

AVALIAÇÃO DIÁRIA DAS CARACTERÍSTICAS DO VAPOR
D'ÁGUA ATMOSFÉRICO SOBRE O NE DO BRASIL

POR

RAIMUNDO MAINAR DE MEDEIROS

Orientador: DR. HUKUM SINGH RATHOR

Co-Orientador: ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI

Dissertação apresentada para
obtenção do título de mestre
em meteorologia, junto à
Universidade Federal da
Paraíba.

CAMPINA GRANDE

Estado da Paraíba - Brasil

Agosto de 1990



M488a

Medeiros, Raimundo Mainar de

Avaliação diária das características do vapor d'água atmosférico sobre o NE do Brasil / Raimundo Mainar de Medeiros. -

106 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

1. Precipitação - Nordeste 2. Vapor d'água atmosférico 3. Meteorologia 4. Ciências Atmosféricas 5. Dissertação I. Rathor, Hukum Singh (orientador) II. Cavalcanti, Enilson Palmeira (co-orientador) III. Título

CDU 551.577(812/813)(043)

AVALIAÇÃO DIÁRIA DAS CARACTERÍSTICAS DO VAPOR D'ÁGUA ATMOSFÉRICO
SOBRE O NE DO BRASIL

RAIMUNDO MAINAR DE MEDEIROS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 03/08/90

Hukum Singh Rathor
HUKUM SINGH RATHOR
(Orientador)

Emilson Palmeira Cavalcanti
EMILSON PALMEIRA CAVALCANTI
(Co-orientador)

Maria Regina da Silva Aragão
MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO
(Membro)

Jose Oribe Rocha de Aragão
JOSE ORIBE ROCHA DE ARAGÃO
(Membro)

CAMPINA GRANDE

AGOSTO - 1990

SUMÁRIO

	Página
Dedicatória.....	i
Agradecimento.....	ii
Resumo.....	iii
Summary.....	iv
1 - Introdução.....	1
2 - Revisão Bibliográfica.....	6
3 - Metodologia.....	15
3.1 - Escolha dos Períodos de Estudo.....	15
3.2 - Dados Utilizados.....	15
3.2.1 - Dados de Precipitação.....	15
3.2.2 - Dados do NMC.....	16
3.3 - Análise da Precipitação.....	17
3.4 - Formulação Teórica.....	27
3.4.1 - Equação da Difusão do Vapor D'água.....	27
3.5 - Forma de Análise.....	32
3.5.1 - Campos Médios Mensais.....	32
3.5.2 - Comportamento Diário.....	32
4 - Resultados e Conclusões.....	35
4.1 - Campos Médios da Pressão reduzida ao nível médio do mar.....	35
4.1.1 - Dezembro de 1977.....	35
4.1.2 - Março de 1978.....	38
4.1.3 - Junho de 1978.....	41
4.2 - Campos Médios D'água Precipitável.....	44

	Página
4.2.1 - Dezembro de 1977.....	44
4.2.2 - Março de 1978.....	47
4.2.3 - Junho de 1978.....	47
4.3 - Campos Médios da Divergência do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente.....	52
4.3.1 - Dezembro de 1977.....	52
4.3.2 - Março de 1978.....	55
4.3.3 - Junho de 1978.....	55
4.4 - Comportamentos Diários para os quadrados 12, 3,5.....	60
4.4.1 - Água precipitável, fluxo zonal e meridi- onal integrados verticalmente e divergên- cia para o "quadrado - 12" - dezembro de 1977.....	61
4.4.2 - Água precipitável, fluxo zonal e meridi- onal integrados verticalmente e divergên- cia para o "quadrado - 3" - março de 1978.....	64
4.4.3 - Água precipitável, fluxo zonal e meridi- onal integrados verticalmente e divergên- cia para o "quadrado - 5" - junho de 1978.....	67
4.5 - Conclusões e sugestões.....	70
Referências Bibliográficas	76
Apêndice - A.....	81
Apêndice - B.....	85

DEDICATORIA

A meus Pais,
Joaquim e Alaide
e ao filho Ramerson

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Hukun Singh Rathor pela sua orientação e incentivo que foram de suma importância na elaboração deste trabalho.

Ao MSc Enilson Palmeira Cavalcanti pela sua orientação, que foi de suma importância, também pela elaboração dos programas computacionais os quais foram usados neste trabalho.

Ao Núcleo de Processamento de Dados UFPb/Campus-II-Campina Grande - Pb.

Ao MSc Marcos Alberto Andrade de Araújo pelos esclarecimentos e sugestões.

Ao Dr. Pedro Leite da Silva Dias, pela ajuda na aquisição dos dados e pelas sugestões e críticas oferecidas.

Ao Dr. Valdo da Silva Marques, pelas sugestões na elaboração do trabalho e contribuição na aquisição dos dados.

Ao INPE pela facilidade na aquisição dos dados.

Ao Diretor do Centro de Ciências e Tecnologia Jorge Luiz Beja pela ajuda.

Ao Ex-Diretor do Centro de Ciências e Tecnologia Ademilson Monte Ferreira pela ajuda na aquisição dos materiais de trabalho usados nesta dissertação.

Ao Analista de Sistema José Leônidas Maciel da Silva pela ajuda e colaboração na leitura das fitas magnéticas.

A Engenheira Eyres Diana Ventura Silva pela ajuda na leitura e gravação das fitas magnéticas.

As bibliotecárias da seção de referência da Biblioteca do Campus II, pela ajuda na elaboração e normalização das referências bibliográficas.

A secretária do CMMet Divanete Cruz Rocha pelos incentivos.

Ao CNPq pela ajuda financeira.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente, na realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

RESUMO

O Nordeste do Brasil está sujeito a três regimes de precipitação principais: sua parte Norte ("regime - 3") tem máximo em março, a parte Leste tem máximo centrado em torno de maio-junho enquanto que na parte Sul o máximo ocorre em dezembro. Médias mensais baseadas em 60 anos de dados de 113 estações pluviométricas do Nordeste foram utilizadas para identificar os meses de dezembro de 1977, março e junho de 1978 como chuvoso, relativamente seco e normal, respectivamente. O comportamento diário do vapor d'água atmosférico foi analisado para esses meses. O conteúdo d'água precipitável, os fluxos zonal e meridional do vapor d'água integrados verticalmente e sua divergência foram calculados utilizando dados em ponto de grade do National Meteorological Center, para os horários das 00:00 e 12:00 TMG. Os resultados obtidos indicam que o conteúdo d'água precipitável e o transporte de vapor d'água são mais favoráveis à precipitação no período noturno. Fluxo de vapor d'água de Nordeste é a condição mais propícia à precipitação no "regime - 3", fluxo de vapor d'água de Nordeste-Norte-Noroeste favorece a ocorrência de chuva no "regime - 12" enquanto que outros fatores parecem influenciar a precipitação no "regime - 5".

SUMMARY

The Northeast of Brazil has three main precipitation regimes: rainfall in the northern part of the region ("regime - 3") has its maximum in March, the eastern part ("regime - 5") has maximum precipitation centered around May-June while the southern part ("regime - 12") has its maximum rainfall in december. Monthly means based on sixty-year rainfall data for 113 stations located in the region were used to identify December of 1977, March and June of 1978 as rainy, relatively dry and normal months, respectively. The daily behaviour of the atmospheric water vapor was analyzed for these months. Precipitable water, vertically integrated zonal e meridional water vapor fluxes and their divergence were calculated using National Meteorological Center gridpoint data for 00:00 and 12:00 GMT. The results obtained indicate that precipitable water and water vapor transport are more favorable for precipitation in nighttime. Northeasterly water vapor flux is the most favorable condition for precipitation in "regime - 3", northeasterly-northerly-northwesterly water vapor flux favors rainfall in "regime - 12" while others factors may play a role in "regime - 5".

LISTA DE FIGURAS

Página

- Figura 1.1 - Áreas em que os sistemas de chuvas identificados com 3, 5 e 12 produzem normalmente máximos principais. (Segundo STRANG, 1972)..... 3
- Figura 3.1 - (a) Total mensal de precipitação (mm) para o período de dezembro de 1977 à dezembro de 1978 e média climática (regime - 12); (b) desvio padrão normalizado da precipitação para a área Sul (regime - 12)... 20
- Figura 3.2 - (a) Total mensal de precipitação (mm) para o período de dezembro de 1977 à dezembro de 1978 e média climática (regime - 3); (b) desvio padrão normalizado da precipitação para a área Norte (regime - 3)..... 21
- Figura 3.3 - (a) Total mensal de precipitação (mm) para o período de dezembro de 1977 à dezembro de 1978 e média climática (regime - 5); (b) desvio padrão normalizado da precipitação para a área Leste (regime - 5)..... 22
- Figura 3.4 - (a) Total mensal de precipitação (mm) nos meses em estudos e média climática (regime - 12); (b) Desvio padrão normalizado da precipitação para a área Sul (regime - 12)..... 24
- Figura 3.5 - (a) Total mensal de precipitação (mm) nos meses em estudos e média climática (regime - 3); (b) Desvio padrão normalizado da precipitação para a área Norte (regime - 3)..... 25
- Figura 3.6 - (a) Total mensal de precipitação (mm) nos meses em estudos e média climática (regime - 5); (b) Desvio padrão normalizado da precipitação para a área Leste (regime - 5)..... 26
- Figura 3.7 - Localização dos quadrados de 2,5 por 2,5 graus representativos dos regimes pluviométricos em estudo: área Sul (regime - 12), área Norte (regime - 3) e área Leste (regime - 5)..... 34
- Figura 4.1 - Campo médio da pressão reduzida ao nível

	médio do mar (hPa) - dezembro de 1977 - 00:00 TMG.....	36
Figura 4.2 -	Campo médio da pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) - dezembro de 1977 - 12:00 TMG.....	37
Figura 4.3 -	Campo médio da pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) - março de 1978 - 00:00 TMG.....	39
Figura 4.4 -	Campo médio da pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) - março de 1978 - 12:00 TMG.....	40
Figura 4.5 -	Campo médio da pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) - junho de 1978 - 00:00 TMG.....	42
Figura 4.6 -	Campo médio da pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) - junho de 1978 - 12:00 TMG.....	43
Figura 4.7 -	Campo médio d'água Precipitável (mm) dezembro de 1977 - 00:00 TMG.....	45
Figura 4.8 -	Campo médio d'água Precipitável (mm) dezembro de 1977 - 12:00 TMG.....	46
Figura 4.9 -	Campo médio d'água Precipitável (mm) março de 1978 - 00:00 TMG.....	48
Figura 4.10 -	Campo médio d'água Precipitável (mm) março de 1978 - 12:00 TMG.....	49
Figura 4.11 -	Campo médio d'água Precipitável (mm) junho de 1978 - 00:00 TMG.....	50
Figura 4.12 -	Campo médio d'água Precipitável (mm) junho de 1978 - 12:00 TMG.....	51
Figura 4.13 -	Divergência do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (mm/dia) - dezembro de 1977 - 00:00 TMG.....	53
Figura 4.14 -	Divergência do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (mm/dia) - dezembro de 1977 - 12:00 TMG.....	54
Figura 4.15 -	Divergência do fluxo de vapor d'água	

	integrado verticalmente (mm/dia) - março de 1978 - 00:00 TMG.....	56
Figura 4.16 -	Divergência do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (mm/dia) - março de 1978 - 12:00 TMG.....	57
Figura 4.17 -	Divergência do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (mm/dia) - junho de 1978 - 00:00 TMG.....	58
Figura 4.18 -	Divergência do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (mm/dia) - junho de 1978 - 12:00 TMG.....	59
Figura 4.19 -	Comportamento diário d'água precipitável para a área Sul (regime - 12) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.....	62
Figura 4.20 -	Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Sul (regime - 12) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.....	63
Figura 4.21 -	Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Sul (regime - 12) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.....	65
Figura 4.22 -	Comportamento diário d'água precipitável para a área Norte (regime - 3) nos mês de março de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.....	66
Figura 4.23 -	Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Norte (regime - 3) no mês de março de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.....	68
Figura 4.24 -	Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Norte (regime - 3) no mês de março de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.....	69
Figura 4.25 -	Comportamento diário d'água precipitável para a área Leste (regime - 5) no mês de junho de 1978, no horário das: (a)	

00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..... 71

Figura 4.26 - Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Leste (regime - 5) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..... 72

Figura 4.27 - Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Leste (regime - 5) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..... 73

- Figura B.01 - Comportamento diário d'água precipitável para a área Norte (regime - 3) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..... 86
- Figura B.02 - Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Norte (regime - 3) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..... 87
- Figura B.03 - Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Norte (regime - 3) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG... 88
- Figura B.04 - Comportamento diário d'água precipitável para a área Leste (regime - 5) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..... 89
- Figura B.05 - Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Leste (regime - 5) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..... 90
- Figura B.06 - Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Leste (regime - 5) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.... 91
- Figura B.07 - Comportamento diário d'água precipitável para a área Sul (regime - 12) no mês de março de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..... 92
- Figura B.08 - Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Sul (regime - 12) no mês de março de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..... 93
- Figura B.09 - Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Sul (regime - 12) no mês de março de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG... 94
- Figura B.10 - Comportamento diário d'água precipitável para a área Leste (regime - 5) no mês de março de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..... 95

- Figura B.11 - Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Leste (regime - 5) no mês de março de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..... 96
- Figura B.12 - Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Leste (regime - 5) no mês de março de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.... 97
- Figura B.13 - Comportamento diário d'água precipitável para a área Sul (regime - 12) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..... 98
- Figura B.14 - Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Sul (regime - 12) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..... 99
- Figura B.15 - Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Sul (regime - 12) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG....100
- Figura B.16 - Comportamento diário d'água precipitável para a área Norte (regime - 3) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..... 101
- Figura B.17 - Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Norte (regime - 3) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..... 102
- Figura B.18 - Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Norte (regime - 3) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..... 103
- Figura B.19 - Perfil vertical médio mensal dos fluxos zonal e meridional do vapor d'água (Kg/m.s) para a área Sul (regime - 12) no horário das: 00:00 TMG e 12:00 TMG, para dezembro de 1977, março e junho de 1978..... 104
- Figura B.20 - Perfil vertical médio mensal dos fluxos zonal e meridional do vapor d'água (Kg/m.s) para a área Norte (regime - 3) no horário

das: 00:00 TMG e 12:00 TMG, para dezembro
de 1977, março e junho de 1978..... 105

Figura B.21 - Perfil vertical médio mensal dos fluxos
zonal e meridional do vapor d'água (Kg/m.s)
para a área Leste (regime - 5) no horário
das: 00:00 TMG e 12:00 TMG, para dezembro
de de 1977, março e junho de 1978..... 106

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 3.1 - P-Precipitação média climática, DP-Desvio Padrão, P _{77/78} -precipitação de dez/77 à dez/78, DPN-Desvio padrão Normalizado para dez/77 à dez/78.....	18
Tabela A.1 - Rede Pluviométrica do Nordeste do Brasil....	82

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, o maior país da América do Sul, é também um país de grandes contrastes em seus aspectos físicos. As exuberâncias da floresta amazônica e sua extensa rede hidrográfica, a vegetação rasteira do solo nordestino semi-árido, as áreas pantanosas da Região Centro-Oeste, entre outros, são exemplos destes contrastes que, de certa forma, estão relacionados com as condições médias do tempo e sobretudo com a precipitação, e com a distribuição e o transporte do vapor d'água na atmosfera sobre estas regiões.

Uma das regiões que ocasionalmente sofre o maior impacto de variações climáticas é o Nordeste do Brasil (NEB), com sua extensão territorial de 1.540.827 km², e cujo relevo é constituído por amplas planícies (baixadas litorâneas), por vales baixos, geralmente inferiores a 500 metros, entre superfícies que alçam, muitas vezes, a cota de 800 metros na Borborema, Araripe, Ibiapaba e de 1.200 metros na Diamantina. Este relevo variável somado a uma conjunção de diferentes sistemas de circulação atmosférica, tornam a climatologia desta região uma das mais complexas do mundo. A grande variabilidade climática (intraanual, interanual e espacial) tem enormes reflexos na economia e na sociedade, cujas conseqüências se fazem sentir de forma marcante nos animais e vegetais da região.

Esta complexidade não se traduz em grandes diferenciações térmicas, mas reflete-se em uma extraordinária variedade climática, do ponto de vista da pluviosidade, sem igual em outras regiões brasileiras.

Apesar dos fatores citados acima exercerem papéis importantes na climatologia do NEB, sua complexidade decorre fundamentalmente de sua posição geográfica em relação aos diversos sistemas de circulação atmosférica. Até mesmo os demais fatores como o relevo, a latitude, a continentalidade ou maritimidade, agem sobre as condições climáticas em interação com os diferentes sistemas de circulação atmosférica.

STRANG (1972) e MONTE (1986) constataram que atuam na região do Nordeste do Brasil três sistemas pluviais, penetrando de direções diferentes, e ocorrendo em épocas distintas do ciclo anual. Observou ainda que os meses centrais de atuação de cada sistema são: dezembro (12) - sistemas frontais, março (3) - posicionamento e intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e maio (5) - sistemas de brisa e ondas de Este (ver Figura 1.1), e que a ação dos três sistemas pluviais, determina os regimes anuais nas áreas de suas influências, individualmente ou combinados, onde tipos de família de curvas permitiram definir as áreas de atuação de cada sistema.

O vapor d'água e o seu transporte, através da

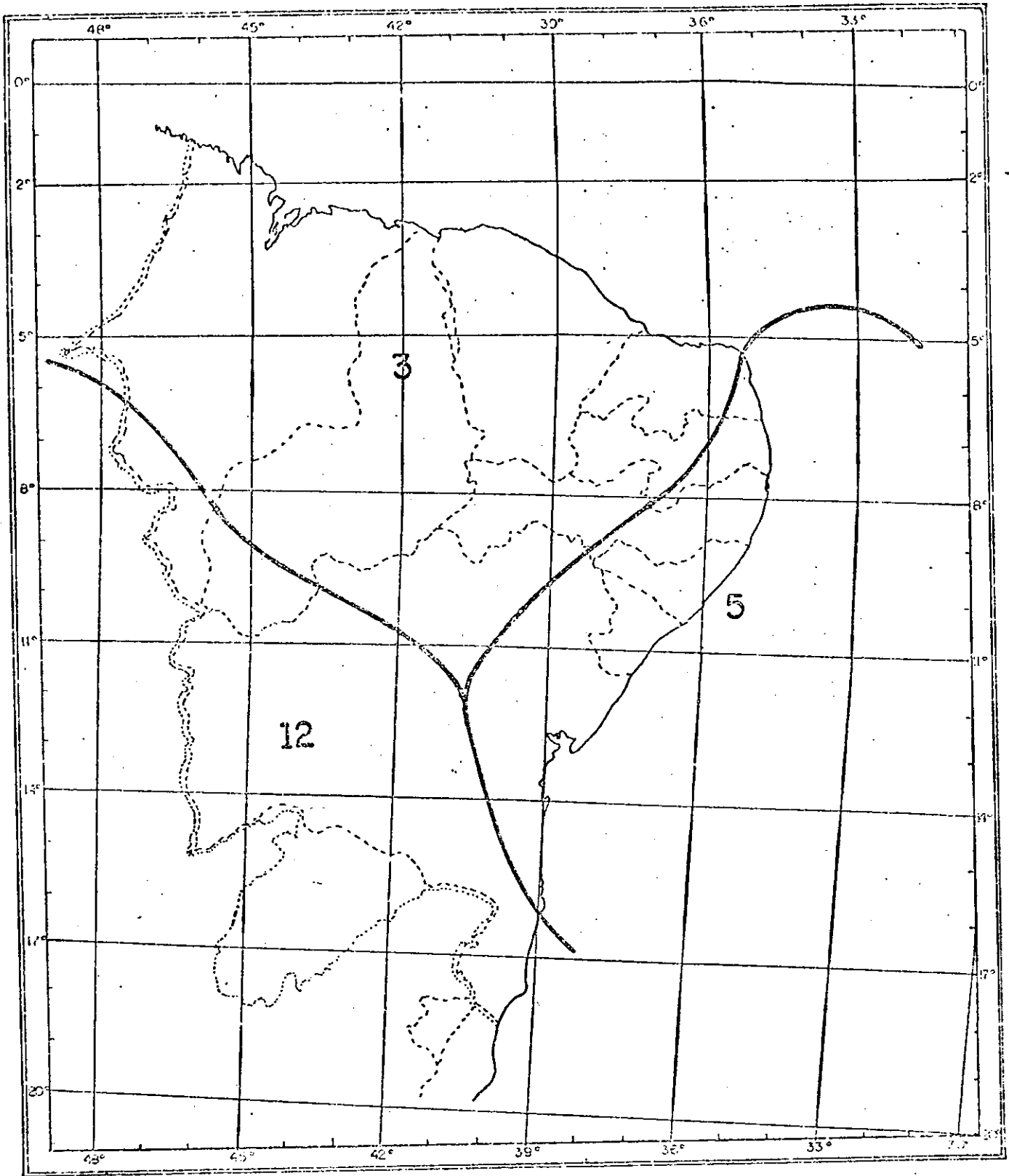


Figura 1.1 - Áreas em que os sistemas de chuvas identificados com 3, 5 e 12 produzem normalmente máximos principais. (Segundo STRANG, 1972).

circulação geral da atmosfera, governam a natureza e a característica da precipitação sobre as regiões úmidas, áridas e semi-áridas da Terra. Como mostraram BENTON et alii (1950), BENTON e ESTOQUE (1954), o transporte do vapor d'água atmosférico se constitui no mais importante suprimento de água para o ciclo hidrológico em várias regiões da Terra. Como este suprimento está diretamente ligado à circulação atmosférica (PEIXOTO, 1965), o transporte de vapor d'água sofre variações de natureza sinótica, geográfica, climática e principalmente devido à variação do teor de umidade da atmosfera em curtos intervalos de tempo.

Embora já existam vários estudos meteorológicos sobre o vapor d'água no Brasil, e em especial sobre o Nordeste do Brasil (NEB), a maior parte desses estudos foi realizada com poucos dados de altitude e abordando somente aspectos de natureza climatológica (SILVA MARQUES, 1981; ARAUJO, 1982; DI PACE, 1984; RATHOR et alii, 1983).

Uma primeira tentativa de análise do clima do ar superior sobre o NEB, explorando os aspectos da energética, do fluxo de vapor d'água, da circulação geral e de suas relações com as variações anuais e interanuais da precipitação, foi realizada por SILVA MARQUES (1981). Em seguida, CAVALCANTI (1986) e RATHOR et alii (1989) aperfeiçoaram a metodologia permitindo automatização dos cálculos.

Resultados obtidos por vários pesquisadores na análise do campo da divergência e do campo do transporte do vapor d'água na atmosfera vieram provocar nos diferentes ramos da geofísica um interesse bastante acentuado, que nos afigura importante o estudo sobre outros aspectos do mesmo assunto.

Com este pensamento, e utilizando-se de dados gerados pelo National Meteorological Center (NMC) para os horários sinóticos das 00:00 TMG e 12:00 TMG, procurou-se estudar neste trabalho o comportamento mensal e diário do vapor d'água para áreas do NEB submetidas a diferentes regimes de precipitação conforme STRANG (1972) e MONTE (1986).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Pesquisas tem sido realizadas em várias partes do globo terrestre, visando investigações e diagnósticos de fenômenos atmosféricos, incluindo processos físicos de transporte de energia e vapor d'água. Entre estes trabalhos destaca-se alguns que julgou-se ser particularmente importantes para o desenvolvimento desta dissertação.

SAMPAIO FERRAZ (1931) atribuiu a ocorrência de anomalias de precipitação no Nordeste brasileiro à trajetórias dos anticiclones frios na troposfera sobre a região, ou seja, durante a estação chuvosa esses sistemas atingem as baixas latitudes, penetrando mais intensamente na citada região, causando instabilidade e convecção e, em consequência, provocando precipitação.

SERRA e RATISBONA (1942) mostraram que o regime de precipitação da parte Norte e Central do Nordeste brasileiro está condicionado ao movimento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e lembram que as estiagens que ocorrem na região devem ser atribuídas ao fato de que nos anos secos a ZCIT permanece ao Norte do equador, não estendendo-se até o nordeste brasileiro.

SERRA (1946) verificou que existe simetria entre a

atividade das invasões de massas de ar no Hemisfério Norte e Hemisfério Sul, em direção ao equador. Em anos chuvosos as freqüentes invasões sobre o golfo do México e o mar do Caribe forçam a ZCIT para o Sul. Ao mesmo tempo, invasões simétricas do Hemisfério Sul, sucedendo uma a outra rapidamente, empurram o anticiclone subtropical do Atlântico Sul para Leste, no Oceano Atlântico, enfraquecendo os ventos aliseos e permitindo a convergência e a precipitação na região semi-árida. Segundo o autor, a principal causa da precipitação no Nordeste brasileiro deve ser o movimento da ZCIT para o Sul, determinado pelas penetrações de ar frio no Leste e Sul do Brasil.

SPAR (1953) elaborou uma técnica para o prognóstico da quantidade de chuva, a partir do campo do transporte do vapor e da variação diária do conteúdo de vapor d'água atmosférico. A técnica mostrou alguma relação entre as quantidades da chuva prevista e observada, no que concerne à distribuição espacial. Porém para valores locais, a metodologia pareceu não ser aplicável.

BENTON e ESTOQUE (1954) realizaram um balanço de água para o continente Norte-Americano, através do campo da divergência do fluxo de vapor d'água, em comparação com a equação da continuidade de massa para a água, e também estimaram a evapotranspiração da região. O estudo demonstrou que o transporte de vapor d'água pode ser usado para avaliar com

precisão o balanço de água mensal de extensas áreas continentais. E esclareceram que o continente Norte-Americano atua como fonte de umidade durante o verão e como sumidouro nas outras estações. Observaram ainda que, em geral, não havia necessariamente uma alta correlação entre os valores numéricos mensais da transferência de vapor d'água e da precipitação que, por sua vez, está mais diretamente associada à convergência do fluxo de vapor d'água do que a sua transferência. Todavia, valores excepcionalmente altos do transporte de vapor podem estar associados a valores normais de precipitação ou um pouco abaixo da normal.

STARR e PEIXOTO (1958) estudaram o campo da divergência do vapor d'água na atmosfera e comprovaram a existência de centros de divergência com intensidades elevadas sobre a maioria das regiões desérticas do Hemisfério Norte, o que implica em evaporação muito ativa, potencialmente.

Em estudo realizado por PEIXOTO (1959) para o Hemisfério Norte e o ano de 1950, após examinar os 12 meses de observações do continente Americano (pois as observações nesta região para este ano estavam mais completas) foi verificado que valores muito baixos do fluxo de vapor nunca aparecem associados a valores elevados da quantidade de precipitação, e que a existência de valor elevado do fluxo de vapor d'água é condição necessária mas não suficiente para a ocorrência de chuva nessa

região. Quando o fluxo é elevado e está associado à existência de baixas baroclínicas com fortes movimentos verticais, é quase certa a ocorrência de precipitação.

BENWELL (1965) esclarece que: O termo "água precipitável" não deve ser considerado como a quantidade de água que pode, de fato, ser precipitada mediante um processo físico qualquer. Para fins práticos, todavia, a água precipitável contida na troposfera pode ser considerada como suficientemente representativa do vapor d'água disponível para o processo de precipitação.

NAMIAS (1972), estudando a inter-correlação entre a circulação à 700 hPa sobre o Atlântico Norte e a precipitação em Quixeramobim (Ceará), notou que a atividade ciclônica muito intensa próximo à Terra Nova está associada com a precipitação acima da normal nesta localidade. Sugeriu que essa atividade ciclônica aumenta a circulação da célula de Hadley, incrementada pelos ventos aliseos de Nordeste.

ARAGÃO (1975) afirmou que durante os períodos de seca na região Nordeste do Brasil não há falta de umidade nos baixos níveis da atmosfera, mas inexiste um mecanismo dinâmico capaz de provocar movimentos ascendentes que tenham como resultado a formação de nuvens suficientemente desenvolvidas para produzir precipitação.

MARQUES (1976) aplicou o método aerológico a fim de analisar o comportamento do campo de vapor d'água e sua transferência na atmosfera, em uma faixa da Amazônia entre Belém e Manaus, região essa que apresenta um dos mais altos índices de precipitação do globo. Observou que o Oceano Atlântico constitui a principal fonte de umidade para essa região, sendo o suprimento do vapor d'água feito pela costa Nordeste da América do Sul. O fluxo de vapor d'água na área em estudo foi predominantemente zonal de Este, com a camada de 1000/700 hPa contendo 80% do total de vapor d'água.

KRISHNAMURTI (1978), relacionando a variação d'água precipitável com aspectos sinóticos, notou que nos meses de monção de inverno sobre a Índia, há uma variação mensal no conteúdo de umidade atmosférica, sendo que o máximo ocorre em julho-agosto. KRISHNAMURTI verificou que distúrbios de mesoescala produzem convergência em baixos níveis com consequente movimento vertical ascendente do ar úmido. Esse resultado comprova a relevância da mesoescala na região tropical que está diretamente ligada à convecção tipo cúmulos.

