdot 10^{-7} s^{-1} \quad (3.3)$$

A equação (3.3) pode ser avaliada conforme o seguinte esquema



- Esquema que representa a forma de discretização para o cálculo da divergência num ponto de grade.

Para eliminar a contribuição da pequena escala no valor da divergência horizontal, foi utilizada a sugestão dada por ARAGAO (1975), que consiste na suavização das componentes zonal e meridional do vento, da seguinte maneira:

$$U_{(i,j)_s} = \frac{1}{2} U_{i,j} + \frac{1}{8} (U_{i+1,j} + U_{i,j+1} + U_{i-1,j} + U_{i,j-1}) \quad (3.4)$$

$$V_{(i,j)_s} = \frac{1}{2} V_{i,j} + \frac{1}{8} (V_{i+1,j} + V_{i,j+1} + V_{i-1,j} + V_{i,j-1}) \quad (3.5)$$

Onde: $U_{(i,j)_s}$ = componente zonal suavizada;
 $V_{(i,j)_s}$ = componente meridional suavizado

3.3.2 - Movimento Vertical

A equação da continuidade em coordenadas isobáricas pode ser escrita na seguinte forma:

$$\frac{\partial \omega}{\partial p} = - \nabla_p \cdot \vec{V}_H \quad (3.6)$$

$$\nabla_p \cdot \vec{V}_H = \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)_p = D \quad (3.7)$$

Integrando a equação 3.6 do Nível p_0 até p_k obtemos:

$$\omega_k = \omega_0 - \int_{p_0}^{p_k} D \, dp \quad (3.8)$$

Pode-se escrever a equação 3.8 em termos de diferenças finitas Onde K representa os níveis atmosféricos.

$$\omega_k = \omega_0 - \sum_{i=0}^k D_i \Delta p_i \quad (3.9)$$

Como condição de contorno tomamos na equação (3.9) $w_{sup} = 0$ e, para assegurar a conservação da massa, w_e em (100 mb) deve ser nulo. Consequentemente, a velocidade vertical decresce nos altos níveis. Isto pode ser garantido se a divergência for ajustada. O ajuste é obtido ao se calcular a divergência média da atmosfera desde a sua base até o topo, e subtrair-se este valor da divergência calculada em cada nível. Além dos níveis padrões de pressão, foram utilizados os níveis intermediários de 775 mb, 600 mb, 400 mb, e 250 mb como mostra a Figura 3.3 (ARAGÃO 1975).

3.3.3 - O FLUXO DE VAPOR D'ÁGUA

A variação da umidade específica por unidade de massa pode ser expressa por:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\partial q}{\partial t} + \nabla_H \cdot q\vec{V} + \frac{\partial q\omega}{\partial p} \quad (3.10)$$

onde: $\frac{\partial q}{\partial t}$ é a taxa de variação local da umidade específica

$\nabla_H \cdot q\vec{V}$ é a divergência horizontal do transporte do vapor d'água

$\frac{\partial q\omega}{\partial p}$ é o fluxo vertical de umidade

3.3.3.1 - DIVERGENCIA HORIZONTAL DO TRANSPORTE DE VAPOR D'AGUA

O cálculo da divergência horizontal do transporte de vapor d'água pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$\nabla_H \cdot q\vec{V} \quad (3.11)$$

Onde: qu é o transporte zonal

qv é o transporte meridional

Essa divergência foi calculada nos níveis padrão de 850, 700 e 500 mb.

3.3.3.2 - FLUXO VERTICAL DE UMIDADE

O cálculo do fluxo vertical de umidade em cada ponto de grade foi obtido pelo seguinte conjunto de equações:

- Nível de 700 mb

$$\left[\frac{\Delta(q\omega)}{\Delta P} \right]_{700} = \frac{q_{500} \omega_{500} - q_{850} \omega_{850}}{350} \quad (3.12)$$

- Nível de 500 mb

$$\left[\frac{\Delta(q\omega)}{\Delta P} \right]_{500} = \frac{q_{300} \omega_{300} - q_{700} \omega_{700}}{400}$$

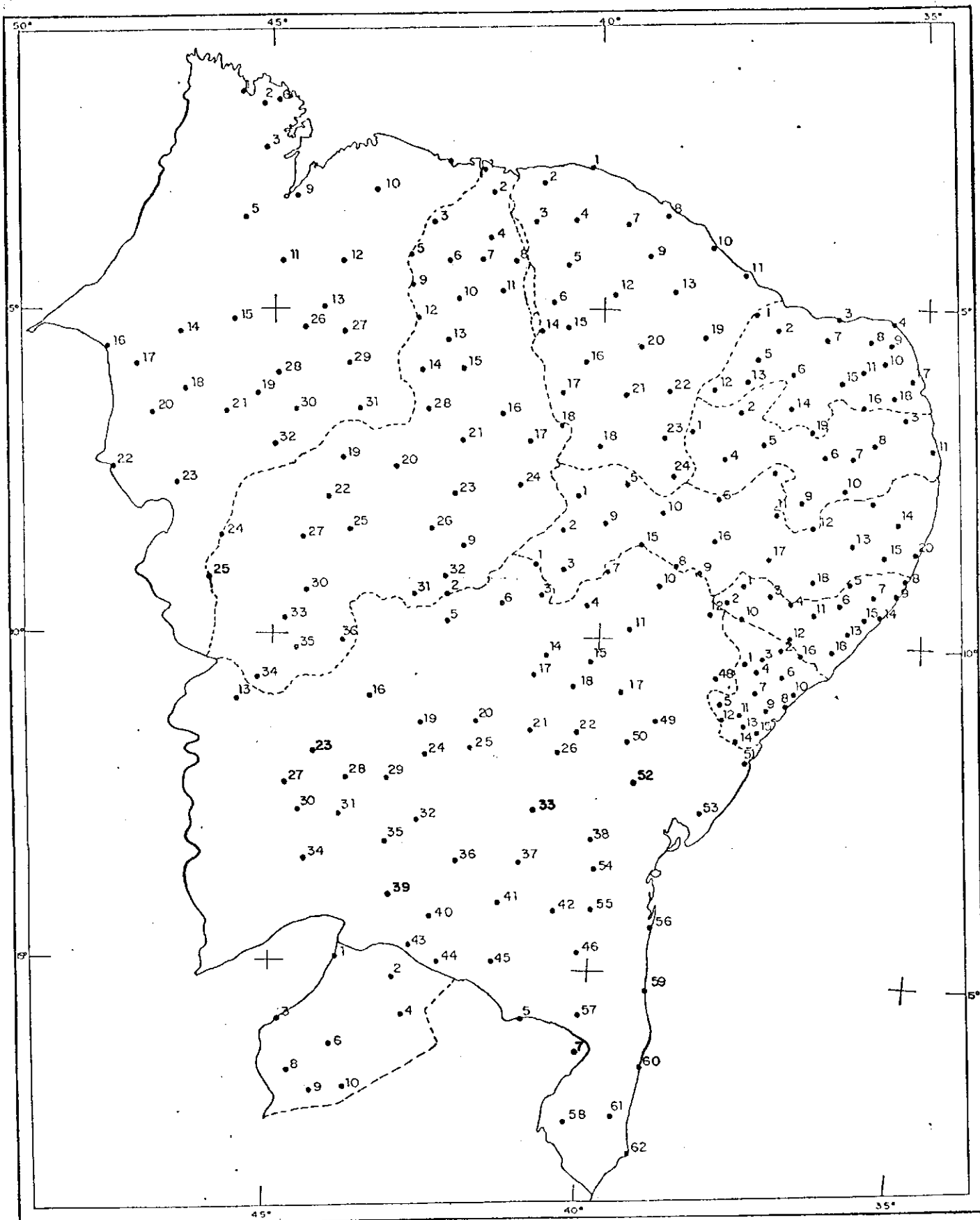


FIG. 3.1 - DISTRIBUIÇÃO DOS POSTOS DO N.E.B.
 O Apêndice A fornece informações diárias sobre
 os postos pluviométricos.



Fig. 3.2 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE RADIOSSONDAGEM UTILIZADAS.
- OS NÚMEROS SÃO OS MESMOS DA TABELA 3.1.

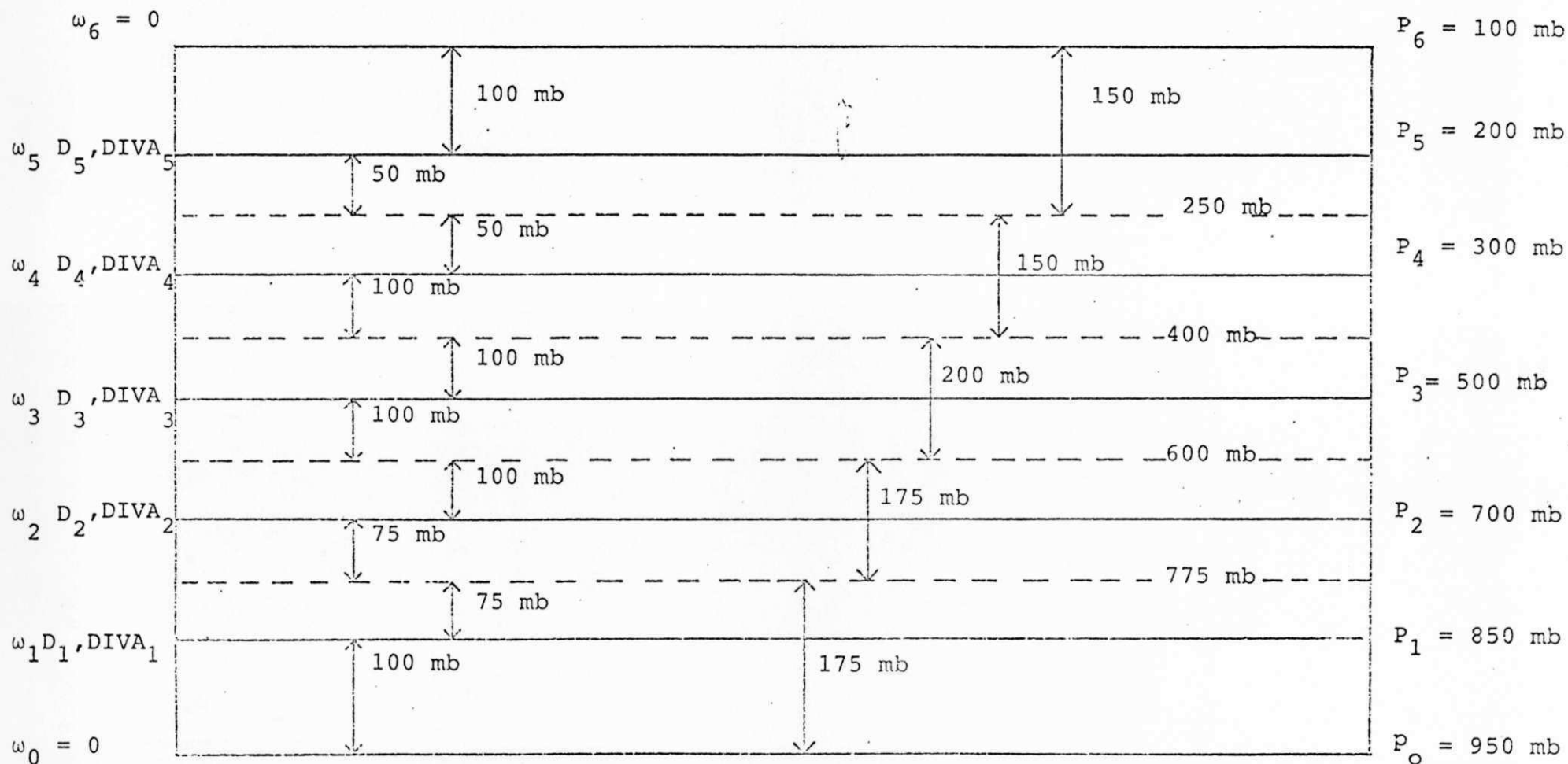


Fig. 3.3 - Discretização da coluna atmosférica para o cálculo do movimento vertical.

FONTE: ARAGÃO (1975).

TABELA 3.1 - ESTAÇÕES DE RADIOSSONDAGENS UTILIZADAS

Nº DE ORDEM	Nº SINÓTICO	EST A Ç Ã O	LATITUDE (S)		LONGITUDE (W)		ELEVAÇÃO (metros)
			(°	')	(°	')	
01	82 193	Belém	1	27	48	28	5
02	82 280	São Luis	2	32	44	17	51
03	82 332	Manaus	3	08	60	01	65
04	82 397	Fortaleza	3	46	38	36	26
05	82 400	Fernando de Noronha	3	51	32	25	45
06	82 599	Natal	5	39	35	15	49
07	82 678	Floriano	6	46	43	01	123
08	82 765	Carolina	7	20	47	28	193
09	82 900	Recife	8	03	34	55	7
10	82 983	Petrolina	9	23	40	29	370
11	83 229	Salvador	13	00	38	31	45
12	83 288	B. Jesus da Lapa	13	16	43	25	440
13	83 377	Brasília	15	47	47	56	1 158
14	83 498	Caravelas	17	44	39	15	3
15	83 611	Campo Grande	20	27	54	37	600
16	83 650	Trindade	20	30	29	10	

4 - RESULTADOS E DISCUSSOES

4.1 Período de 16 a 20 de junho de 1975

O período chuvoso de 16 a 20 de junho de 1975 foi escolhido dentre outros pelo fato de junho ser o mês central do trimestre chuvoso do litoral leste do NEB. Sabe-se que pelo menos três sistemas da circulação atmosférica atuam nessa parte da região durante o período maio a agosto: sistemas frontais, sistemas de brisa e ondas de lestes. No caso do período estudado, as chuvas foram provocadas principalmente pela penetração de um sistema frontal proveniente das latitudes médias do sul. A Figura 4.1 mostra o desvio da precipitação para este período com relação à média de longo período.

Fazendo uma retrospectiva desse período, a partir das fotos de satélites disponíveis, notamos que uma frente fria que penetrou no sul da região 'Nordeste no dia 8/6/75 atuou organizando a convecção em todo o período anterior. Nesse período de 11 a 16 de junho, houve também a aproximação à partir do dia 11 de um sistema de aglomerado de nebulosidade que se formou sobre o oceano e se deslocou para leste atingindo a costa no dia 15. Nesse mesmo dia, outra frente fria proveniente do sul, atingiu o extremo sul do NEB, provocando a formação de uma linha de instabilidade sobre a região.

Descreve-se agora as características e estrutura do sistema que atuou na região organizando a convecção e produzindo precipitação no período de 16 a 20 de junho.

A Figura 4.2 mostra a imagem visível das 15:00 GMT do satélite GOES-ESTE do dia 16/6/75. A banda de nebulosidade sobre a região Nordeste cobre todo o litoral leste desde o Rio Grande do Norte até o sul da Bahia penetrando até 400 km região adentro. Como já mencionado anteriormente, essa nebulosidade foi provocada pela penetração de um frente fria, do deslocamento de um sistema de leste e, possivelmente, ainda intensificada pela brisa marítima.

A Figura 4.3 mostra os valores e as isoietas da precipitação total de 24 horas no período compreendido entre às 12:00 GMT do dia 15 até às 12:00 GMT do dia 16 de junho de 1975. Nesse período de 24 horas, as chuvas concentraram-se ao longo do litoral entre Salvador e o norte de Alagoas com total máximo de 103 mm. Houve chuvas esparsas em outras localidades.

A estrutura do movimento vertical de larga escala é mostrada nas Figuras 4.4 a 4.6 que representam a velocidade vertical suavizada e ajustada dos níveis de 850, 500 e 300 mb, respectivamente. O campo do movimento vertical é consistente com as áreas de nebulosidade e precipitação já mencionadas, ou seja, é ascendente na parte leste-nordeste do NEB e descendente a sudoeste, embora existe uma inclinação de nordeste para sudoeste à medida que se desloca da baixa para a alta troposfera. Os valores máximos de movimentos ascendentes foram encontrados no nível de 300 mb (Fig. 4.6), sobre o noroeste do Piauí não coincidindo, portanto, com a região de máxima precipitação.

Com relação ao campo da divergência horizontal do vapor d'água, o nível que mostra mais consistência com o campo de precipitação é o nível de 700 mb onde a parte leste do NEB apresenta valores negativos. Também, assim como o campo de

movimento vertical, existe uma inclinação nordeste-sudoeste com altura desde o nível de 850 mb até 500 mb. O nível que apresenta os valores mais elevados é o de 850 mb. Essas configurações podem ser vistas nas Figuras 4.7, 4.8 e 4.9.

O campo de fluxo vertical de umidade na troposfera inferior mostra valores de fluxo ascendente na parte nordeste do NEB, do Piauí até Sergipe, não coincidindo com a precipitação concentrada no litoral leste no período anterior (Fig. 4.3), mas coincide com a precipitação que ocorreu no período posterior (Fig. 4.12). A Figura 4.10 representa esse campo no nível de 700 mb. O campo no nível de 500 mb é muito semelhante.

4.1.2 DIA 17/06/75

A imagem visível do satélite GOES-ESTE do dia 17/06/75 às 15:00 GMT é mostrada na Figura 4.11. As imagens anteriores a esse horário (não mostradas aqui) apresentaram um deslocamento, para o sul de uma banda de nebulosidade oriunda da ZCIT ao norte. Essa banda pode ser vista ao norte da região, separada da nebulosidade provocada pela frente fria cuja banda de nebulosidade é bem visível sobre o litoral leste e o oceano.

Os valores e isoletas de precipitação total do período de 12:00 GMT do dia 16/06/75 até às 12:00 GMT do dia 17/06/75 são mostrada na Fig. 4.12. Três áreas principais de chuva aparecem nessa carta: uma em volta de São Luís, no Maranhão; a segunda cobrindo parte do litoral do Ceará e Rio Grande do Norte; e a terceira, de Salvador até parte da região central de Alagoas.

As chuvas na primeira e segunda área foram provocadas possivelmente por nebulosidade oriunda da ZCIT. As chuvas da terceira área foram devida principalmente ao sistema frontal.

As distribuições do movimento vertical nos cinco níveis (850, 700, 500, 300 e 200 mb) são muito semelhantes, apresentando movimento ascendente na parte sudoeste do NEB e descendente nas regiões onde ocorreram precipitação. A Fig. 4.13 mostra o movimento vertical no nível de 500 mb.

O campo da divergência horizontal do transporte de vapor d'água dos níveis de 850 mb, 700 mb e 500 mb é mostrado nas Figuras 4.14, 4.15 e 4.16, respectivamente. No nível de 500 mb a área coberta por convergência de vapor d'água ao longo do litoral coincide com as áreas de precipitação observada. No entanto, nos níveis mais baixos da troposfera, há coincidência da precipitação oriunda da nebulosidade da ZCIT (máxima de 62 mm no Rio Grande do Norte) no nível de 850 mb, enquanto que a coincidência da precipitação associada à frente fria (máximo de 63 mm em Sergipe) se dá no nível de 700 mb.

O fluxo vertical da umidade não mostra coincidências entre o campo de precipitação e a ascensão do vapor d'água como pode ser visto nas Fig. 4.17.

4.1.3 DIA 18/06/75

A imagem visível GOES-ESTE para o dia 18/06/75 às 15:00 GMT é vista na Fig. 4.18. As várias fotos do período anterior de 24 horas mostraram o deslocamento para oeste do sistema da ZCIT mencionado na descrição do dia 17/06/75. Esse sistema se moveu ao longo do litoral norte e aumentou substancialmente a nebulosidade sobre a Amazônia. Na Figura 4.18 podemos ainda ver a nebulosidade cobrindo grande parte do litoral do nordeste, oceano e interior da região, nebulosidade esta provocada em grande parte pelo sistema frontal. Nota-se que a nebulosidade associada ao sistema frontal sobre o litoral leste e

áreas oceânicas está dividida em três bandas principais, duas delas atingindo o NEB. Nessa figura, a Amazônia apresenta-se quase completamente encoberta por nebulosidade.

A precipitação total do período das 12:00 GMT do dia 17 às 12:00 GMT do dia 18 pode ser vista na Fig. 4.19. Praticamente todo o litoral da região apresenta precipitação com exceção de algumas áreas ao longo do litoral leste e norte do Piauí e metade do norte do Maranhão. A precipitação do litoral pode ser quase na sua totalidade associada às duas bandas do sistema frontal. As chuvas desse período foram bastante forte com a precipitação total atingindo valores de mais de 20 mm em 21 pontos, dentre aproximadamente 300 estações.

O mapa de movimento vertical no nível padrão de 700 mb é mostrado na Figura 4.20. De um modo geral a área de movimento ascendente cobre a metade norte da região nesse e nos demais níveis. Essa área de movimento ascendente se prolonga para sudoeste cobrindo os estados de Tocantins, Goiás (norte) e Mato Grosso do Norte. O movimento descendente é mais concentrado na metade leste da Bahia. Em geral, existe uma boa concordância com os valores de precipitação do período anterior (Fig. 4.12), com exceção das chuvas ocorridas no leste da Bahia. A concordância é ainda melhor com a precipitação ocorrida no período posterior (Fig. 4.24).

A Fig. 4.21 representa o campo de divergência horizontal do transporte de vapor d'água no nível de 850 mb. O campo nesse nível mostra uma correspondência quase perfeita com as áreas de precipitação, ou seja, as áreas com convergência de vapor d'água coincidem com a precipitação total do período de 24 horas do horário das 12:00 GMT do dia 18/06/75. (Fig. 4.19). Nos demais níveis (700 mb e 500 mb) existe boa concordância com a precipitação.

O fluxo vertical de umidade se assemelha ao do movimento vertical nos níveis de 850 e 700 mb. O fluxo ascendente cobre a metade norte da região nos dois níveis. A Fig. 4.22 representa o transporte vertical no nível de 500 mb. O transporte ascendente nesse nível se prolonga para sudoeste.

4.1.4 DIA 18/06/75

A foto de satélite GOES-ESTE das 15:00 GMT desse dia (Fig.4.23) revela uma cobertura de nebulosidade sobre praticamente todo o nordeste. Bandas de nebulosidade podem ser vistas sobre o Oceano Atlântico a leste do NEB e são associadas com o sistema frontal. Ainda próximo da África, observa-se um sistema de onda de leste (V invertido) localizado no eixo da ZCIT. Grande parte da Amazônia continua encoberta.

A precipitação total do período de 24 horas entre às 12:00 GMT de 18/06/75 às 12:00 GMT de 19/06/75 (Fig.4.24) mostra-se diferente dos totais dos períodos anteriores. Embora os maiores valores de precipitação ainda tenham sido coletados no litoral leste, observa-se que houve uma interiorização das chuvas. As chuvas no litoral leste foram extremas. Em Alagoas, foram registrados totais de 12 mm, 16 mm, 40 mm, 42 mm, 46 mm, 50 mm, 51 mm, 52 mm, e 124 mm em 9 pontos diferentes, tendo chovido forte em todo o estado. Precipitação também foi registrada no norte da Bahia, todo o estado de Sergipe, grande parte de Pernambuco (excluído os sertões), litoral e sertão da Paraíba, litoral do Rio Grande do Norte, leste do Ceará, e pontos isolados do Ceará, Piauí e Maranhão.

As configurações do movimento vertical dos níveis padrão (500 e 200 mb) podem ser vistas nas Figs. 4.25, 4.26. Os três primeiros níveis (850, 700, e 500 mb) revelam um padrão

semelhante, onde o movimento vertical ascendente é encontrado partindo do litoral nordeste da Bahia, adentrando a região no sentido sudeste-noroeste. Nos dois outros níveis, o movimento ascendente se concentra a leste da região. Em geral, o campo mostra uma correspondência razoável com as áreas de precipitação do período anterior (Fig. 4.19) e período posterior (Fig.4.30).

A Fig. 4.27 mostra a divergência horizontal do transporte de vapor d'água no nível de 700 mb onde pode ser observado divergência em praticamente toda região com exceção de duas áreas no litoral norte e leste. Os níveis de 850 e 500 mb também mostram divergência em quase toda a região.

O fluxo vertical de umidade em 700 mb (Fig. 4.28) mostra semelhanças com o nível de 500 mb. O fluxo é ascendente numa área orientada no sentido sudeste-noroeste desde o litoral da Bahia até o centro do Maranhão, coincidindo mais com a precipitação total do período posterior. (Fig. 4.30).

4.1.5 DIA 20/06/75

As fotos de satélites do GOES-ESTE durante o período de 24 horas anterior ao horário das 12:00 GMT de 20/06/91, mostram o deslocamento do sistema de onda de leste ao longo da ZCIT com a configuração da nebulosidade em forma de V invertido ao norte e um conglomerado de nuvens mais próximo do NEB ao sul. Grande parte do Nordeste continua coberta com nebulosidade baixa, e bandas de nebulosidade associadas ao sistema frontal se encontram sobre o oceano (Fig.4.29).