Estudando a transferência horizontal do vapor d'água na troposfera sobre a Amazônia, MARQUES (1978) encontrou que em grande parte da bacia amazônica há, em média, predominância de convergência no campo do fluxo de vapor d'água e mostrou ser ela um sumidouro de vapor d'água para a atmosfera sobre a

região, havendo uma boa concordância entre as configurações dos campos de convergência na baixa troposfera e da precipitação na região. Observou, ainda, a existência de transporte de vapor d'água da Amazônia para o Chaco Paraguaio e Pantanal Matogrossense, bem como para o Noroeste da América do Sul. Finalmente, o autor estimou pelo método aerológico que, em média, 46% da precipitação que cai na bacia amazônica tem como origem o vapor d'água oceânico, transportado para a região pelos ventos aliseos que sopram constantemente do oceano e que 54% da precipitação tem como origem o vapor d'água oriundo da evapotranspiração real local.

Segundo KOUSKY (1979), as chuvas de dezembro-janeiro na porção Sul do Nordeste brasileiro estão inteiramente relacionadas com as penetrações de frentes oriundas do Sul do continente. KOUSKY determinou ainda que penetrações frontais são também responsáveis pelo acréscimo de chuvas ao longo da costa Este do Nordeste do Brasil, desde a Bahia até o Rio Grande do Norte, durante a estação de inverno e que, algumas vezes, as frentes podem influenciar até a parte Norte, tal como o estado do Ceará.

GOMES FILHO (1979), procurando prováveis causas locais, estudou as influências do albedo superficial e da orografia nos mecanismos geradores de precipitação na Região Nordeste do Brasil. Ele mostrou que a orografia, como também o albedo,

induzem uma velocidade vertical descendente, com máximo localizado exatamente sobre a zona semi-árida da Região.

SILVA MARQUES (1981) e SILVA MARQUES et alii (1983), estudando o fluxo de vapor d'água na atmosfera da Região Nordeste do Brasil verificaram que, quanto ao fluxo de vapor d'água, as diferenças fundamentais entre as estações seca e chuvosa ocorrem nas fronteiras Norte e Sul e entre os anos seco e chuvoso nas fronteiras Noroeste e Sudeste. Estes dois resultados levaram a crer que variações relevantes no balanço de vapor d'água na Região devem estar ligadas a variações no posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) associadas com possíveis penetrações de massas de ar procedentes de Sul.

ARAUJO (1982), analisando o comportamento do vapor d'água sobre o Nordeste do Brasil para o ano de 1975, observou que valores elevados de água precipitável foram condição necessária, mas não suficiente, para provocar valores altos de precipitação. Assim, além do conteúdo de água precipitável aspectos sinóticos e possivelmente orográficos que originam movimentos verticais na atmosfera devem ser considerados. Os resultados obtidos sugerem que o método aerológico pode ser usado no estudo do comportamento do vapor d'água sobre a região semi-árida do Nordeste do Brasil.

HOWARTH (1983), estudando a variação sazonal do transporte do vapor d'água integrado verticalmente sobre o Hemisfério Sul, notou ser ela máxima nos trópicos e subtropicais para água precipitável e fluxo zonal enquanto que o fluxo meridional não varia.

PEIXOTO e OORT (1983), estudando o ramo atmosférico do ciclo hidrológico e climatológico no período de 10 anos compreendido entre os anos de 1963 e 1973, para o globo, mostraram a importância do vapor d'água no ciclo energético da atmosfera e circulação geral.

DI PACE (1983), estudando o campo do vapor d'água, seu transporte e divergência para a atmosfera sobre o Brasil, obteve isolinhas de água precipitável que mostram um gradiente significativo sobre o Nordeste do Brasil, apresentando uma configuração do tipo "cavado" com eixo orientado na direção Nordeste - Sudoeste, com valores mais altos do gradiente a Sudoeste. O eixo do "cavado" se localiza sobre o Polígono das Secas e explica, parcialmente, a acentuada deficiência de precipitação observada no Nordeste do Brasil. Esse resultado está em concordância com os de ARAÚJO (1982) e RATHOR et alii (1983).

SILVA DIAS et alii (1984) utilizaram a teoria de parametrização do fluxo cúmulo convectivo para o uso em modelo

numérico. Os resultados do experimento apresentados em três diagramas indicam os casos de grandes desenvolvimentos em comparação aos pequenos cúmulos para três níveis, onde o desenvolvimento no nível de 800 hPa é mais favorável para a precipitação.

CAVALCANTI (1986) diagnosticou aspectos energéticos da atmosfera sobre o NEB para o ano de 1980 utilizando uma técnica objetiva que permitiu a automatização dos cálculos dos parâmetros energéticos. Uma das conclusões de CAVALCANTI é a de que a atmosfera sobre o Nordeste do Brasil se comporta como fonte de energia latente. Conseqüentemente, o Nordeste do Brasil atua como fonte de vapor d'água no mês seco (março) e normal (janeiro) e como sumidouro no mês chuvoso (fevereiro).

PICANÇO e MARQUES (1987) concluíram preliminarmente que estudos que visam a caracterização da estrutura diária da atmosfera na região Nordeste do Brasil, para períodos secos e chuvosos, não podem desprezar os efeitos da variação semidiurna. Concluíram também que durante o período chuvoso os distúrbios temporais são mais importantes que os espaciais no que se refere ao fluxo de calor sensível na troposfera, ocorrendo o contrário durante o período seco. Torna-se necessário confirmar as diferenças marcantes da variação semidiurna da estrutura vertical da atmosfera, em termos dos fluxos de calor e massa durante períodos críticos.

3. METODOLOGIA

3.1 - ESCOLHA DOS PERIODOS DE ESTUDO

Com base na classificação dos regimes pluviométricos segundo STRANG (1972) e MONTE (1986) para o Nordeste do Brasil (NEB), e mediante a disponibilidade dos dados oriundos do National Meteorological Center (NMC), referentes a dois horários sinóticos, escolheu-se para estudo os meses de dezembro de 1977, março e junho de 1978 os quais são representativos das áreas delimitadas (Figura 1.1), onde os sistemas de chuvas são identificados como 3 (março), 5 (maio) e 12 (dezembro), meses centrais de cada regime, onde produzem normalmente máximos principais de precipitação.

3.2 - DADOS UTILIZADOS

3.2.1 - DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Foram utilizados totais mensais de precipitação obtidos nas estações climatológicas e pluviométricas, instalados na região em estudo, em um número de cento e treze (113) (Tabela A.1). Estes dados fazem parte do acervo do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal da Paraíba.

As estações escolhidas foram aquelas que possuem sessenta (60) ou mais anos de observações. Os dados pluviométricos serviram para a escolha dos meses para estudo, comparando-se os totais mensais ano a ano com a média climática para cada área.

3.2.2 - DADOS DO NMC

Face à grande dificuldade de acesso a dados observacionais, principalmente dados de altitude da região Nordeste do Brasil (NEB), que são coletados esporadicamente, em um único horário (12:00 TMG), não fornecendo todos os parâmetros nos diversos níveis da troposfera, optou-se por utilizar dados gerados pelos modelos do "National Meteorological Center" (NMC) dos Estados Unidos da América do Norte, contendo todas as informações necessárias ao desenvolvimento deste trabalho.

Os dados do NMC são os seguintes: pressão reduzida ao nível médio do mar; temperatura do ar, umidade relativa, e as componentes zonal e meridional do vento nos níveis isobáricos padrão de 1000, 850, 700, 500, 400 e 300 hPa. Esse conjunto de dados diários são para o período de dezembro de 1977, março e junho de 1978, tomados em dois horários sinóticos (00:00 TMG e 12:00 TMG), dispostos em pontos de grade espaçados em $2,5^\circ$ de latitude e longitude, para a área compreendida entre os paralelos de $12,5^\circ\text{N}$ e 30°S e os meridianos de 20°W e 80°W .

O conjunto de dados do NMC foi gentilmente cedido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - São José dos Campos - SP.

3.3 - ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO

As estações da rede pluviométrica do NEB (Tabela A.1) foram agrupadas segundo os regimes 12, 3 e 5 (STRANG, 1972 e MONTE, 1986) e comparou-se os totais dos meses de dezembro de 1977 a dezembro de 1978 com os totais médios mensais obtidos com base em 60 anos de dados, denominados neste texto normal ou média climática. Também calculou-se o desvio padrão normalizado de cada mês para os três regimes (Tabela 3.1) utilizando a expressão:

$$DPN = (P_{77/78} - P) / DP \quad (3.1)$$

onde

- DPN é o desvio padrão normalizado;
- $P_{77/78}$ é o total mensal de precipitação no período de dez/77 a dez/78;
- P é a média do total mensal de precipitação mês a mês baseada em 60 anos de observação;
- DP é o desvio padrão de P.

TABELA 3.1

P-precipitação média climática, DP-Desvio Padrão, $P_{77/78}$ - precipitação de dez/77 a dez/78, DPN-Desvio Padrão Normalizado para dez/77 à dez/78

REGIME - 12				
MESES DO ANO	P (mm)	DP (mm)	$P_{77/78}$ (mm)	DPN
DEZ/77	128,3	87,8	210,8	0,939
JAN/78	96,4	90,4	117,3	0,231
FEV	87,6	77,7	207,6	1,544
MAR	93,5	88,7	213,2	1,348
ABR	66,1	55,3	203,4	2,483
MAI	42,3	33,6	55,7	0,397
JUN	36,4	25,2	43,9	0,301
JUL	38,7	22,3	34,3	-0,198
AGO	26,5	26,1	29,8	0,129
SET	18,9	23,9	27,2	0,346
OUT	49,8	48,8	70,5	0,424
NOV	118,6	91,3	85,2	-0,366
DEZ/78	128,3	87,8	120,2	-0,096
REGIME - 3				
MESES DO ANO	P (mm)	DP (mm)	$P_{77/78}$ (mm)	DPN
DEZ/77	40,0	43,6	67,4	0,628
JAN/78	87,6	73,9	80,2	-0,101
FEV	141,5	102,6	137,9	-0,036
MAR	211,7	117,3	167,7	-0,376
ABR	179,7	110,1	161,4	-0,166
MAI	93,0	73,2	132,4	0,538
JUN	35,8	34,9	35,4	-0,012
JUL	17,6	23,9	52,0	1,439
AGO	6,3	12,6	3,6	-0,211
SET	5,4	10,5	8,1	0,255
OUT	10,1	16,6	7,0	-0,186
NOV	20,7	28,0	24,6	0,140
DEZ/78	40,0	43,6	34,7	-0,123
REGIME - 5				
MESES DO ANO	P (mm)	DP (mm)	$P_{77/78}$ (mm)	DPN
DEZ/77	39,5	46,4	86,9	1,021
JAN/78	44,3	47,4	18,4	-0,546
FEV	58,4	58,0	116,9	1,010
MAR	93,4	76,4	139,7	0,606
ABR	123,7	84,1	129,1	0,064
MAI	159,6	97,6	197,8	0,391
JUN	150,6	83,0	137,7	-0,156
JUL	134,5	73,4	205,4	0,965
AGO	83,7	53,8	83,2	-0,010
SET	49,1	40,2	101,3	1,299
OUT	30,6	33,9	16,7	-0,411
NOV	34,6	40,5	25,2	-0,232
DEZ/78	39,5	46,4	57,3	0,384

As Figuras 3.1, 3.2 e 3.3 mostram o comportamento da precipitação mensal no período de dezembro de 1977 a dezembro de 1978 em comparação com a média climática, para as três áreas delimitadas (Figura 1.1) e denominadas aqui de "regime - 12", "regime - 3" e "regime - 5". Verifica-se que a precipitação mensal observada no período teve as seguintes características:

- 1 - Na área referente ao "regime - 12", parte Sul da Região do NEB (Figura 3.1), tem-se valores de precipitação aproximadamente duas vezes o valor normal observado para os meses de dezembro de 1977, fevereiro, março e abril de 1978. Os meses restantes do período apresentam valor próximo do normal;
- 2 - Na parte Norte da Região do NEB que corresponde ao "regime - 3" (Figura 3.2), cujo máximo de precipitação se verifica em março, observa-se que esse mês foi seco ou seja, com precipitação abaixo da normal, seguido do mês posterior;
- 3 - Para a área referente ao "regime - 5", parte Leste do NEB (Figura 3.3), observa-se precipitação acima da normal para a maioria dos meses do período, destacando-se dezembro de 1977, fevereiro, julho e setembro de 1978, com desvios padrões normalizados (DPN) em torno de 1,0 enquanto janeiro, outubro e novembro de 1978 tem DPN compreendido entre -0,2 e -0,6.

REGIME - 12

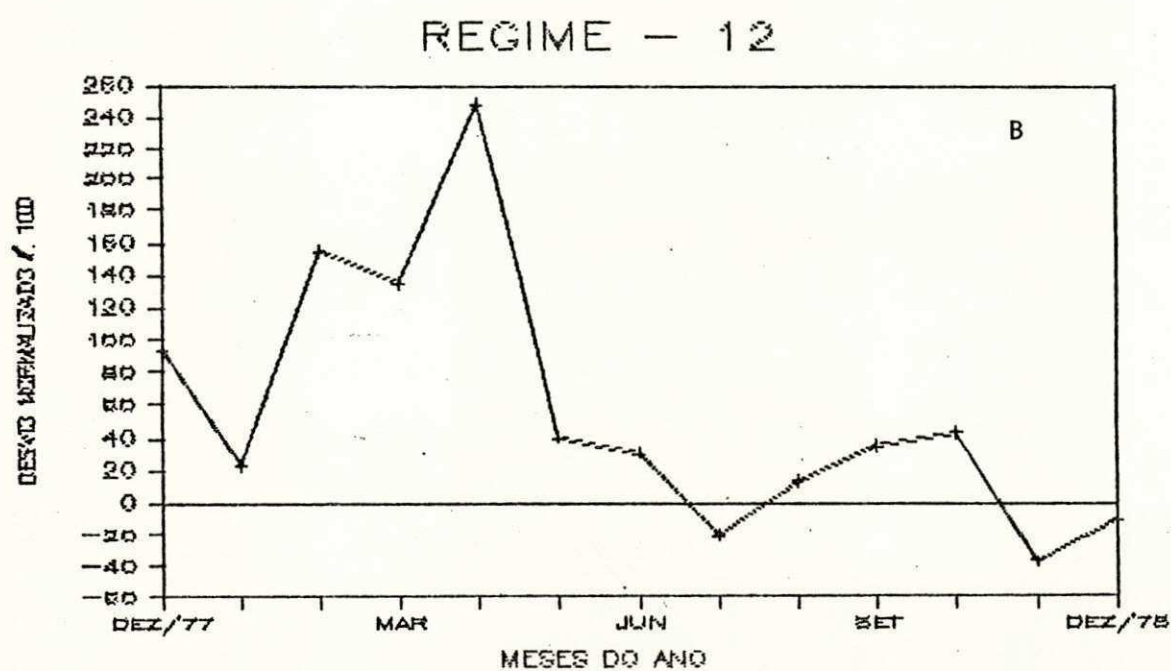
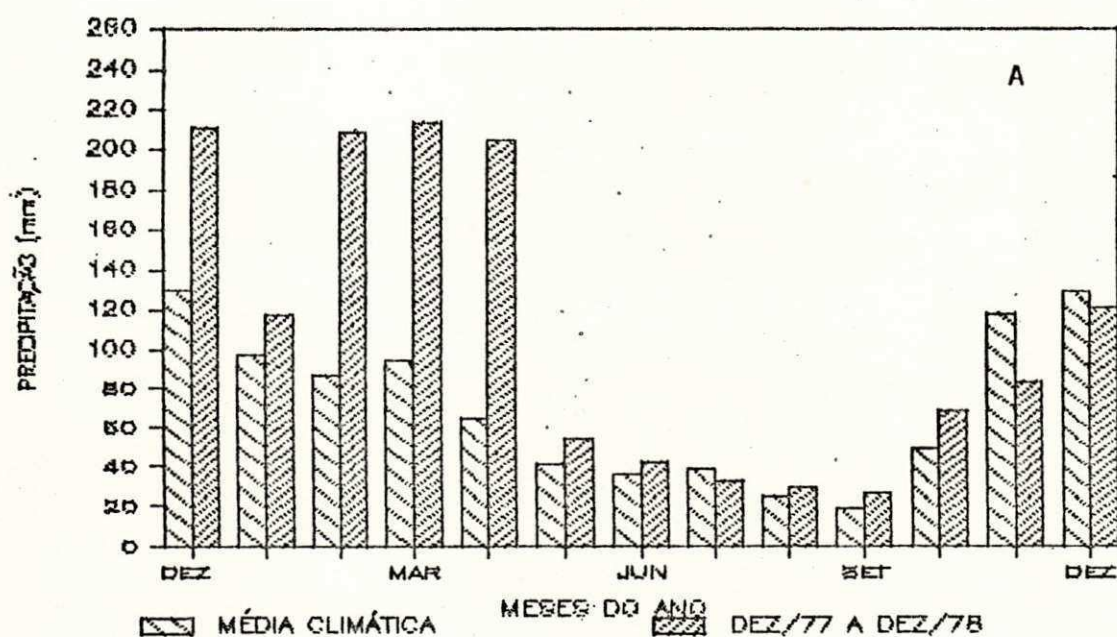
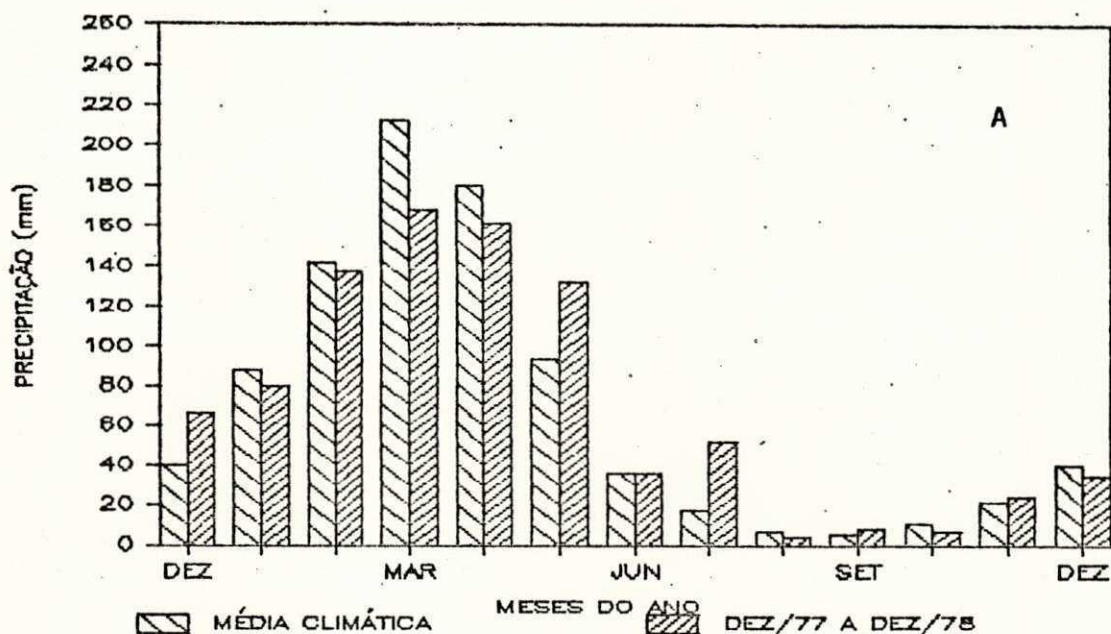


Figura 3.1 - (a) Total mensal de precipitação (mm) para o período de dezembro de 1977 à dezembro de 1978 e média climática (regime - 12); (b) Desvio padrão normalizado da precipitação para a área Sul (regime - 12).

REGIME - 3



REGIME - 3

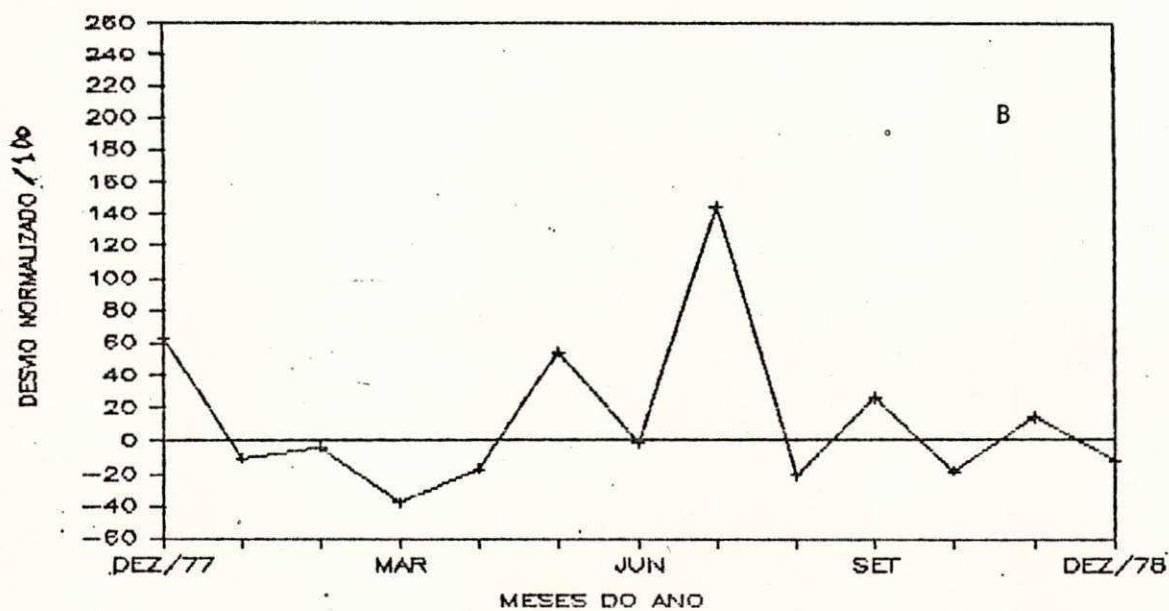
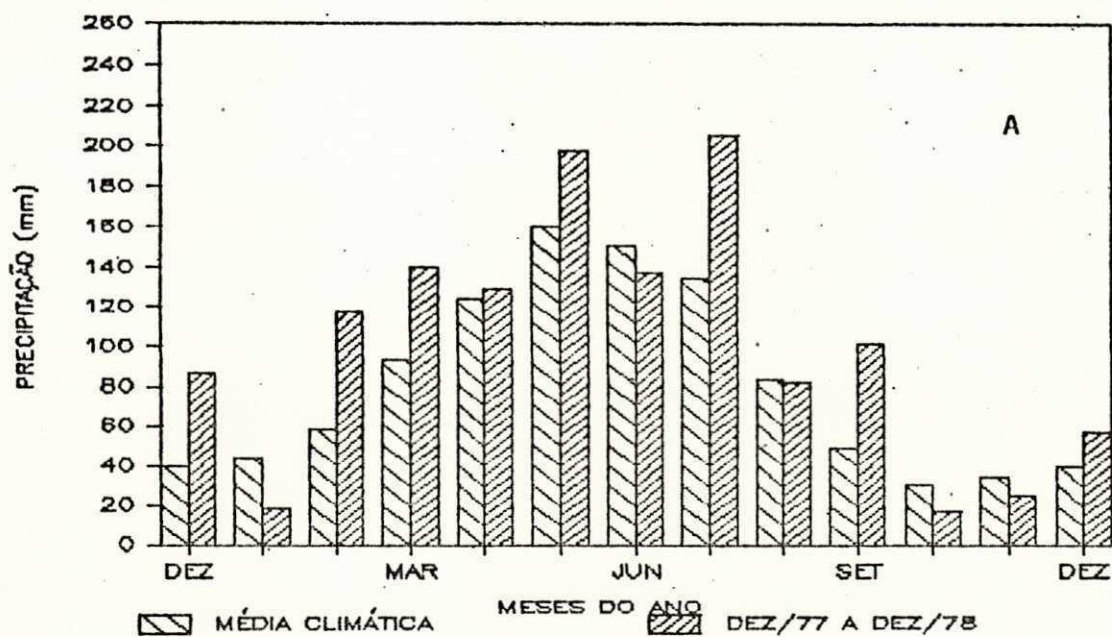


Figura 3.2 - (a) Total mensal de precipitação (mm) para o período de dezembro de 1977 à dezembro de 1978 e média climática (regime - 3); (b) Desvio padrão normalizado da precipitação para a área Norte (regime - 3).

REGIME - 5



REGIME - 5

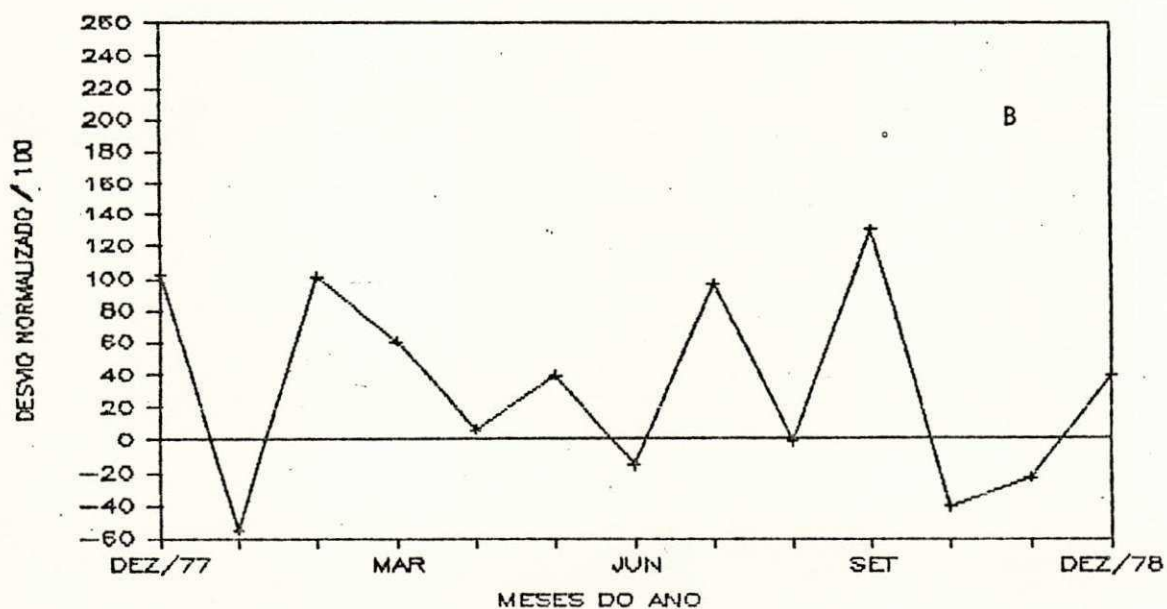


Figura 3.3 - (a) Total mensal de precipitação (mm) para o período de dezembro de 1977 a dezembro de 1978 e média climática (regime - 5);
 (b) Desvio padrão normalizado da precipitação para a área Leste (regime - 5).

Com relação aos meses de dezembro de 1977, março e junho de 1978, pode-se observar através das Figuras 3.4, 3.5 e 3.6, para as áreas correspondentes aos "regimes - 12, 3 e 5", respectivamente, que o mês de dezembro de 1977 foi chuvoso com DPN entre 1,0 e 0,6 para os três "regimes", sendo que para a área referente ao "regime - 12", a quantidade de precipitação medida em milímetros (mm) é bem maior que nas outras áreas ("regimes - 3 e 5").

O mês de março de 1978 mostrou-se seco na área correspondente ao "regime - 3" com precipitação em torno de 177 mm e DPN em torno de -0,37. Para as áreas dos "regimes - 12 e 5" tem-se precipitação acima da normal no citado mês.

Em junho de 1978 os desvios normalizados para as áreas referentes aos três "regimes" são bem pequenos, sendo que a precipitação nas áreas dos "regimes - 12 e 3" são pequenas quando comparadas à precipitação para o "regime - 5".

Em suma, tem-se que para a Região Nordeste do Brasil o mês de dezembro de 1977 foi chuvoso em toda a Região, o mês de março de 1978 foi chuvoso nas partes Leste e Sudeste da Região e seco na parte Norte, enquanto que o mês de junho pode ser considerado como normal em toda a Região.

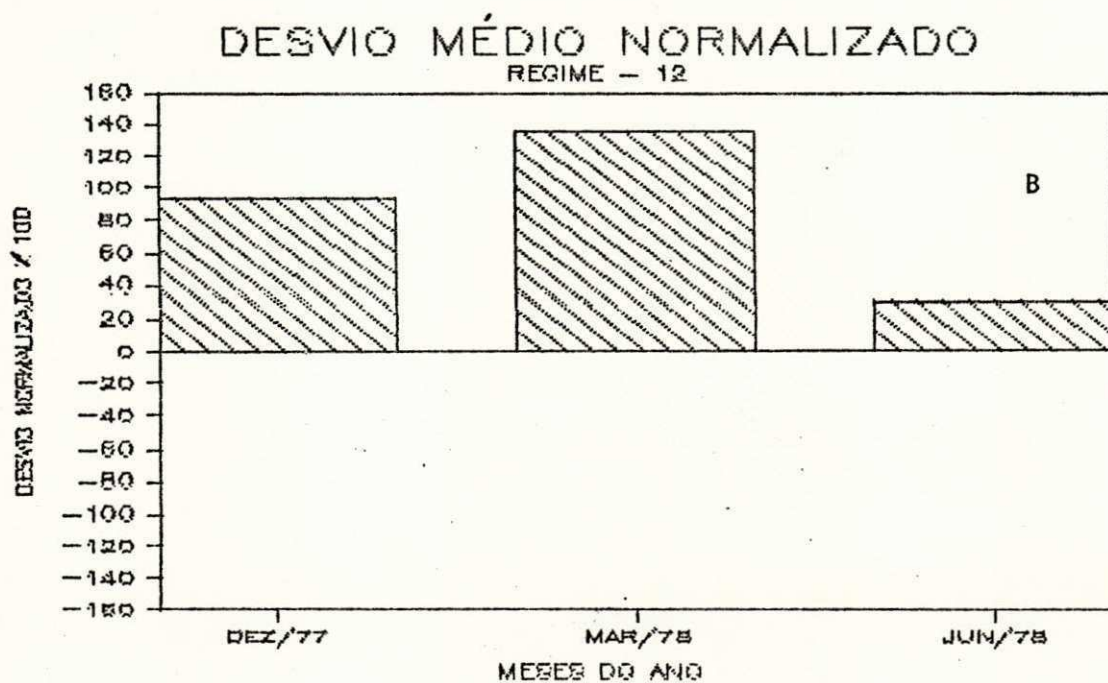
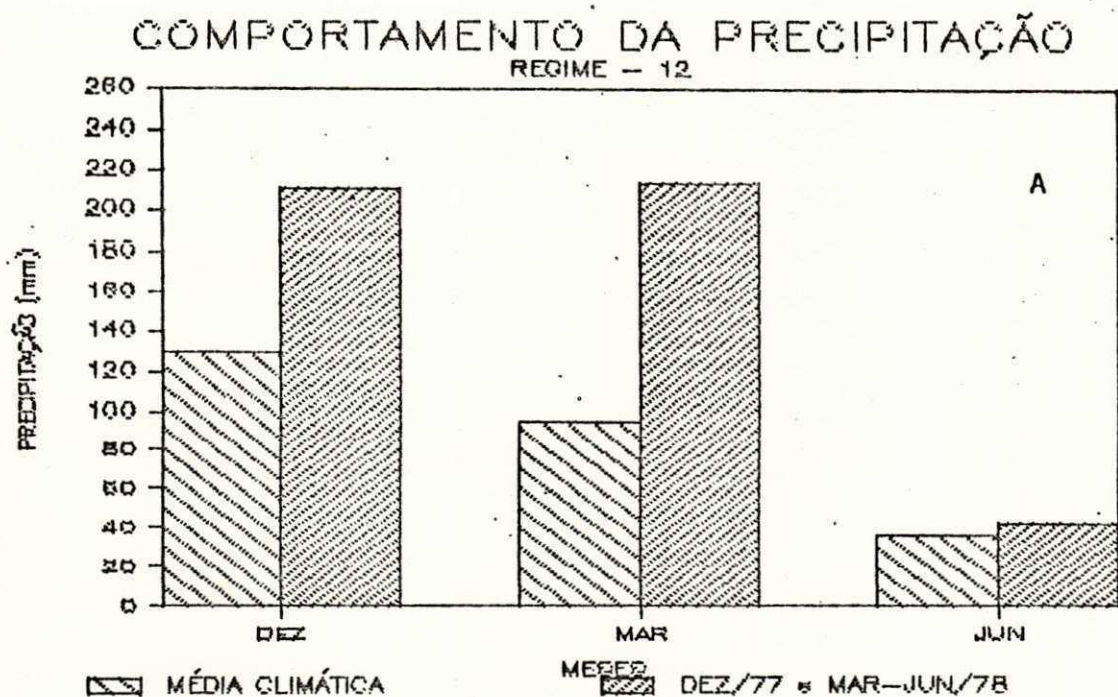
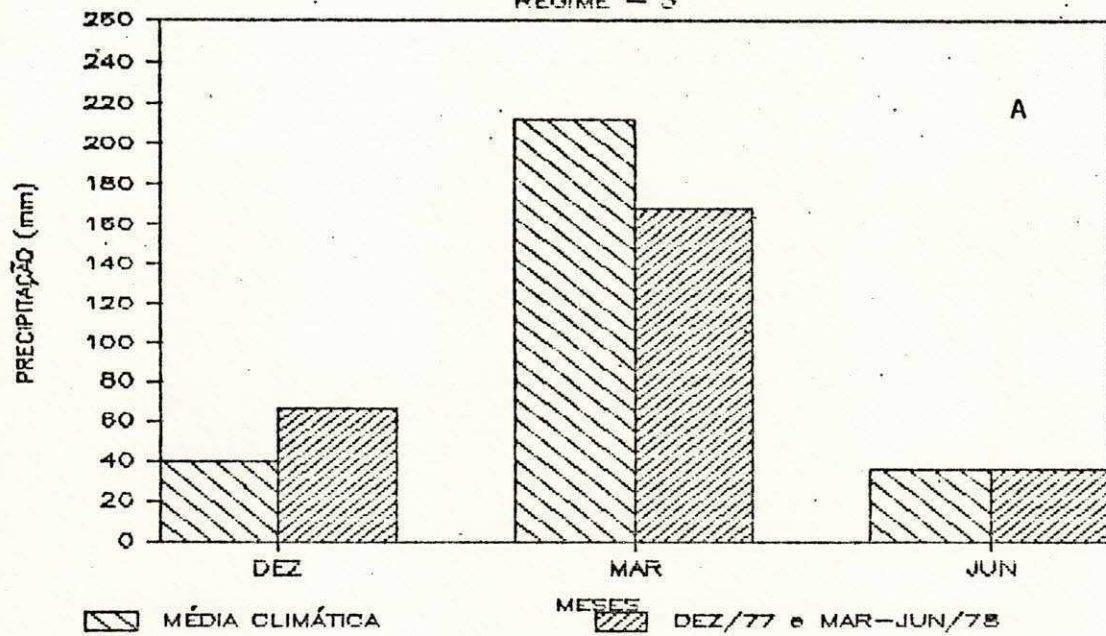


Figura 3.4 - (a) Total mensal de precipitação (mm) nos meses em estudo e média climática (regime - 12);
 (b) Desvio padrão normalizado da precipitação para a área Sul (regime - 12).

COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO

REGIME - 3



DESVIO MÉDIO NORMALIZADO

REGIME - 3

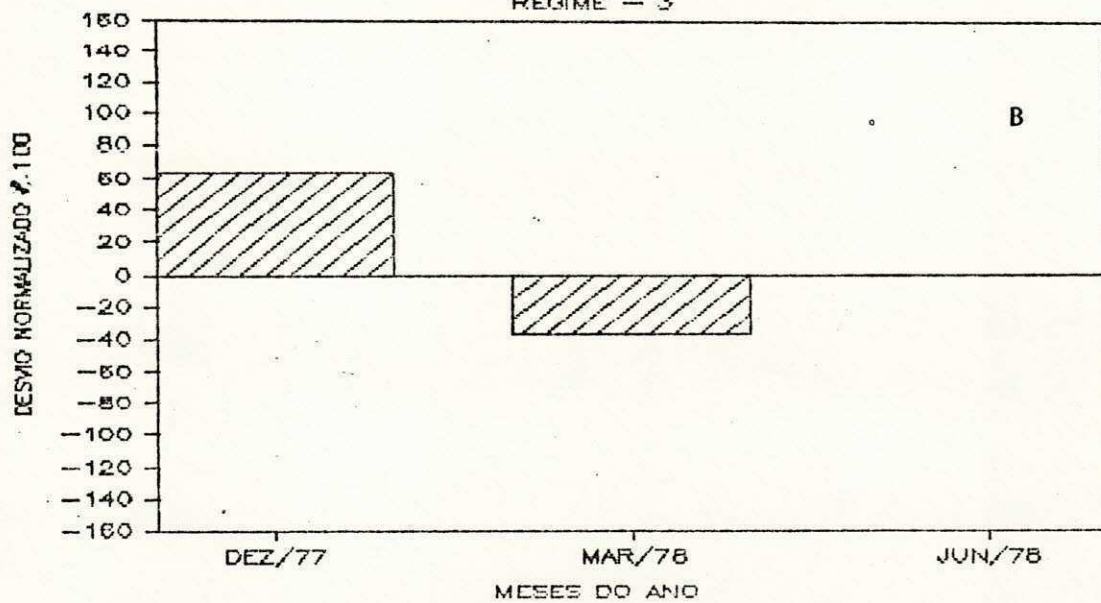


Figura 3.5 - (a) Total mensal de precipitação (mm) nos meses em estudo e média climática (regime - 3);

(b) Desvio padrão normalizado da precipitação para a área Norte (regime - 3).

COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO

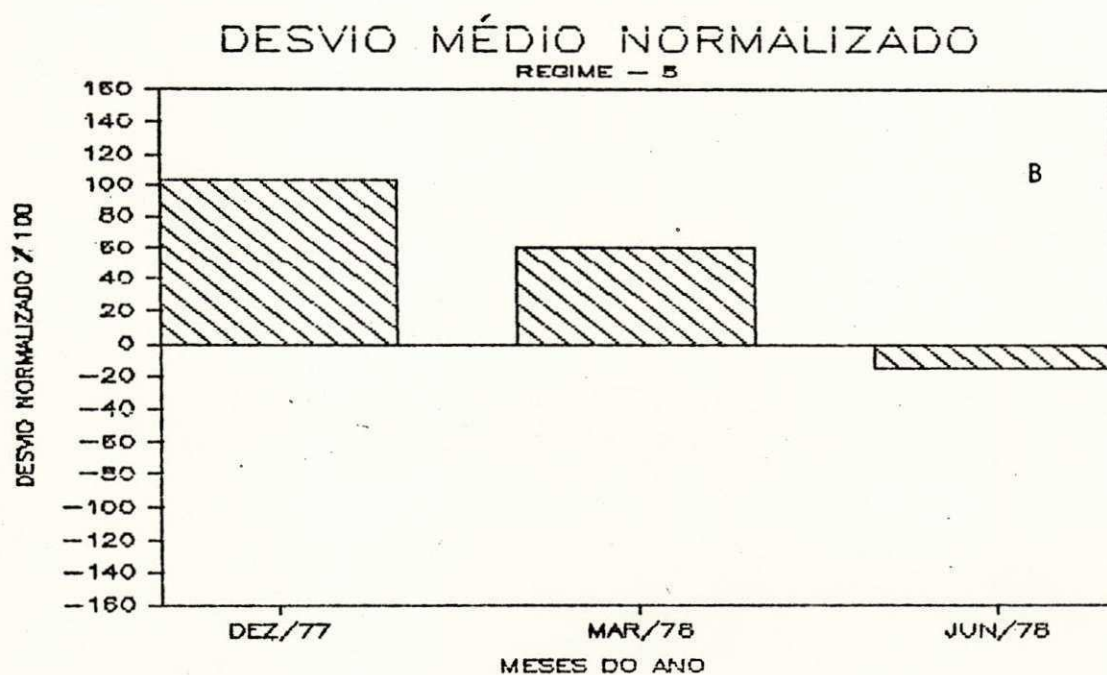
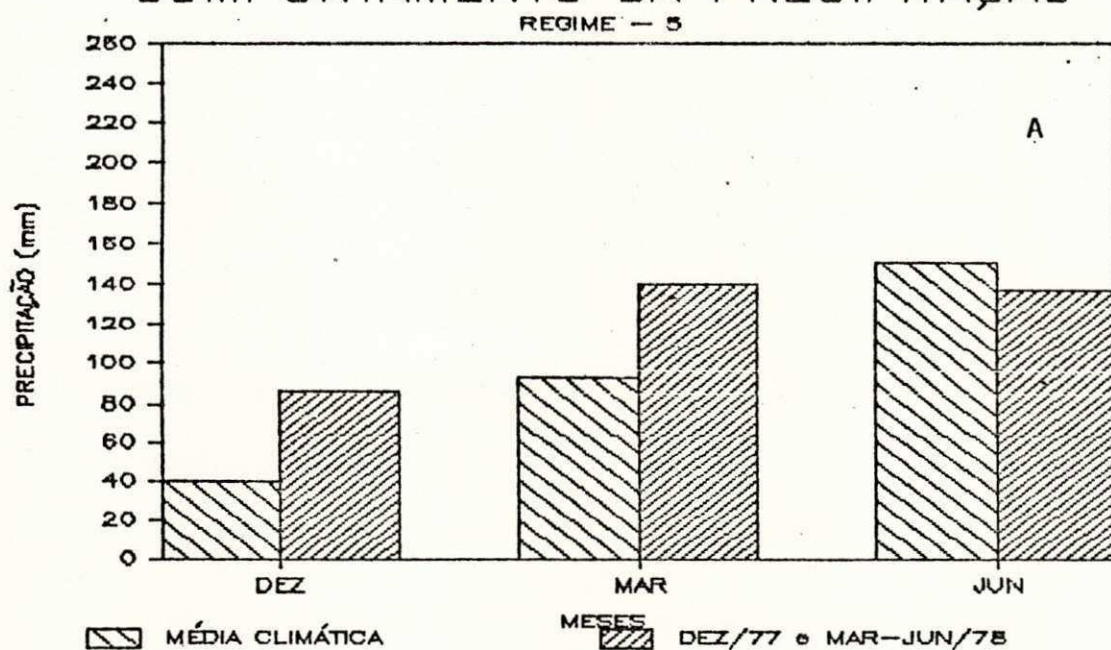


Figura 3.6 - (a) Total mensal de precipitação (mm) nos meses em estudo e média climática (regime - 5);
 (b) Desvio padrão normalizado da precipitação para a área Leste (regime - 5).

3.4 - FORMULAÇÃO TEÓRICA

3.4.1 - EQUAÇÃO DE DIFUSÃO DO VAPOR D'ÁGUA

A equação de difusão do vapor d'água na atmosfera no sistema (x, y, p, t) é dada por:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \vec{V}_h \cdot \nabla_h q + \omega \frac{\partial q}{\partial p} = \Gamma(q) \quad (3.2)$$

onde:

q é a umidade específica;

$\vec{V}_h = u \vec{i} + v \vec{j}$ é o vetor velocidade horizontal;

ω é o movimento vertical

$\Gamma(q)$ é a taxa de geração ou destruição de vapor d'água.

Sendo a equação da continuidade de massa para um fluido incompressível (sistema (x, y, p, t)) dada por:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0 \quad ; \quad (3.3)$$

Multiplicando-se a equação (3.3) pela unidade específica q , tem-se:

$$q \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial p} \right) = 0 ; \quad (3.4)$$

Somando (3.4) a (3.2) e aplicando propriedades do cálculo, tem-se:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \nabla_h \cdot q \vec{V}_h + \frac{\partial(q\omega)}{\partial p} = \Gamma(q) \quad (3.5)$$

Integrando (3.5) da superfície até o nível de 300 hPa e sendo a condição $\omega_{(p=0)} = 0$ e $q_{(300hPa)} = 0$, tem-se:

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \nabla_h \cdot \vec{Q} = E - P \quad (3.6)$$

onde

E é a evaporação

P é a precipitação

$$W = \int_{300}^{\text{sup}} q \, dp/g \quad ; \quad (3.7)$$

é a água precipitável, e

$$\vec{Q} = \int_{300}^{\text{sup}} (\bar{q} \bar{u} + \overline{q'u'}) \, dp/g \, \vec{i} + \int_{300}^{\text{sup}} (\bar{q} \bar{v} + \overline{q'v'}) \, dp/g \, \vec{j} \quad (3.8)$$

ou

$$\vec{Q} = Q_{\lambda} \vec{i} + Q_{\phi} \vec{j} \quad (3.9)$$

onde: g é a constante gravitacional

$\bar{q} \bar{u}$ e $\overline{q'u'}$ são as partes média e transiente do transporte zonal de umidade.

$\overline{q_v}$ e $\overline{q'_v}$ são as partes média e transiente do transporte meridional de umidade.

Como não se pretende avaliar a diferença $E - P$ de forma quantitativa e sim qualitativa, será tomado o fluxo horizontal integrado da superfície até 700 hPa por considerar o fluxo nesta camada suficientemente representativo da causa-efeito da precipitação.

O cálculo dos vários parâmetros em cada ponto de grade foi feito de forma discreta como segue:

(a) AGUA PRECIPITAVEL

$$W_{\text{sup-300}} = \frac{1}{g} (q_{\text{sup-850}} \Delta p_{\text{sup-850}} + q_{850-700} \Delta p_{850-700} + q_{700-500} \Delta p_{700-500} + q_{500-400} \Delta p_{500-400} + q_{400-300} \Delta p_{400-300}) ; \quad (3.10)$$

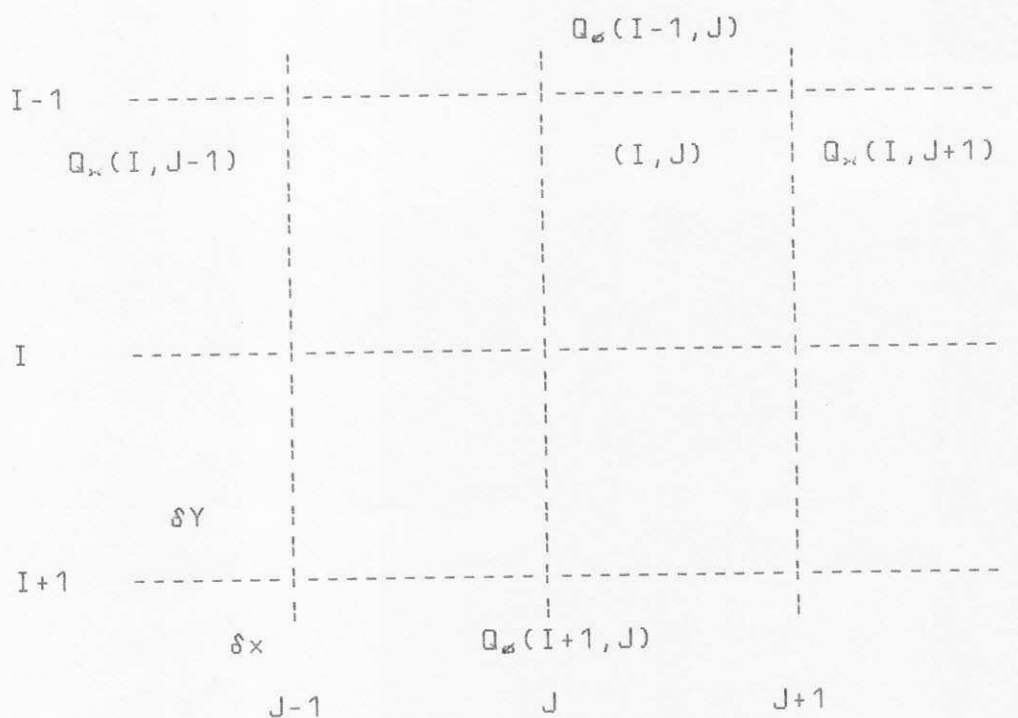
(b) FLUXO ZONAL DO VAPOR D'AGUA

$$Q_{\lambda \text{ sup-700}} = \frac{1}{g} (\bar{q} \bar{u} + \overline{q'u'})_{\text{sup-850}} \Delta p_{\text{sup-850}} + (\bar{q} \bar{u} + \overline{q'u'})_{850-700} \Delta p_{850-700} \quad (3.11)$$

(c) FLUXO MERIDIONAL DO VAPOR D'AGUA

$$Q_{\phi \text{ sup-700}} = \frac{1}{g} ((\bar{q} \bar{v} + \overline{q'v'})_{\text{sup-850}} \Delta p_{\text{sup-850}} + (\bar{q} \bar{v} + \overline{q'v'})_{850-700} \Delta p_{850-700}) \quad (3.12)$$

(d) DIVERGÊNCIA HORIZONTAL DO FLUXO DO VAPOR D'AGUA



Logo:

$$\nabla \cdot \vec{Q}_{\text{sup-700}} = \frac{Q_{\lambda}(I, J+1) - Q_{\lambda}(I, J-1)}{2\delta x} + \frac{Q_{\phi}(I-1, J) - Q_{\phi}(I+1, J)}{2\delta y} \quad (3.13)$$

3.5 - FORMA DE ANÁLISE

3.5.1 - CAMPOS MÉDIOS MENSAIS

Trabalhando com os dados do NMC para a área compreendida entre os meridianos de 20° e 80°W e os paralelos de 12,5°N e 30°S calculou-se para os meses de dezembro de 1977, março e junho de 1978 os campos médios dos seguintes parâmetros meteorológicos, no horário das 00:00 TMG e 12:00 TMG: pressão reduzida ao nível médio do mar, água precipitável e divergência do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente.

Apesar de ter-se trabalhado com a citada área, os resultados e conclusões obtidos enfatizam o diagnóstico de mecanismos geradores de precipitação no Nordeste do Brasil.

3.5.2 - COMPORTAMENTOS DIÁRIOS

Estudou-se o comportamento diário d'água precipitável e

dos fluxos zonal e meridional do vapor d'água e divergência do fluxo de vapor integrado verticalmente, para cada uma das três áreas delimitadas na Figura 1.1. Para isso escolheu-se, dentro de cada área, um quadrado de $2,5^\circ$ de lado (Figura 3.7).

Os quadrados representados na Figura 3.7 são, respectivamente:

- (a) Quadrado - 12 - representativo da parte Sul do Nordeste do Brasil ("regime - 12"), com vértices de coordenadas ($12,5^\circ S$, $42,5^\circ W$), ($12,5^\circ S$, $45^\circ W$), ($15^\circ S$, $42,5^\circ W$) e ($15^\circ S$, $45^\circ W$).
- (b) Quadrado - 3 - representativo da parte Norte do NEB ("regime - 3") com vértices de coordenadas ($2,5^\circ S$, $40,0^\circ W$), ($2,5^\circ S$, $42,5^\circ W$), ($5,0^\circ S$, $40,0^\circ W$) e ($5,0^\circ S$, $42,5^\circ W$).
- (c) Quadrado - 5 - representativo da parte Leste do NEB ("regime - 3") com vértices de coordenadas ($10^\circ S$, $35^\circ W$), ($10^\circ S$, $37,5^\circ W$), ($12,5^\circ S$, $35,0^\circ W$) e ($12,5^\circ S$, $37,5^\circ W$).

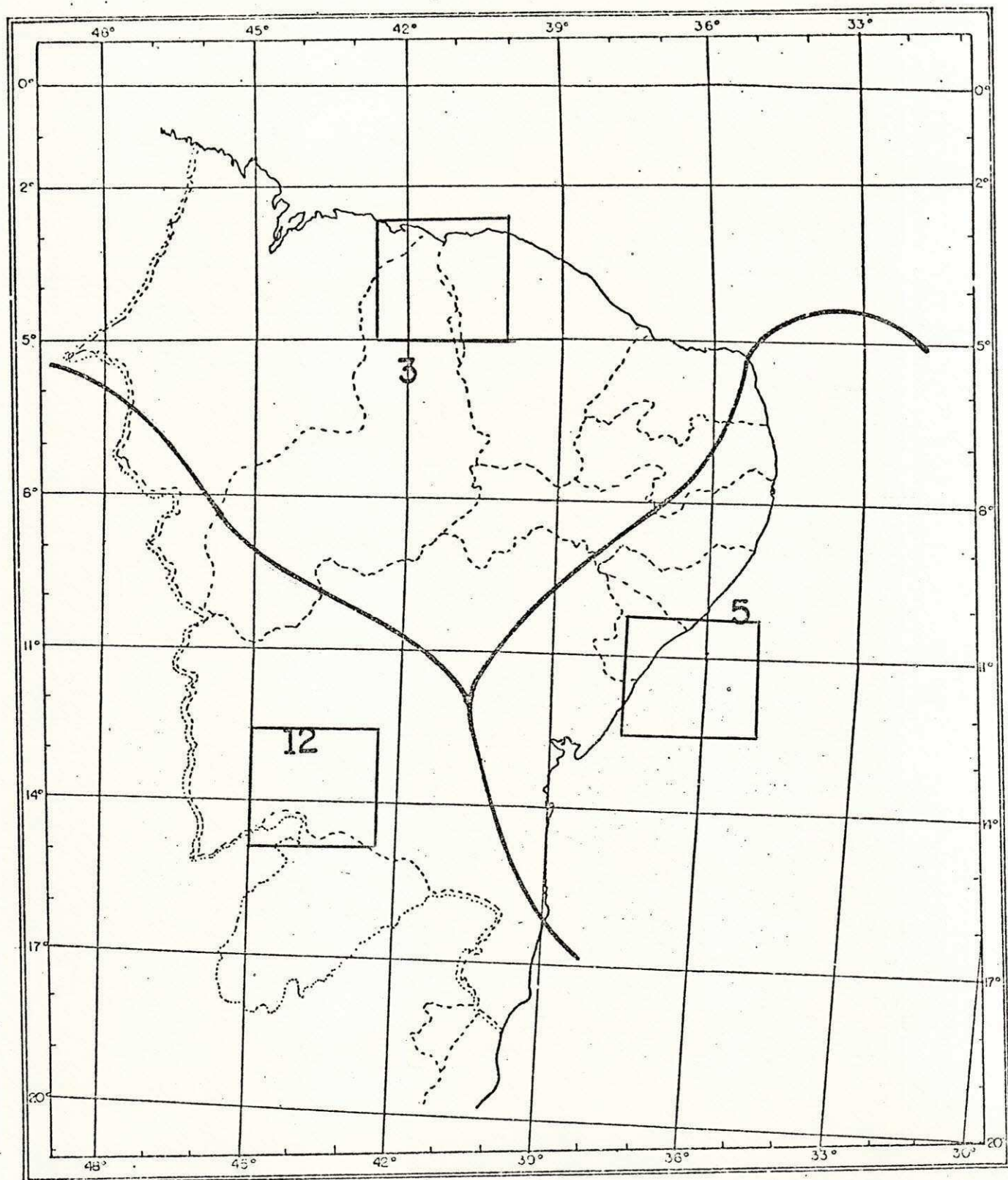


Figura 3.7. - Localização dos quadrados de 2,5 por 2,5 graus, representativos dos regimes pluviométricos em estudo: área Sul (regime - 12), área Norte (regime - 3) e área Leste (regime - 5).

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Neste capítulo apresenta-se e discute-se os resultados obtidos para os campos médios mensais de pressão reduzida ao nível médio do mar, água precipitável e divergência do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente, para os horários sinóticos das 00:00 e 12:00 TMG, nos meses de dezembro de 1977, março e junho de 1978. Também é analisado o comportamento diário d'água precipitável, dos fluxos zonal e meridional do vapor d'água e da divergência do fluxo de vapor d'água em cada quadrado mostrado na Figura 3.7.