A Fig. 4.30 mostra os totais de precipitação do período das 12:00 GMT do dia 19/06/75 às 12:00 GMT do dia 20/06/75. O litoral leste (de Ilhéus até o norte de Alagoas), uma

parte central da região (Sudeste do Ceará, sertões de Pernambuco, e parte do norte da Bahia), noroeste do Ceará e norte do Piauí e área ao redor de São Luís, mostram precipitação. As chuvas mais fortes ocorreram no extremo nordeste da Bahia e estado de Sergipe, alcançando um valor máximo de 83 mm nas 24 horas.

O campo do movimento vertical deste dia pode ser visto na Figura 4.31 para o nível padrão de 500 mb. O movimento vertical ascendente coincide nos cinco níveis com as áreas de precipitação do período de 24 horas anterior às 12:00 GMT. (Fig. 4.30) , ou seja, o movimento é ascendente em todo o norte e parte leste da região.

A Figura 4.32, representa a divergência horizontal do transporte de vapor d'água no nível de 700 mb. Em geral, o transporte de vapor d'água é divergente em toda a região inclusive nos níveis de 850 mb e 500 mb.

O fluxo vertical de umidade no nível de 700 mb (Fig. 4.33) é ascendente em todo o Nordeste. O mesmo acontece no nível de 500 mb embora os valores sejam ainda menores.

4.2 - Período seco de 11 a 15 de maio de 1976.

Maio é o último mês do trimestre mais chuvoso da região semi-árida nordestina. Os principais mecanismos que provocam precipitação nesse mês são a ZCIT, os sistemas frontais, as ondas de leste, e os sistemas de brisa. O período em estudo é considerado um dos mais secos dos últimos vinte anos, considerando-se que ocorreu durante o período chuvoso do NEB. A Figura 4.34 mostra o desvio da precipitação para este período, com relação à média de longo tempo.

As chuvas que ocorreram na semana anterior (de 4/5/76 a 10/5/76) se concentraram no litoral leste do NEB e estado do Maranhão (91 mm foram registrados na parte central do Maranhão, no dia 5/5/76). Nesse mesmo dia outras chuvas produziram totais de 62 mm (norte do Rio Grande do Norte), 31 mm e 30 mm (nordeste da Bahia), 26 mm (noroeste do Ceará) e 22 mm (sudeste da Bahia). Desse dia até o dia 10, as chuvas foram diminuindo.

Com respeito aos sistemas meteorológicos que atuaram nesse período, anterior ao nosso período de estudo, verifica-se uma atividade convectiva muito intensa no Atlântico Norte que provavelmente foi devida a penetração de sistemas frontais do Hemisfério Norte até as latitudes equatoriais.

E muito provável que essa influência do outro hemisfério tenha contribuído para evitar a formação de sistemas meteorológicos que pudessem provocar precipitação sobre o NEB. Como exemplo, a Fig. 4.35 mostra a imagem do GOES-ESTE no infravermelho para às 23:00 GMT do dia 4/5/76. Nela, podemos ver a forte banda de nebulosidade sobre o interior da região Nordeste e uma intensa banda de nebulosidade sobre o Atlântico Norte cobrindo um vasta região no sentido sul-norte.

A seguir, descreve-se a situação encontrada no nosso período seco de estudo. É bastante provável que houve influência do Hemisfério Norte no sentido de bloquear às frentes provenientes do sul e de não permitir que a ZCIT atuasse sobre o Nordeste.

4.2.1 DIA 11/05/76

A Figura 4.36, mostra a foto visível do GOES-ESTE das 15:00 GMT do dia 11/05/76. A ZCIT está localizada afastada do NEB

ao norte do equador, apresentando-se como uma banda de nebulosidade inclinada em relação ao equador e se prologando da África até o norte do Brasil no sentido nordeste-sudoeste. No extremo sul do Brasil existe um sistema ciclônico de média latitude com uma banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste e penetrando até o Mato Grosso. Quase todo o Nordeste apresenta - se sem nebulosidade com exceção do norte do Maranhão e litoral leste da região. Essa nebulosidade localizada no litoral leste parece ter sido provocada por sistemas de brisa e causou precipitação em Alagoas, Sergipe e extremo sudeste da Bahia.

O mapa de precipitação total do dia 11/05/76 às 12:00 GMT é apresentado na Fig. 4.37. Nele, podemos ver as áreas onde ocorreram chuvas no período das 12:00 GMT do dia 10/5/76 às 12:00 GMT do dia 11/5/76.

O campo de movimento vertical é semelhante nos cinco níveis estudado. A metade norte do Nordeste apresenta movimento ascendente nesses cinco níveis, enquanto que a metade sul da região e os estados a sudoeste do NEB apresentam movimento descendente em quase todos os níveis. A Fig. 4.38 representa esse campo no nível de 700 mb.

A Fig 4.39 mostra a divergência horizontal do transporte de vapor d'água no nível de 850 mb. Nesse nível, existe convergência em duas áreas: a primeira abrangendo o norte do Maranhão, norte do Piauí quase todo o Ceará e oeste do Rio Grande do Norte; a segunda abrangendo o nordeste da Bahia, Sergipe e Alagoas. Essa última região apresenta precipitação no período anterior. as demais áreas e os estados a oeste e sudoeste apresentam divergência. Nos outros níveis (700 mb e 500 mb) a área coberta por divergência aumenta sobre a região Nordeste.

O fluxo vertical de umidade em 700 mb (Fig. 4.40) e

500 mb é ascendente em grande parte do norte do NEB com valores máximos no Ceará em 700 mb e sul do Piauí em 500 mb. No restante da região e a sudoeste da mesma, o padrão é de fluxo descendente. As poucas áreas com precipitação nos estados de Alagoas, Sergipe e Bahia não coincidem com as áreas de fluxo ascendente de midade.

4.2.2 DIA 12/05/75

A Fig. 4.41 mostra a imagem visível do GOES - ESTE das 15:00 GMT. A ZCIT está localizada tangenciando os estados ao norte do NEB. Na metade sul do NEB, duas linhas de nebulosidade cortam a região no sentido oeste-este, aproximadamente, e paralelas à ZCIT. A banda mais ao sul parece ter sido originada num sistema de latitudes médias localizado no extremo sul do país. No litoral leste (Alagoas e Sergipe), pode-se notar a presença de um conglomerado de nuvens que parece ter se desprendido da ZCIT. Essas suposições são feitas a partir da sequência de fotos de satélites do período anterior.

A cota do total de precipitação (Fig. 4.42) mostra uma região de precipitação nos estados de Sergipe e Alagoas, coincidindo com a nebulosidade mencionada no parágrafo anterior. O máximo de precipitação foi de 25 mm em Alagoas.

O movimento vertical mostra uma configuração que se semelhante nos três primeiros níveis (850, 700 e 500 mb), ou seja, o movimento é descendente em todo o NEB (veja Fig 4.43 como exemplo). Parte do Maranhão (300 mb e 200 mb) e sudeste da Bahia. (500 mb e 300 mb) apresentam movimento ascendente em áreas onde ocorreram precipitações esparsas no período anterior. A Fig. 4.44 representa o movimento vertical no nível de 300 mb.

No nível de 850 mb, (Fig.4.45), o campo de divergência horizontal do transporte de vapor d'água é completamente positivo em todo o NEB, enquanto que em 700 mb e 500 mb o campo é semelhante, embora existem pequenas áreas com convergência de vapor d'água.

O fluxo vertical de umidade mostra-se descendente na baixa troposfera 700 mb (Fig. 4.46) em todo o NEB. O mesmo é verdadeiro para a média troposfera 500 mb.

De uma modo geral, este dia de 12/05/76 foi o que apresentou os campos de larga escala mais coerentes com o campo de precipitação total do período passado. Em outras palavras, isso significa que a quase ausência de chuvas no NEB está associada com movimento vertical descendente (principalmente nos níveis de 850, 700 e 500 mb), valores positivos de divergência horizontal do transporte de vapor d'água (principalmente na baixa troposfera, 850 e 700 mb) e o fluxo vertical de umidade descendente (principalmente na baixa troposfera, 700 mb)

4.2.3 DIA 13/05/75

No dia 13/05/76 às 16:00 GMT, a imagem visível do GOES - ESTE (Fig. 4.47) apresenta a ZCIT bem deslocada, mais ao norte do NEB com relação ao dia anterior. Houve um avanço para nordeste do sistema de média latitude que esteve localizado no extremo sul do Brasil. Uma linha de nebulosidade continua na parte sul do NEB e Tocantins.

A carta de precipitação total deste dia, (Fig. 4.48) assemelha-se à posterior, (Fig. 4.54) onde verifica-se a ocorrência de chuvas esparsas no litoral (norte do maranhão, Sergipe e sudeste da Bahia).

O campo de movimento vertical para os níveis padrão apresenta-se com movimento descendente na metade nordeste do NEB e ascendente na metade sudoeste do NEB, isso em 850 mb (Fig.4.49). A medida que sobe-se na troposfera a área de movimento ascendente desloca-se mais para o centro do NEB até cobrir toda a região em 200 mb. (Fig.4.50).

A Figura 4.51 representa o campo da divergência horizontal do vapor d'água em 850 mb. Nesse nível, o campo é divergente sobre todo o NEB com exceção de grande parte do Ceará, grande parte do Piauí e pequenas partes do norte e sudeste da Bahia. Essa área de convergência aumenta em todas as direções no nível de 700 mb abrangendo praticamente todo o NEB. Já no nível de 500 mb o campo permanece divergente somente na parte norte do NEB.

A Figura 4.52 representa o fluxo vertical de umidade para 700 mb. Ele é semelhante no nível de 500 mb. Em ambos os níveis, aproximadamente, a metade nordeste do NEB tem fluxo descendente, enquanto que a metade sudoeste apresenta-se com fluxo ascendente.

4.2.4 DIA 14/05/76

As imagens do GOES-ESTE das 16:00 GMT do dia anterior até às 15:00 GMT do dia 14/05/76 mostram o deslocamento do sistema de média latitude que avançou do sul. A Fig. 4.53 é a imagem do GOES-ESTE às 15:00 GMT do dia 14. O sistema de média latitude atingiu o sul do NEB (Bahia) e a ITCZ continuou afastada da região, ao norte.

A precipitação total do período das 12:00 GMT do dia 13 às 12:00 GMT do dia 14 é mostrada na Fig. 4.54. Chuvas

ocorreram em alguns pontos isolados do litoral nordestino, principalmente no litoral leste, nos estados de Alagoas, Sergipe e sul da Bahia. Essas chuvas foram em grande parte provocadas pela penetração do sistema frontal.

Os mapas do movimento vertical dos cinco níveis (850, 700, 500, 300, e 200 mb) não mostram um padrão regular ao longo da troposfera. No nível de 850 mb a predominância é de movimento ascendente embora com valores próximos de zero. Em 700 mb (Fig. 4.55), o quadro é semelhante a 850 mb com a diferença de que movimentos descendentes, aparecem no norte do NEB entre o nordeste do Maranhão até o leste de Pernambuco. No nível de 500 mb (Fig. 4.56) o movimento ascendente máximo concentra-se no interior da região e o movimento vertical descendente vai do nordeste do Maranhão até Alagoas. A distribuição desse campo em 300 mb (Fig. 4.57) e 200 mb é semelhante nos dois níveis, mostrando movimento ascendente em quase todo o Maranhão, metade sul do Piauí e quase toda a Bahia, com movimento descendente no restante do NEB.

O campo de divergência horizontal de vapor d'água é apresentado na Figura 4.58 para o nível de 700 mb. Nesse nível, um máximo de convergência se desloca para o noroeste da Bahia e Sul do Piauí, enquanto que o leste da Bahia apresenta divergência. Valores de divergência são encontrados no Ceará, norte do Piauí, norte do Maranhão e sudoeste da Bahia. Em geral, o campo de divergência horizontal de vapor d'água, é semelhante nos dois outros níveis (850 e 500 mb), embora com algumas diferenças em pequenas áreas.

A Figura 4.59 representa o fluxo vertical de umidade em 700 mb. Nesse nível, a metade sudeste do NEB apresenta valores ascendentes. Em 500 mb a área coberta pelo fluxo ascendente diminui.

Em síntese, nesse dia, 14/05/76, os campos de movimento vertical, transporte horizontal de vapor d'água e fluxo vertical de umidade parecem coerentes com o campo de precipitação total do período anterior somente na área com chuvas do Estado de Sergipe e sul da Bahia, principalmente na baixa troposfera.

4.2.5 DIA /15/05/76

O sistema frontal proveniente do sul continuou organizando a nebulosidade no sul do NEB. A Fig. 4.60 (imagem no canal infravermelho do GOES-ESTE às 12:00 GMT) mostra a nebulosidade associada com esse sistema frontal no sul da Bahia e áreas oceânicas adjacentes, prologando-se também até o sul do Brasil, e mostra nebulosidade associada com a ZCIT ao norte do NEB.

O sistema frontal contribuiu para que o total de precipitação das 12:00 GMT do dia 15 (Fig. 4.61), atingisse valores de 31 mm numa área concentrada de precipitação no Estado de Sergipe. O sudeste da Bahia e outros poucos pontos isolados do NEB apresentarem precipitação.

O movimento vertical é mostrado nas Figuras 4.62 a 4.66 (850 até 200 mb). O movimento vertical ascendente se concentra no sudeste do NEB expandindo sua área a medida que se sobe na troposfera. Esse movimento ascendente pode ser associado ao sistema de média latitude que penetrou no sul da região. Com exceção do norte do Maranhão, o restante do NEB mostrou movimento descendente em quase todos os níveis da troposfera.

O campo de divergência horizontal do transporte de vapor d'água alterna valores positivos e negativos nos três níveis da troposfera inferior (Fig. 4.67, Fig. 4.68 e fig. 4.69),

sendo que os maiores valores de convergência são verificados no nível de 850 mb, no noroeste do NEB.

O campo de fluxo vertical de unidade mostra-se descendente nos dois níveis da troposfera inferior, 700 mb (Fig. 4.70) e 500 mb, na área central do NEB, embora os valores sejam pequenos. Fluxos ascendentes são verificados no sudeste e norte do NEB nos dois níveis.

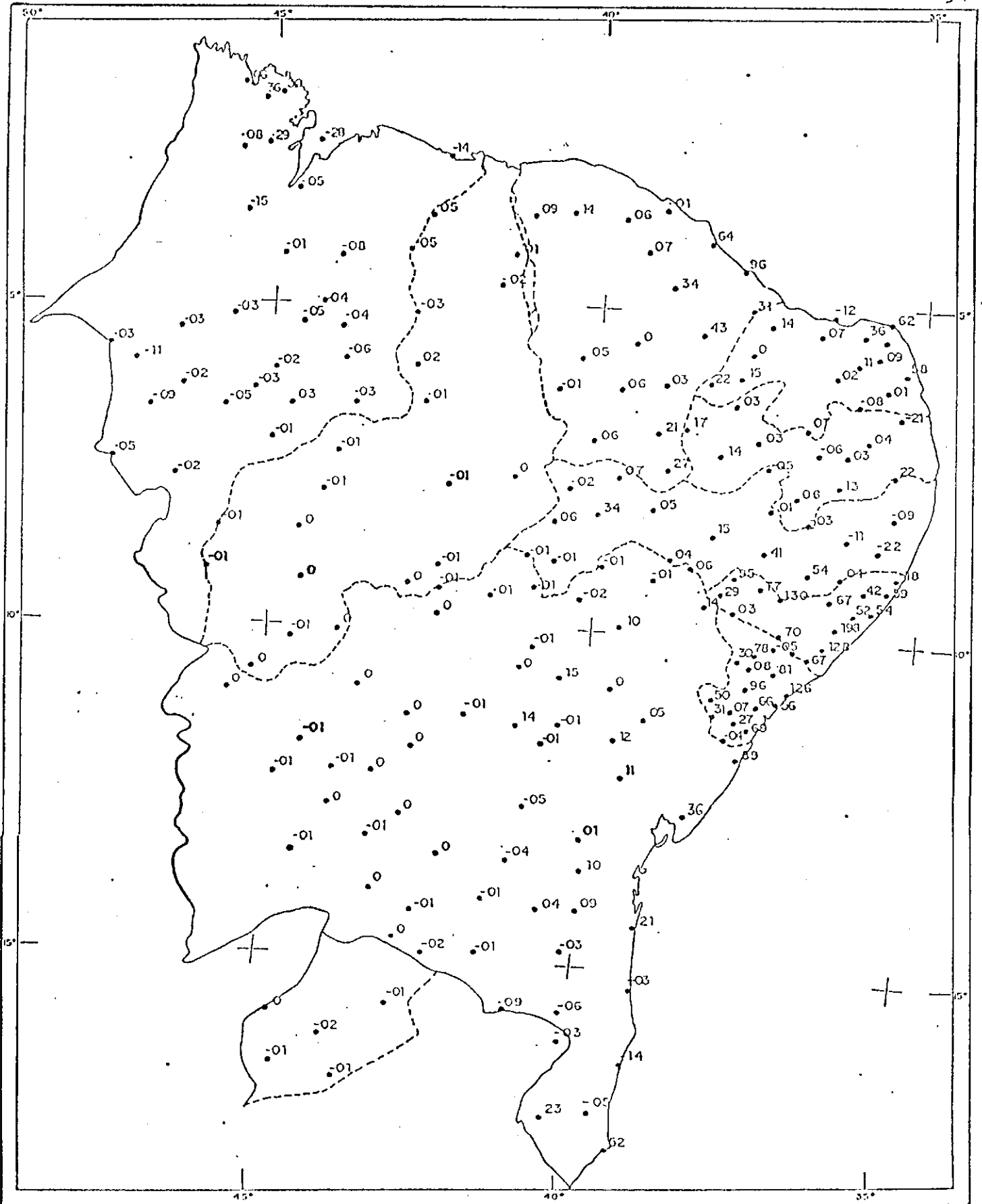


Fig. 4.1 - Desvio de precipitação
(Período chuvoso de 16/06/75 à 20/06/75)
Com relação à média de longo período



FIG. 4.2 - Imagem de Satélite GOES-ESTE das
15:00 GMT do dia 16/06/75 no vi-
sível.

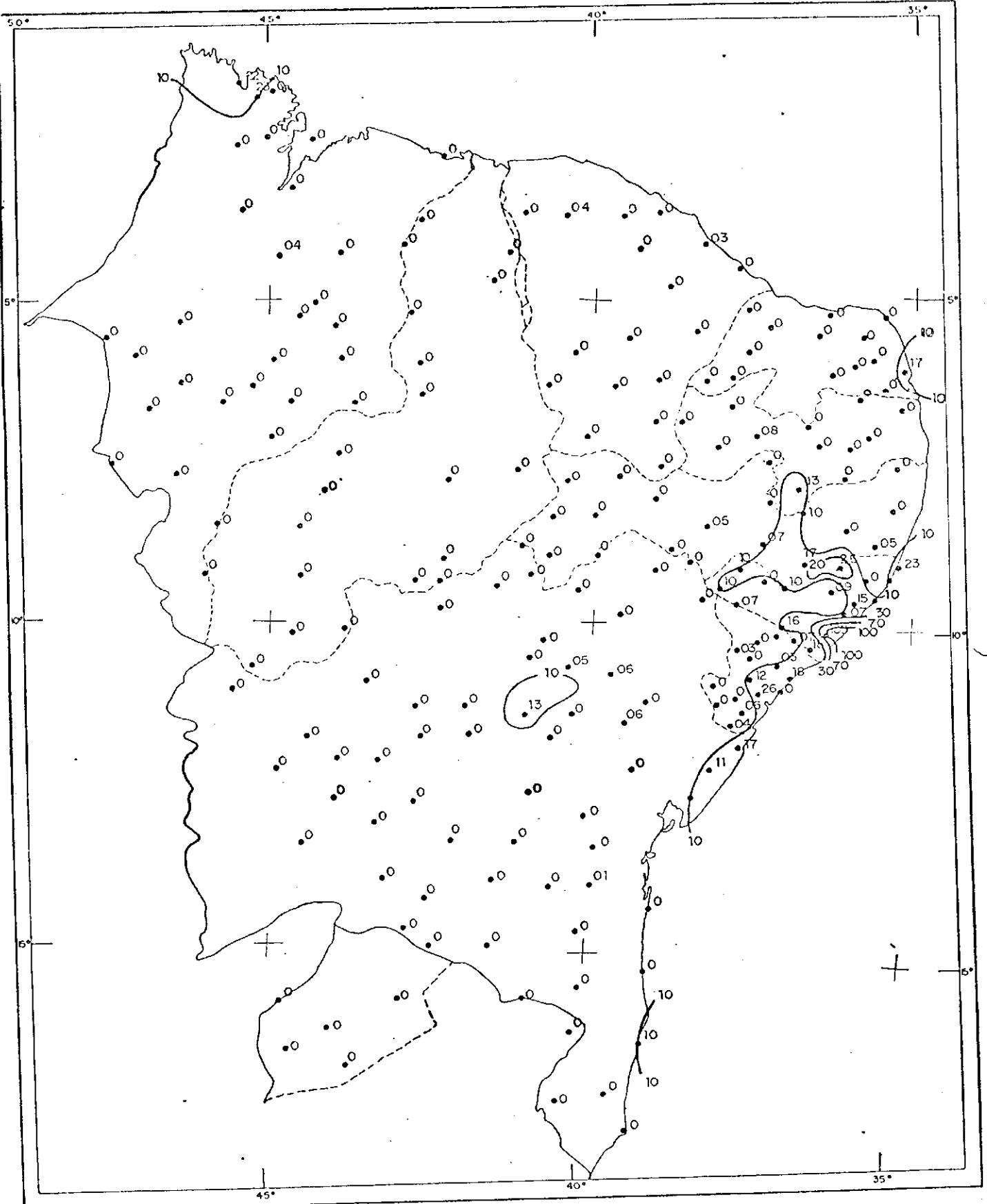


Fig. 4.3 - Valores e isoietas da precipitação total
(Período das 12:00 GMT de 15/06/75 às
12:00 GMT de 16/06/75).