4.1 - CAMPOS MÉDIOS DA PRESSÃO REDUZIDA AO NÍVEL MÉDIO DO MAR

4.1.1 - DEZEMBRO DE 1977

A análise dos campos médios da pressão para os horários sinóticos das 00:00 TMG (Figura 4.1) e 12:00 TMG (Figura 4.2) sugere que, para a área Sul do Nordeste do Brasil, ("regime - 12"), o principal fator causador de precipitação acima da normal foi a influência de frentes frias vindas do Sul do País. Isto é indicado em ambas as figuras pelo cavado orientado na direção Noroeste-Sudeste que se estende desde o Sul do Nordeste Brasileiro até o Oceano Atlântico. A localização do anticiclone do Atlântico Sul afastado do continente, além de favorecer a penetração das frentes frias na parte Sul do NEB, também permitiu

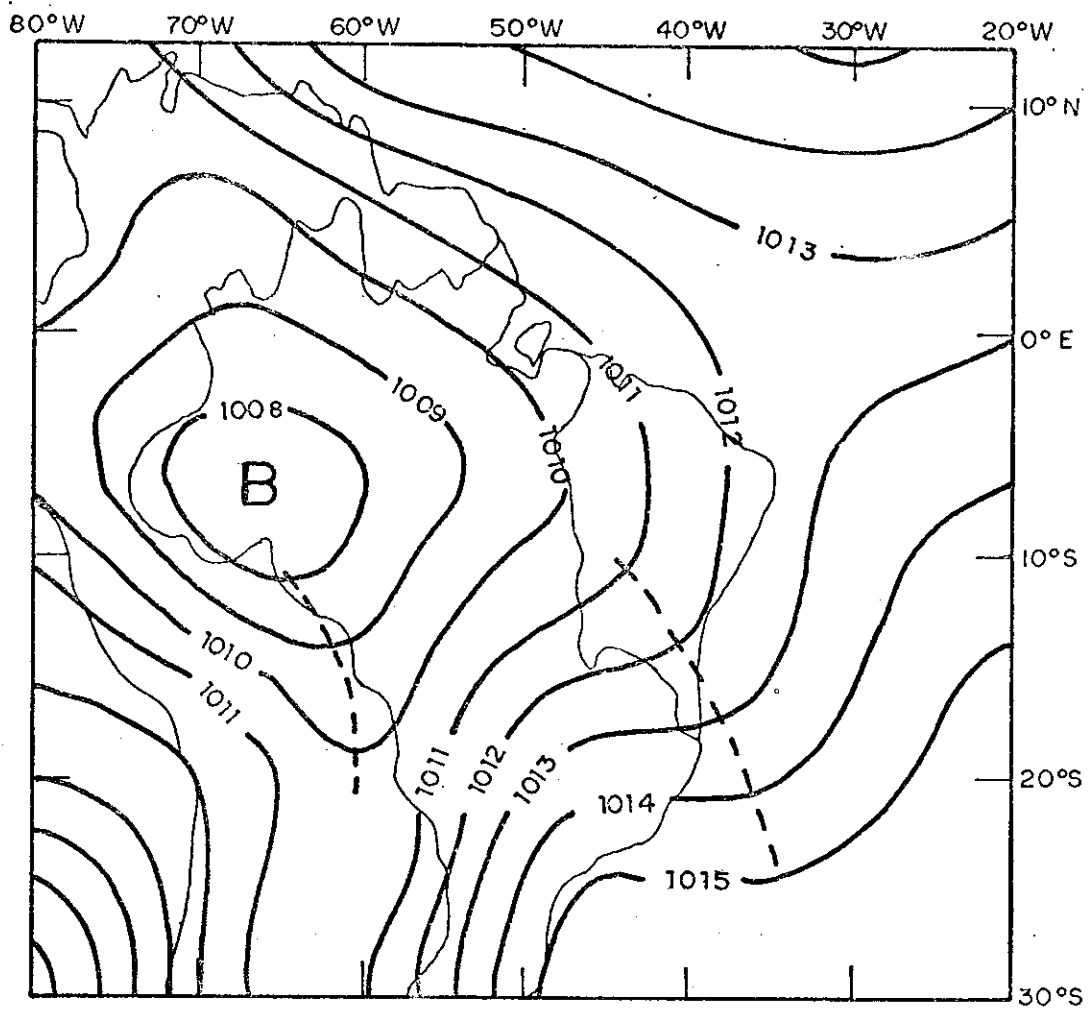


Figura 4.1 - Campo médio da pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) - dezembro de 1977 - 00:00 TMG.

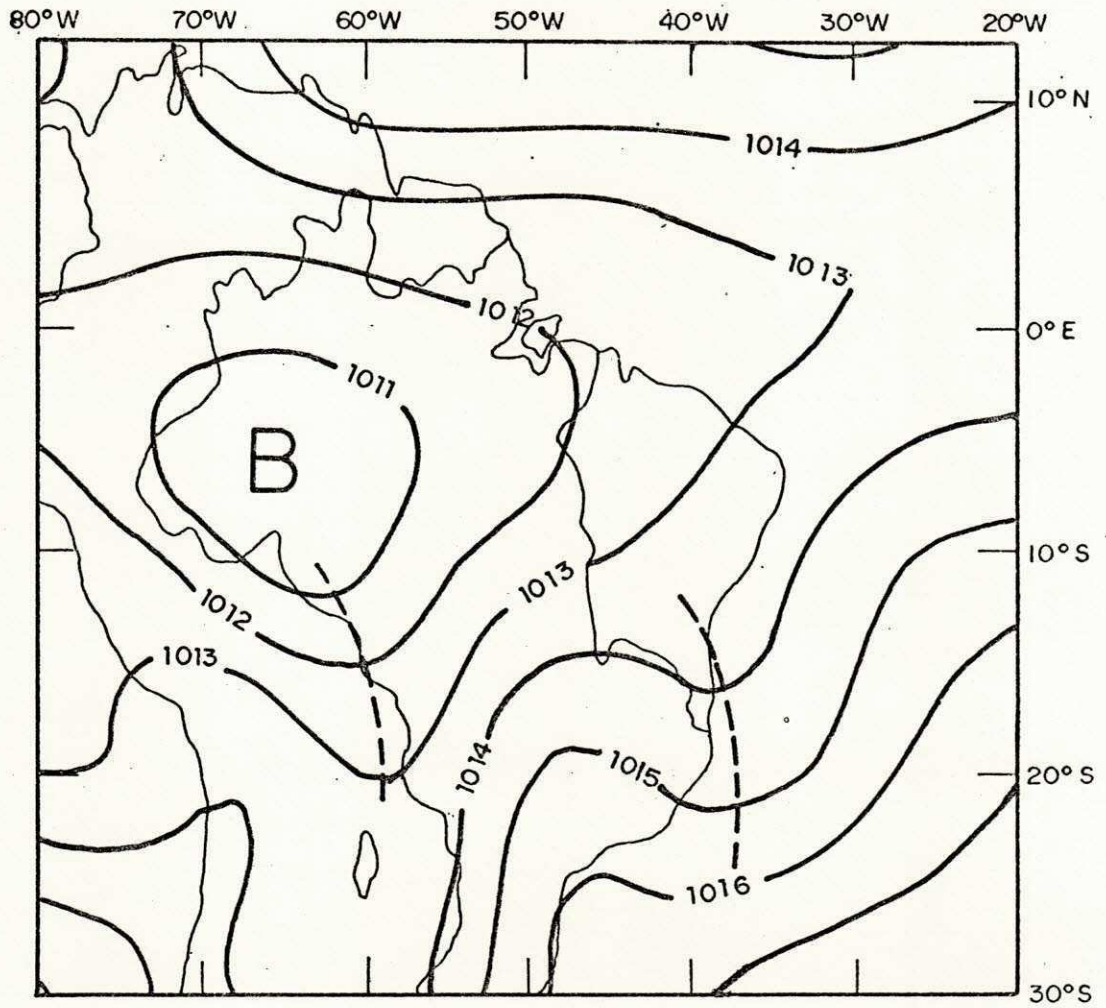


Figura 4.2 - Campo médio da pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) - dezembro de 1977 - 12:00 TMC.

que elas influenciasses a precipitação em toda a costa Leste e Norte do NEB, conforme documentado por KOUSKY (1979). Observa-se também que o campo da pressão no horário diurno apresenta um acréscimo de aproximadamente dois hPa em relação ao horário noturno, o que se deve à variação semidiurna.

4.1.2 - MARÇO DE 1978

Analisando os campos da pressão média para o mês de março de 1978, correspondentes aos horários sinóticos das 00:00 TMG (Figura 4.3) e 12:00 TMG (Figura 4.4), observa-se que para a área Norte da região do NEB, ("regime - 3"), onde a precipitação observada ficou abaixo da normal, tem-se como principal inibidor da precipitação nesta área, o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) mais ao Norte do NEB, uma vez que a alta do Atlântico Sul esta fortalecida (e portanto alísios de SE fortes) enquanto que a alta do Atlântico Norte enfraquecida (e portanto alísios de NE fracos). Isso causa um efeito contrário as afirmações de CHUNG (1982) e HASTENRATH et alii (1984), relativas ao aumento da precipitação nesta época para a região do NEB. Nota-se também, que o centro de baixa pressão na região Amazônica esta localizado mais a Noroeste da citada área sugerindo que a convergência de umidade para essa região atue desfavoravelmente para a precipitação na parte Norte do NEB.

Observa-se também neste mês que a diferença entre a

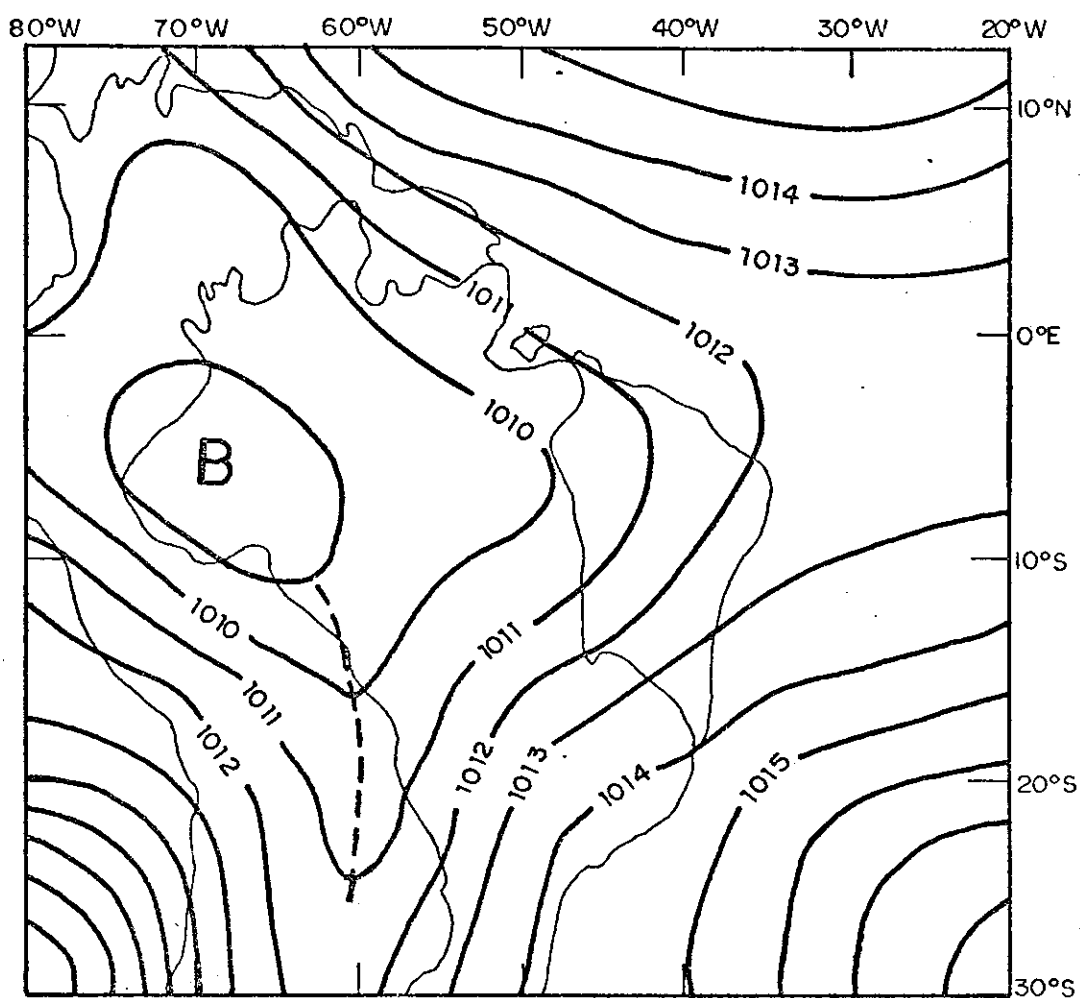


Figura 4.3 - Campo médio da pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) - março de 1978 - 00:00 TMC.

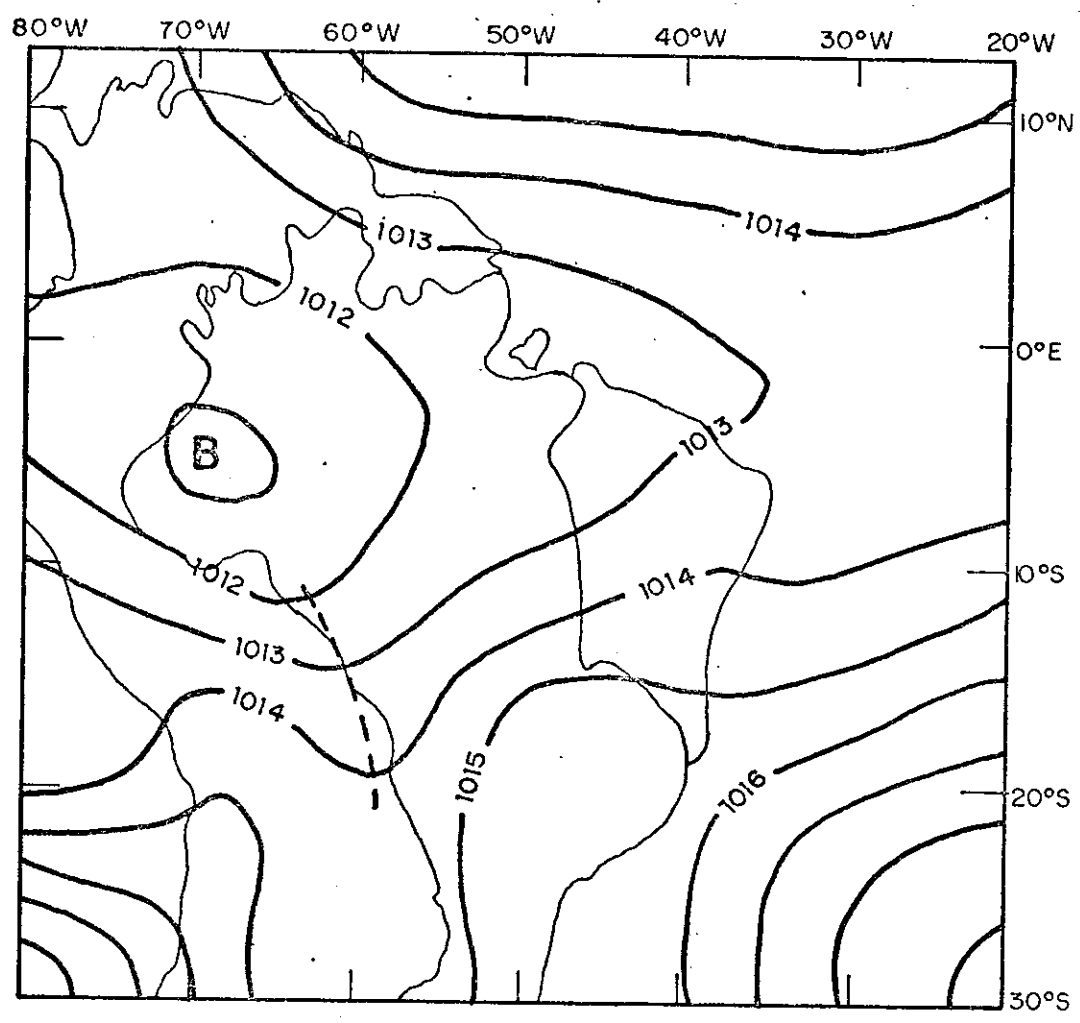


Figura 4.4 - Campo médio da pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) - março de 1978 - 12:00 TMG.

pressão média dos horários noturno e diurno sobre o Nordeste do Brasil se situa em torno de dois hPa.

4.1.3 - JUNHO DE 1978

Nos campos médios da pressão para o mês de junho de 1978, para os respectivos horários sinóticos das 00:00 TMG (Figura 4.5) e 12:00 TMG (Figura 4.6) para a área Leste do NEB, ("regime - 5"), tem-se como possível causador da precipitação ter ocorrido próximo da normal, a pouca intensidade das ondas de Leste e a presença do anticiclone do Atlântico Sul próximo ao continente, onde também tem implicação na precipitação das regiões Sul e Norte do NEB.

Na variação semidiurna dos campos da pressão pode-se destacar a diferença de aproximadamente dois hPa que constituiu-se num fator marcante dos três meses em estudo. Isto deve-se ao fato do aquecimento diurno do continente e a perda de energia por radiação durante a noite. Destaca-se também a predominância dos centros de baixas em toda a região amazônica, sendo que para o mês de junho o seu centro está mais deslocado para Oeste da referida região devido ao posicionamento do sol no Hemisfério Norte.

Conforme o discutido, percebe-se que existe uma boa consistência entre os campos de pressão analisados e a

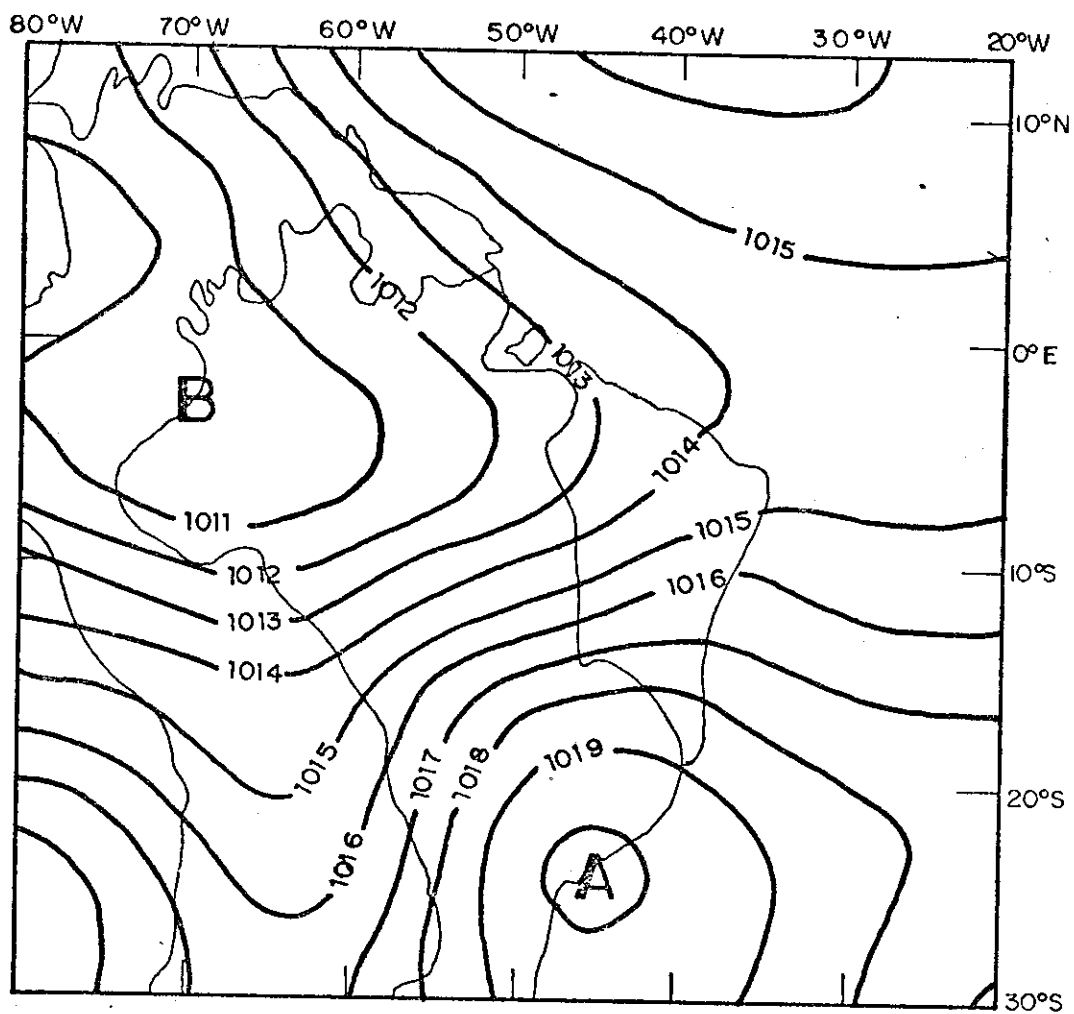


Figura 4.5 - Campo médio da pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) - junho de 1978 - 00:00 TMG.

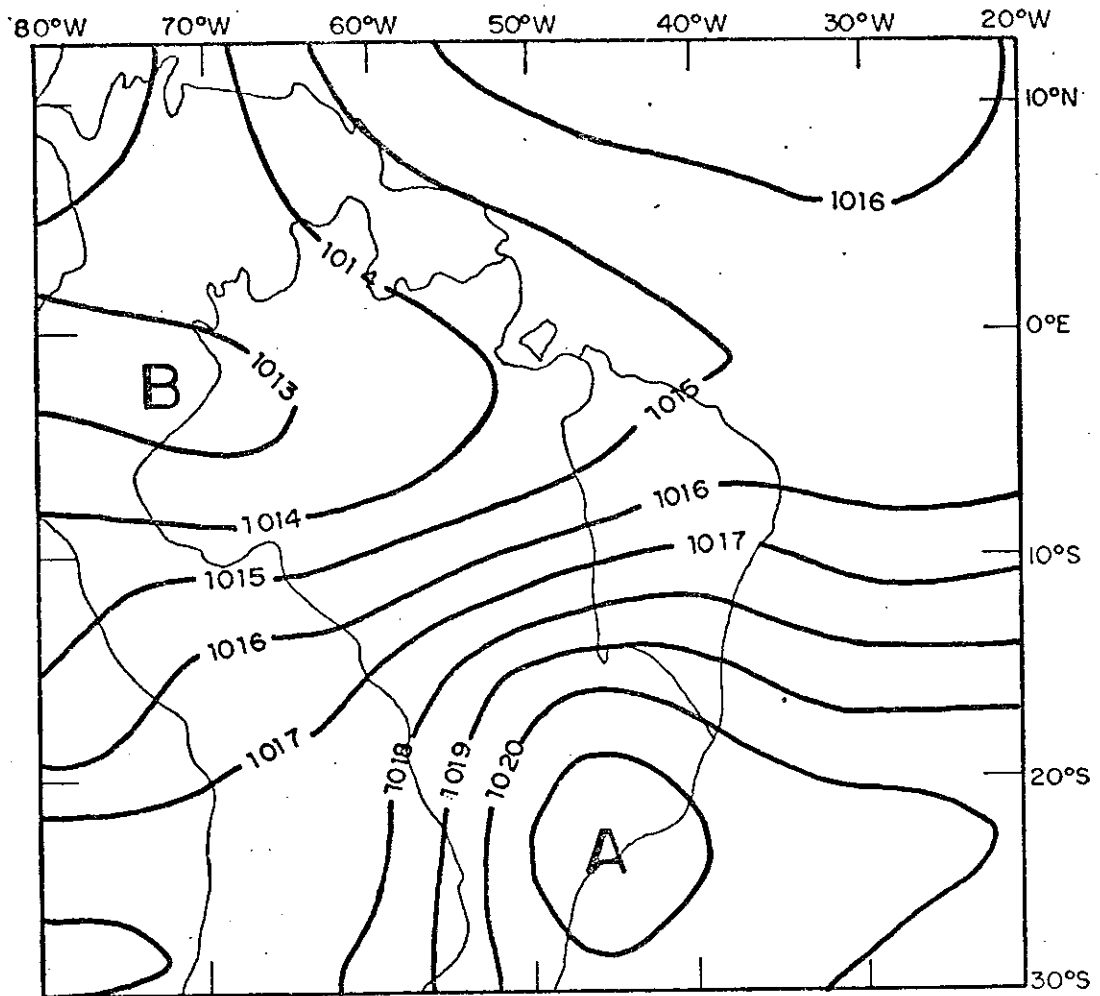


Figura 4.6 - Campo médio da pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) - junho de 1978 - 12:00 TMC.

precipitação observada.

4.2 - CAMPOS MÉDIOS D'ÁGUA PRECIPITÁVEL

4.2.1 - DEZEMBRO DE 1977

Analisando os campos médios d'água precipitável para o mês de dezembro de 1977, nos horários sinóticos das 00:00 e 12:00 TMG (Figuras 4.7 e 4.8), observa-se em média 47 mm de água precipitável para a área do "regime - 12", Sul do NEB. Percebe-se também uma configuração do tipo "cavado" com seu eixo direcionado de Sudeste-Noroeste e posicionado sobre o NEB. Na parte Sul dessa região as isolinhas de água precipitável apresentam um enfraquecimento do gradiente em relação a parte Norte, observado com maior intensidade no horário da noite. Isso possivelmente é provocado pela penetração de frentes frias advindas do Sul do País.

Destaca-se portanto, para a variação semidiurna que o campo d'água precipitável para o horário noturno apresenta valores mais elevados do que os do horário diurno, e como também em relação aos outros meses estudados, ou seja, com variação em torno de 3 mm, no horário noturno apresenta-se com uma concentração maior que o dia, uma contribuição para que isso ocorra é o efeito da brisa marítima que advectiona vapor d'água

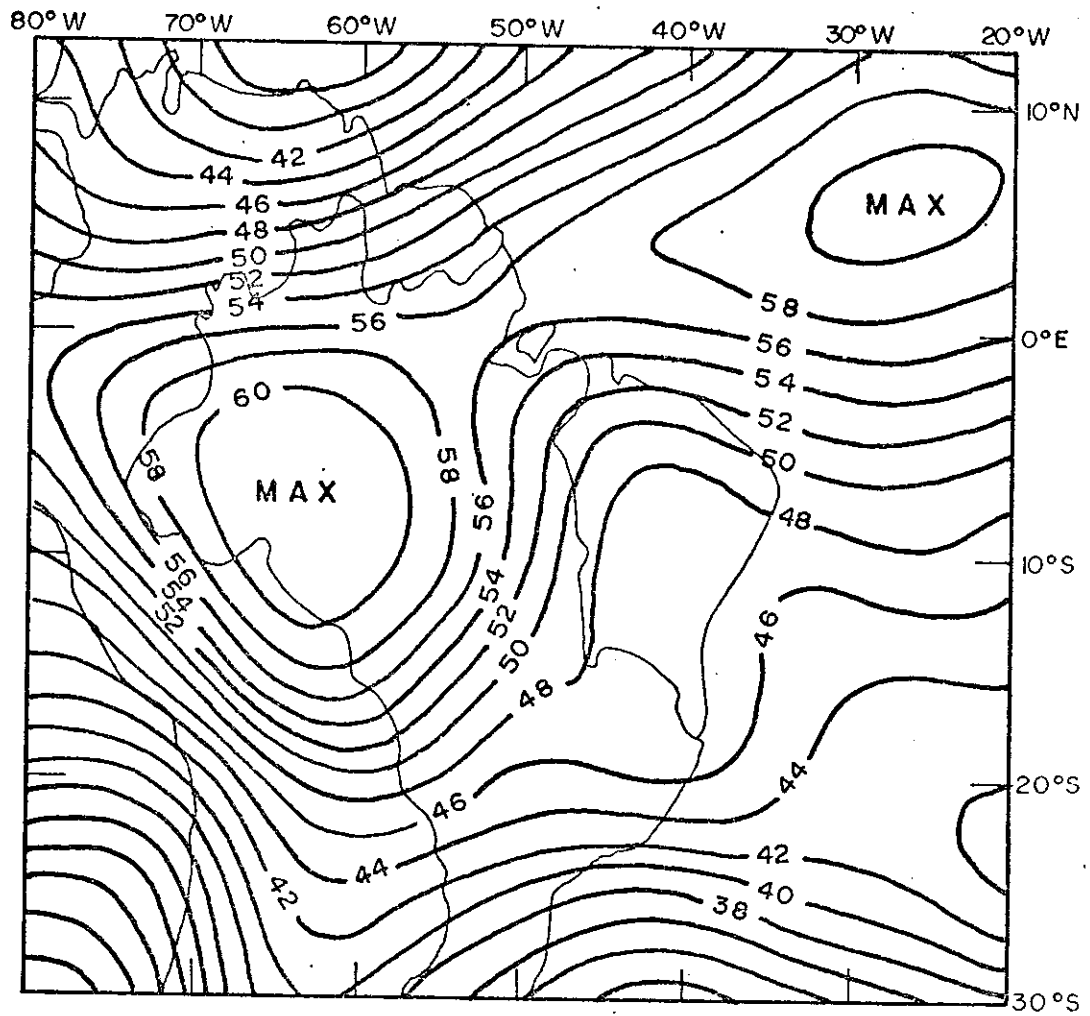


Figura 4.7 - Campo médio d'água precipitável (mm) - dezembro de 1977 - 00:00 TMG.

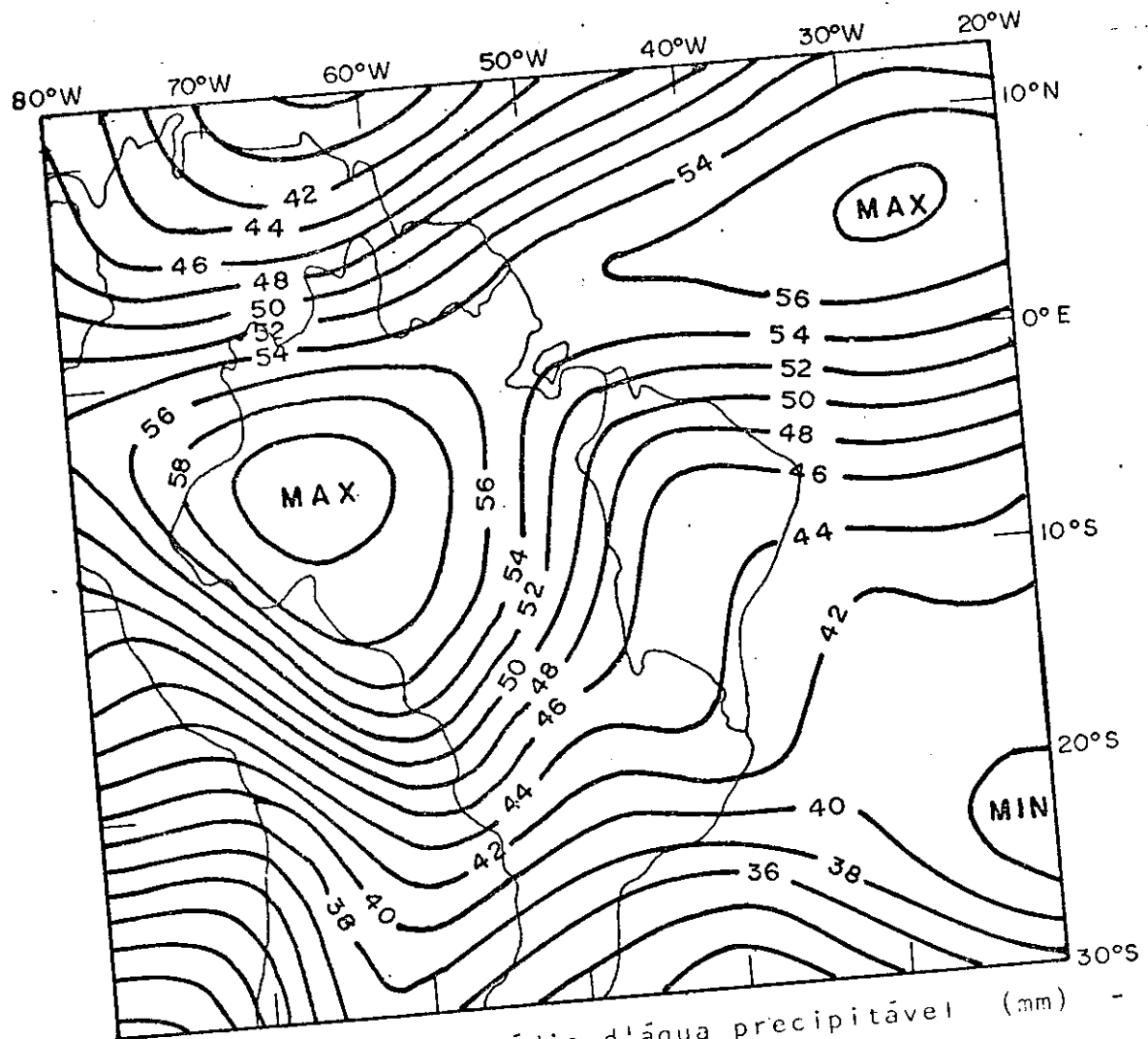


Figura 4.8 - Campo médio d'água precipitável (mm) - dezembro de 1977 - 12:00 TMC.

para o continente durante o dia.

4.2.2 - MARÇO DE 1978

Nos campos médios d'água precipitável para os horários em estudo (Figuras 4.9 e 4.10) destaca-se um forte gradiente na área Norte do NEB ("regime -3"), onde a água precipitável apresenta, em média, 56 mm no horário noturno e 54 mm no horário diurno. Observa-se também uma configuração tipo "cavado" a Leste do NEB, sobre o Oceano Atlântico, com eixo orientado na direção Sudeste-Noroeste.

Outra característica marcante desses campos é a presença de um centro de máximos valores de água precipitável localizado sobre a porção Sudoeste da região amazônica onde existe um forte gradiente nas isolinhas de água precipitável a partir deste centro na direção do Nordeste o que está de acordo com os valores de precipitação abaixo da normal.

4.2.3 - JUNHO DE 1978

Os campos médios d'água precipitável nos horários das 00:00 TMG e 12:00 TMG (Figuras 4.11 e 4.12) apresentam na parte Leste do NEB ("regime -5"), onde a precipitação foi considerada normal em relação a média climática, valores de 45 a 37 mm no horário noturno e de 42 a 35 mm no horário diurno. Uma

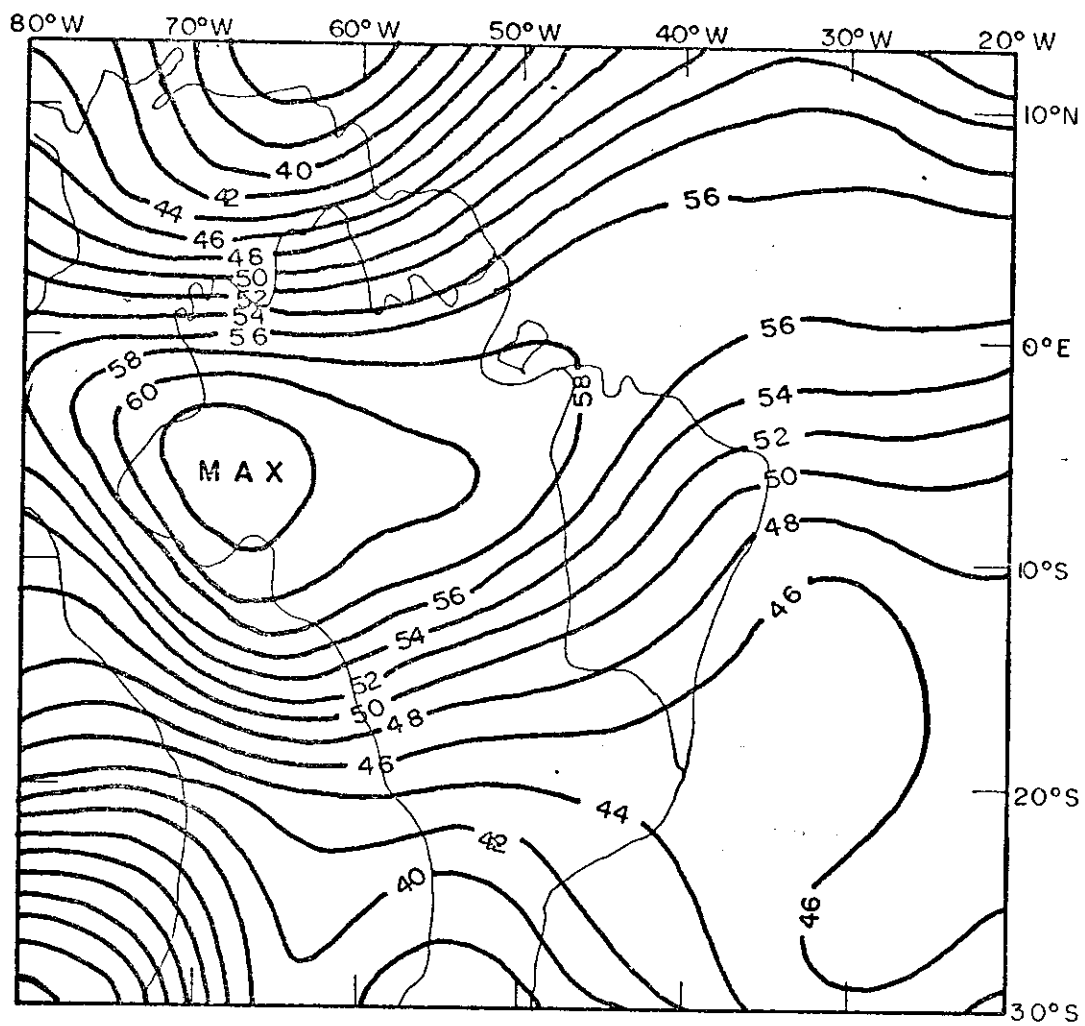


Figura 4.9 - Campo médio d'água precipitável (mm) -
março de 1978 - 00:00 TMC.

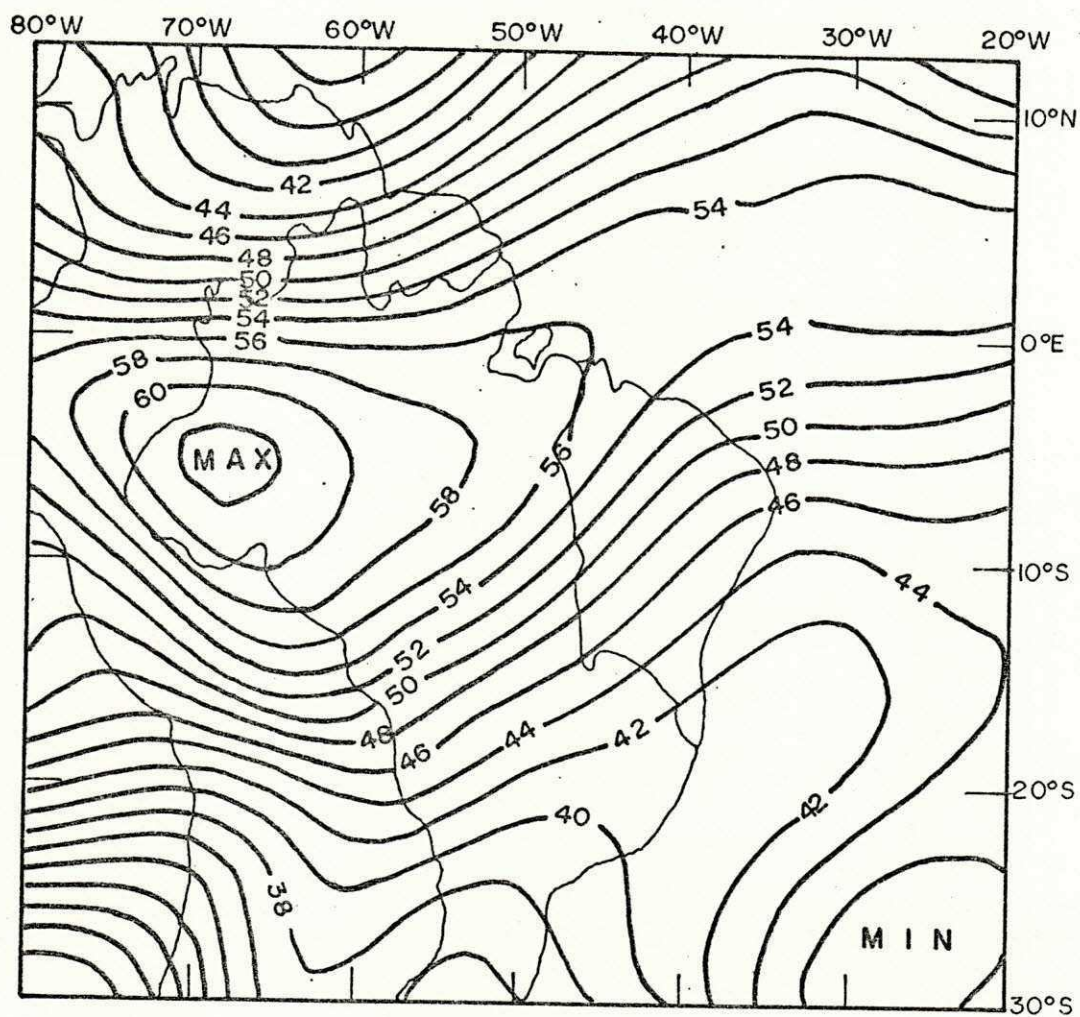


Figura 4.10 - Campo médio d'água precipitável (mm) -
março de 1978 - 12:00 T.M.G.

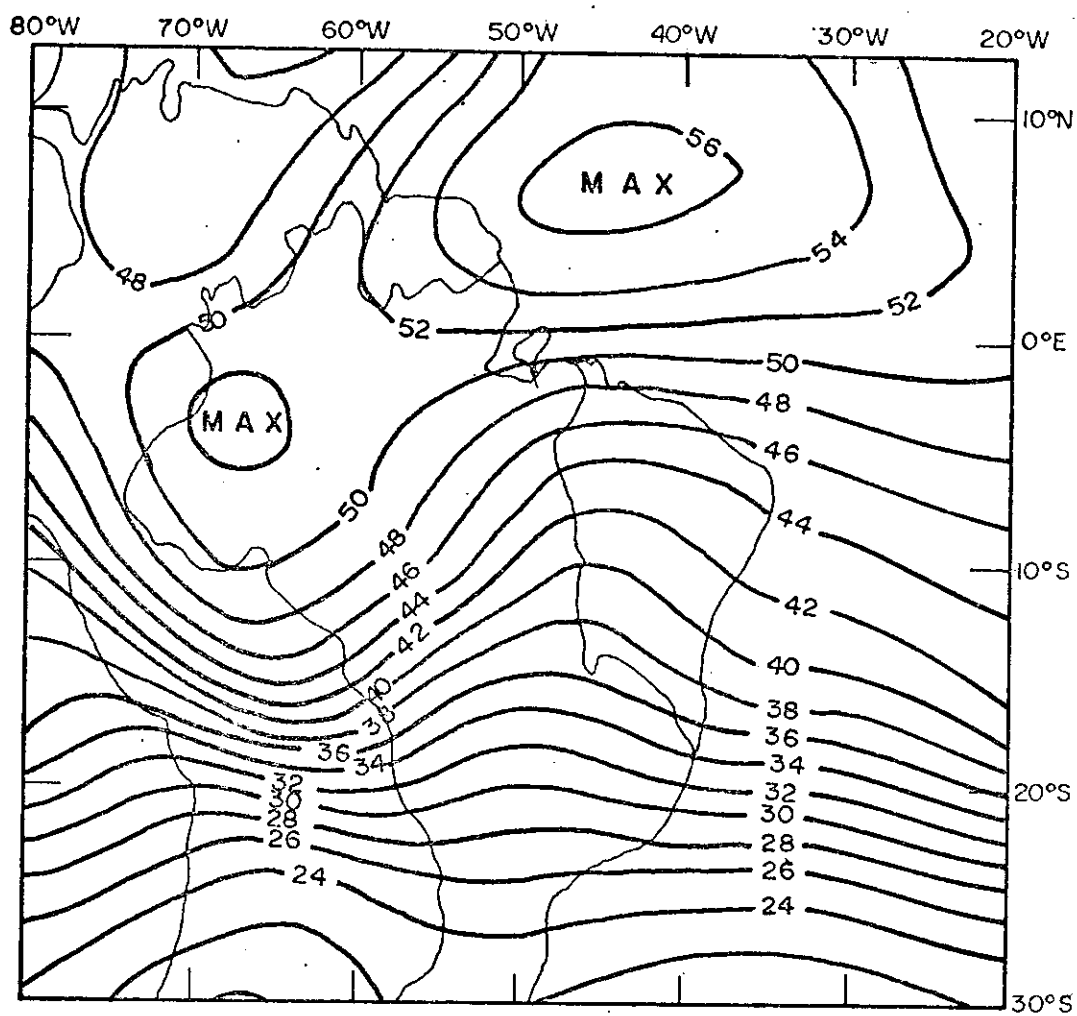


Figura 4.11 - Campo médio d'água precipitável (mm) -
junho de 1978 - 00:00 T.M.G.

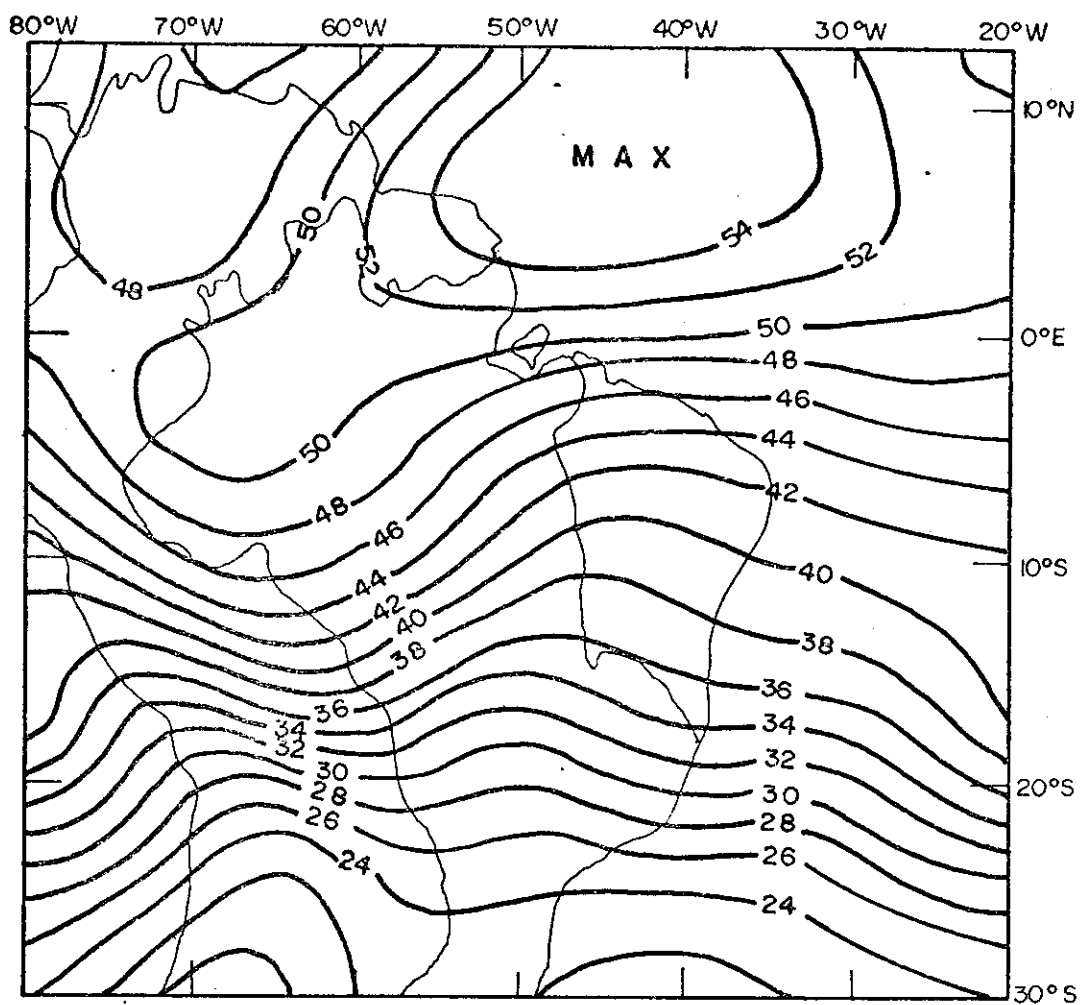


Figura 4.12 - Campo médio d'água precipitável (mm) - junho de 1978 - 12:00 TMG.

configuração suave tipo "cavado" aparece a Oeste do Nordeste do Brasil em ambos os mapas.

Na variação semidiurna dos campos d'água precipitável destaca-se a presença de maiores valores d'água precipitável no horário noturno. Isto deve-se ao fato de que durante o dia a brisa marítima adveceta vapor d'água do oceano para o continente e que esta quantidade de vapor transportada fica armazenada sobre o continente, fazendo com que o volume de água precipitável seja maior no turno noturno.

4.3 - CAMPOS MÉDIOS DA DIVERGÊNCIA DO FLUXO DE VAPOR D'ÁGUA INTEGRADO VERTICALMENTE

4.3.1 - DEZEMBRO DE 1977

Nos campos médios da divergência do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente da superfície a 700 hPa para o mês de dezembro de 1977, correspondentes aos horários sinóticos de 00:00 e 12:00 TMG (Figuras 4.13 e 4.14), tem-se na parte Sul do NEB ("regime - 12") predominância de áreas com convergência, comprovando o alto índice de precipitação observado nessa área para o referido mês (rever Figura 3.1 e 3.4). Na parte Leste e Norte da Região do NEB observa-se que na média ocorreu convergência às 00:00 TMG e fraca divergência às 12:00 TMG.

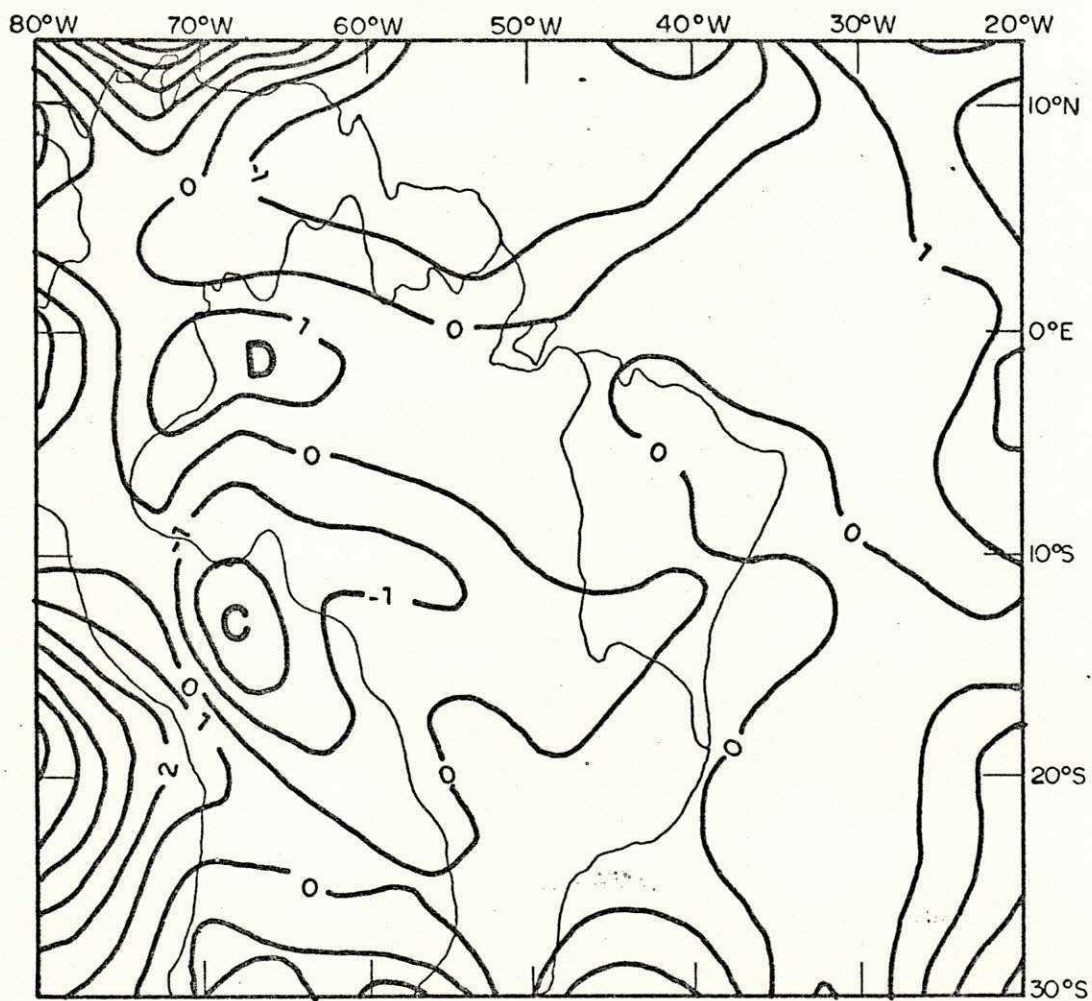


Figura 4.13 - Divergência do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (mm/dia) - dezembro de 1977 - 00:00 TMC.

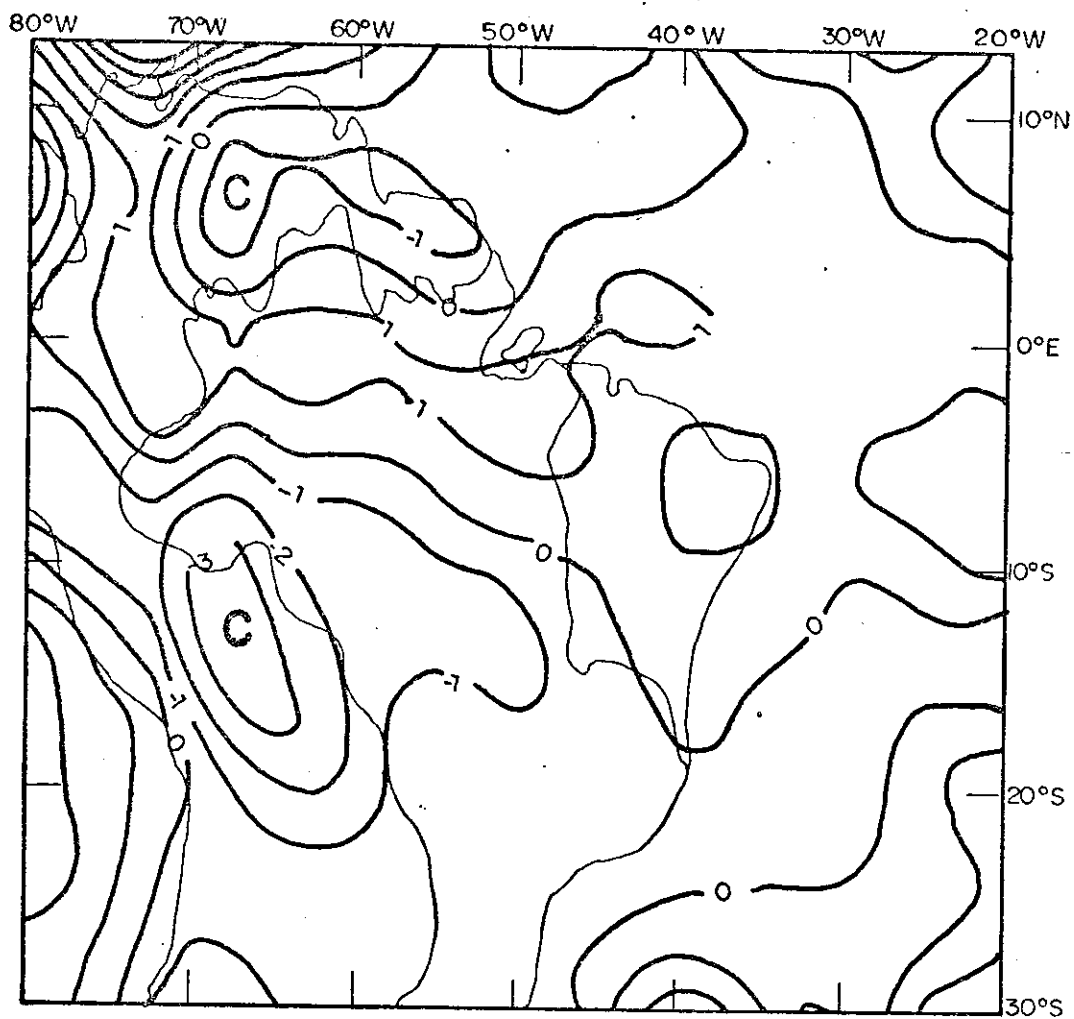


Figura 4.14 - Divergência do fluxo de vapor d'água in
tegrado verticalmente (mm/dia) - dezem
bro de 1977 - 12:00 TMG.

A predominância de áreas de convergência sobre o NEB neste mês classificado como chuvoso em toda região indica que ela atuou como sumidouro de vapor d'água atmosférico.

4.3.2 - MARÇO DE 1978

Os campos da divergência média do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente para o mês de março de 1978 nos horários sinóticos de 00:00 e 12:00 TMG (Figuras 4.15 e 4.16), mostram que na parte Norte ("regime - 3") predominou a divergência nos dois horários, justificando a ocorrência da precipitação abaixo da normal para essa área (veja Figura 3.5). Com relação a parte Sul do NEB predominou convergência comprovando o elevado índice de precipitação observado nessa área para esse mês conforme análise feita para a precipitação (rever Figura 3.4).

4.3.3 - JUNHO DE 1978

A análise dos campos da divergência média para o mês de junho de 1978, referente aos já citados horários sinóticos em estudo (Figuras 4.17 e 4.18) mostra que na parte Leste do NEB ("regime - 5") a divergência está bem próxima de zero, justificando a ocorrência de precipitação próxima da normal nesta área. O mesmo foi observado para a parte Norte do NEB, já na parte Sul detecta-se convergência.