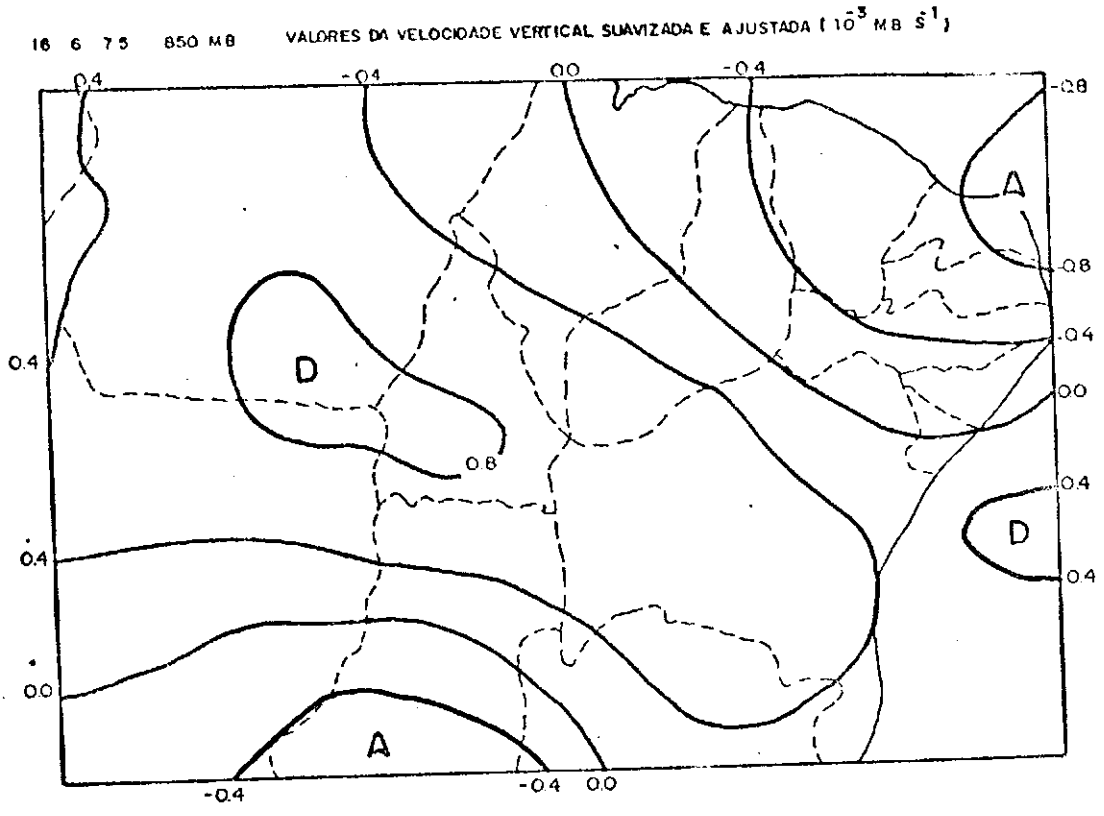


FIG. 4.4

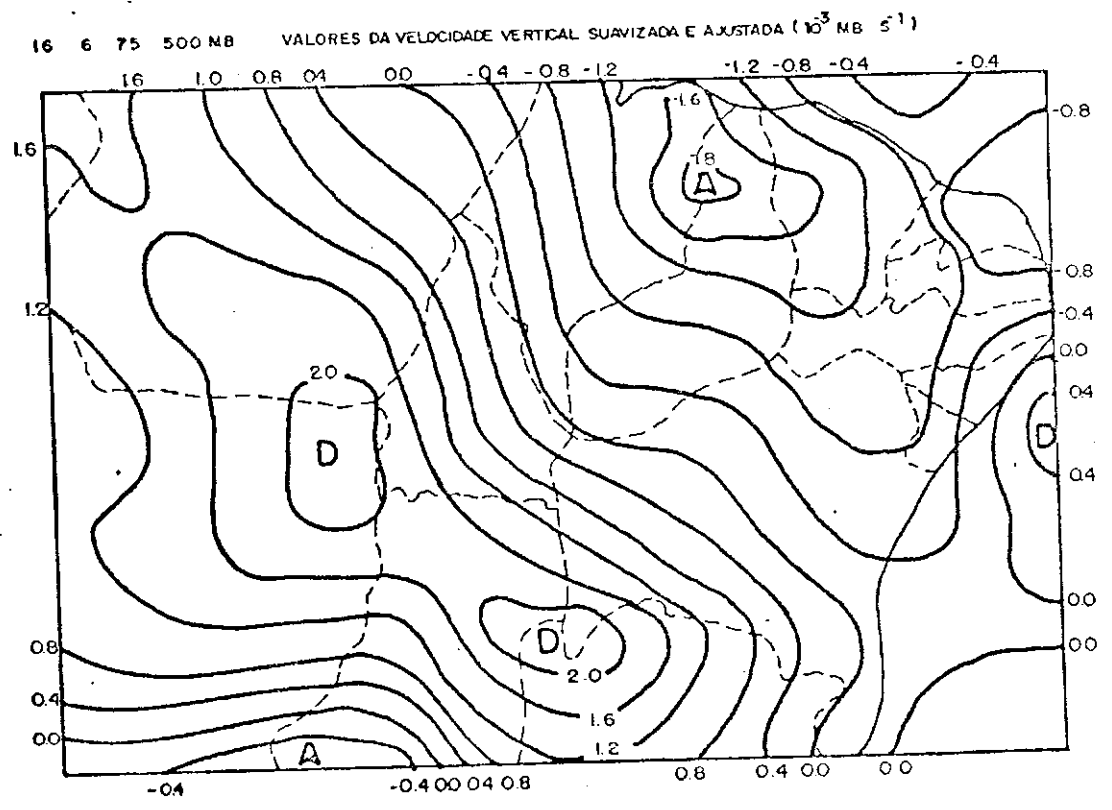


FIG. 4.5

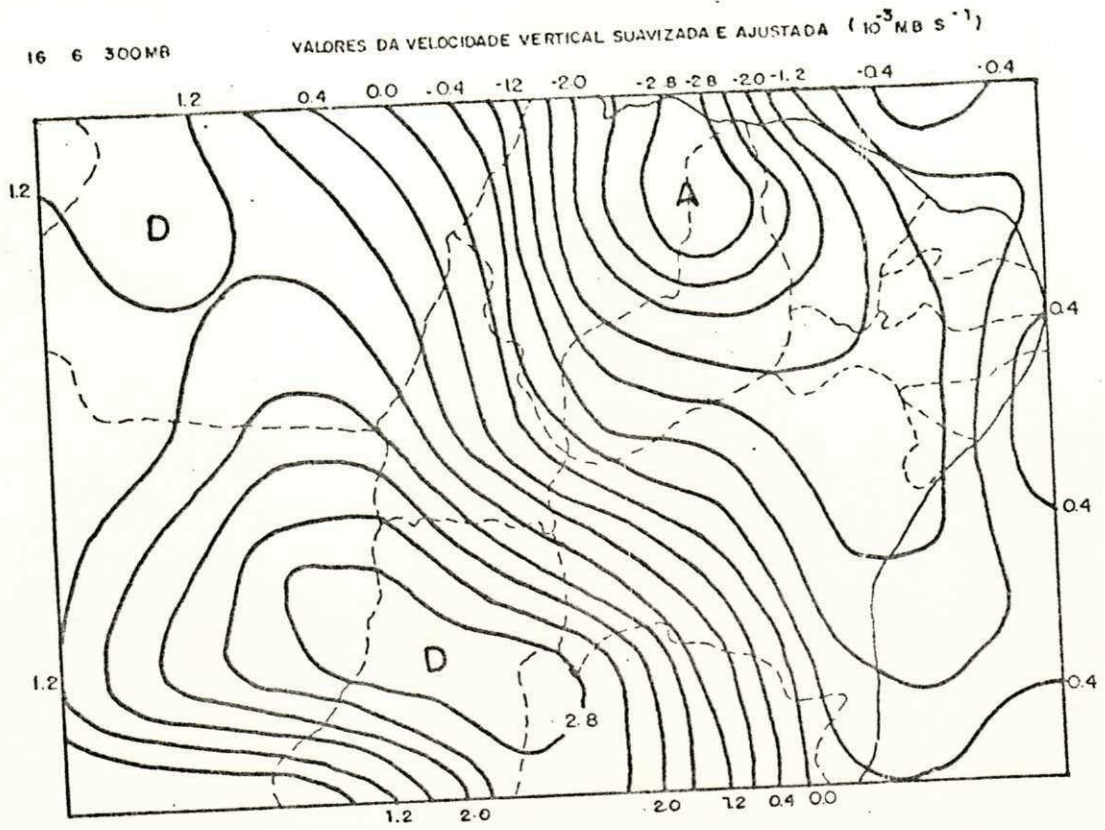


FIG. 4.6

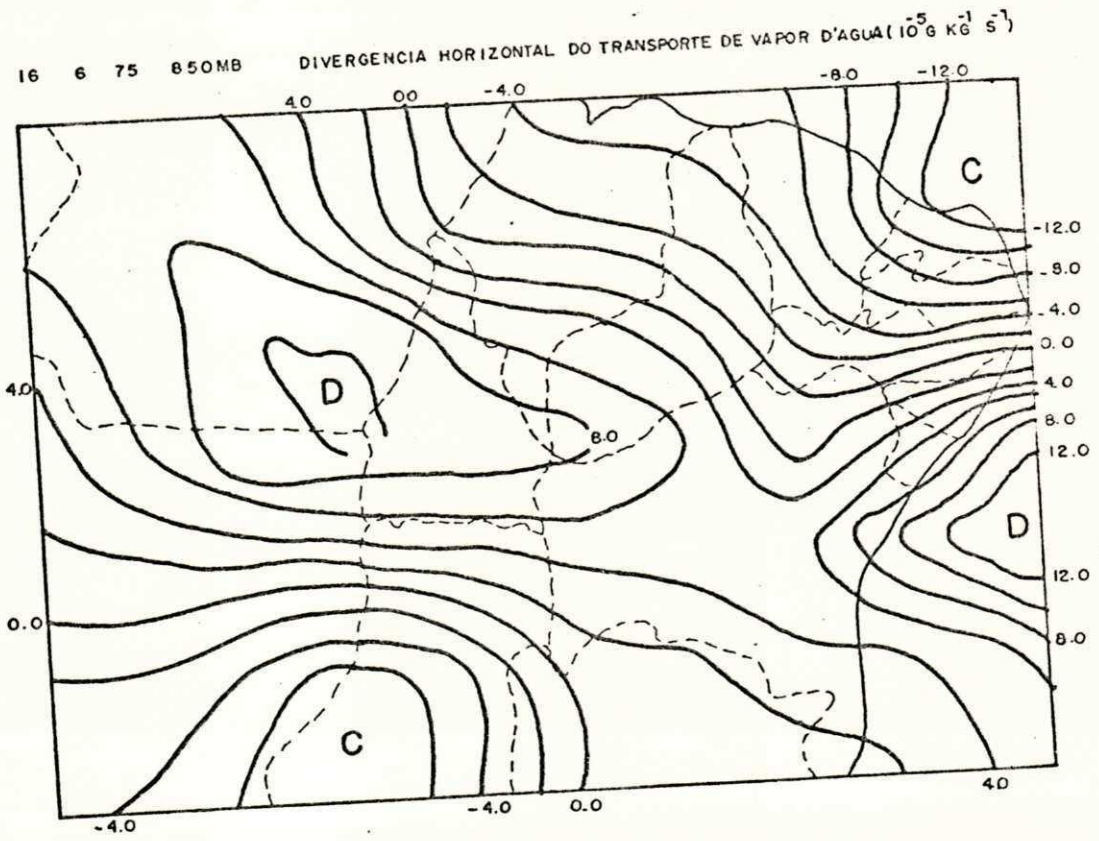


FIG. 4.7

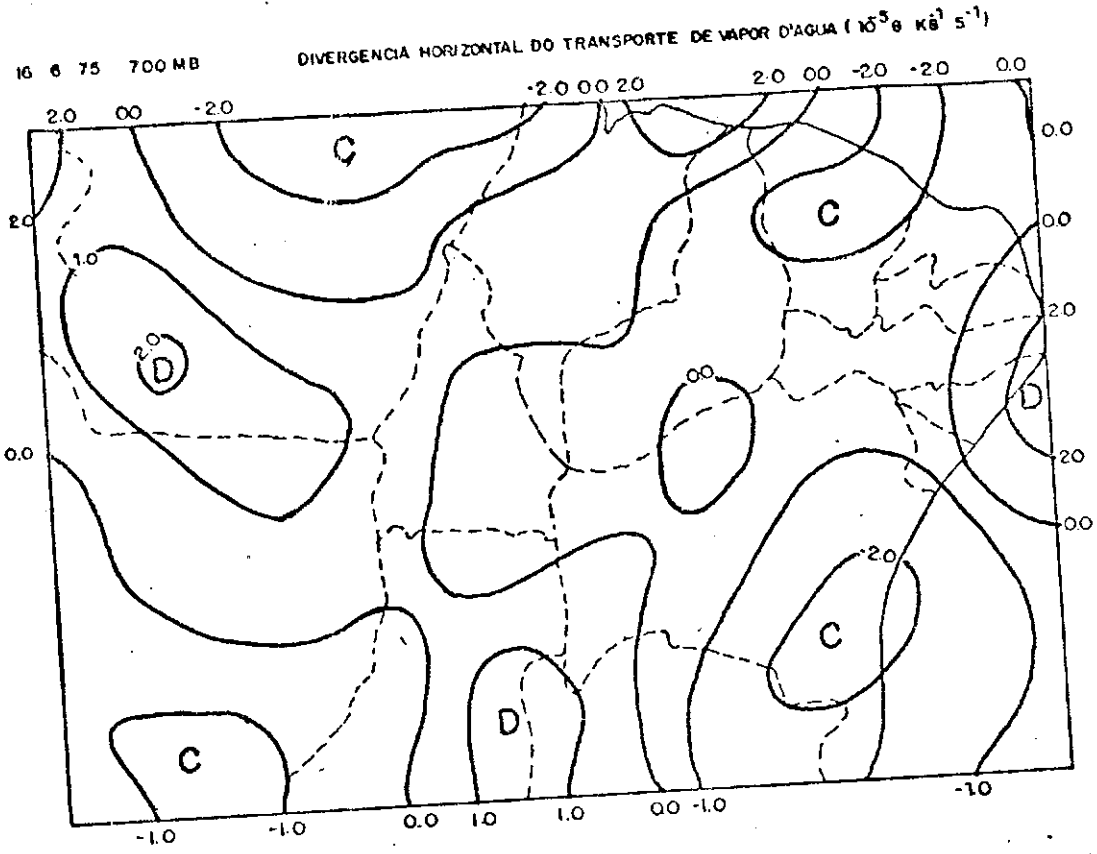


FIG. 4.8

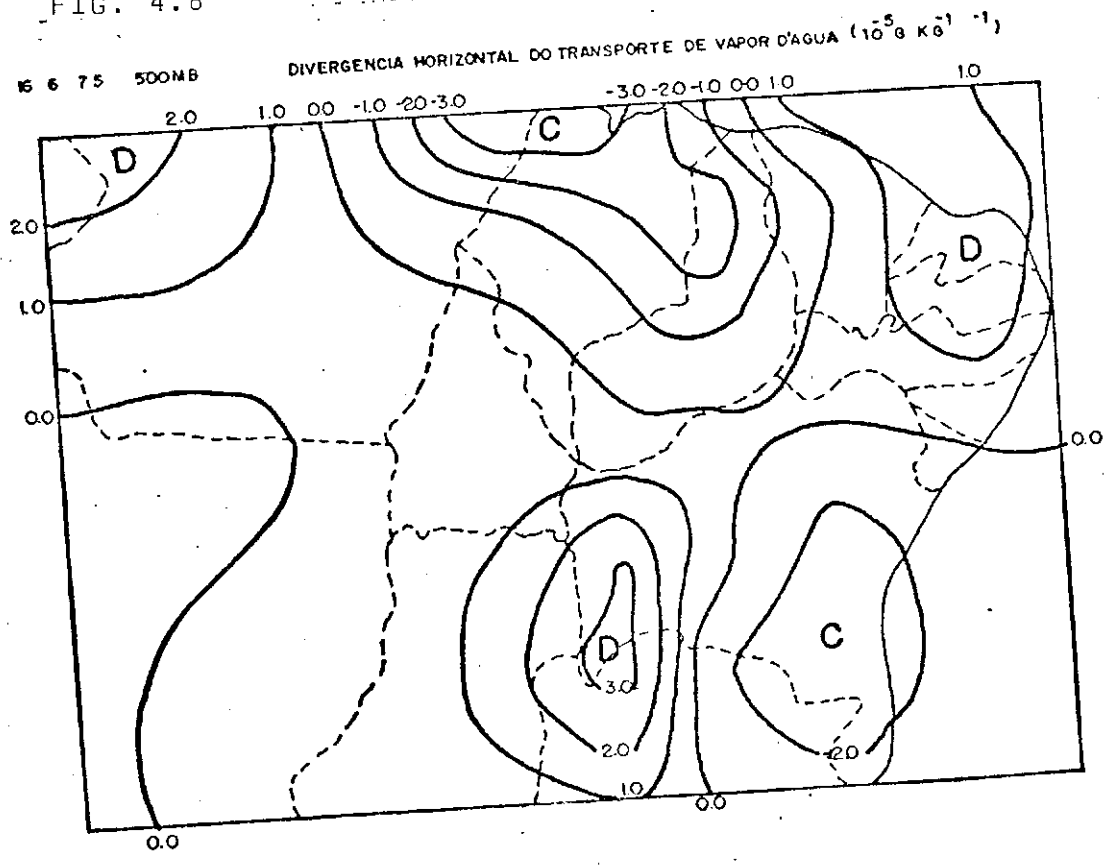


FIG. 4.9

16 6 75 700MB

FLUXO VERTICAL DE UMIDADE ($10^5 \text{ g kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)

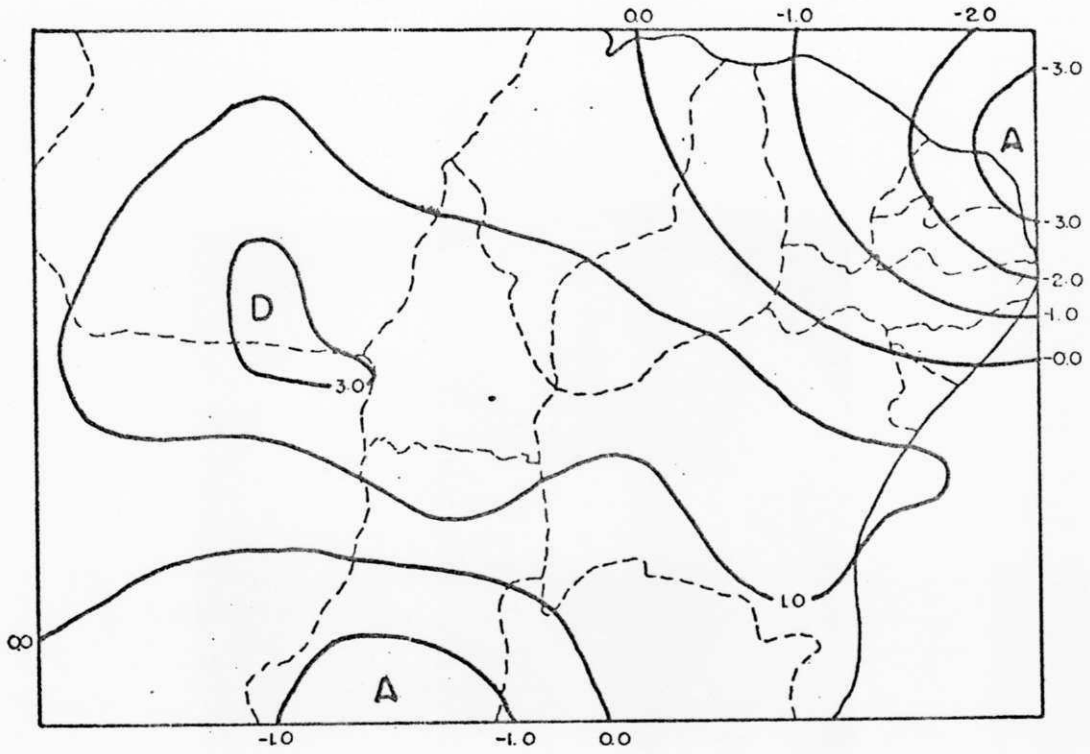


FIG. 4.10



FIG. 4.11 - Imagem de Satélite GOES-ESTE das 15:00 GMT do dia 17/06/75 no visível.

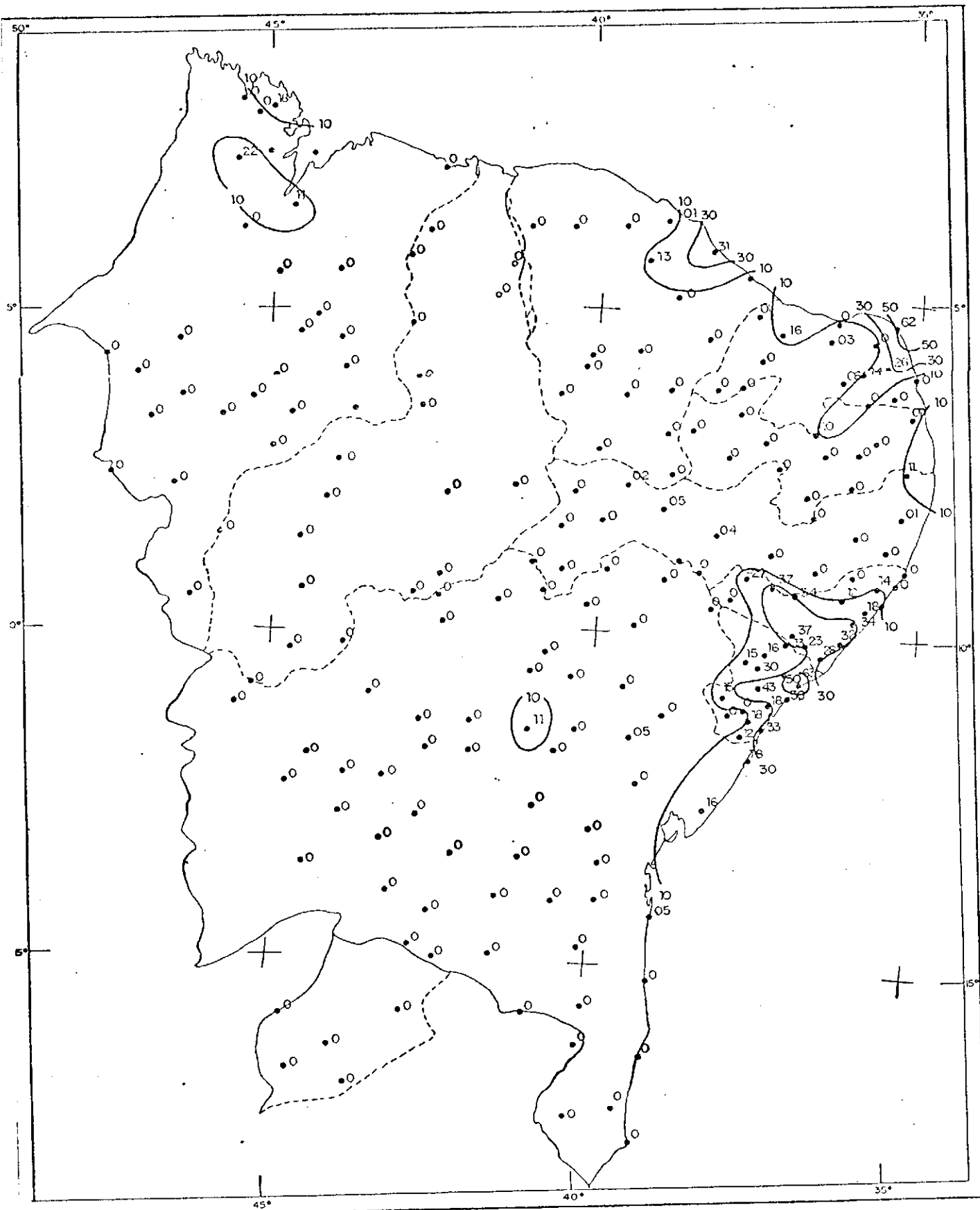


Fig. 4.12 - Valores e isoietas da precipitação total
(Período das 12:00 GMT de 16/06/75 às
12:00 GMT de 17/06/75).