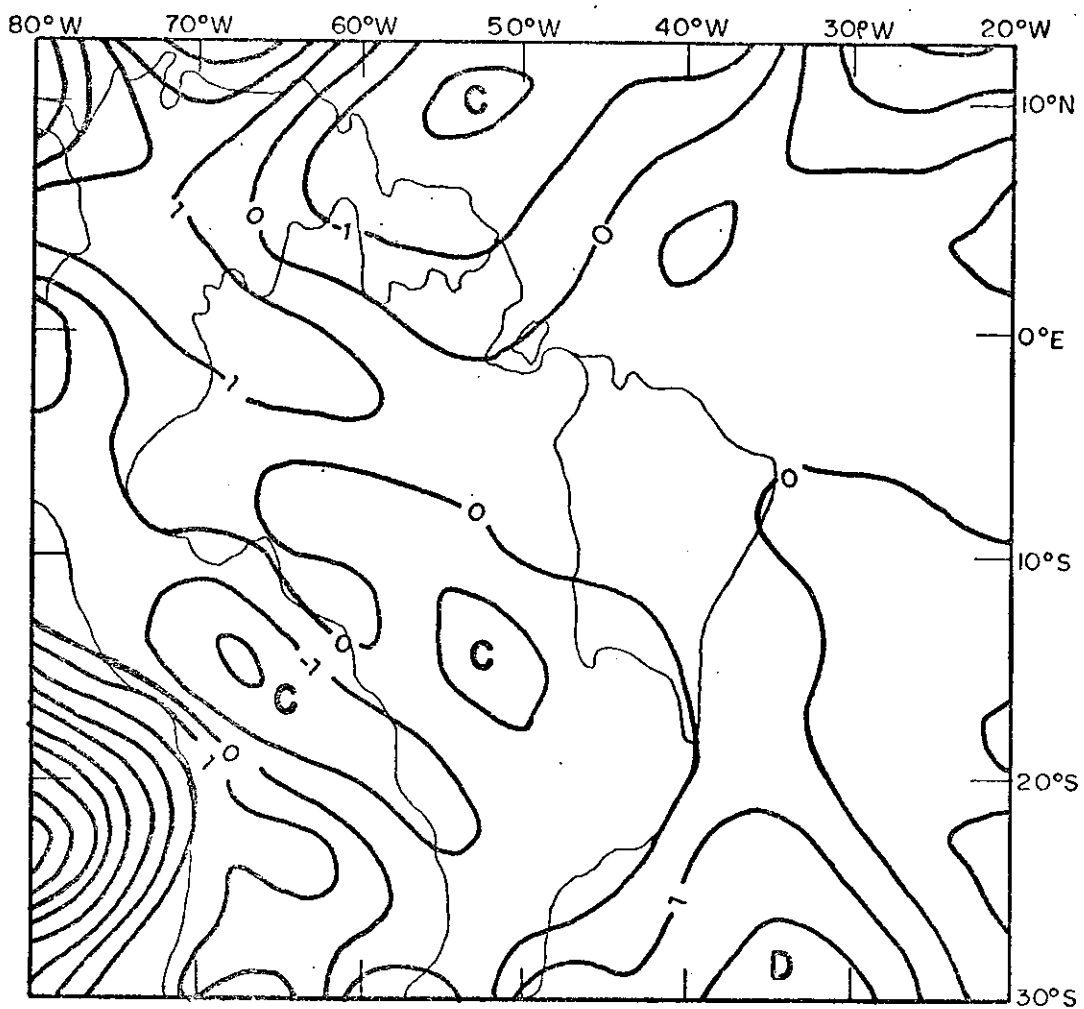


Figura 4.15 - Divergência do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (mm/dia) - março de 1978 - 00:00 TMG.

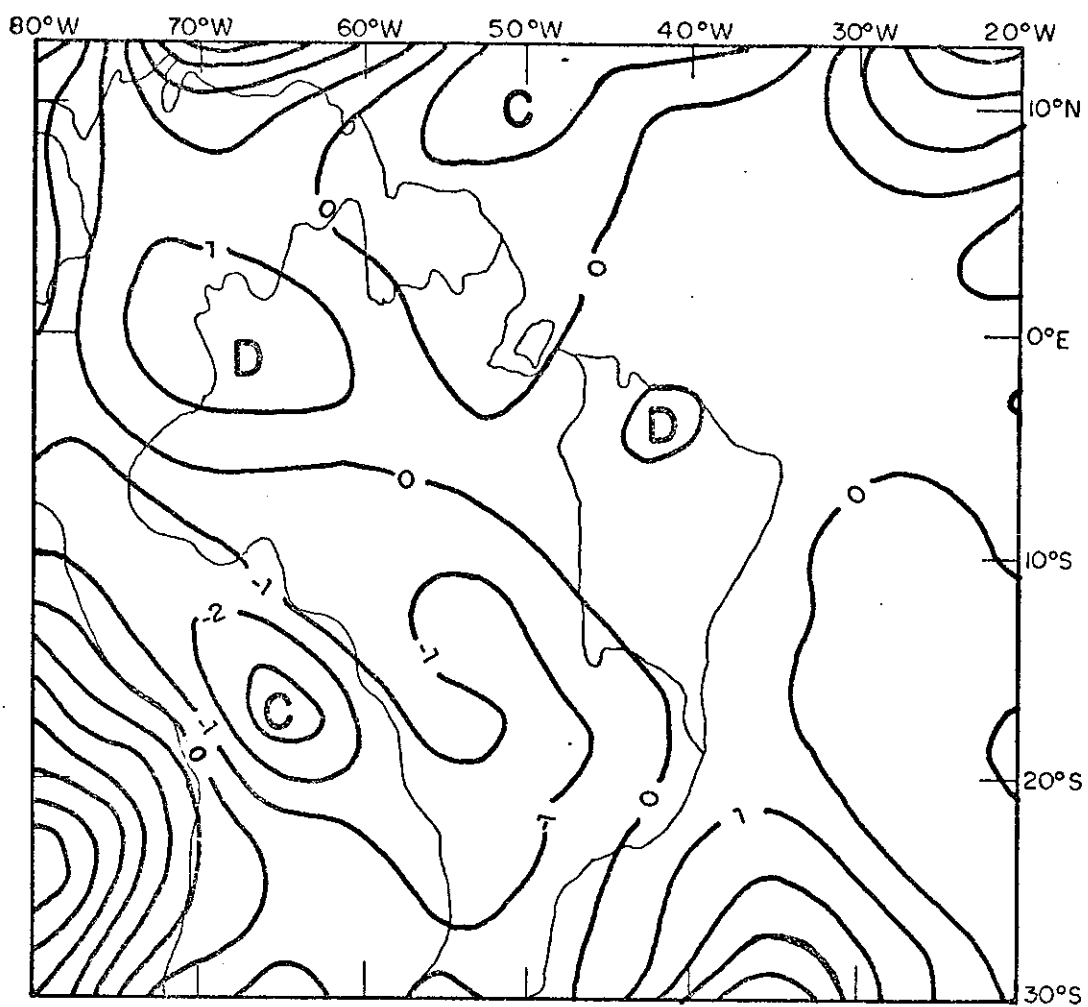


Figura 4.16 - Divergência do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (mm/dia) - março de 1978 - 12:00 TMG.

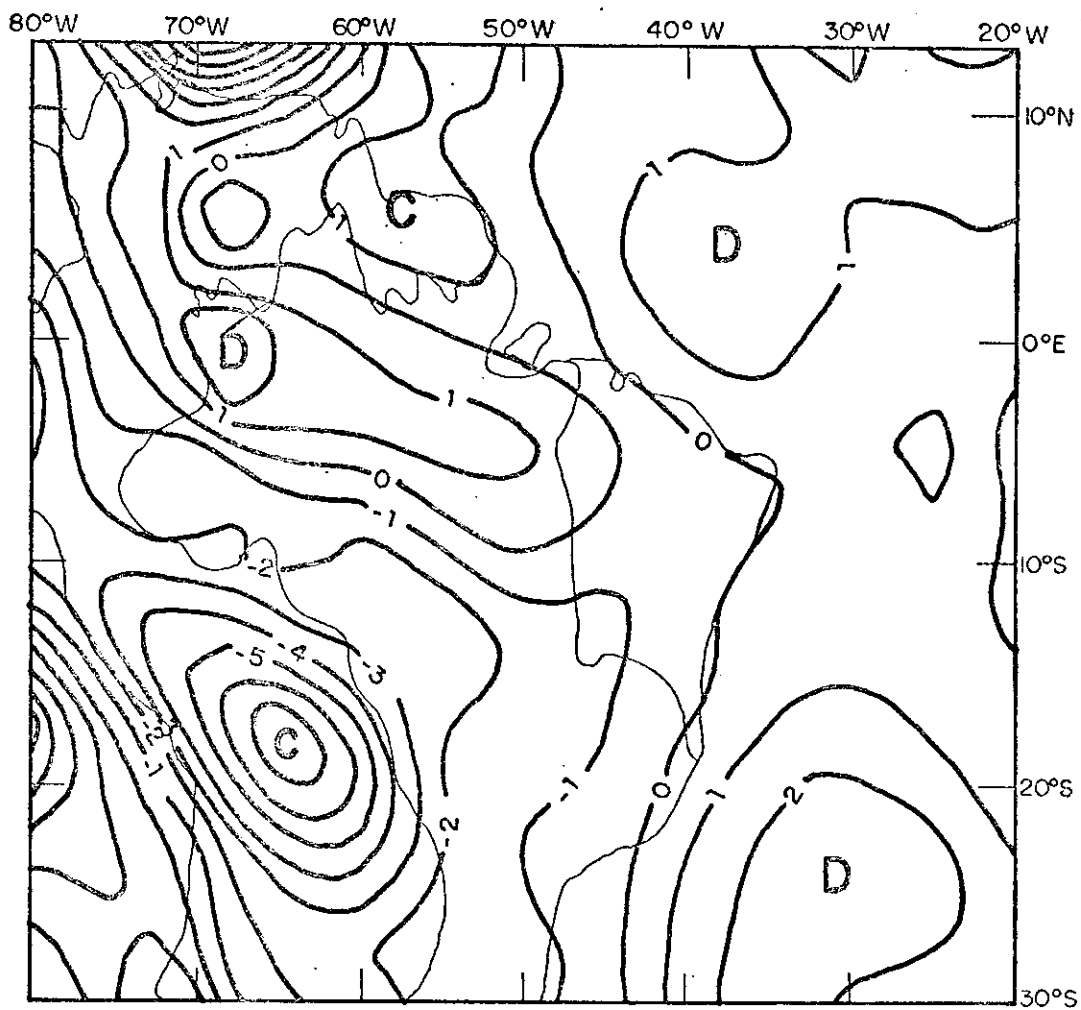


Figura 4.17 - Divergência do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (mm/dia) - junho de 1978 - 00:00 TMG.

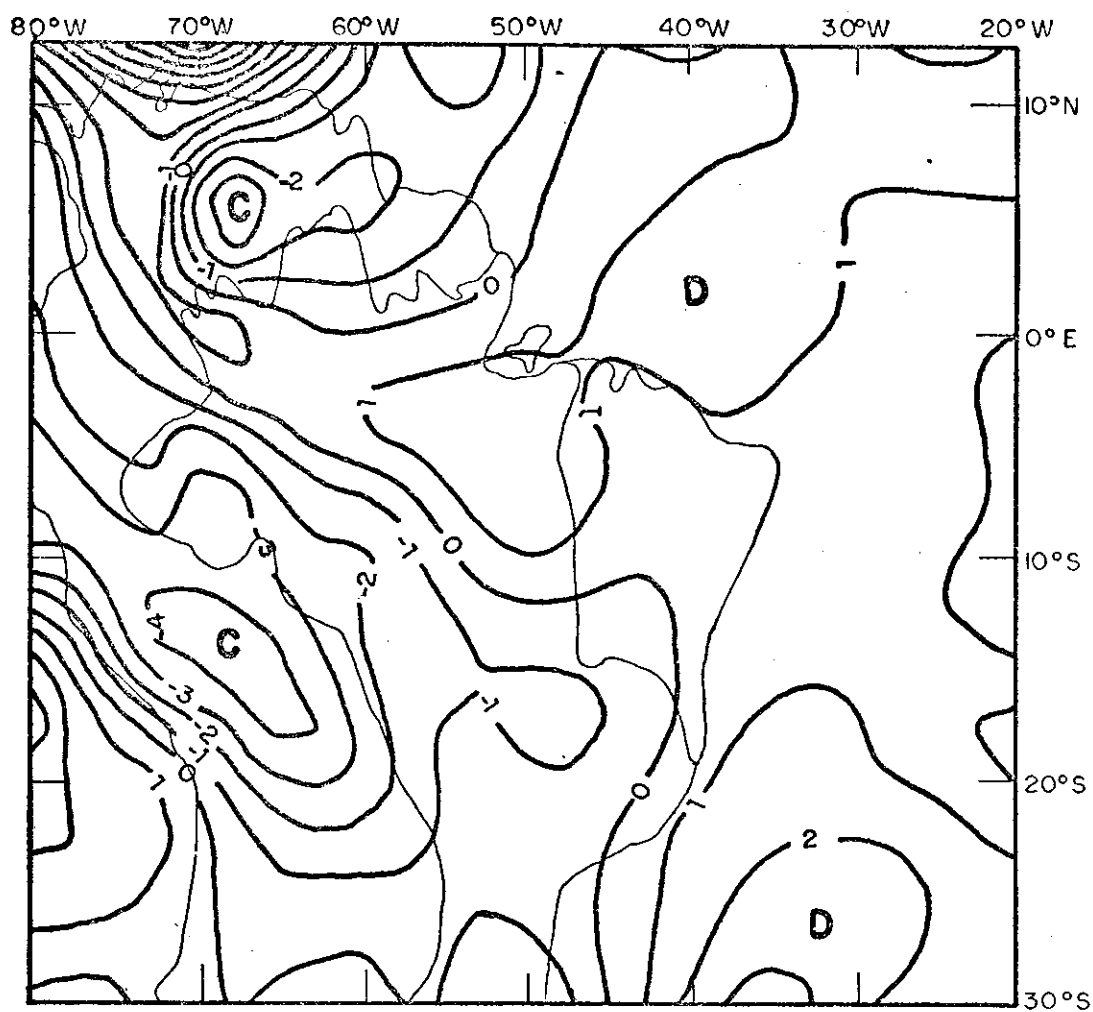


Figura 4.18 - Divergência do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (mm/dia) - junho de 1978 - 12:00 TMG.

4.4 - COMPORTAMENTOS DIÁRIOS PARA OS QUADRADOS 12, 3 E 5.

Embora sabendo que o fluxo vertical do vapor d'água pode ser importante para a contribuição local d'água precipitável no comportamento diário ele não foi calculado no presente trabalho.

O comportamento diário d'água precipitável, dos fluxos zonal e meridional do vapor d'água integrado verticalmente e de sua divergência foi estudado para cada quadrado visto na Figura 3.7, para os três meses em estudo.

Foi visto anteriormente que cada quadrado é representativo de um regime pluviométrico e que existe para cada regime um mês em que a média climática dos totais mensais de precipitação é máxima. Assim, o quadrado 12 ("regime - 12") tem seu máximo em dezembro (Figura 3.1), enquanto que no quadrado 3 ("regime - 3") o máximo ocorre em março (Figura 3.2), sendo que no quadrado 5 ("regime - 5") o máximo é visto em maio-junho (Figura 3.3).

Nesta secção são apresentados, para cada regime, apenas os resultados do mês em que a média climática atinge seu valor máximo. Os gráficos para os dois meses restantes de cada regime podem ser vistos no Apêndice B.

4.4.1 - Água precipitável, fluxos zonal e meridional integrados na vertical e divergência para o "quadrado - 12" - dezembro de 1977.

Os valores diários d'água precipitável na parte Sul do Nordeste do Brasil no período de 3 - 11 do mês, se situam em torno de 38 mm no horário noturno (Figura 4.19a) e 40 mm no horário diurno (Figura 4.19b). No restante dos dias com dados disponíveis, os valores são mais altos, particularmente no horário noturno: 53 mm às 00:00 TMG e 49 mm às 12:00 TMG. É evidente ainda nos gráficos a existência de uma maior variação em torno da média depois do dia 11.

No que diz respeito ao fluxo horizontal de vapor d'água integrado verticalmente (Figura 4.20), observa-se que nos primeiros dias do mês, quando a água precipitável esteve com valores relativamente baixos, os fluxos zonal e meridional apresentaram intensidades fracas, significando que não houve um transporte de vapor d'água significativo. No restante dos dias com dados disponíveis, quando a água precipitável esteve com valores relativamente altos, os fluxos zonal e meridional apresentaram intensidade elevadas, sendo que o fluxo zonal muda de Leste para Oeste nesse período enquanto que o fluxo meridional atua sempre de Norte. Esse comportamento é verificado nos dois horários estudados.

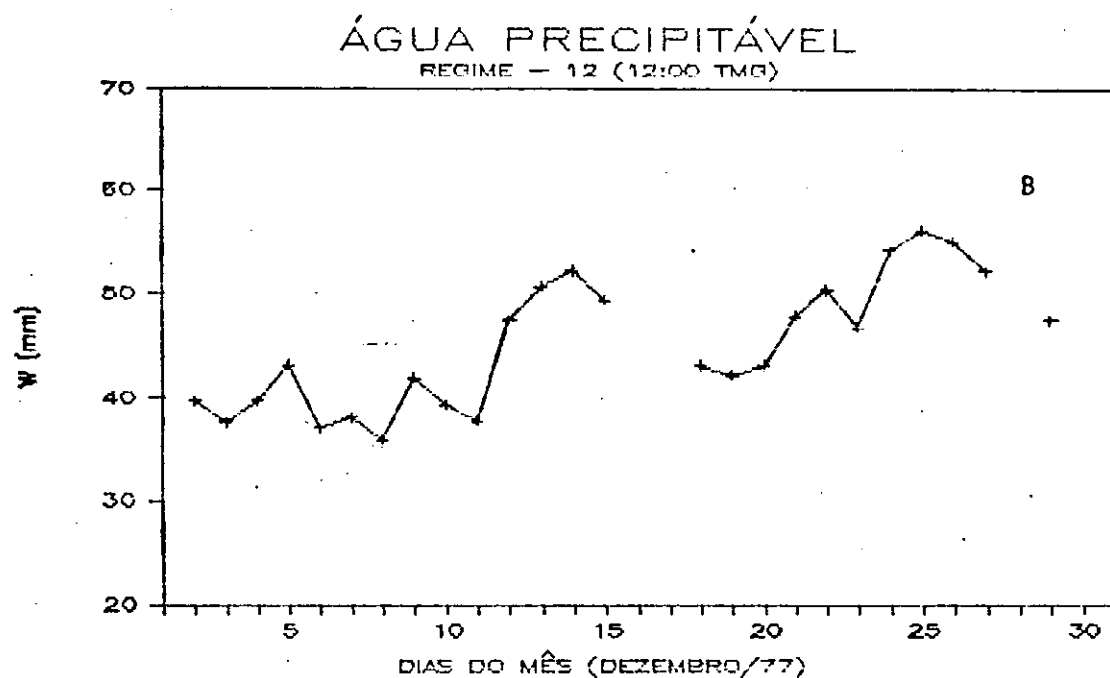
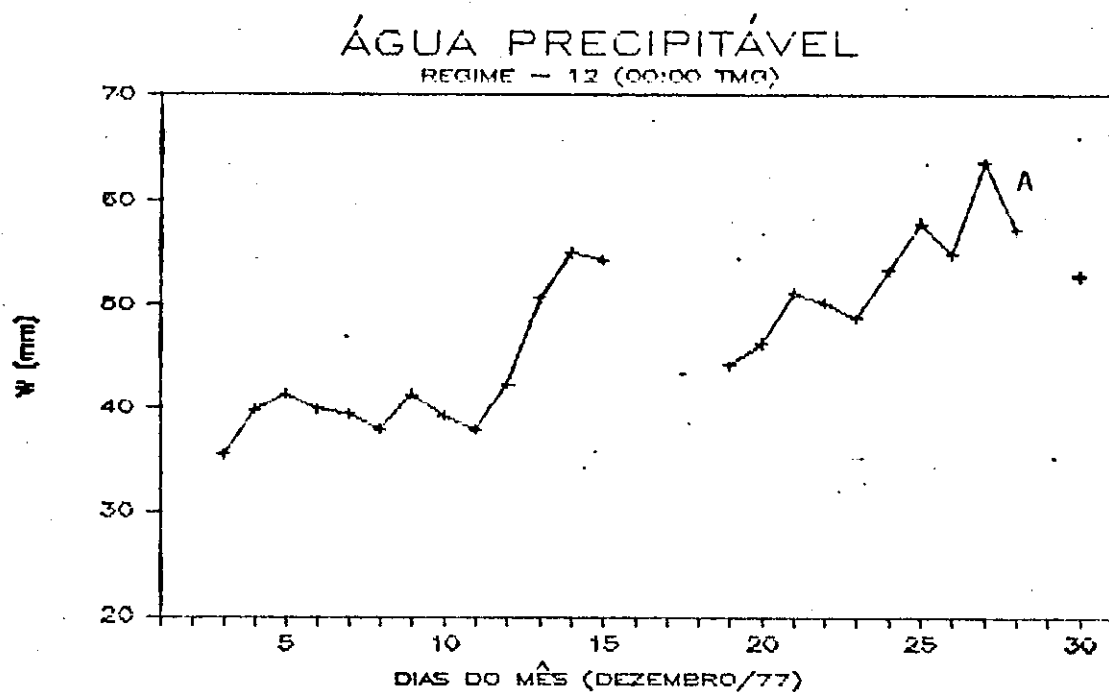


Figura 4.19 - Comportamento diário d'água precipitável para a área Sul (regime - 12) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

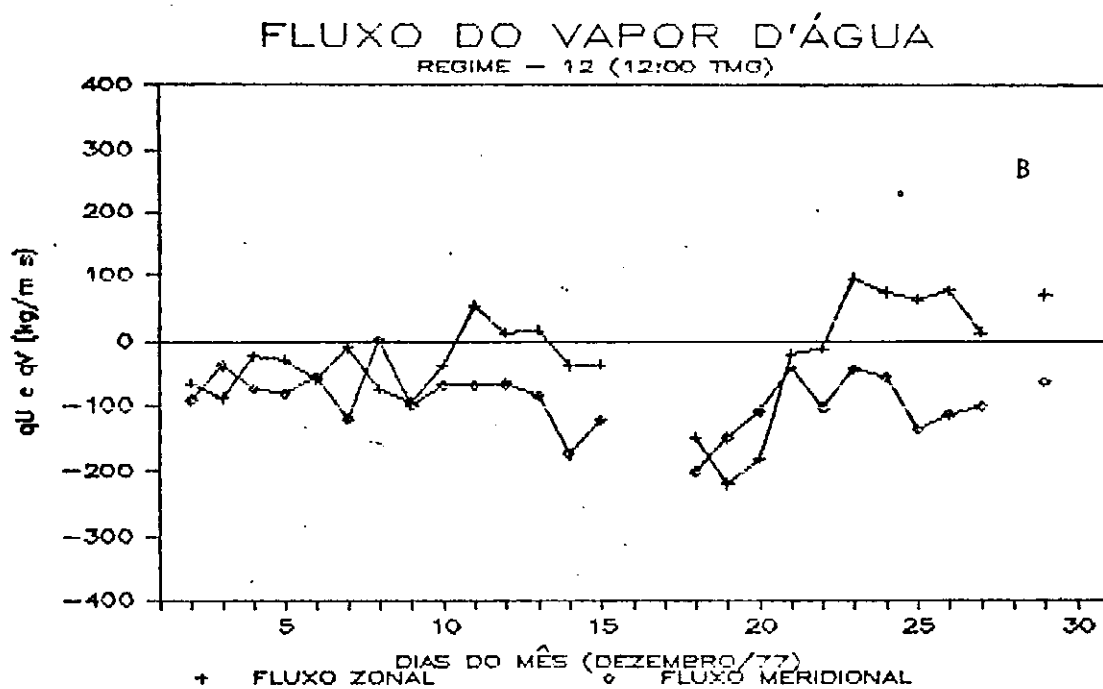
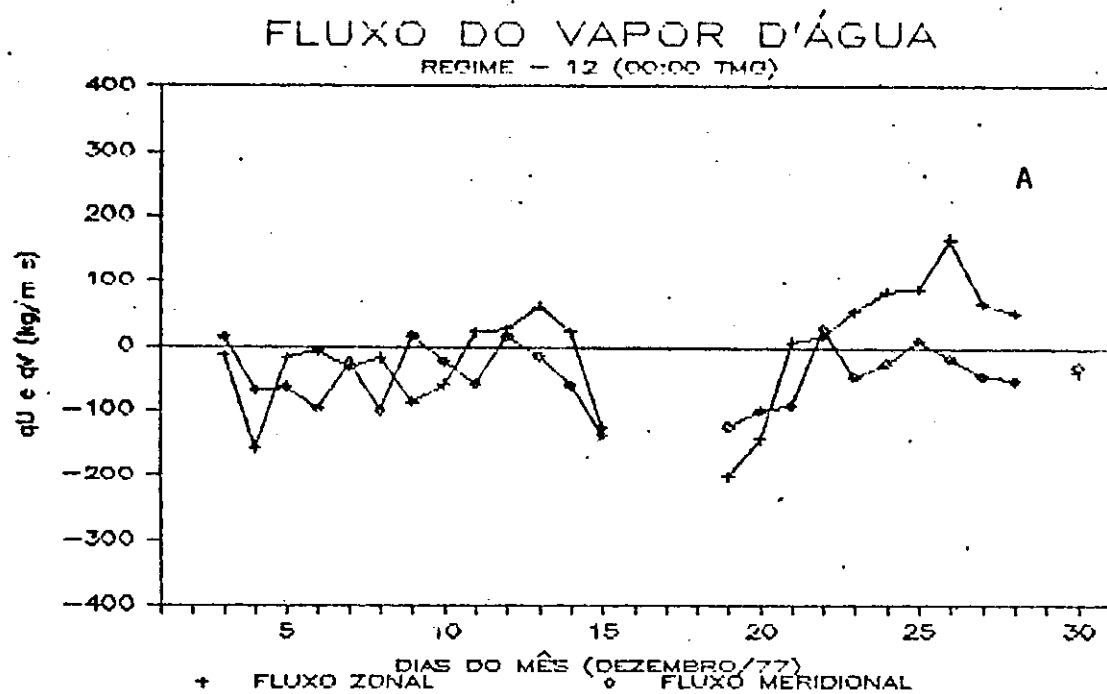


Figura 4.20 - Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Sul (regime - 12) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

O alto teor de água precipitável após o dia 11 do mês de dezembro/77, está associado a alta magnitude do fluxo de vapor d'água e seu sentido de atuação na região, o qual varia de Nordeste - Norte - Noroeste, constituindo-se em condição favorável para a ocorrência da precipitação para esta área ("regime - 12").

O comportamento da divergência horizontal do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente da superfície até 300 hPa (Figura 4.21) reforça a afirmativa feita anteriormente de que o horário noturno é mais favorável à precipitação, pois logo após o dia 11 do citado mês, predomina convergência principalmente à noite, implicando em que a precipitação excedeu a evaporação ($E - P < 0$).

4.4.2 - Água precipitável, fluxos zonal e meridional integrados na vertical e divergência para o "quadrado - 3" - março de 1978.