UFPA/DIB

A/PRAT

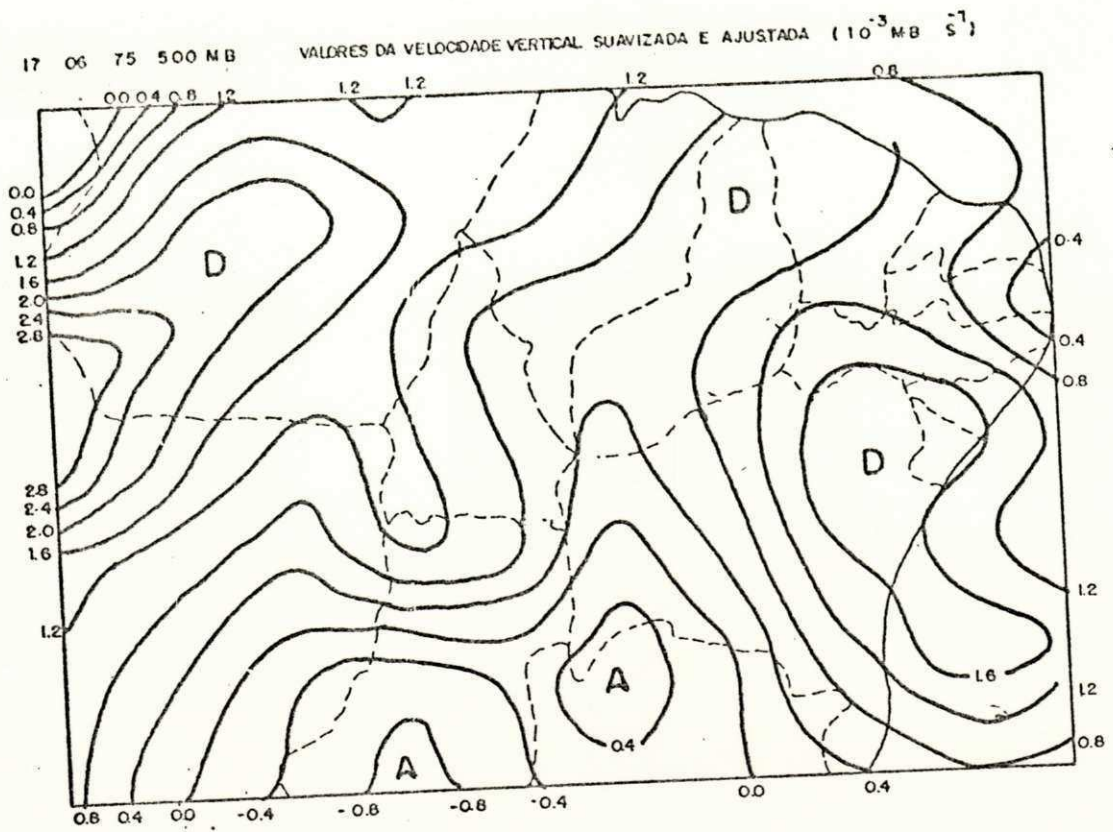


FIG. 4.13

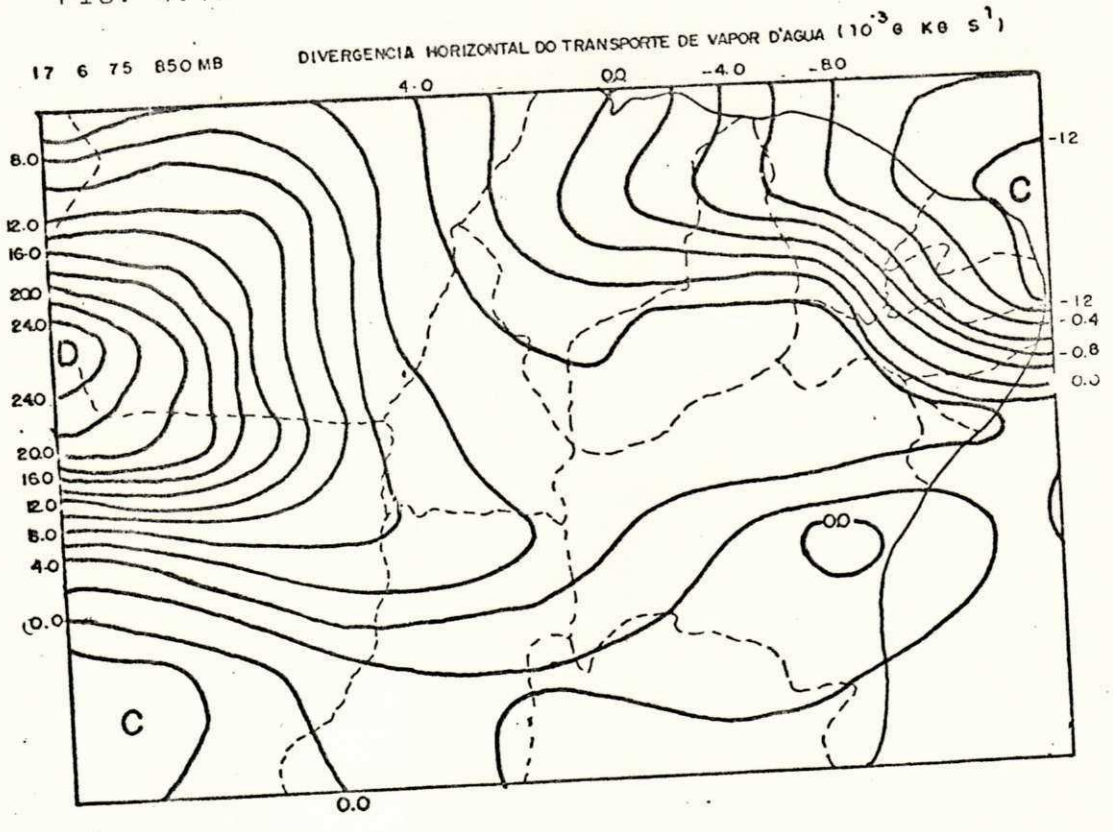


FIG. 4.14

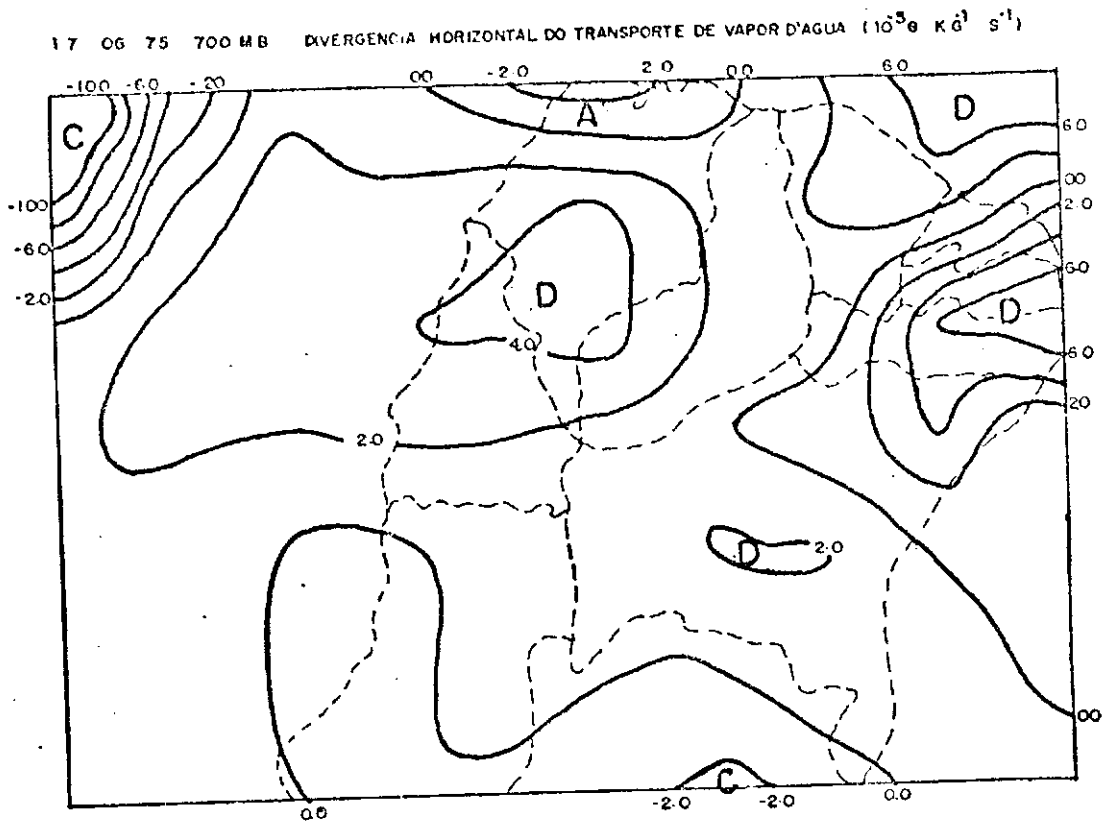


FIG. 4.15

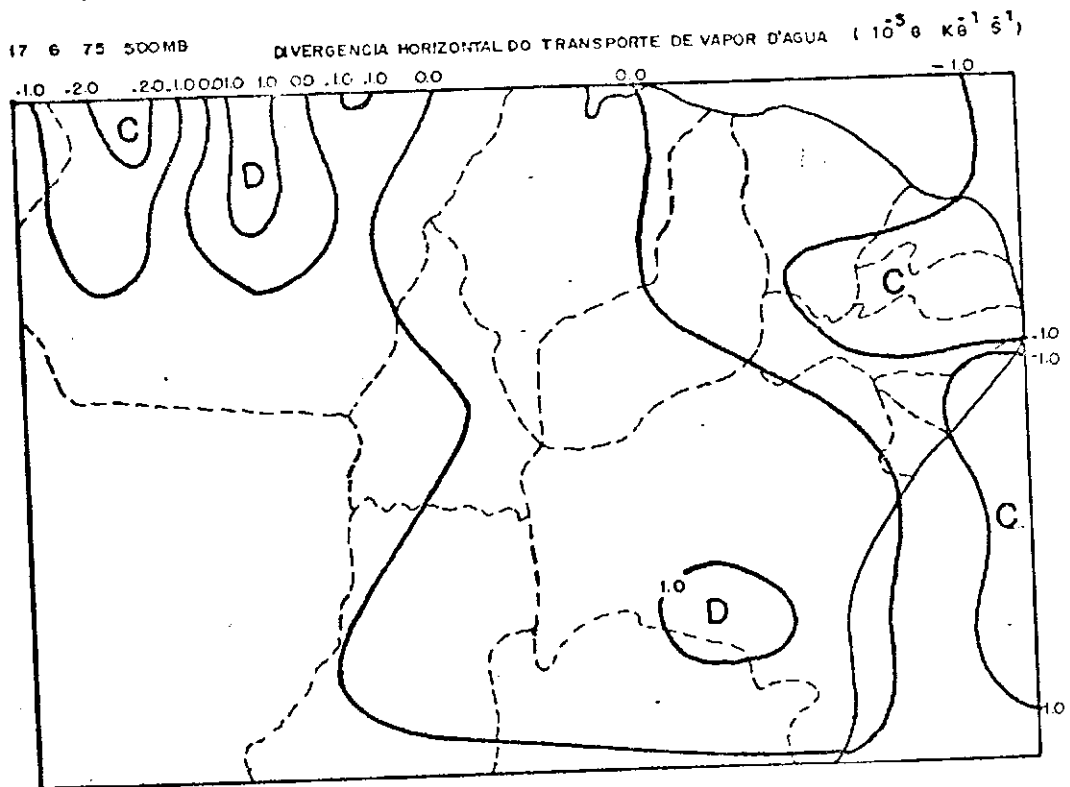


FIG. 4.16

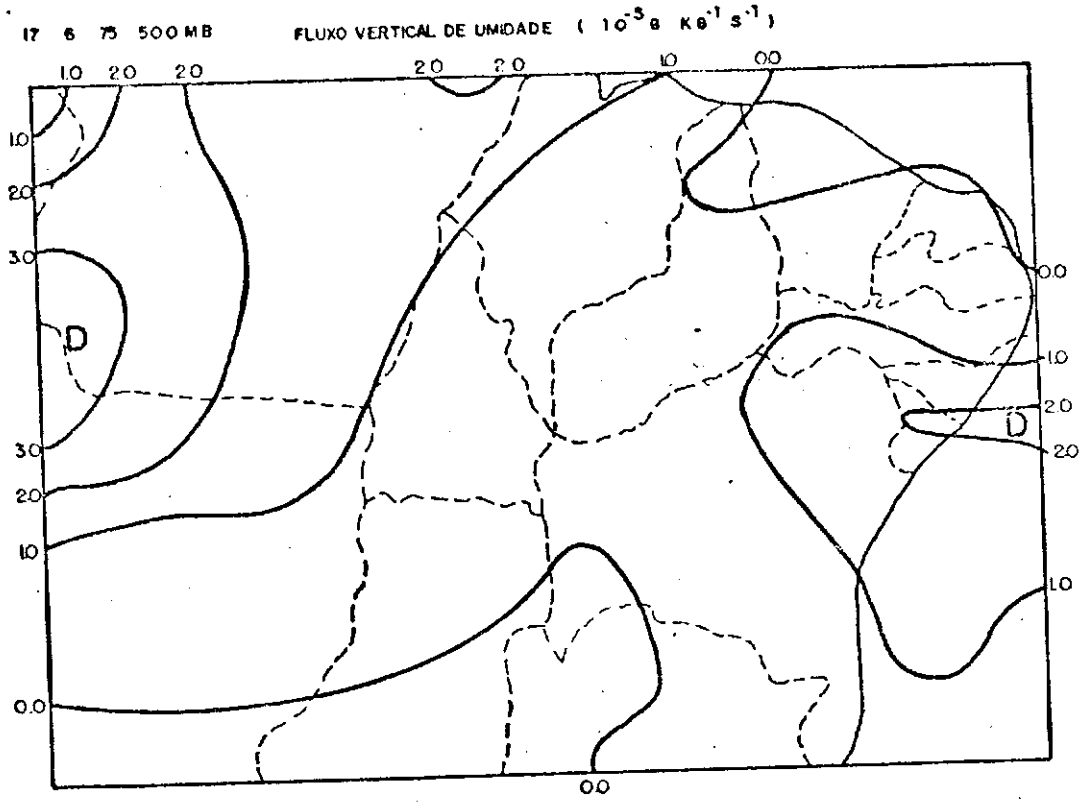


FIG. 4.17

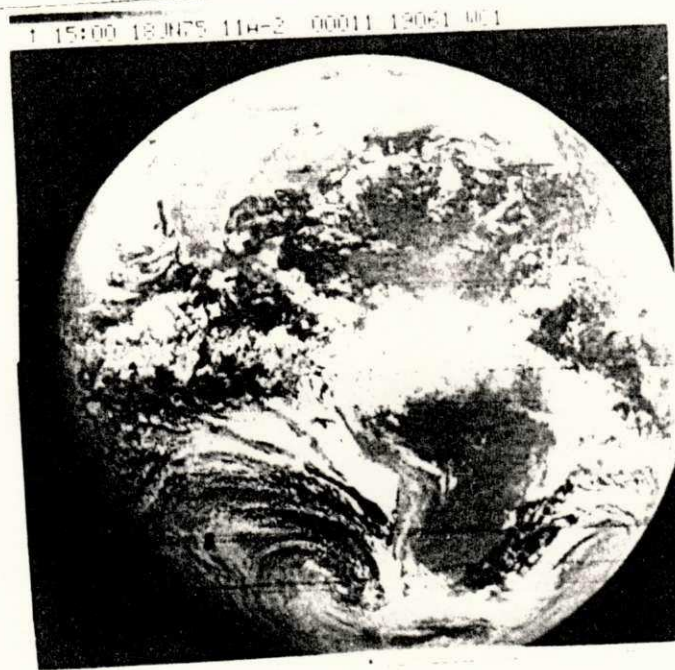


FIG. 4.18 - Imagem de Satélite GOES-ESTE das 15:00 GMT do dia 18/06/75 no visível.

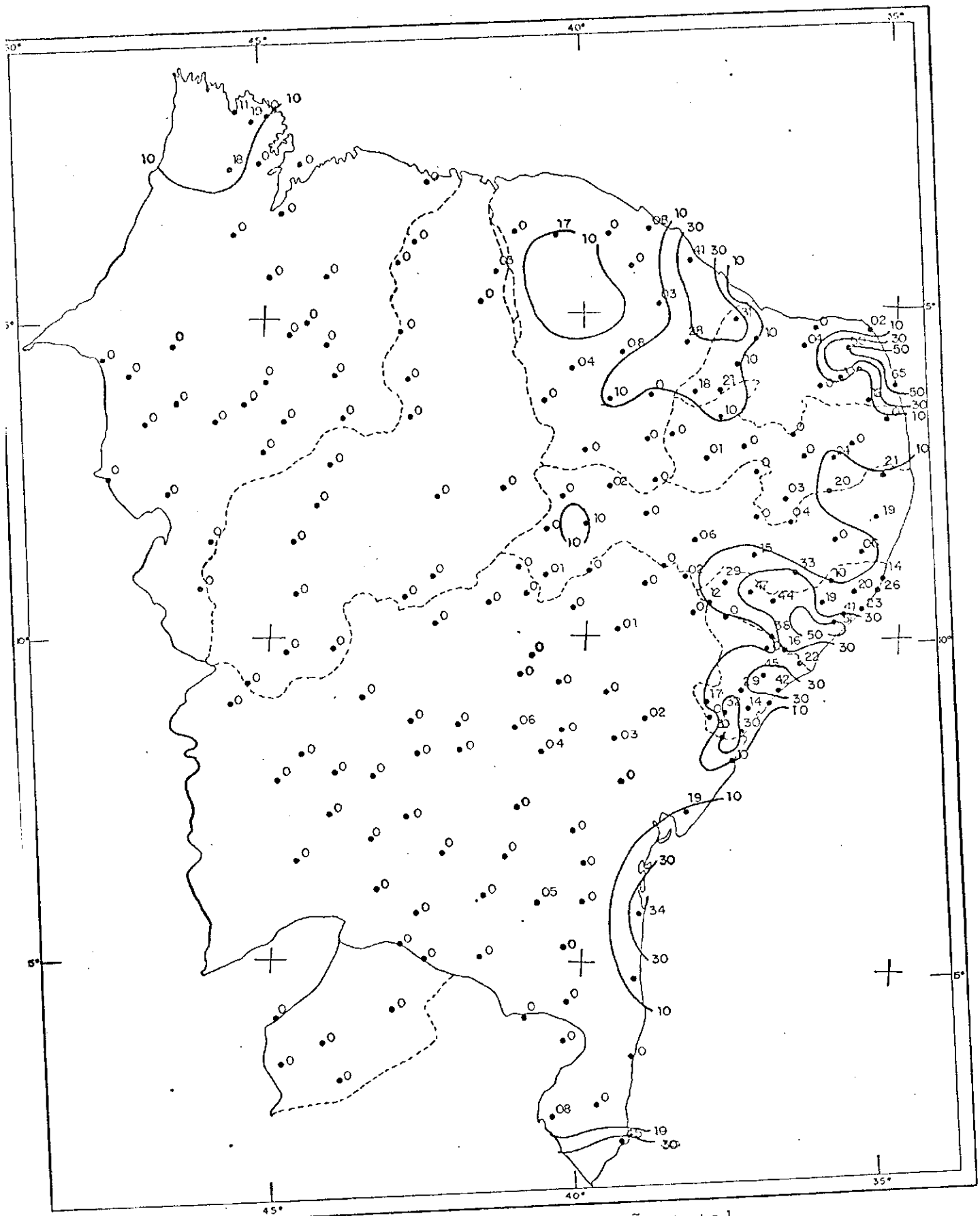


Fig. 4.19 - Valores e isoietas da precipitação total
(Período das 12:00 GMT de 17/06/75 às
12:00 GMT de 18/06/75)

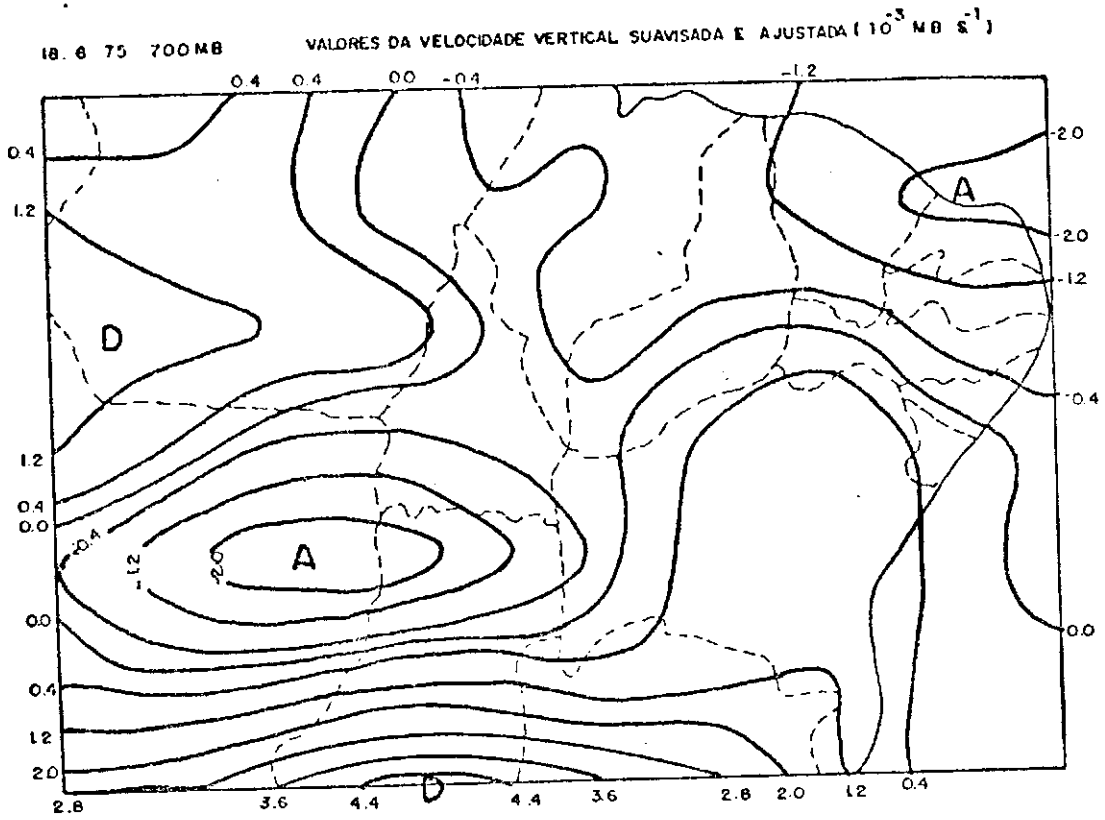


FIG. 4.20

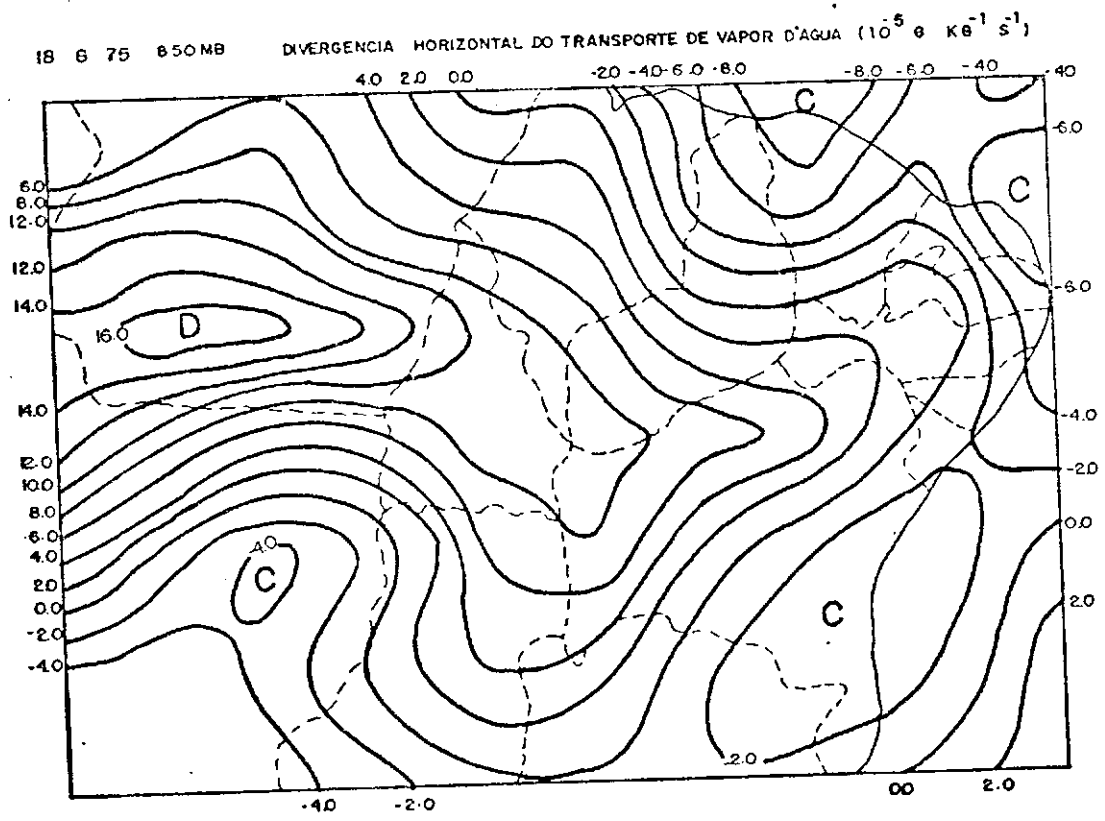


FIG. 4.21

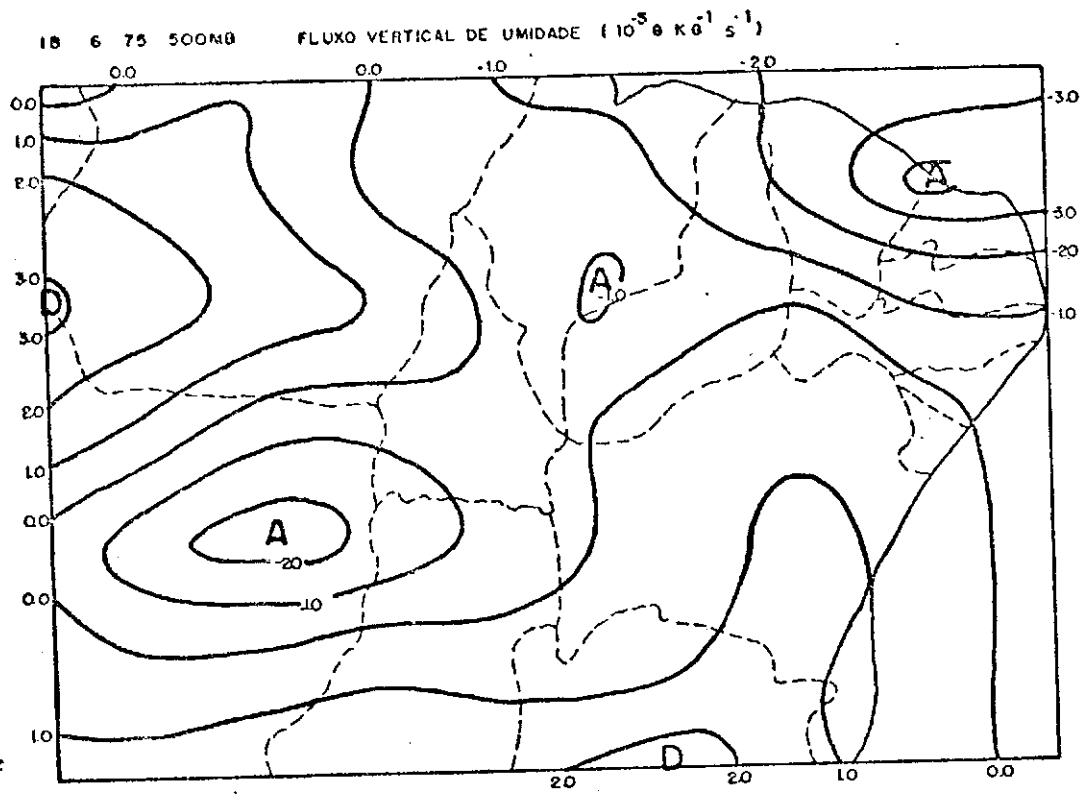


FIG. 4.22



FIG. 4.23 - Imagem de Satélite GOES-ESTE das
15:00 GMT do dia 19/06/75 no vi-
sível.

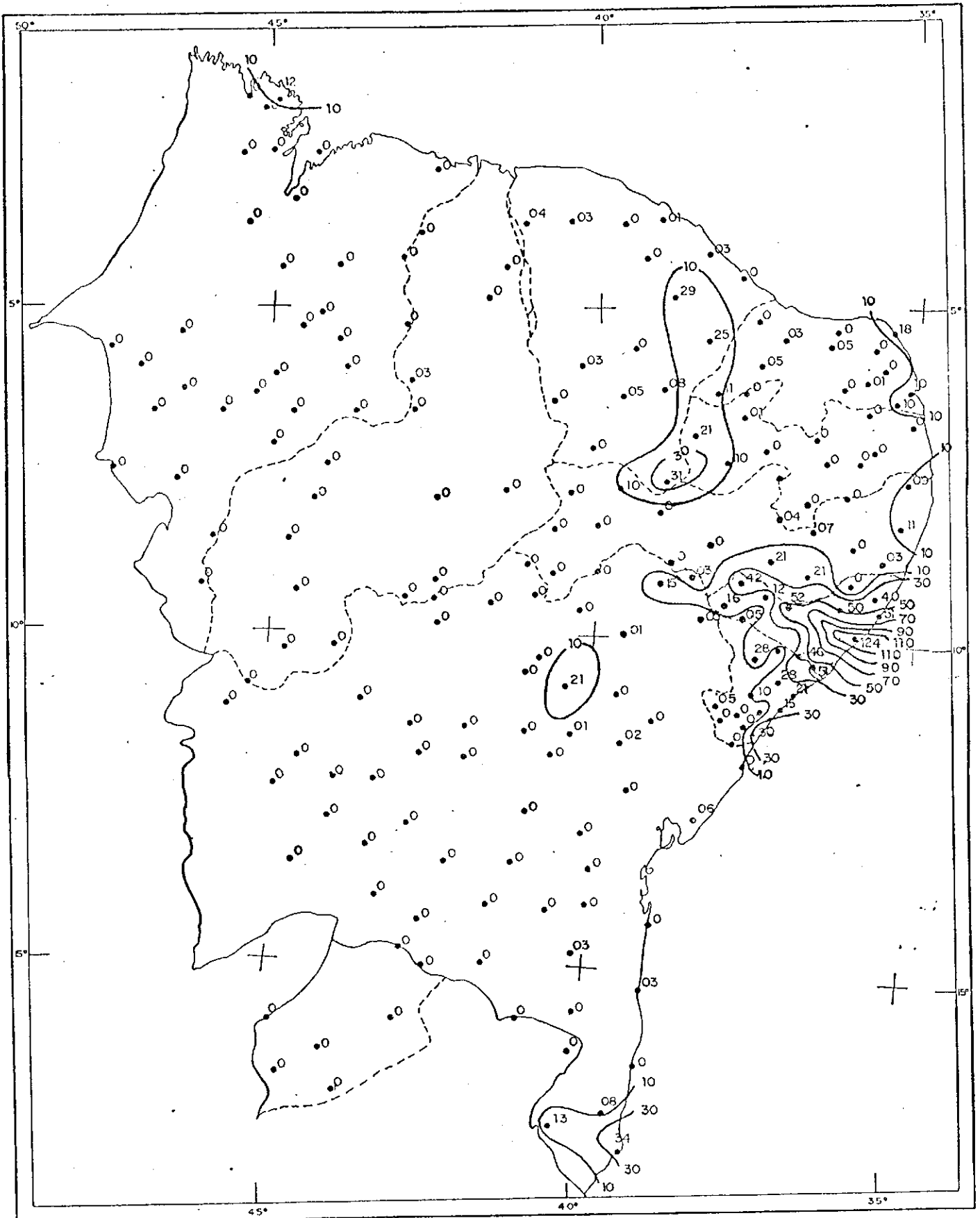
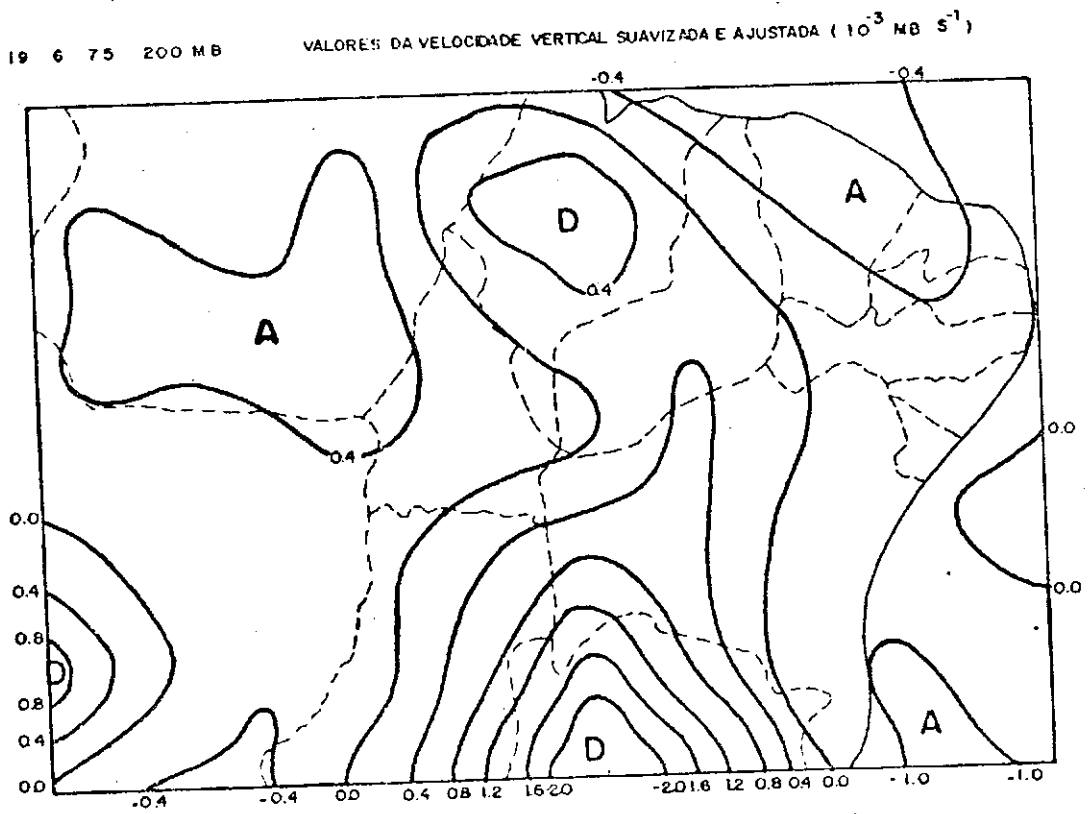
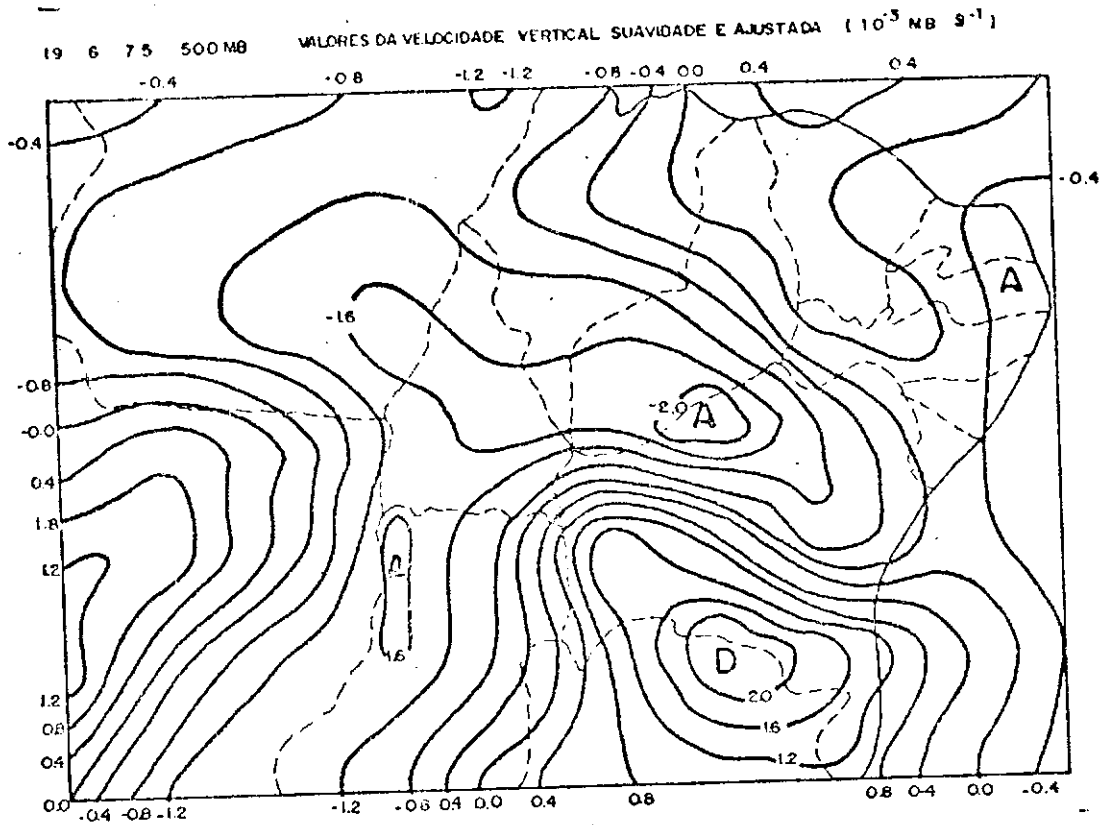


Fig. 4.24 - Valores e isoietas da precipitação total
(Período das 12:00 GMT de 18/06/75 às
12:00 GMT de 19/06/75).



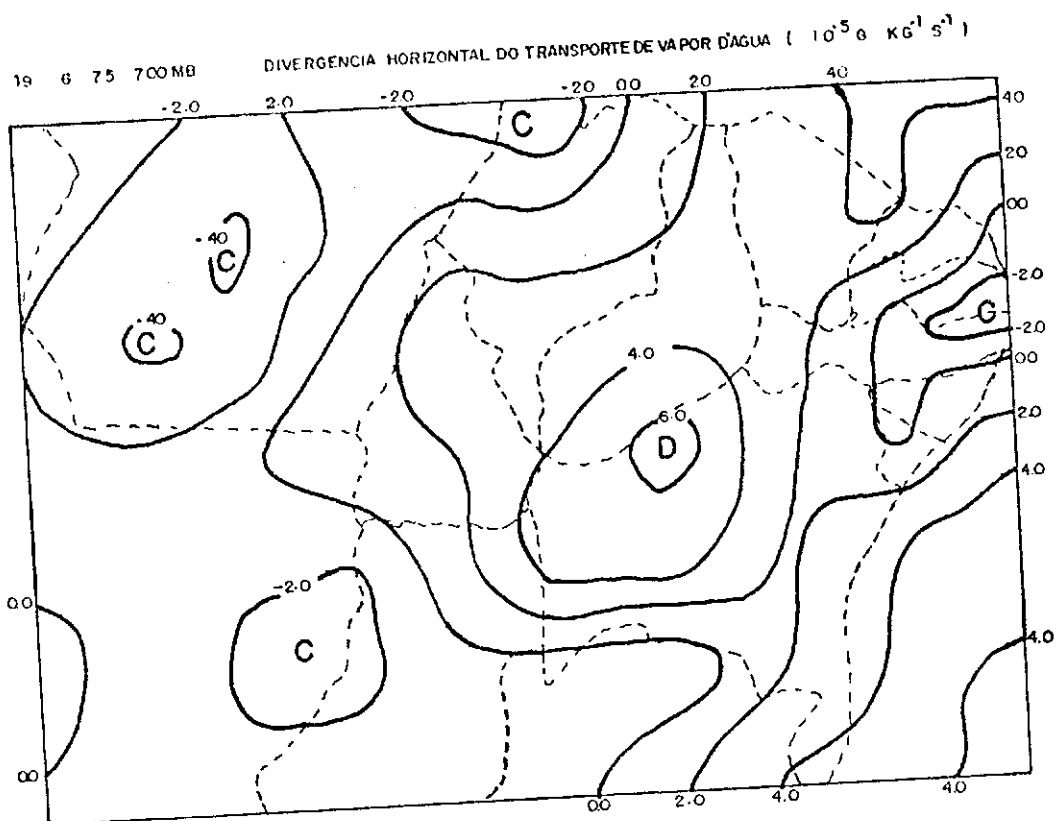


Fig. 4.27

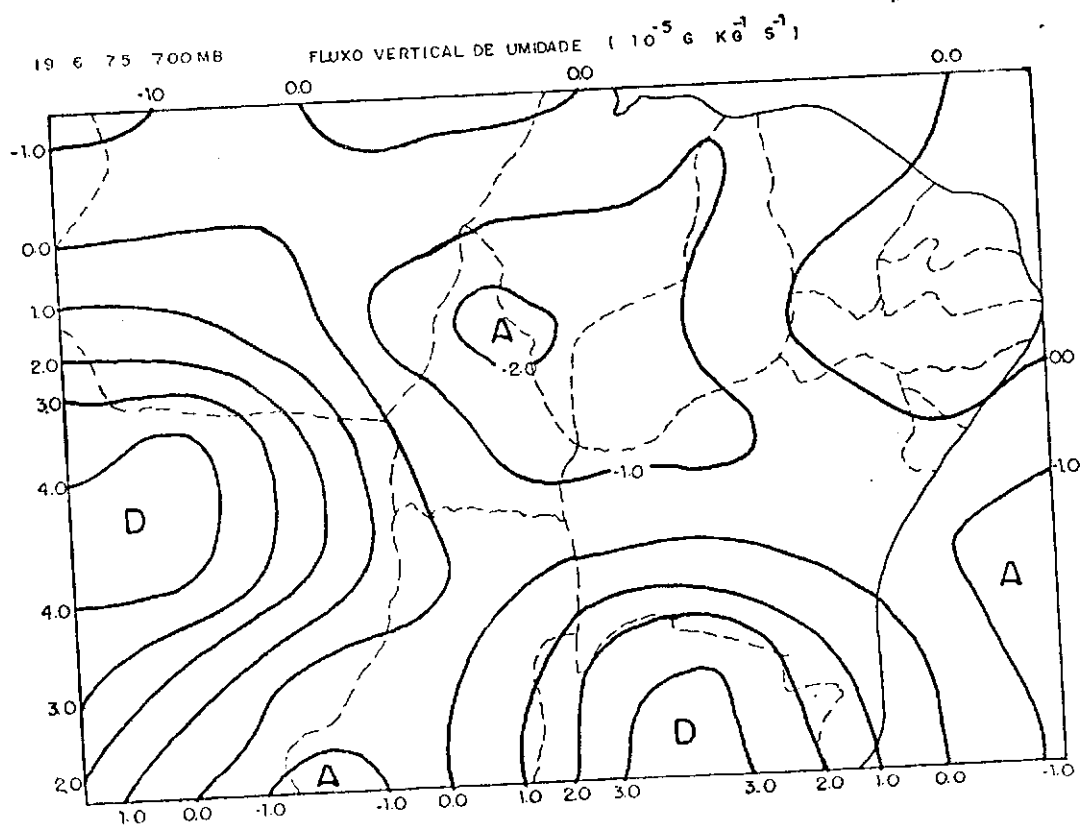


Fig. 4.28

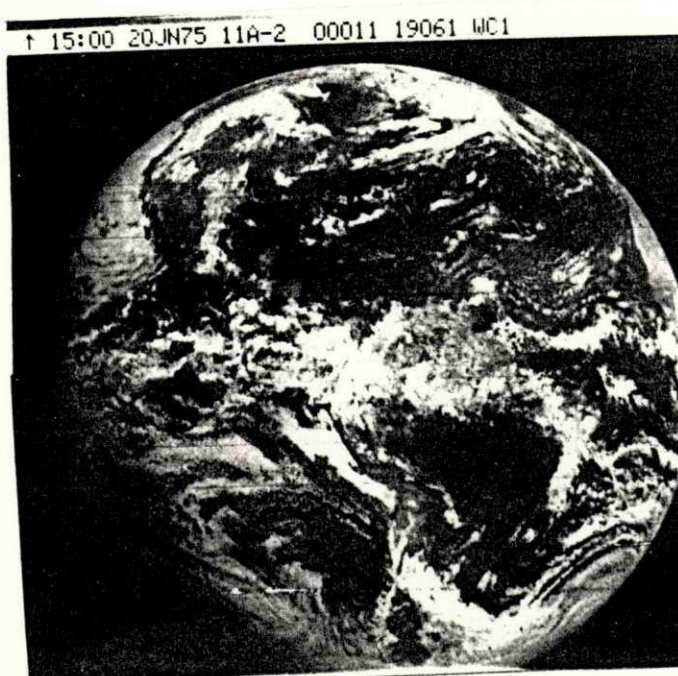


FIG. 4.29 - Imagem de Satélite GOES-ESTE das 15:00 GMT do dia 20/06/75 no visível.

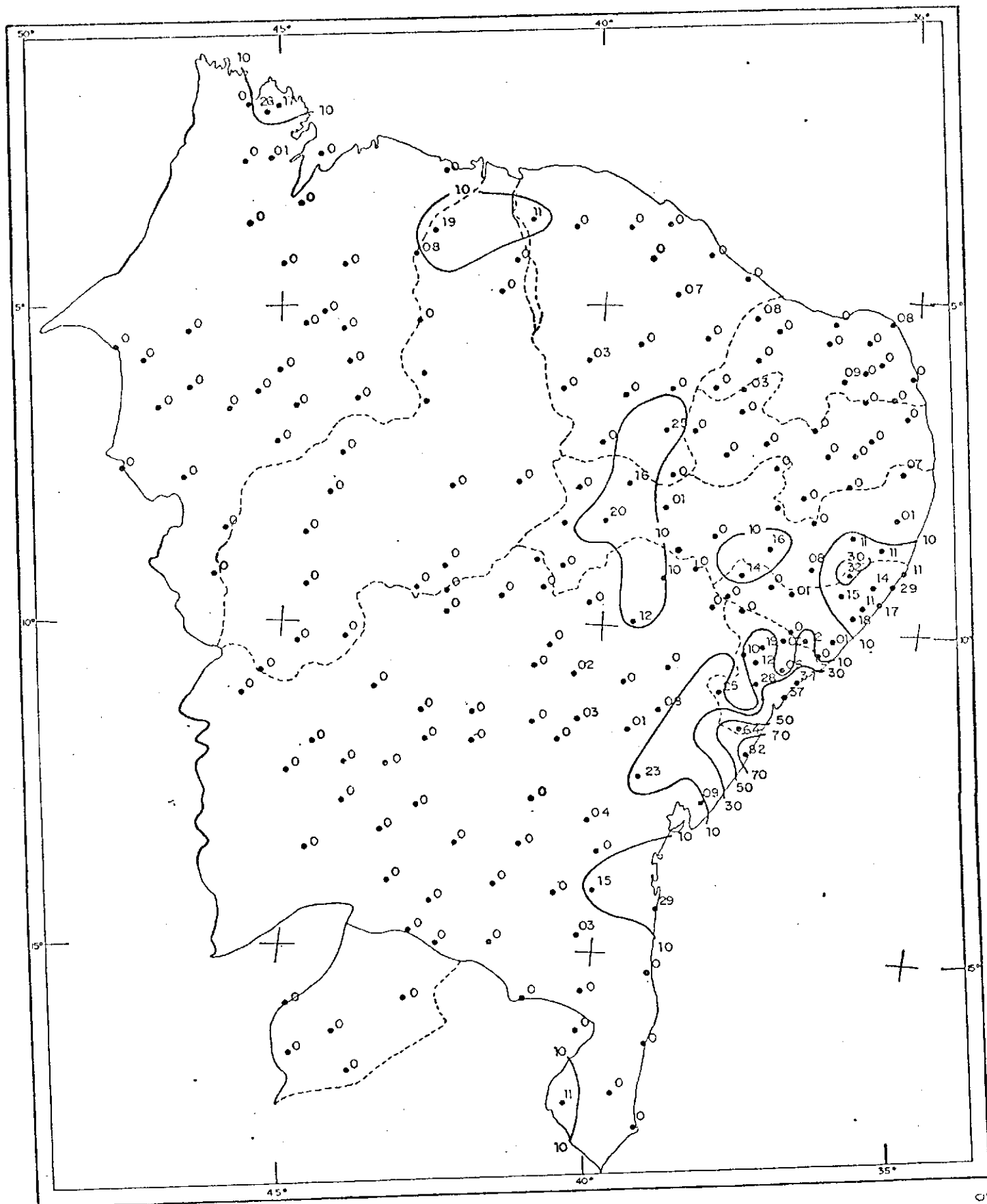


Fig. 4.30 - Valores e isoietas da precipitação total
(Período das 12:00 GMT de 19/06/75 às
12:00 GMT de 20/06/75).