O comportamento diário d'água precipitável na parte Norte da Região do NEB, nos horários sinóticos das 00:00 e 12:00 TMG (Figura 4.22) mostra que no início do mês, de 4 - 15, o conteúdo d'água precipitável se situa em torno de 60 mm no período noturno e cerca de 55 mm no horário diurno. Já no restante dos dias com dados disponíveis, observa-se uma queda no

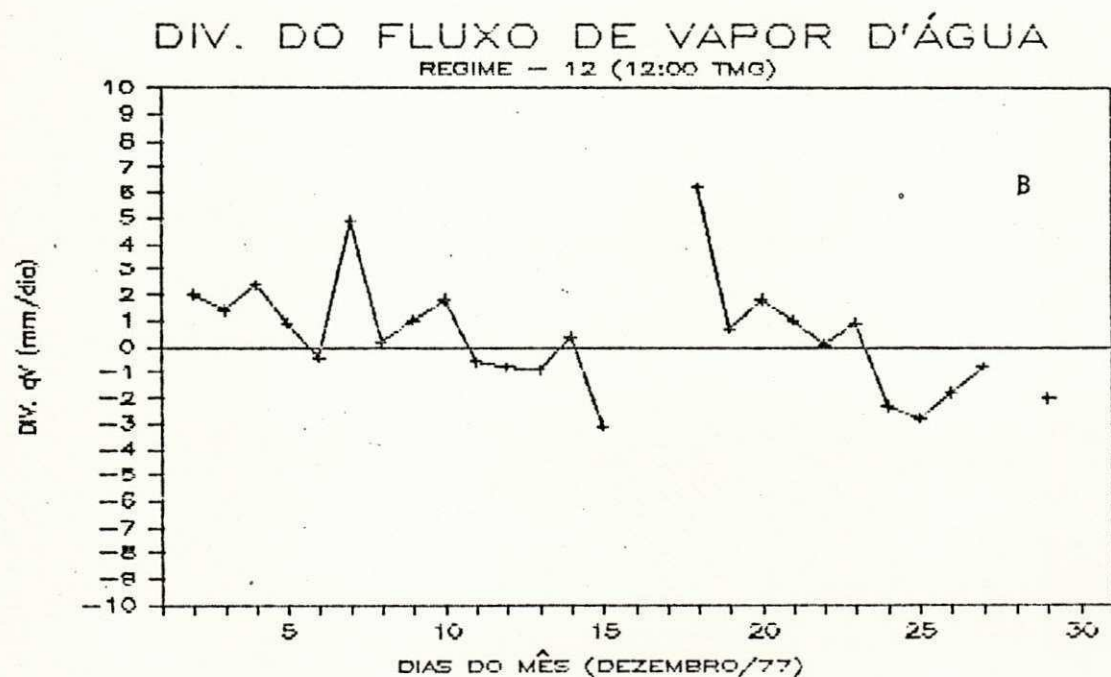
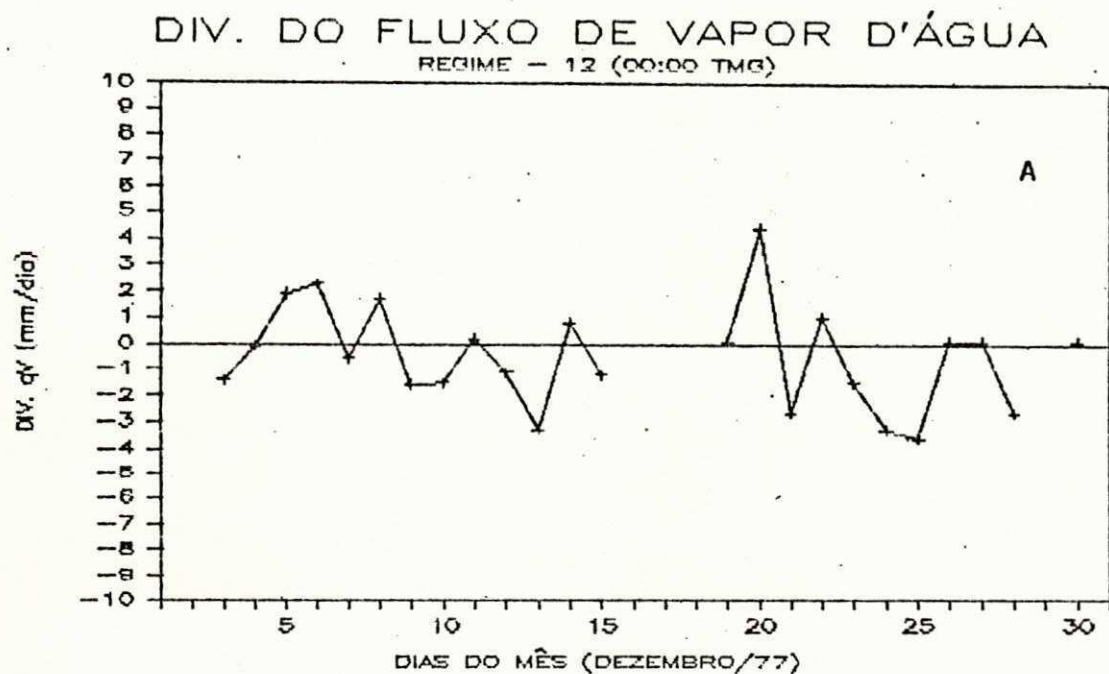


Figura 4.21 -- Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Sul (regime - 12) no mês de dezembro de 1977, no horário das : (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

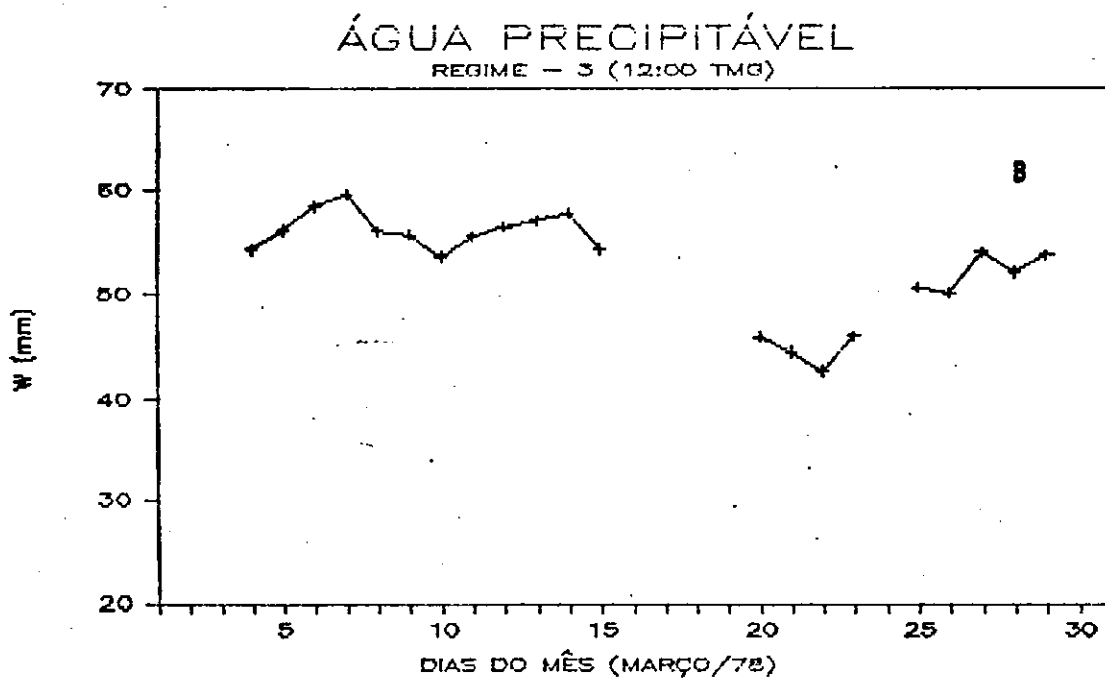
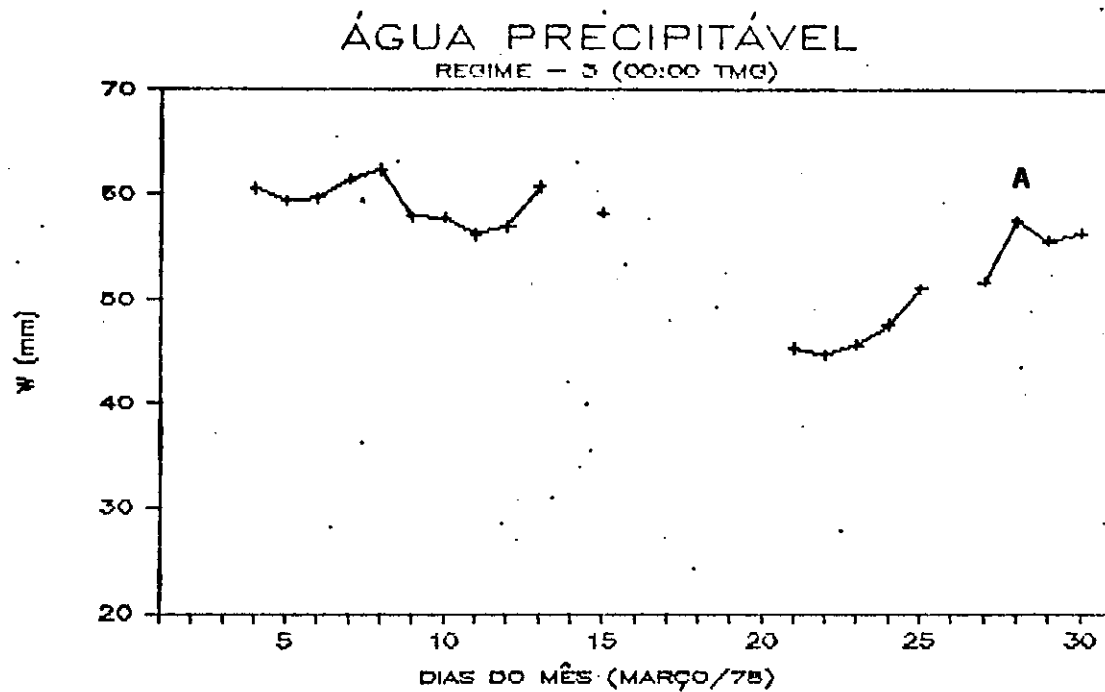


Figura 4.22 - Comportamento diário d'água precipitável para a área Norte (regime - 3) no mês de março de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

seu conteúdo que passa a ser de 50 mm, em média, para ambos os horários.

Observando o fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (Figura 4.23) destaca-se que somente em alguns dias da primeira quinzena do mês de março/78 é que os fluxos zonal e meridional apresentaram valores negativos, implicando em fluxo resultante de Nordeste, condição favorável à precipitação para o "regime - 3", pois indica atuação da ZCIT. Verifica-se ainda que isso ocorreu justamente no período em que a água precipitável assumiu valores relativamente altos, enquanto que nos dias restantes com dados disponíveis o fluxo resultante do vapor d'água atuou de Sul no turno da noite e de Sudeste no horário do dia, implicando em condição desfavorável à precipitação.

Conforme observado, a condição favorável à precipitação ocorreu em poucos dias do mês de março/78, principalmente no horário da noite, quando observa-se convergência do fluxo de vapor d'água (Figura 4.24), o que reforça a afirmação de que no citado mês não predominou a condição favorável à precipitação no ("regime - 3") e, portanto, a precipitação observada foi abaixo da média.

4.4.3 - Água precipitável, fluxos zonal e meridional integrados na vertical e divergência para o "quadrado - 5" - junho de 1978.

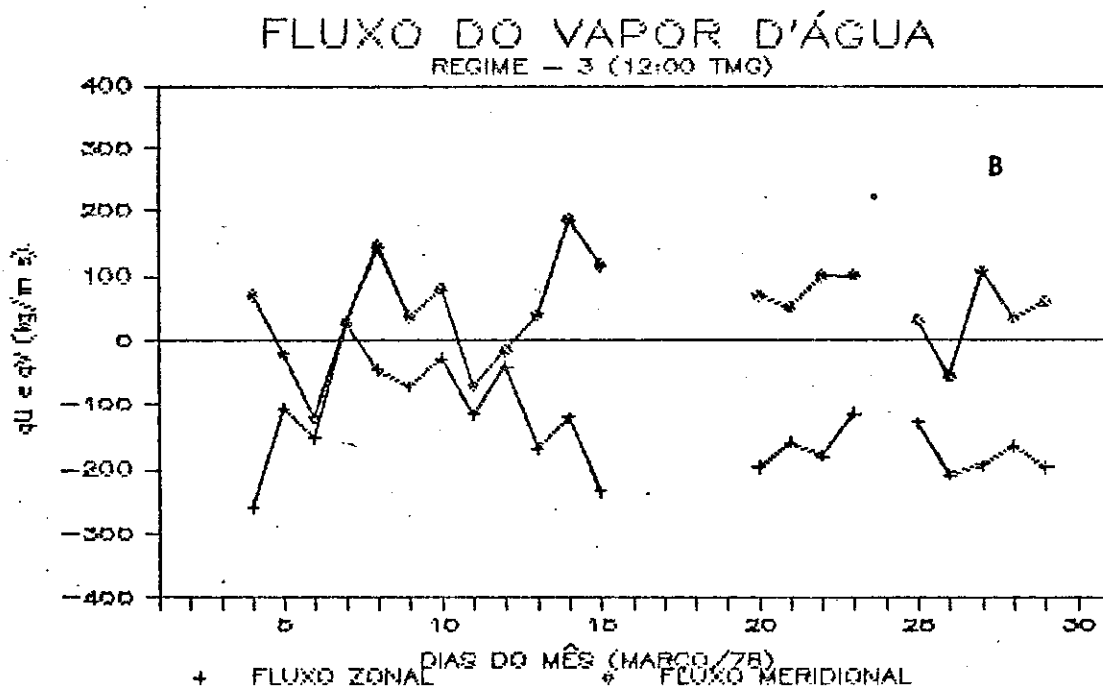
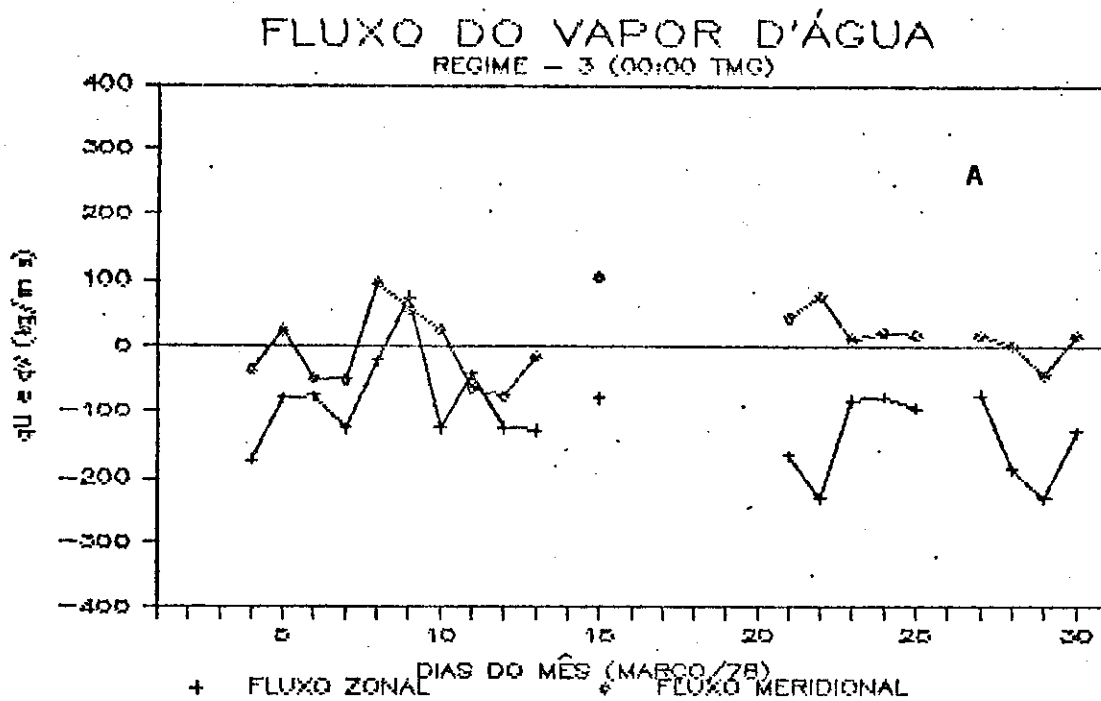
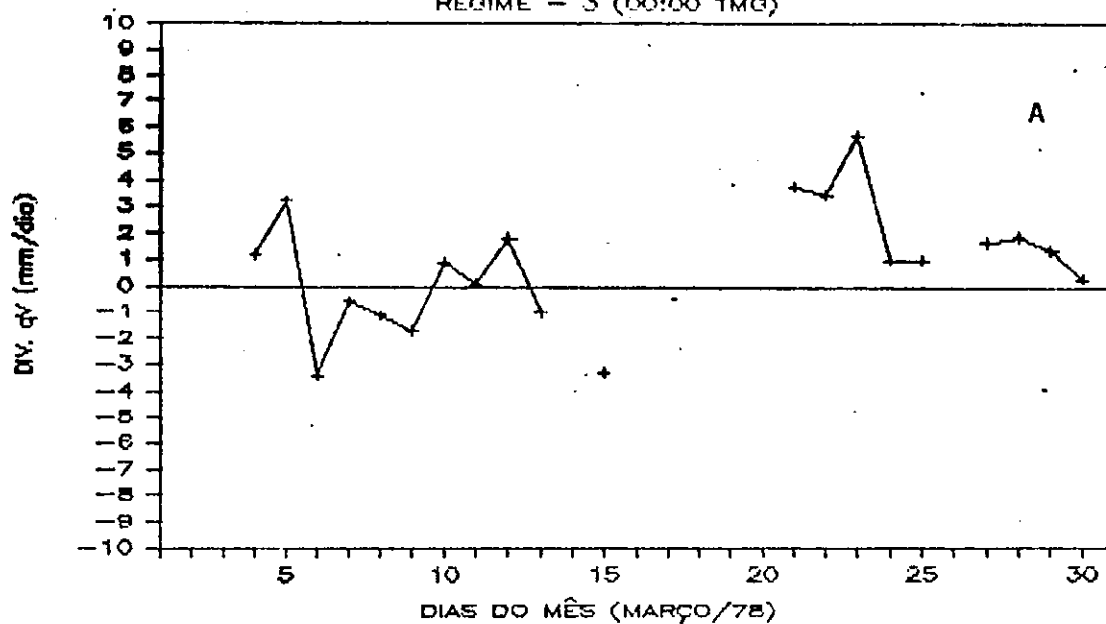


Figura 4.23 - Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Norte (regime - 3) no mês de março de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

DIV. DO FLUXO DE VAPOR D'ÁGUA

REGIME - 3 (00:00 TMG)



DIV. DO FLUXO DE VAPOR D'ÁGUA

REGIME - 3 (12:00 TMG)

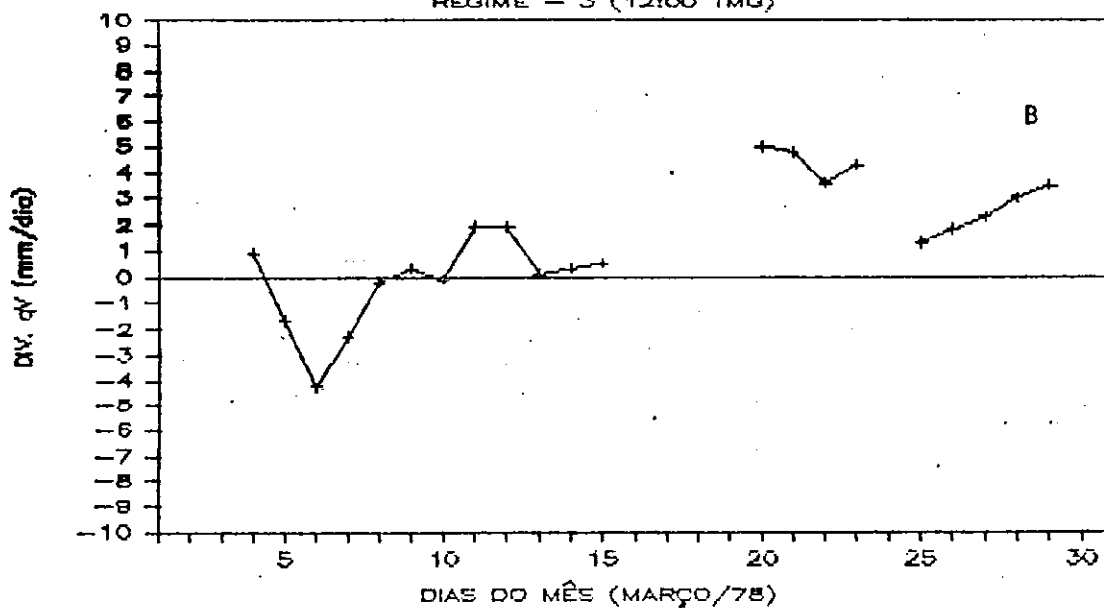


Figura 4.24 - Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Norte (regime - 3) no mês de março de 1978, no horário das : (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

O comportamento diário d'água precipitável para a parte Leste do NEB, nos horários sinóticos das 00:00 e 12:00 TMG (Figura 4.25), mostra que a água precipitável apresenta uma queda quase linear, passando de cerca 48 - 50 mm no início do mês para cerca de 32 - 35 mm no final.

O fluxo de vapor d'água integrado verticalmente, para os horários sinóticos já mencionados (Figura 4.26), apresenta fluxo zonal de Leste e fluxo meridional de Sul durante todo o mês com pouca variação de intensidade. A composição destes fluxos zonal e meridional implica em fluxo de Sudeste marcando a presença do anticiclone do Atlântico Sul próximo ao continente.

Na Figura 4.27 referente à divergência do fluxo de vapor d'água, os valores negativos e positivos equilibram-se resultando em divergência quase nula o que contribuiu para junho de 1978 ser considerado normal.

4.5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

No presente estudo realizou-se a avaliação das características do vapor d'água atmosférico sobre o NEB, obtendo-se as seguintes conclusões:

- A variação semidiurna do vapor d'água atmosférico observada, representa aproximadamente 8% da variância dos parâmetros

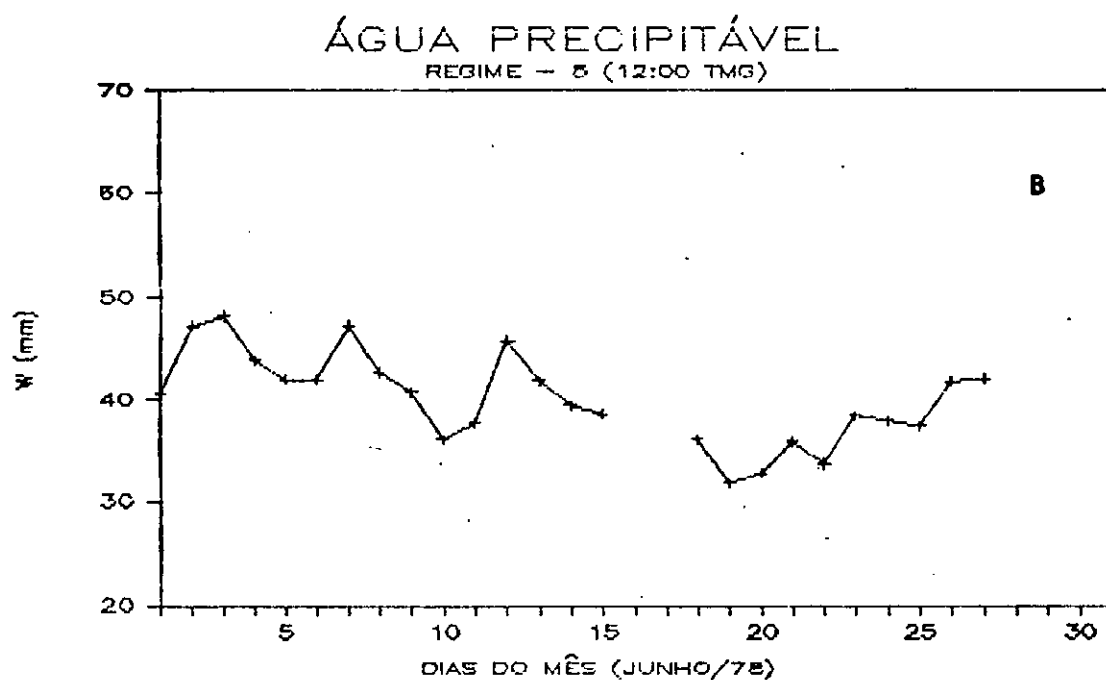
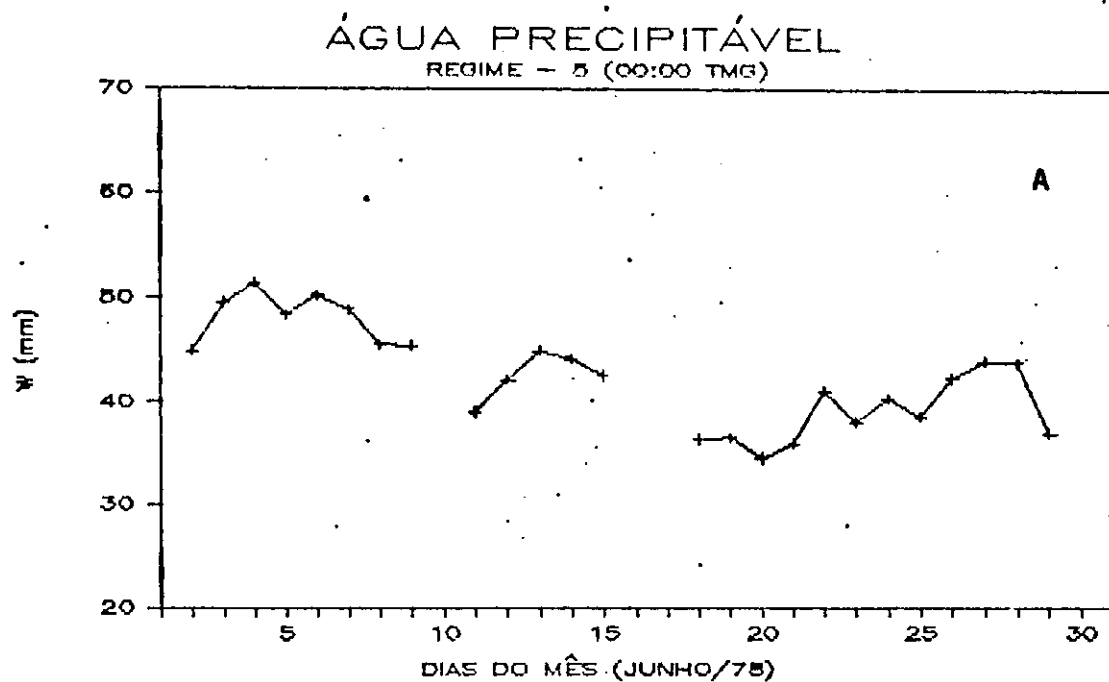


Figura 4.25 - Comportamento diário d'água precipitável para a área Leste (regime - 5) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

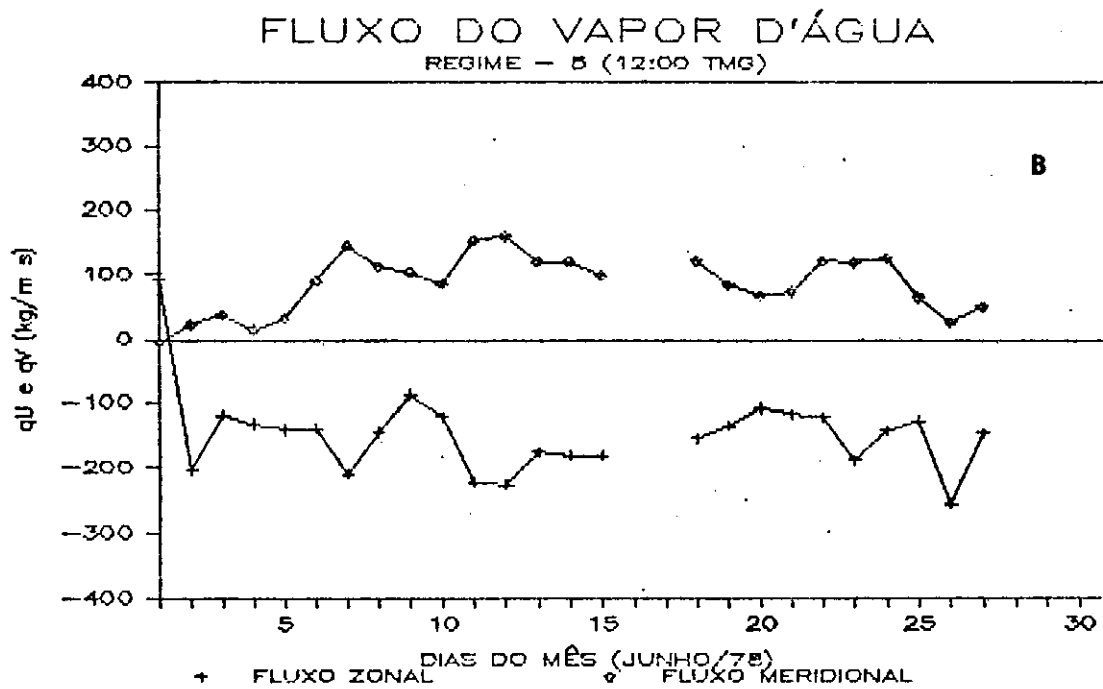
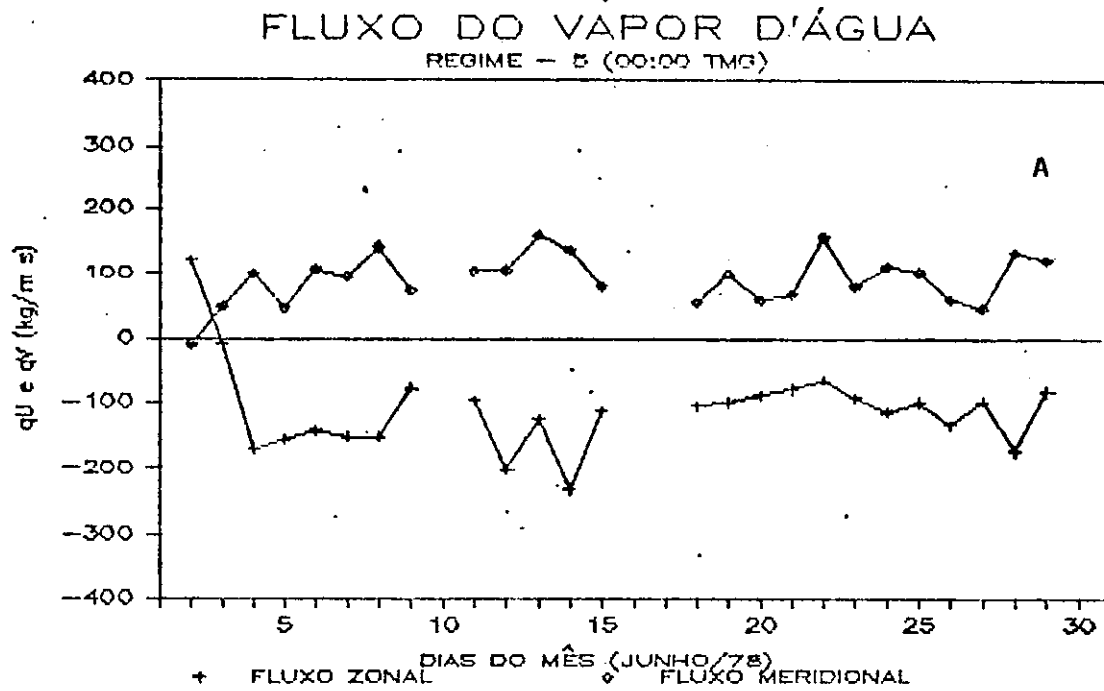


Figura 4.26 - Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Leste (regime - 5) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG - e (b) 12:00 TMG.