20 6 75 500MB VALORES DA VELOCIDADE VERTICAL SUAVIZADA E AJUSTADA (10^3 MB S^{-1})

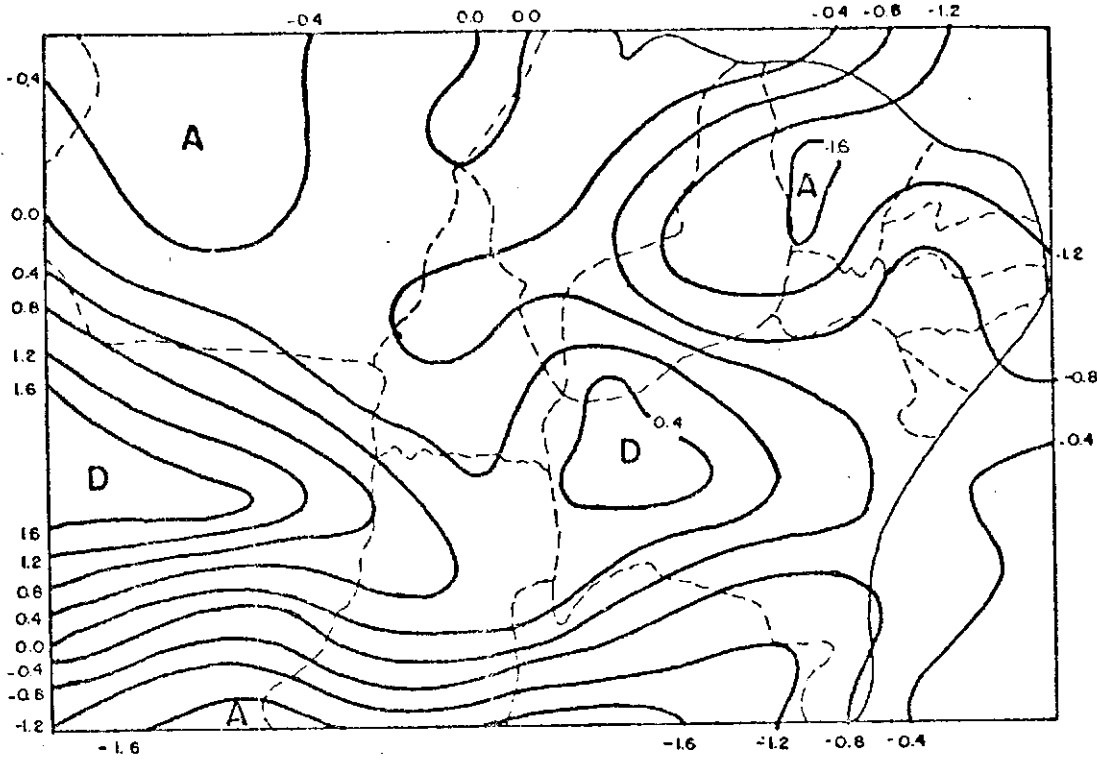


FIG. 4.31

20 6 75 700MB DIVERGENCIA HORIZONTAL DO TRANSPORTE DE VAPOR D'AGUA ($10^{-5} \text{ G KG}^{-1} \text{ S}^{-1}$)

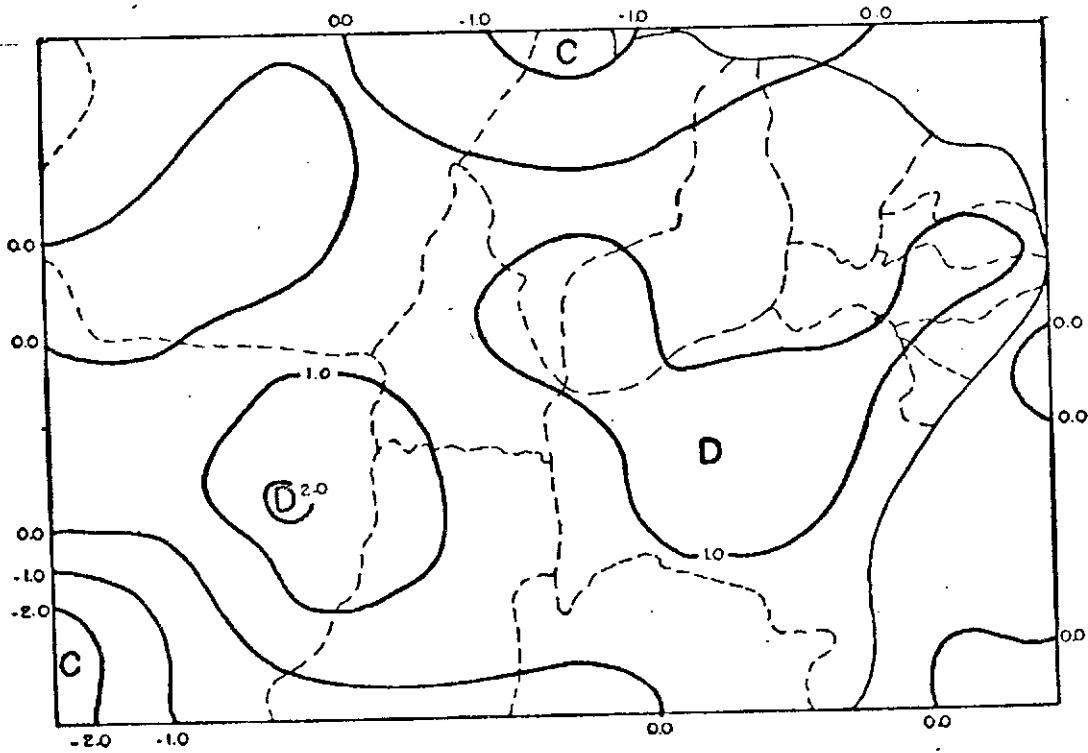


FIG. 4.32

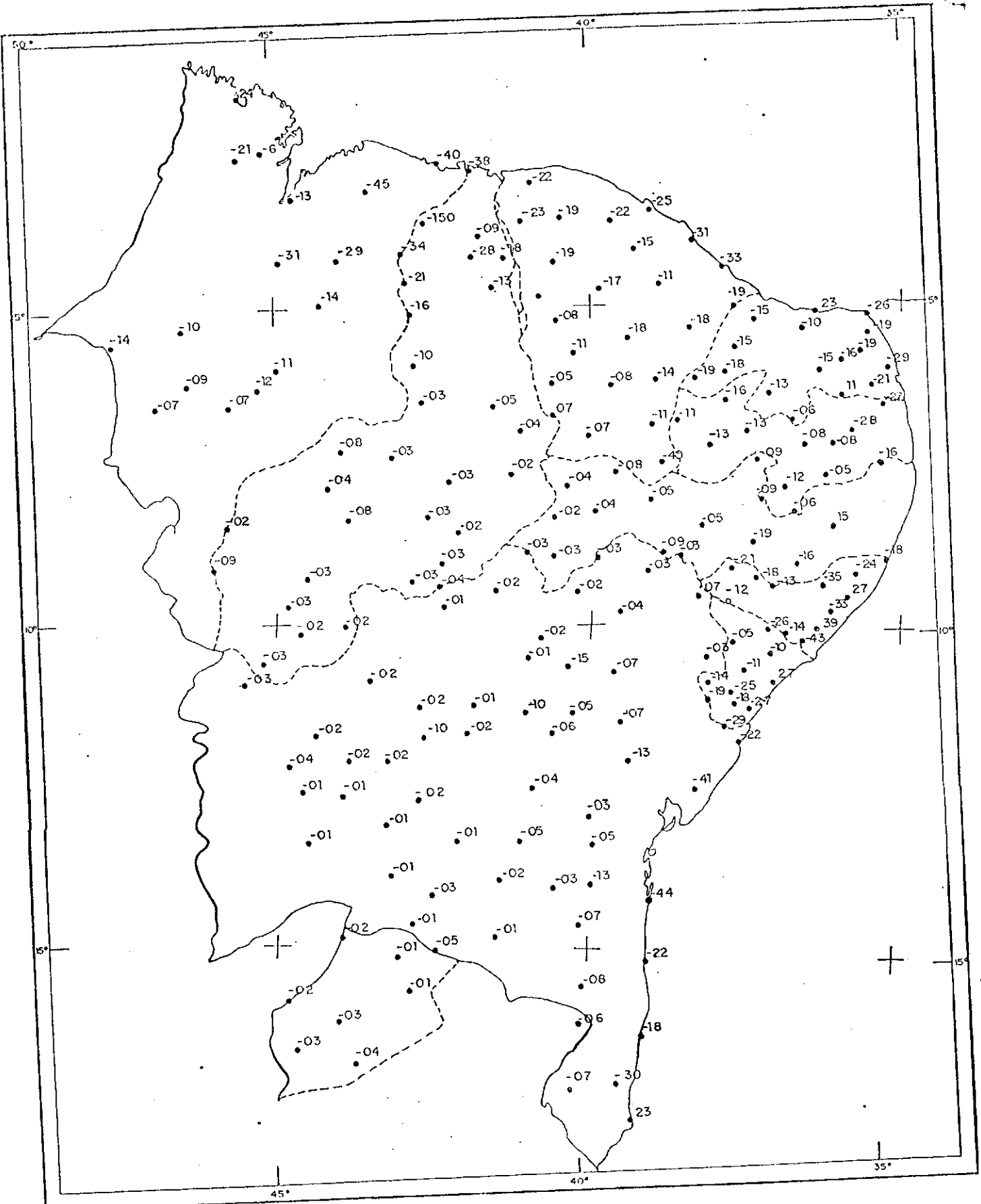


Fig. 4.34 - Desvio de precipitação
(período seco de 11/05/76 à 15/05/76)
Com relação à média de longo período.



FIG. 4.35 - Imagem de Satélite GOES-ESTE das
23:00 GMT do dia 04/05/76 no In-
fra-Vermelho.



FIG. 4.36 - Imagem do Satélite GOES-ESTE das
15:00 GMT do dia 11/05/76 no vi-
sível.

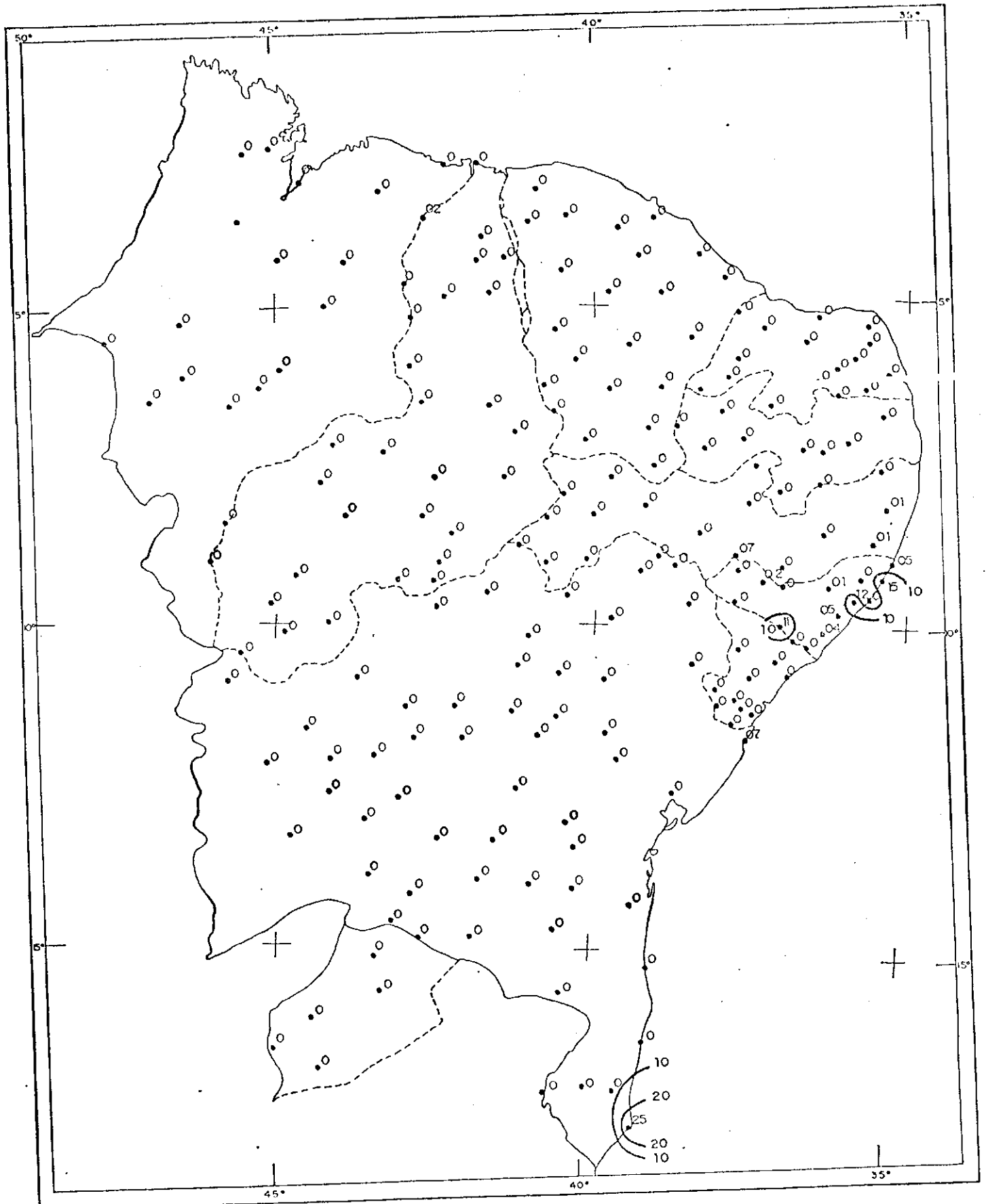


Fig. 4 37 Valores e isoietas da precipitação total
(Período das 12:00 GMT de 10/05/76 às
12:00 GMT de 11/05/76).

11 5 76 700MB VALORES DA VELOCIDADE VERTICAL SUAVIZADA E AJUSTADA ($10^{-3} \text{ MB s}^{-1}$)

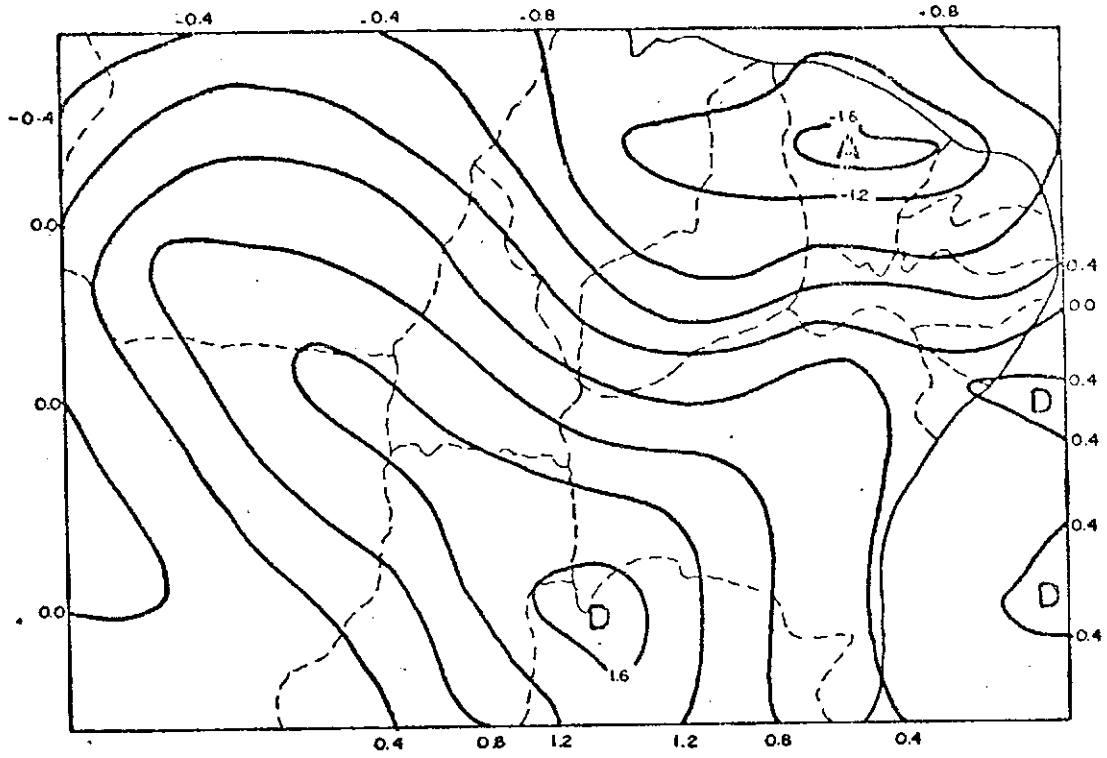


FIG. 4.38

11 5 76 850MB DIVERGENCIA HORIZONTAL DO TRANSPORTE DE VAPOR D'AGUA ($10^{-5} \text{ g kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)

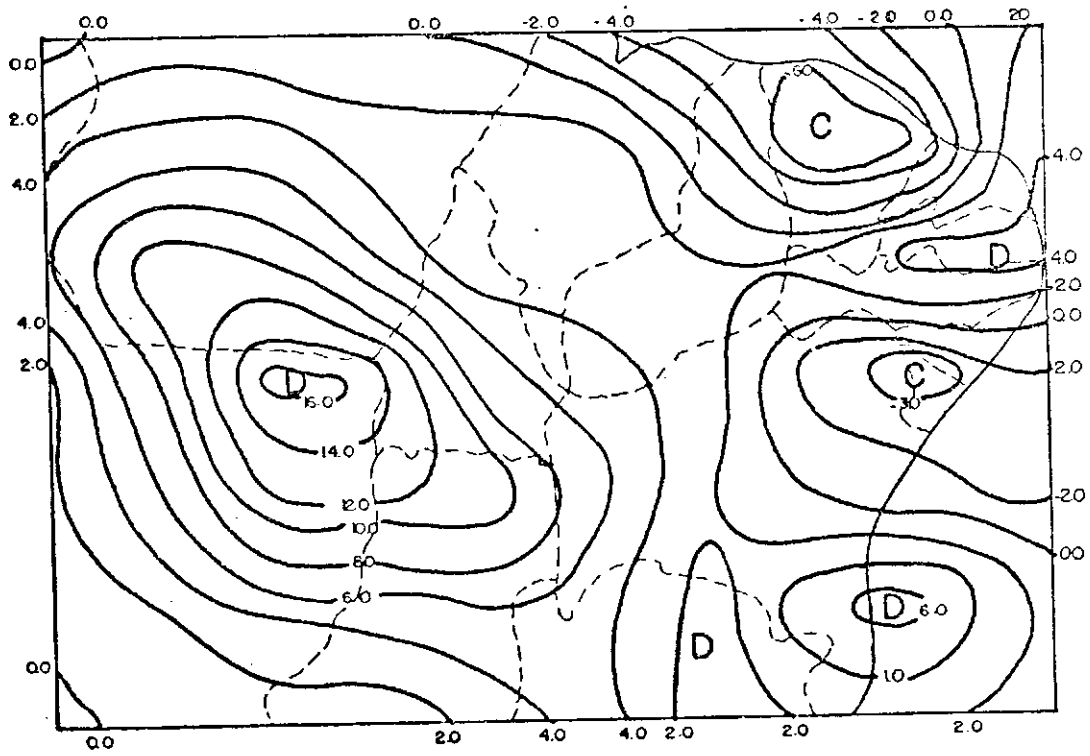


FIG. 4.39

UFPA / BIB. OMEGA / TRAI

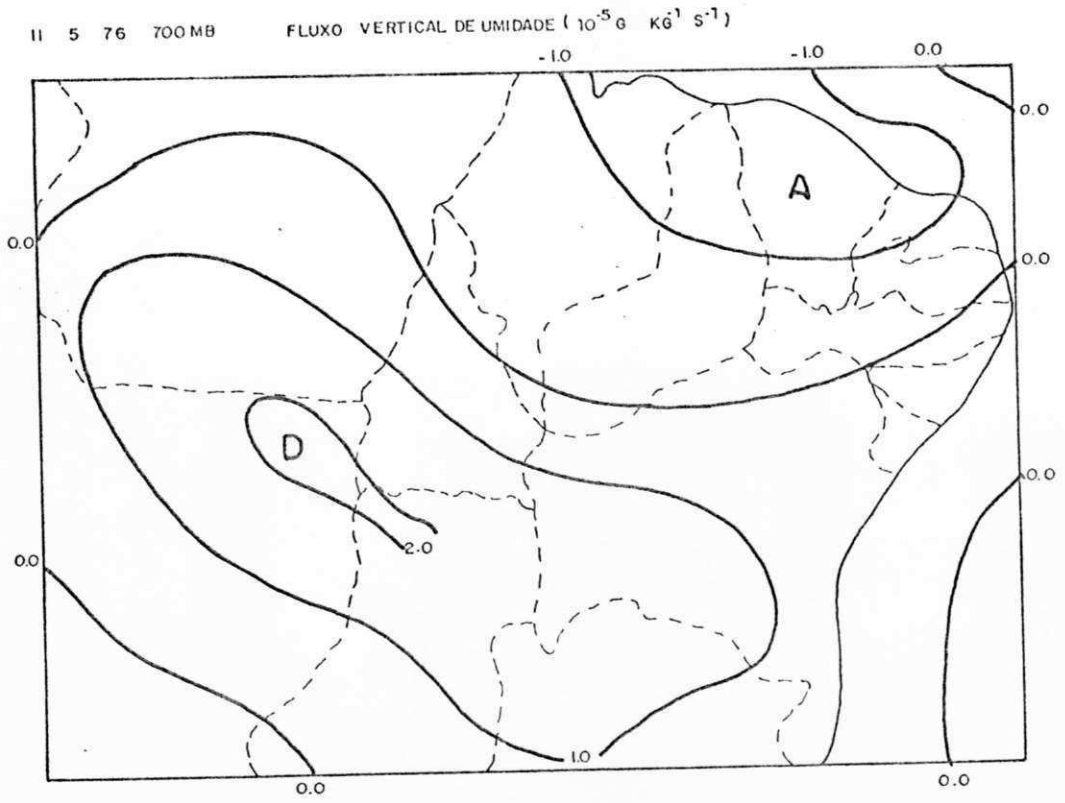


Fig. 4.40



FIG. 4.41 - Imagem de Satélite GOES-ESTE das
15:00 GMT do dia 12/05/76 no vi-
sível-

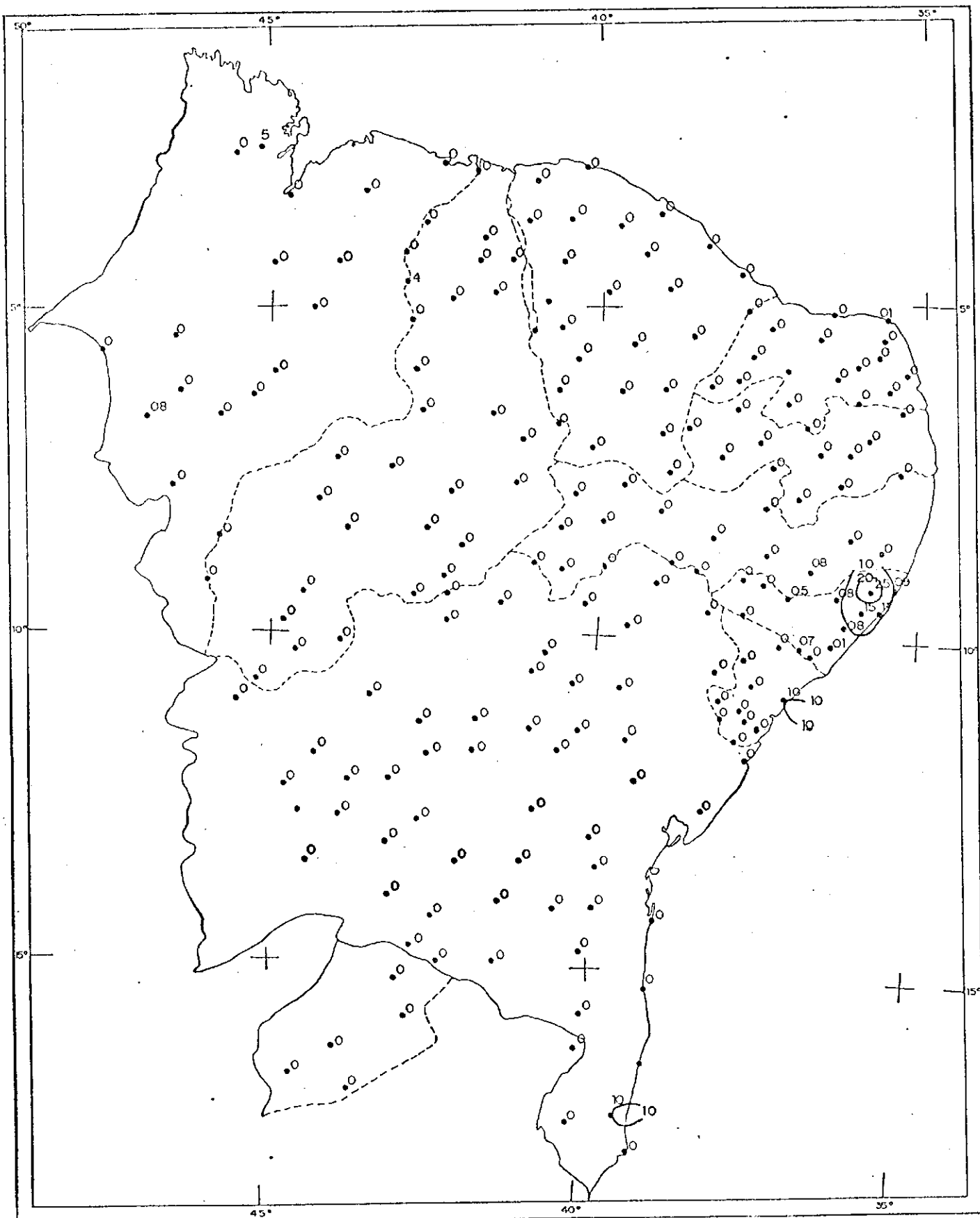


Fig. 4.42 - Valores e isoietas da precipitação total
(Período das 12:00 GMT de 11/05/76 às
12:00 GMT de 12/05/76).

12 5 76 700MB VALORES DA VELOCIDADE VERTICAL SUAVIZA E AJUSTADA (10^{-3} MB s^{-1})

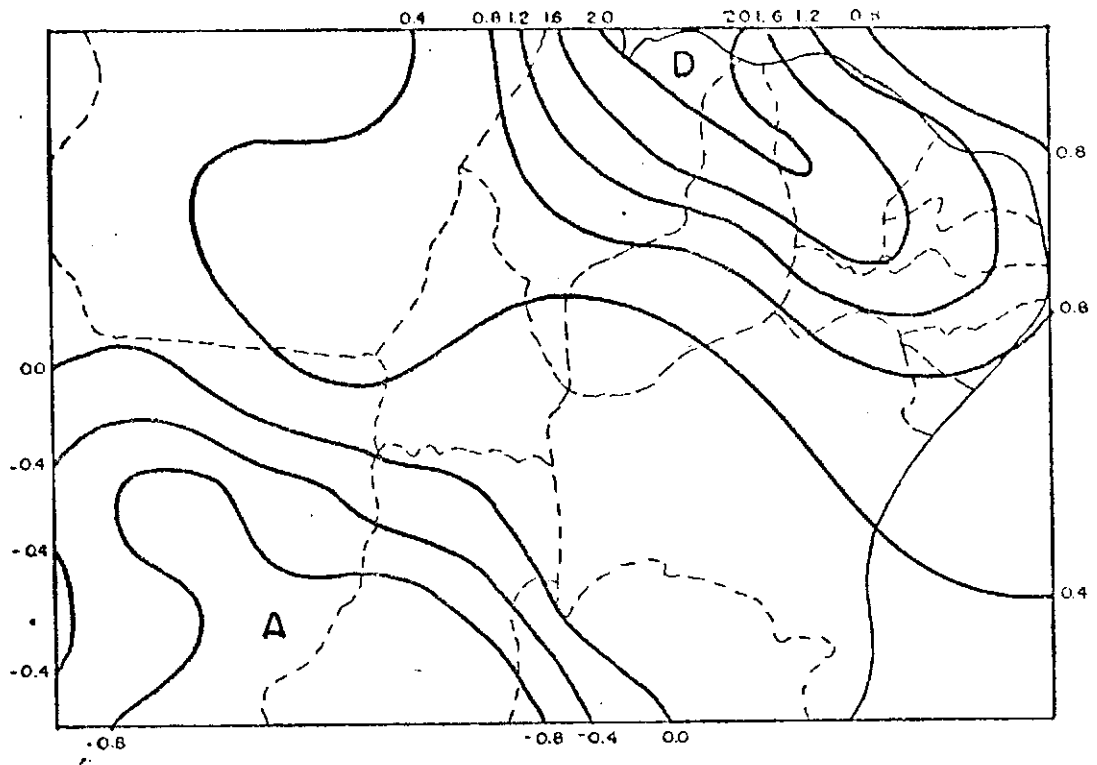


FIG. 4.43

12 5 76 300MB VALORES DA VELOCIDADE VERTICAL SUAVIZADA E AJUSTADA (10^{-3} MB s^{-1})

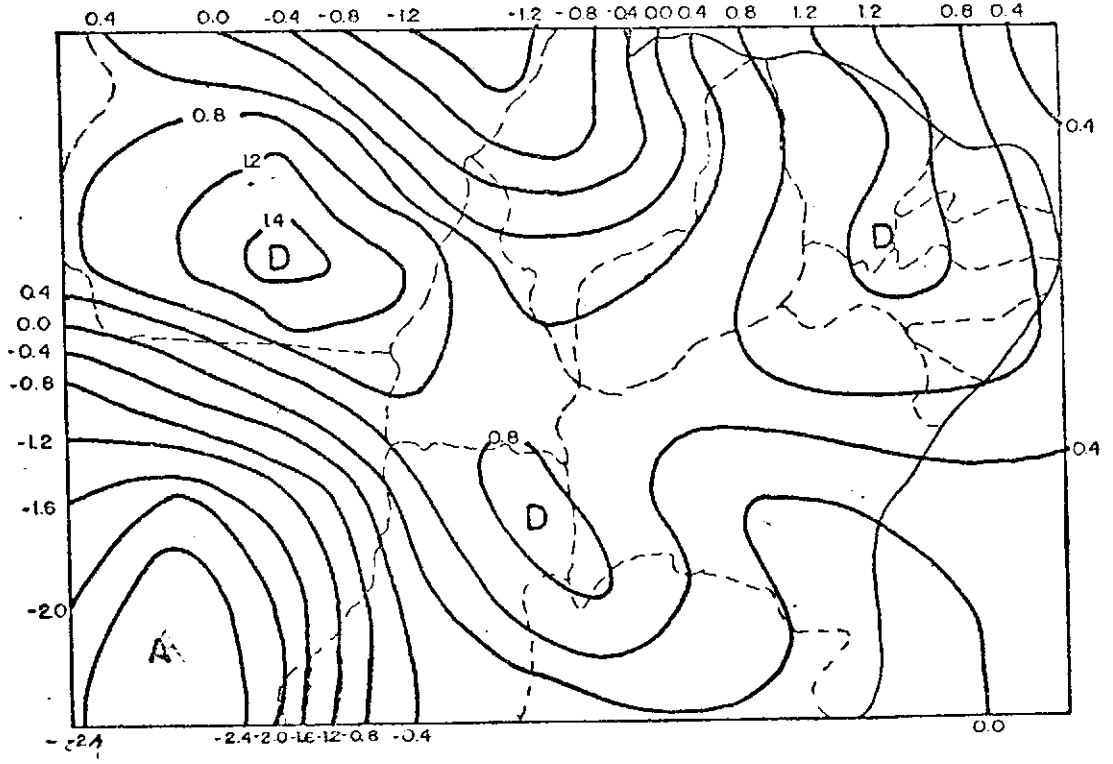


FIG. 4.44

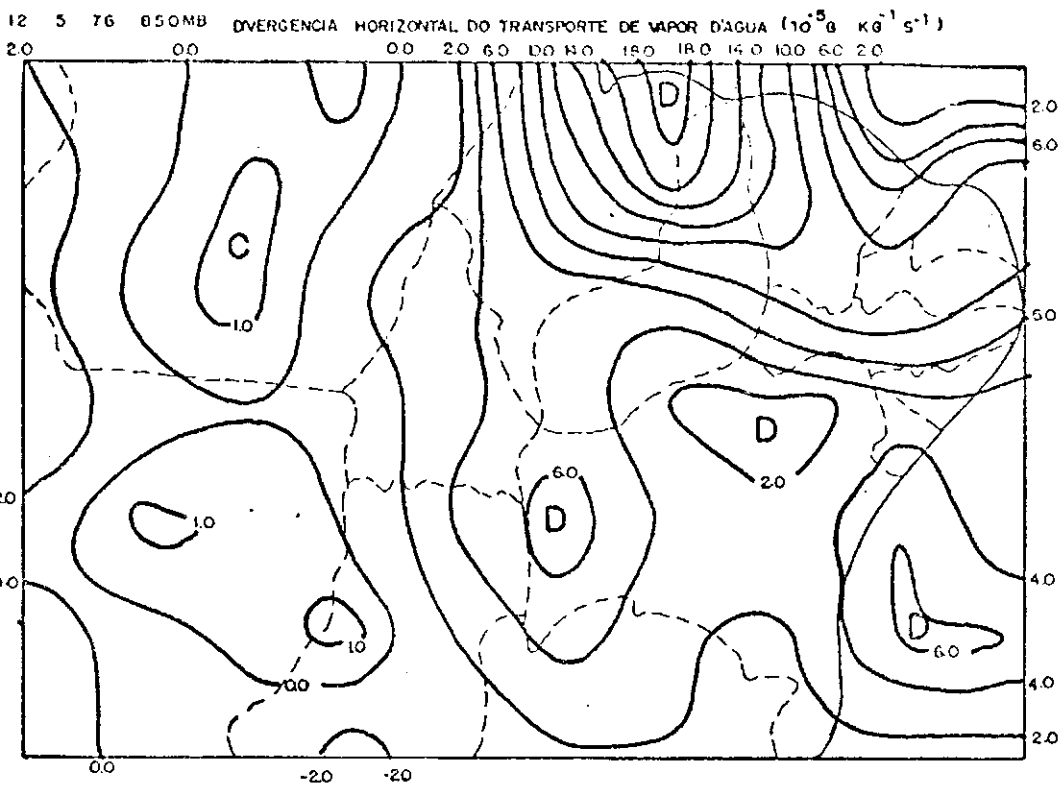


FIG. 4.45

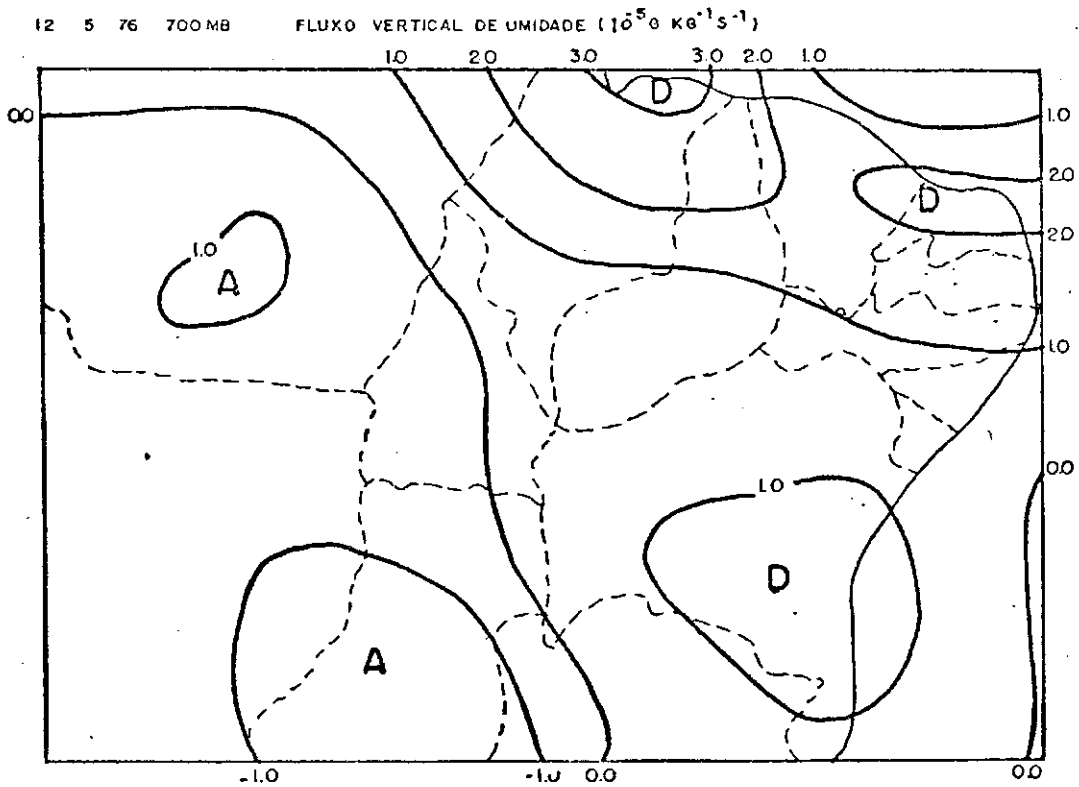


FIG. 4.46



FIG. 4.47 - Imagem de Satélite GOES-ESTE das
16:00 GTM do dia 13/05/76 no vi-
sível.

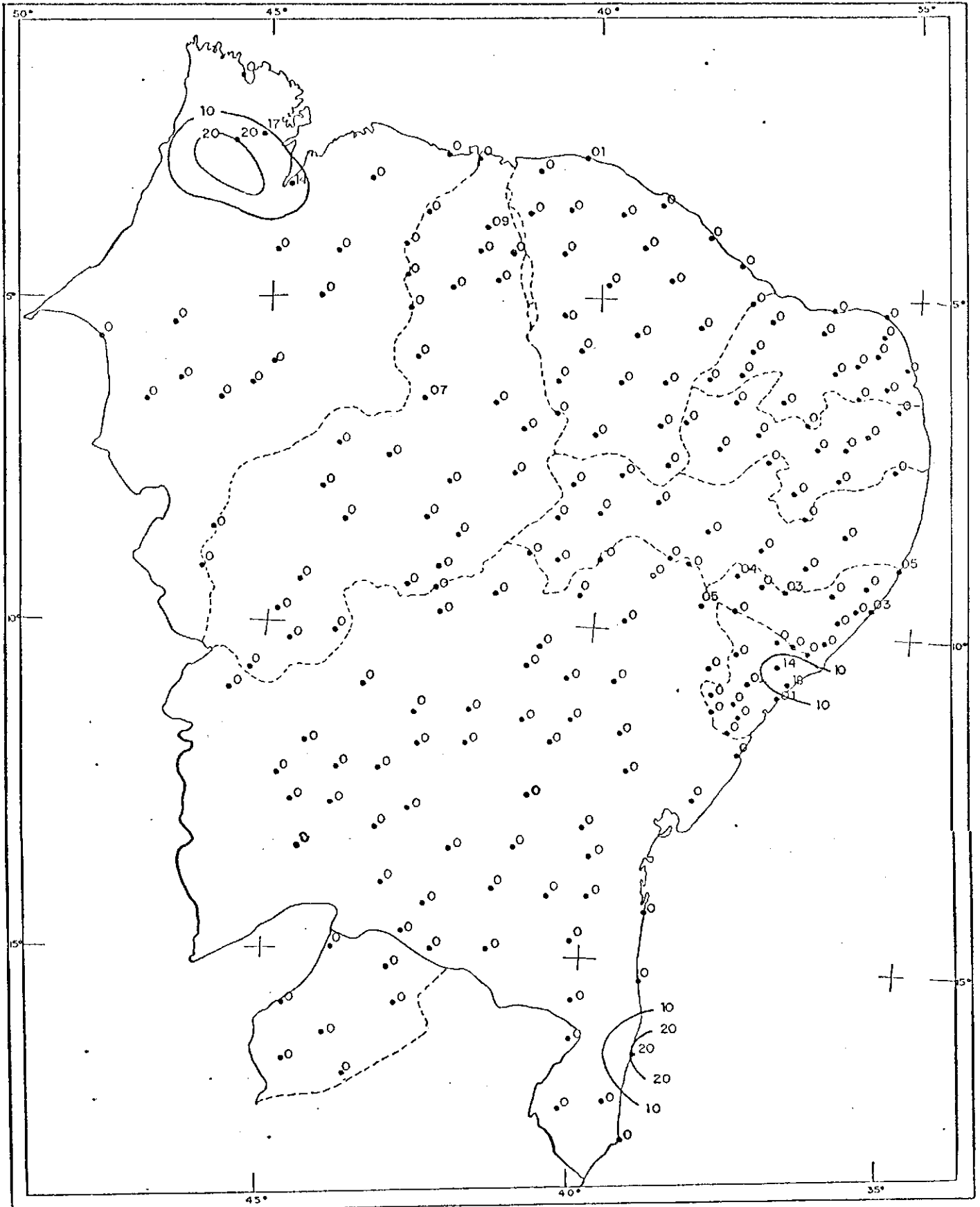


Fig. 4.48 - Valores e isoietas da precipitação total
(Período das 12:00 GMT de 12/05/76 às
12:00 GMT de 13/05/76).

13 5 76 850MB

VALORES DA VELOCIDADE VERTICAL SUAVIZADA E AJUSTADA (10^{-3} MB S^{-1})

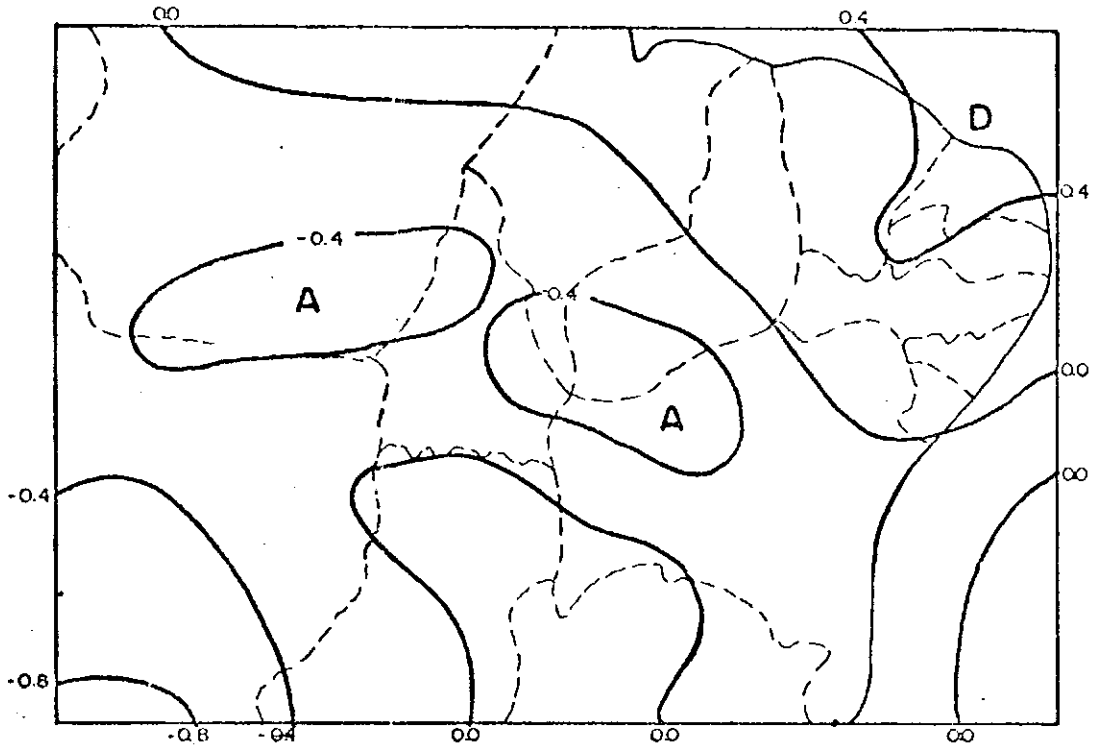


FIG. 4.49

13 5 76 200 MB

VALORES DA VELOCIDADE VERTICAL SUAVIZADA E AJUSTADA (10^{-3} MB S^{-1})

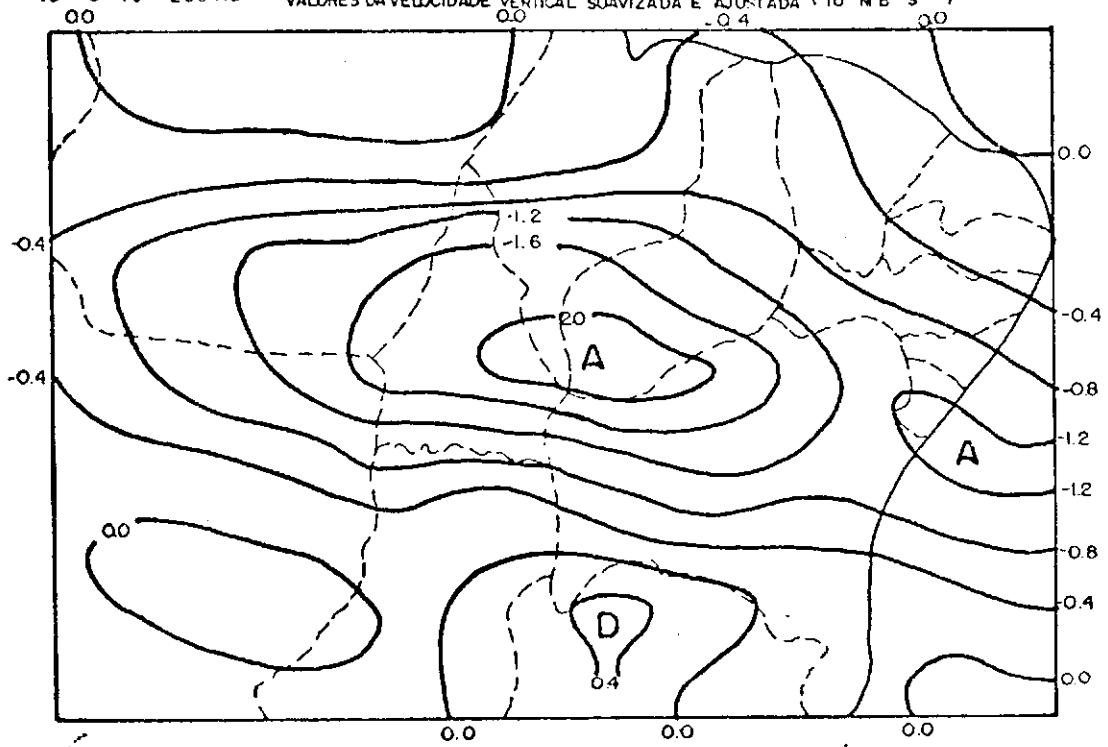


FIG. 4.50

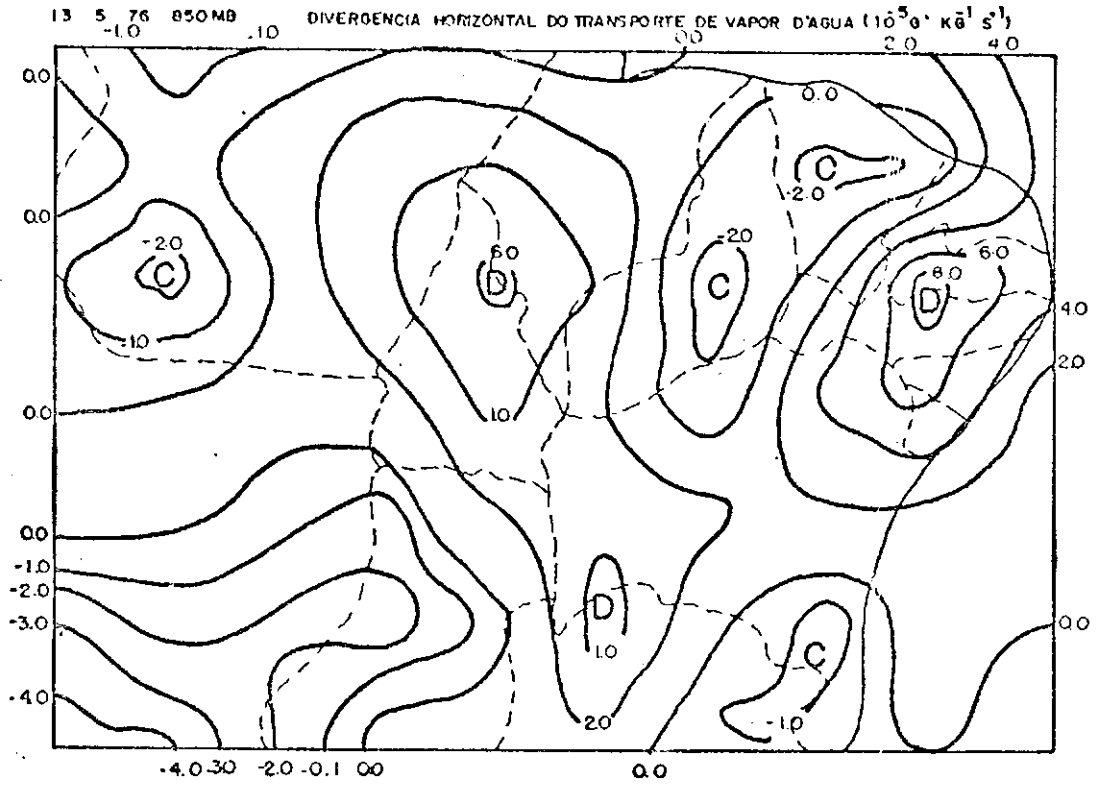


FIG. 4.51

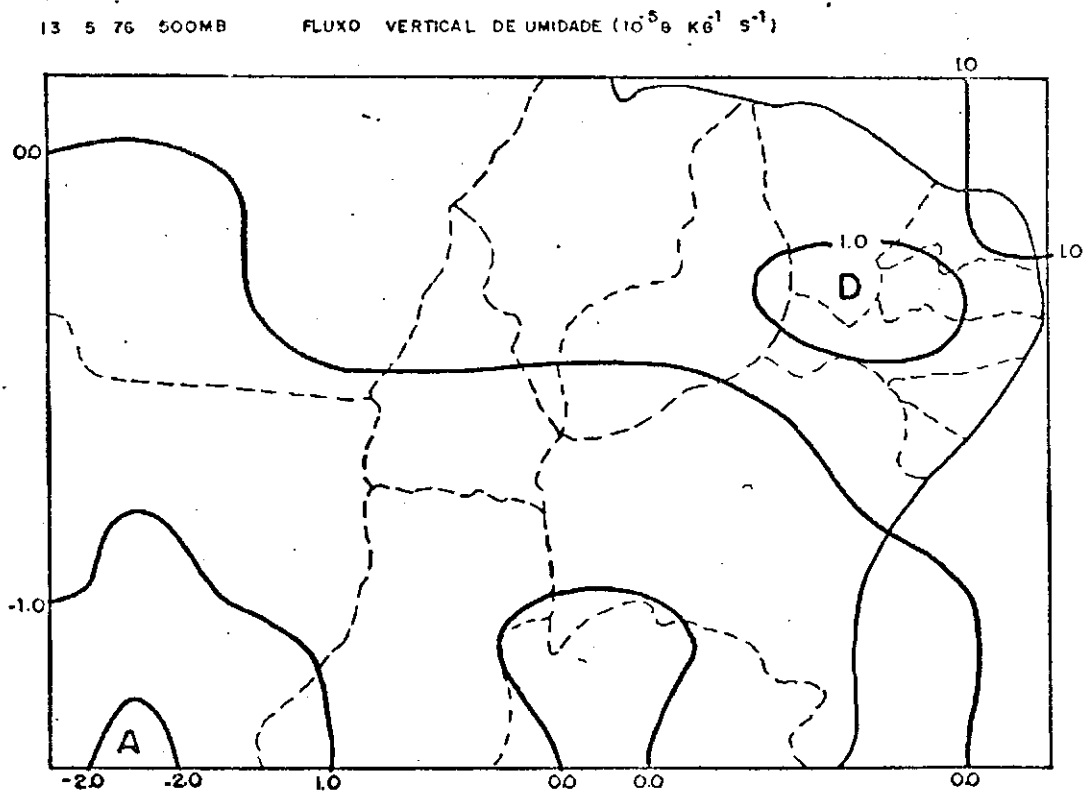


FIG. 4.52



FIG. 4.53 - Imagem de Satélite GOES-ESTE das
15:00 GMT do dia 14/05/76 no vi-
sível.

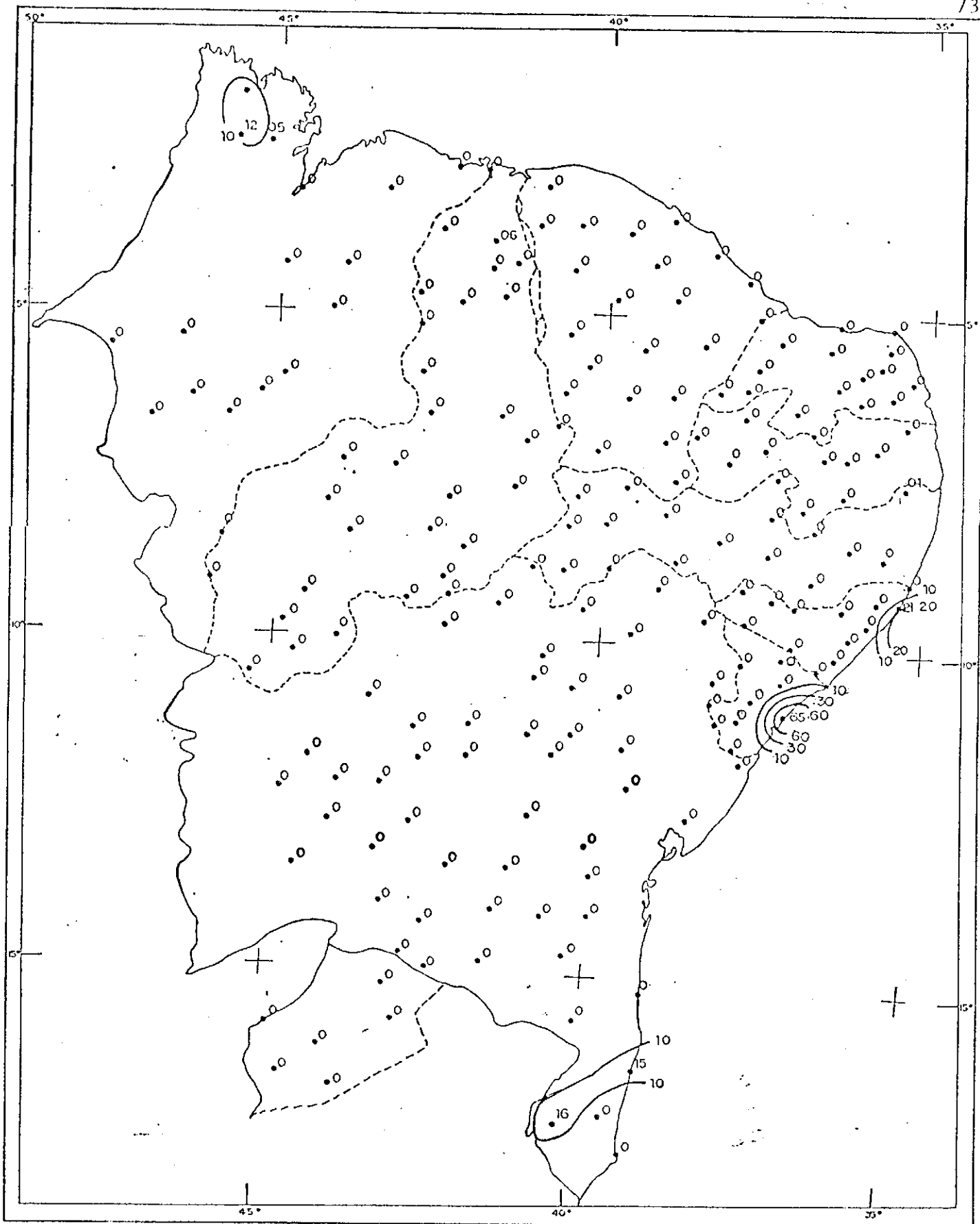


Fig. 4.54 - Valores e isoietas da precipitação total
 (Período das 12:00 GMT de 13/05/76 às
 12:00 GMT de 14/05/76).

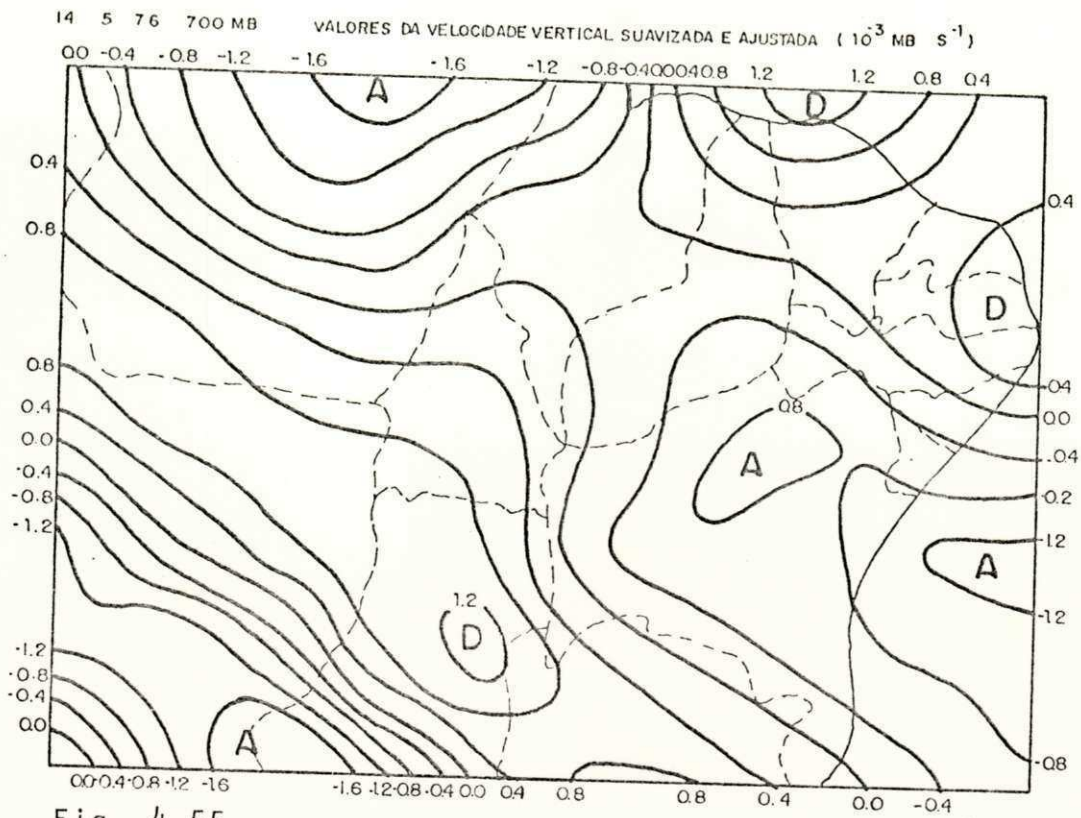


Fig. 4.55

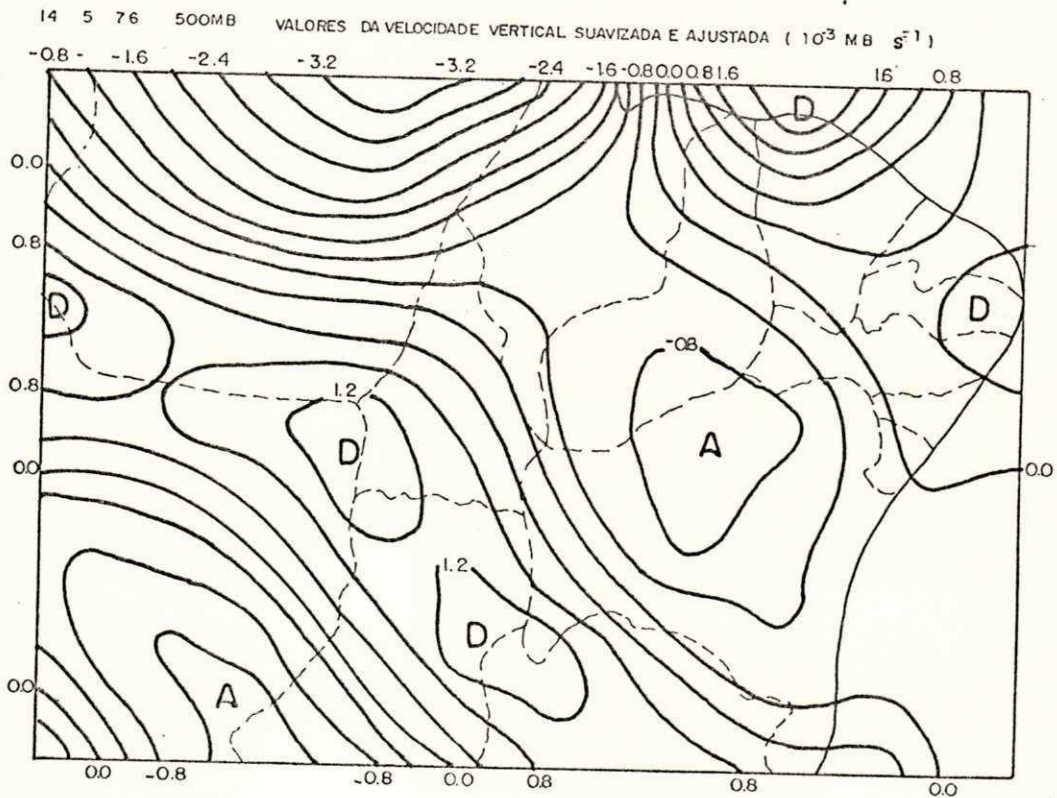
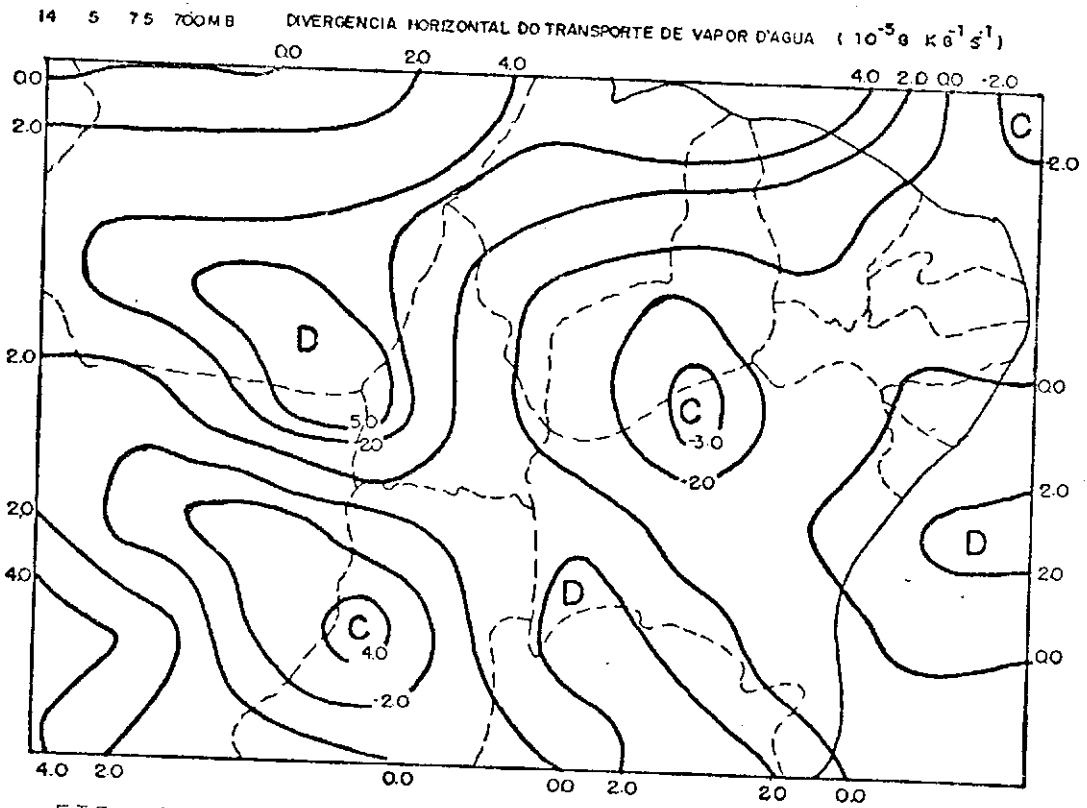
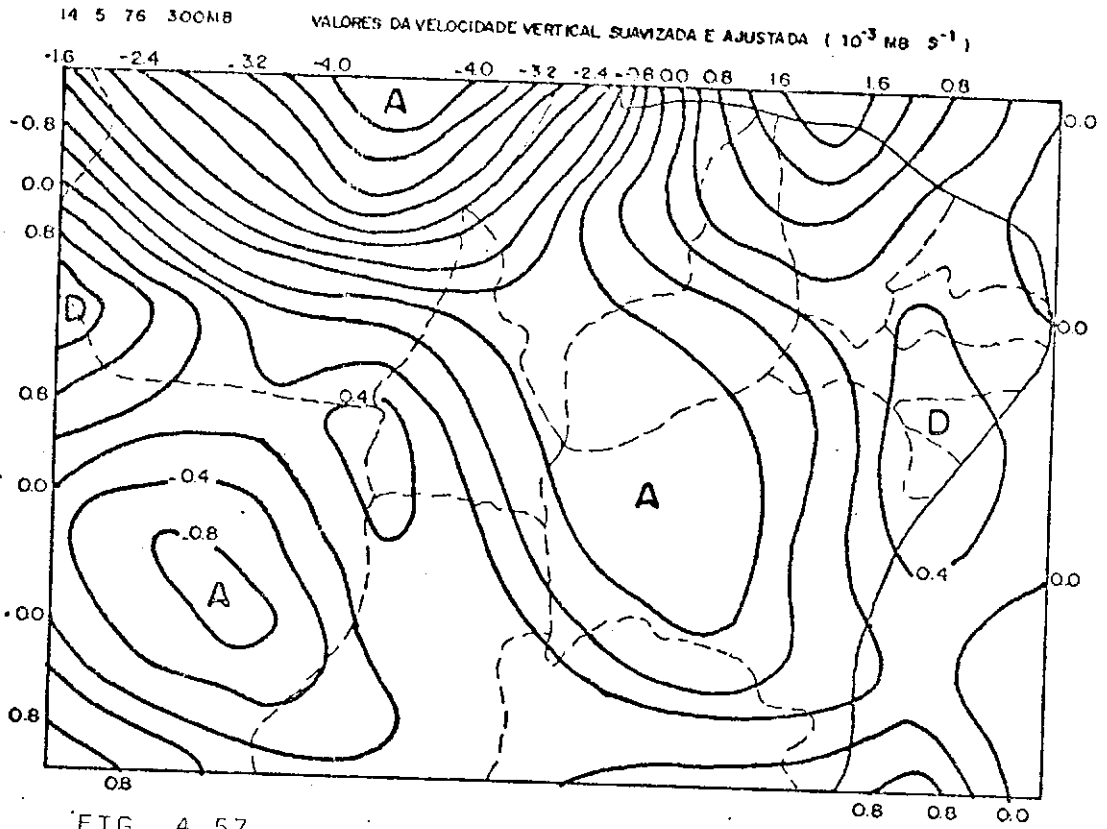


Fig. 4.56



14 5 76 700MB

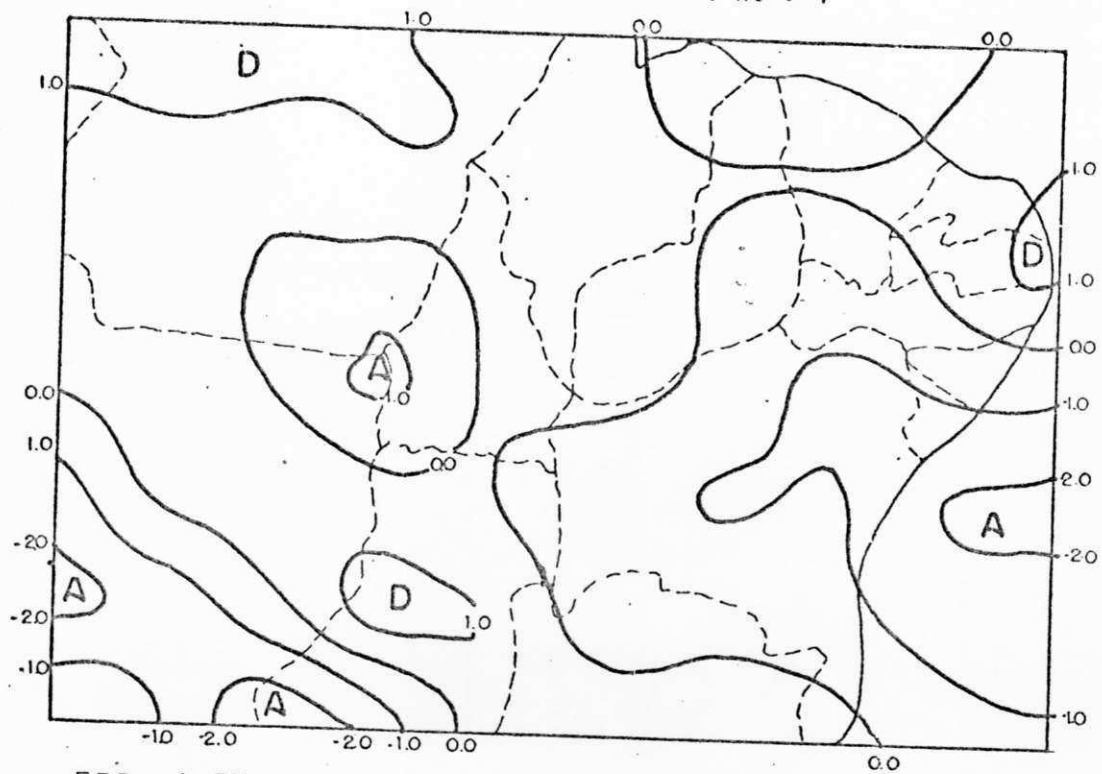
FLUXO VERTICAL DE UMIDADE ($10^5 \text{ G KG}^{-1} \text{ S}^{-1}$)

FIG. 4.59

12:00 15MY76 13A-Z 0006-1640 FULL DISC IP

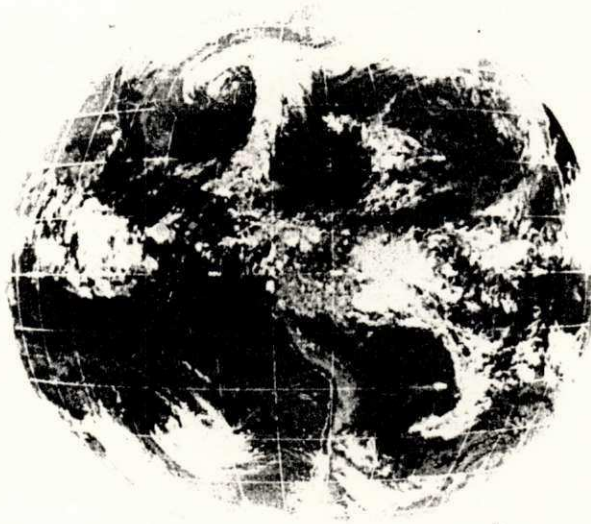


FIG. 4.60 - Imagem de Satélite GOES-ESTE das,
15:00 GMT no dia 15/05/76 no In-
fra-Vermelho.

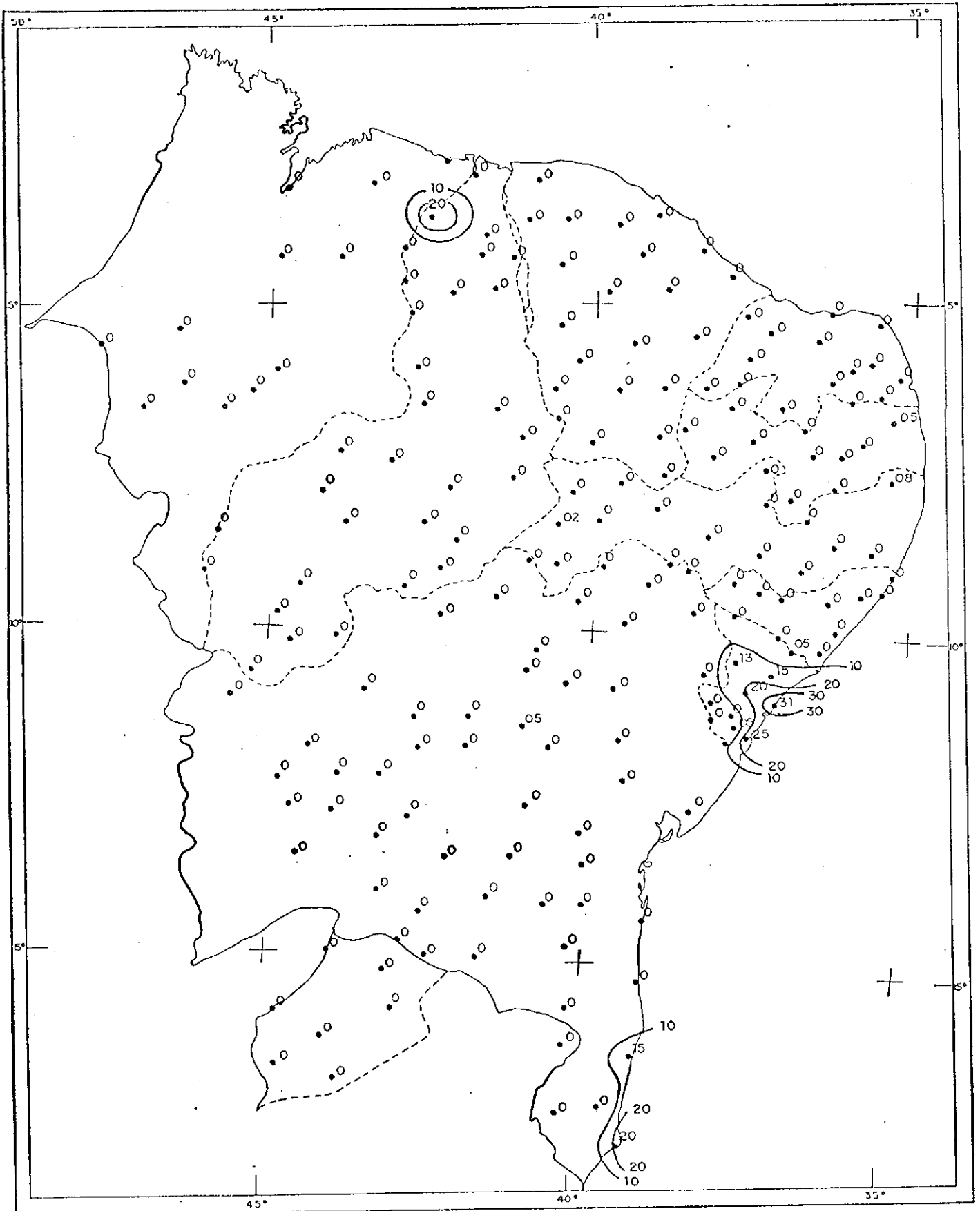


Fig. 4.61 - Valores e isoietas da precipitação total
(Período das 12:00 GMT de 14/05/76 às
12:00 GMT de 15/05/76).