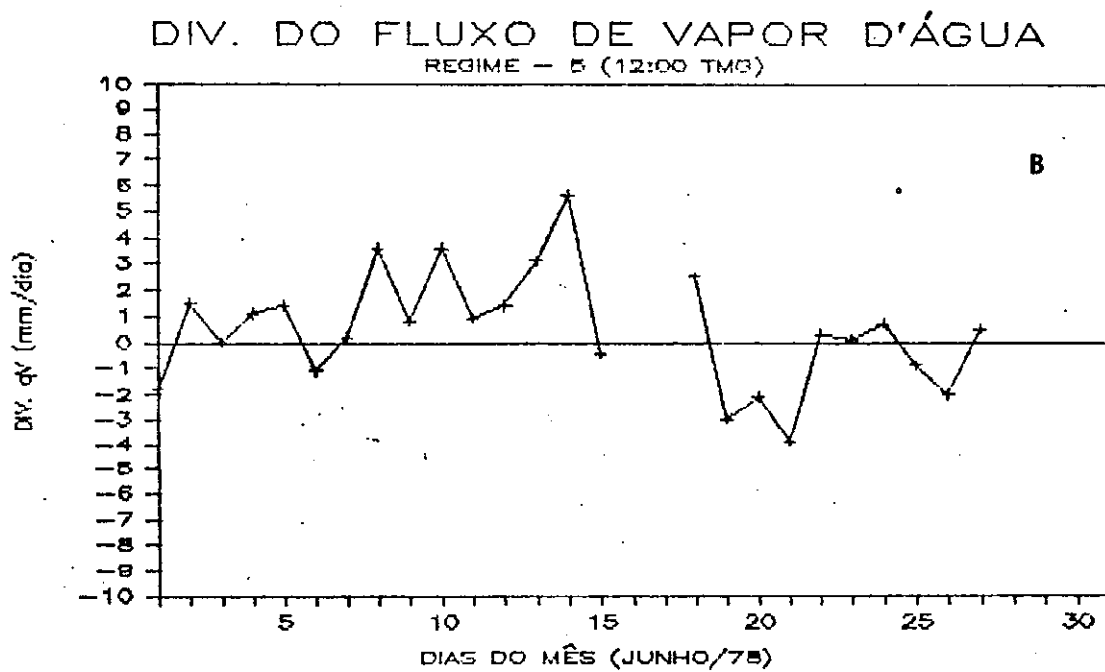
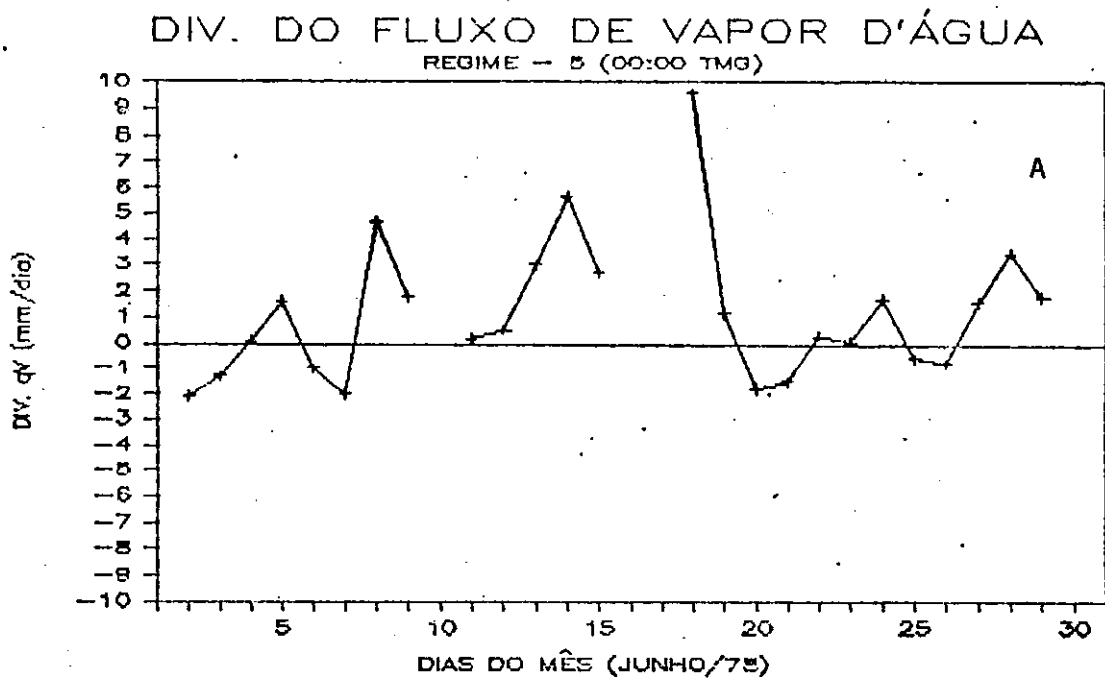


Figura 4.27 - Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Leste (regime - 5) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

calculados. Este efeito deve ser considerado importante para investigações deste tipo.

- A água precipitável apresenta valores maiores no horário das 00:00 TMG do que no horário das 12:00 TMG, para os três meses estudados.
- A divergência do fluxo horizontal de vapor d'água integrado verticalmente apresenta uma boa concordância com a precipitação observada (veja Figuras 3.1 a 3.6) confirmando que a convergência do fluxo de vapor d'água é uma condição necessária para a ocorrência de precipitação.
- As condições de água precipitável e seu transporte apresentaram-se mais favoráveis à ocorrência de precipitação no período noturno.
- Fluxo de vapor d'água de Nordeste é a condição mais favorável à precipitação no "regime - 3"; já fluxo de Nordeste - Norte - Noroeste é a condição mais favorável para o "regime - 12". Para o "regime - 5" parece existir uma interação de outros fatores.
- A metodologia utilizada possibilita facilidades no diagnóstico de situações favoráveis à precipitação no NEB.

Apesar dos dados da velocidade do vento, gerados pelo NMC para essa época, apresentarem a divergência do vento um pouco

filtrada admite-se que os resultados obtidos foram consistentes com a situação estudada. Como forma de comprová-los e aperfeiçoá-los sugere-se realizar estudos de maior número de casos para confirmar diferenças marcantes na variação semidiurna. Deve-se utilizar dados mais recentes, gerados por modelos numéricos cuja divergência do vento seja pouco filtrada.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARAGAO, J.O.R. Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - São José dos Campos - SP, 1975, 47p.
- ARAÚJO, M.A.A. Um estudo do fluxo horizontal do vapor da água atmosférico e o seu armazenamento sobre o Nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1982, 107p.
- BENTON, G.S., BLACHDURN, R.T., SNEAD, V.D. The role of atmosphere in the hidrological cycle. Trans. an Geophys Union, V.31, p.61-73, 1954.
- _____, ESTOQUE, M.A. Water-vapor transfer over the North American Continent. Journal Meteorology, V.11, p.462-477, Ago, 1954.
- BENWELL, G.R.R. The estimation and variability of precipitable water. Meteorological Magazine, London, V.94, p.319-327, Ago, 1965.
- CAVALCANTI, E.P. Aspectos energéticos da atmosfera sobre o Nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1986, 77p.
- CHUNG, J.C. Correlations between the tropical atlantic trade winds and precipitation in the Northeast Brazil. Journal of

Climatology , V.2, p.35-46, 1982.

- DI PACE, E.L. Variação sazonal do vapor da água na atmosfera sobre o Brasil . Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1984, 120p.
- GOMES FILHO, M.F. Um estudo sobre a influência do albedo diferencial e da orografia na circulação atmosférica: Uma aplicação para o Nordeste brasileiro. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - São José dos Campos - SP, 1979, 93p.
- HACH, J.J. , SCHUBERT, W.H. , DIAS, P.L.S. A spectral cumulus parameterization for use in numerical models of the tropical atmosphere. Monthly Weather Review, N.112, p.704-716, 1984.
- HASTENRATH, S. , WU, M.C. , CHU, P.S. Towards the monitoring and prediction of North-east Brazil droughts. Quart. J. R. Met. Soc. . V.110, p.411-425, 1984.
- HOWARTH, D.A. Seasonal variations in the vertically integrated water vapor transport fields over the Southern Hemisphere. Monthly Weather Review , V.3, N.6, p.1259-1272, Set, 1983.
- KRISHNAMURTI, T.N. Monsoon dynamics . Pageoph Birkhauser Verlag, Basel Stuttgart. V.4, 444p, 1978.
- KOUSKY, V.E. Frontal influences on northeast Brazil. Monthly Weather Review , V.107 , N.9, p.1140 -1153, 1979.
- MARQUES, J. Contribuição ao estudo hidrológico da bacia Amazônica . Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo - SP, 1976, 118p.

- _____, A transferência horizontal de vapor da água na troposfera e a hidrologia da bacia Amazônica. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo - SP, 1978. 122p.
- MARQUES, V.5. Estudos da energética e do fluxo de vapor da água na atmosfera sobre o Nordeste Brasileiro. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - São José dos Campos - SP, 1981, 182p.
- _____, RAO, V.B., MOLION, L. C. B. Interannual and seasonal variations in the structure and energetics of atmosphere over Northeast Brazil. Tellus, V.35, N.3, p.135-148, 1983.
- MONTE, E.M. Estudos de periodicidades: séries temporais de chuva no Nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1986, 107p.
- NAMIAS, J. Influence of Northern hemisphere general circulation on drought in Northeast Brazil. Tellus, V.24, N.4, p.336-342, Dez, 1972.
- PEIXOTO, J.P. O campo da divergência do transporte do vapor de água na atmosfera. Revista Faculdade Ciências de Lisboa, Separata, 2 série B., V.7, p.25-56, Fev, 1959.
- _____, On the role of water vapor in the energetics of the general circulation of the atmosphere. Separata de Portugal Physical Lisboa, V.4, N.2, p.135-170, 1965.
- _____, OORT, A.H. The atmospheric branch of the hydrological cycle and climate. A street perrott, variations in the global water budget. D. Reidel Publishing, V.3, N.4, p.5

-65, Dez, 1983.

PICANÇO. C.G. , MARQUES, V.S. Variações semidiurnas do fluxo de calor e massa na região Nordeste do Brasil. IN: Congresso Interamericano de Meteorologia , 2, 1987. Buenos Aires. Anales. Buenos Aires, 1987.

RATHOR, H.S. , ARAUJO, M.A , MELLO, C.C. The divergence of water vapour flux during a typical rainy month over Northeast Brazil. American Meteorological Society, Boston, Mass., V.1, p.138-142, 1983.

_____ ; CAVALCANTI, E. P.; MEDEIROS, R. MAINAR. Energética e fluxo de vapor d'água sobre o NE do Brasil em situações típicas com duração de poucos dias. CNPq/Projeto nº 400.313/87, 1989, 100p.

SAMPAIO FERRAZ, J. Causas prováveis das secas do nordeste brasileiro. Ministério da Agricultura, Serviço de Meteorologia, Rio de Janeiro, 1931, 12p.

SERRA, A. Meteorologia do nordeste brasileiro. IV assembléia geral do Instituto Pan-Americano de Geografia. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE - Rio de Janeiro, 1946, 120p.

SERRA, A. ; RATISBONA, L. As massas de ar da América do Sul, Serviço de Meteorologia, Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, 1942, 137p.

SPAR, J.A. Suggested technique for quantitative precipitation forecasting. Monthly Weather Review, London, V.81, N.3, p.217-221, 1953.

STARR, V.P. , PEIXOTO, J.P. On the global balance of water vapor and the hydrology of deserts. Tellus , V.1, N.2, p.189-194, 1958.

STRANG, D.M.G. Análise climatológica das normais pluviométricas do Nordeste Brasileiro . São José dos Campos: CTA, 1972.(IAE-M-02/72).

APENDICE - A

TABELA A.1
REDE PLUVIOMÉTRICA DO NORDESTE DO BRASIL

N	NÚMERO	NOME DO POSTO	LATITUDE (o ')S	LONGITUDE (o ')W	ALTITUDE (metros)
001	2756769	Luis Correia	02 53	41 40	0010
002	2776859	Piracuruca	03 56	41 43	0070
003	2787808	Pedro II	04 25	41 28	0580
004	2794584	José de Freitas	04 45	42 35	0130
005	3706689	Castelo do Piauí	05 20	41 34	0250
006	3724531	Amarante	06 15	42 51	0072
007	3726851	Valência do Piauí	06 24	41 45	0295
008	3738679	Pio IX	06 50	40 37	0550
009	3747775	Jaicós	07 22	41 08	0255
010	3756717	Simplicio Mendes	07 51	41 55	0319
011	2769315	Tucundubá	03 10	40 26	0800
012	2769904	Meruoca	03 27	40 29	0450
013	2778825	Ibiapina	03 55	40 53	0885
014	2779047	Ipaguassú	03 30	40 16	0075
015	2779328	Sobral	03 40	40 22	0110
016	2779907	Cariré	03 57	40 28	0157
017	2788385	Reriutaba	04 10	40 35	0148
018	2788781	Bonito	04 21	40 36	0170
019	2789669	Quitéria	04 20	40 10	0190
020	2798157	Ipueiras	04 33	40 43	0238
021	2798484	Nova Russas	04 42	40 35	0241
022	2799636	Tamboril	04 50	40 20	0360
023	2861786	Paracuru	03 23	39 05	0010
024	2870446	Irauçuba	03 44	39 47	0190
025	2872766	Maranguape	03 53	38 41	0067
026	2873824	Aquiraz	03 54	38 23	0030
027	2881838	Salão	04 25	39 19	0200
028	2882076	Guaiuba	04 02	38 38	0059
029	2882188	Riachão	04 04	38 34	0060
030	2882626	Paturite	04 20	38 53	0123
031	2883256	Cascavel	04 08	38 14	0030
032	2891988	Cedro	04 58	39 04	0190
033	2893669	Sto. Ant. de Russas	04 50	38 10	0040
034	2894148	Acarati	04 34	37 46	0020
035	3800256	Boa Viagem	05 08	39 44	0235
036	3801367	Uruque	05 09	39 10	0214
037	3803549	S.J.do Jaguaribe	05 17	38 16	0060
038	3823107	Pereiro	06 03	38 28	0600
039	3830728	Assaré	06 52	39 52	0435
040	3830888	Farias Brito	06 55	39 34	0320
041	3832361	Umari	06 39	38 42	0350
042	3840356	Santana do Cariri	07 11	39 44	0480
043	3842612	Milagres	07 19	38 57	0371
044	3851146	Jardim	07 35	39 17	0630
045	2895974	Areia Branca	04 57	37 08	0005

REDE PLUVIOMETRICA DO NORDESTE DO BRASIL (continuação)

N	NÚMERO	NOME DO POSTO	LATITUDE (o ')S	LONGITUDE (o ')W	ALTITUDE (metros)
046	3814589	Carabás	05 47	37 34	0146
047	3815737	Augusto Severo	05 51	37 19	0065
048	3816382	Angicos	05 40	36 36	0109
049	3816972	Santana do Matos	05 58	36 39	0140
050	3818301	Jardim de Angicos	05 39	36 00	0150
051	3823898	Alexandria	06 25	38 01	0315
052	3824274	Patu	06 06	37 38	0305
053	3825981	Caicó	06 27	37 06	0143
054	3826598	Currais Novos	06 16	36 31	0350
055	3836146	Jardim do Seridó	06 35	36 47	0220
056	3832789	Cajazeiras	06 53	38 34	0291
057	3836715	Santa Luzia	06 52	36 56	0290
058	3852197	Conceição	07 33	38 31	0370
059	3853499	Princesa Isabel	07 44	38 01	0660
060	3854571	Afogados da Ingazeiras	07 45	37 39	0525
061	3861178	Salgueiro	08 04	39 07	0415
062	3872508	Belém de S. Francisco	08 46	38 58	0305
063	3881805	Patamute	09 25	39 29	0400
064	3883441	Glória	09 12	38 18	0247
065	3891606	Uauá	09 50	39 29	0439
066	4709964	Senhor do Bonfim	10 27	40 11	0544
067	4716884	Jaguaraci	10 54	41 35	0450
068	3809407	Touros	05 12	35 28	0004
069	3829155	S.J. do Mipibu	06 04	35 14	0050
070	3829607	Sto. Antônio	06 18	35 28	0095
071	3829779	Canguaretana	06 23	35 07	0049
072	3838055	Araruna	06 31	35 44	0580
073	3838575	Bananeiras	06 46	35 38	0552
074	3848145	Alagoa Nova	07 04	35 47	0500
075	3848579	Ingá	07 17	35 37	0144
076	3858467	Umbuzeiro	07 42	35 40	0553
077	3849878	També	07 25	35 07	0190
078	3858684	Bom Jardim	07 48	35 35	0325
079	3869242	Vitória de Sto. Antão	08 07	35 18	0137
080	3884256	Mata Grande	09 08	37 44	0633
081	3885644	Poço das Trincheiras	09 18	37 17	0255
082	3887392	União dos Palmares	09 10	36 03	0155
083	3887753	Viçosa	09 23	36 15	0300
084	3896006	Major Isidoro	09 32	36 59	0217
085	3896905	Traipu	09 58	36 59	0040
086	3897098	Atalaia	09 31	36 01	0054
087	3897339	Anadia	09 41	36 19	0105
088	3897501	Limoeiro de Anadia	09 45	36 30	0150
089	3897806	Junqueiro	09 56	36 29	0120
090	3894341	Canidê do S. Francisco	09 39	37 48	0130
091	3895848	Porto da Folha	09 55	37 16	0045

REDE PLUVIOMETRICA DO NORDESTE DO BRASIL (CONTINUAÇÃO)

N	NÚMERO	NOME DO POSTO	LATITUDE (° ')S	LONGITUDE (° ')W	ALTITUDE (metros)
092	4805418	N. S. da Glória	10 13	37 25	0290
093	4814194	Frei Paulo	10 33	37 32	0272
094	4814443	Simão Dias	10 44	37 48	0283
095	4814868	Largato	10 55	37 40	0183
096	4815057	N.S. das Dores	10 30	37 13	0200
097	4815319	Itabaiana	10 41	37 25	0186
098	4815319	Laranjeiras	10 48	37 10	0009
099	4816211	Japaratuba	10 36	36 57	0079
100	4824131	Bonfim	11 03	37 51	0230
101	4825512	Estância	11 16	37 27	0053
102	4814333	Paripiranga	10 41	37 51	0430
103	4824915	Rio Real	11 28	37 56	0220
104	4834513	Esplanada	11 47	37 57	0181
105	4842053	Irará	12 02	38 45	0283
106	4739707	Mundo Novo	11 51	40 28	0480
107	4758909	Itaeté	12 59	40 58	0334
108	4765954	Paramirim	13 27	42 14	0593
109	4776138	Rio de Contas	13 34	41 49	1002
110	4782647	Carinhanha	14 18	43 46	0452
111	4811097	Euclides da Cunha	10 30	39 01	0523

APENDICE - B

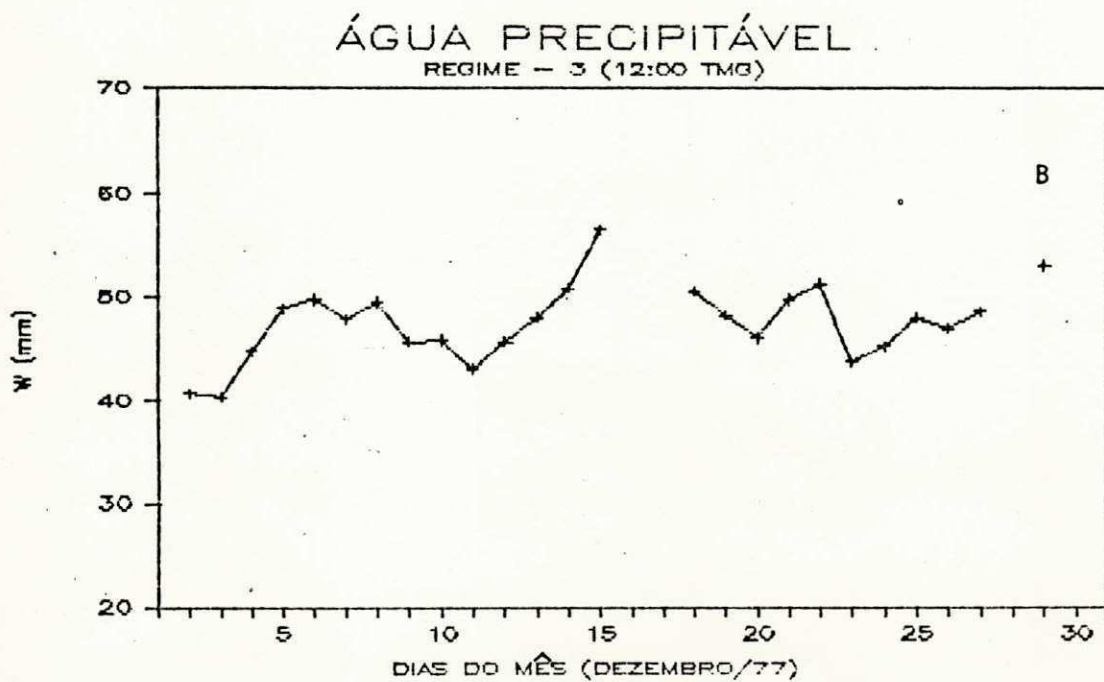
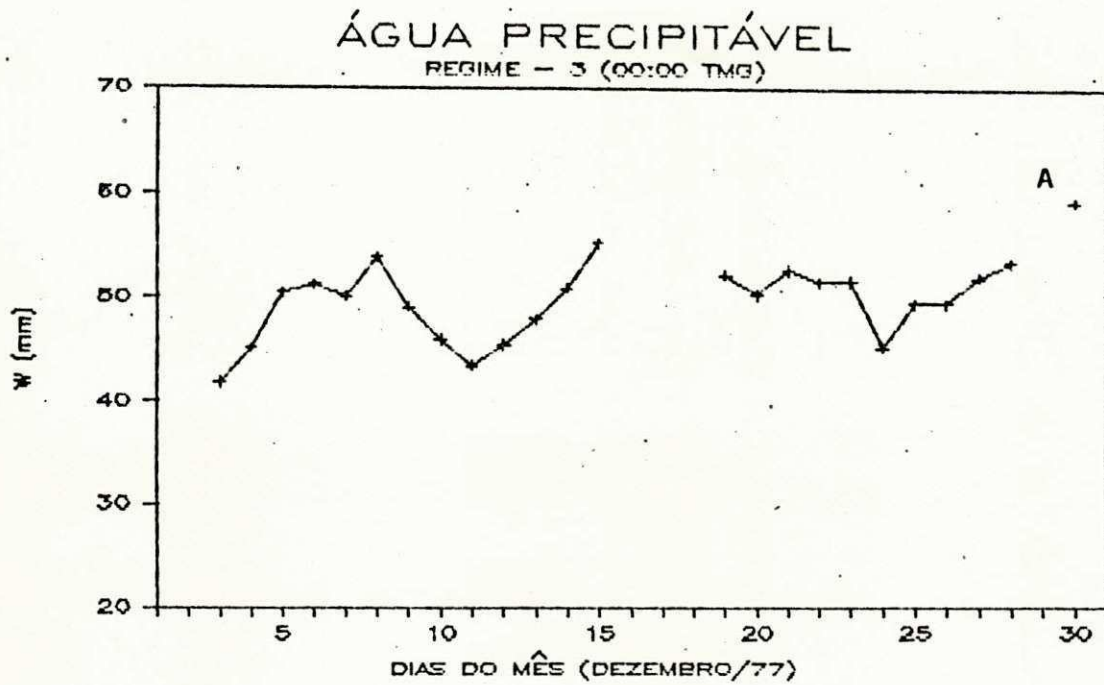


Figura B.01 - Comportamento diário d'água precipitável para a área Norte (regime - 3) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

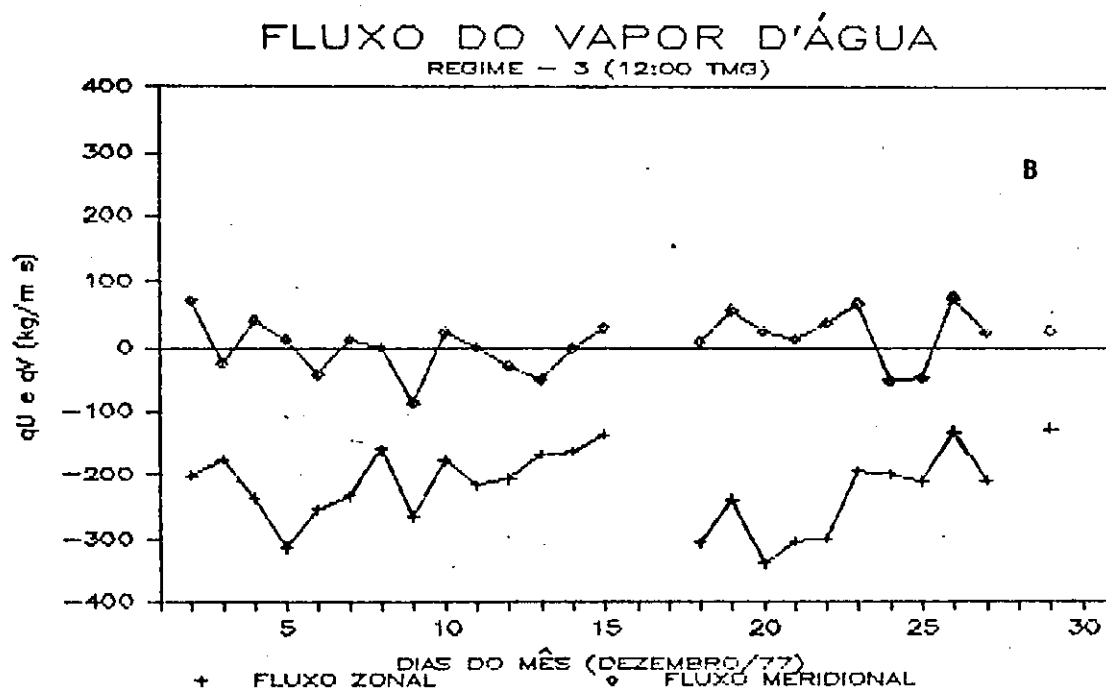
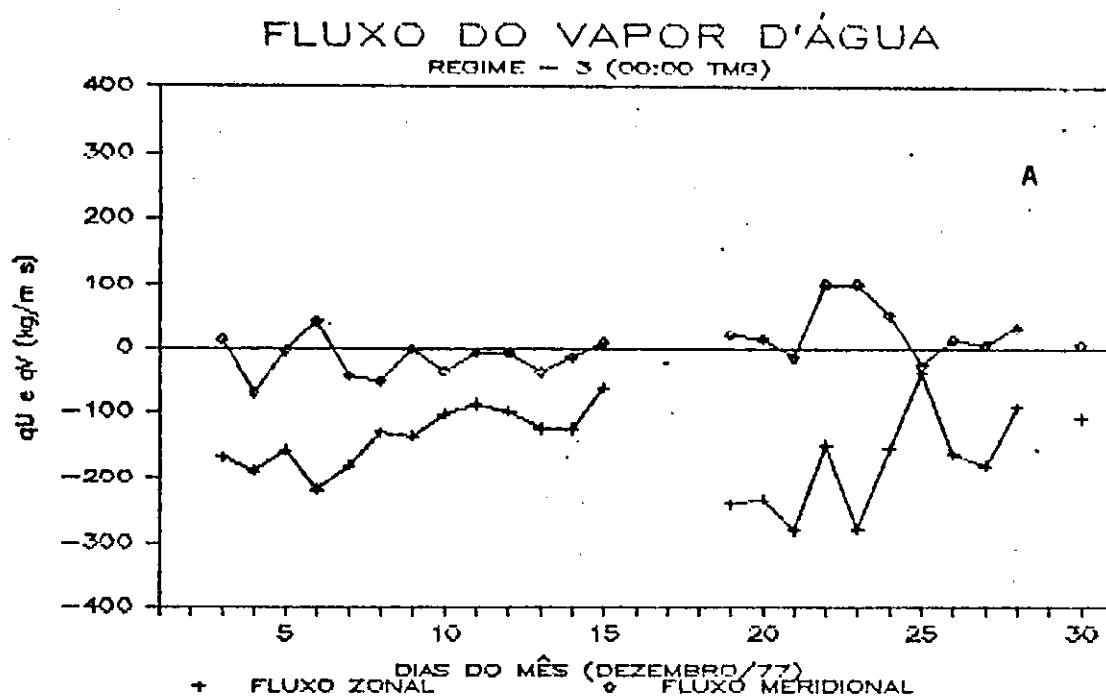
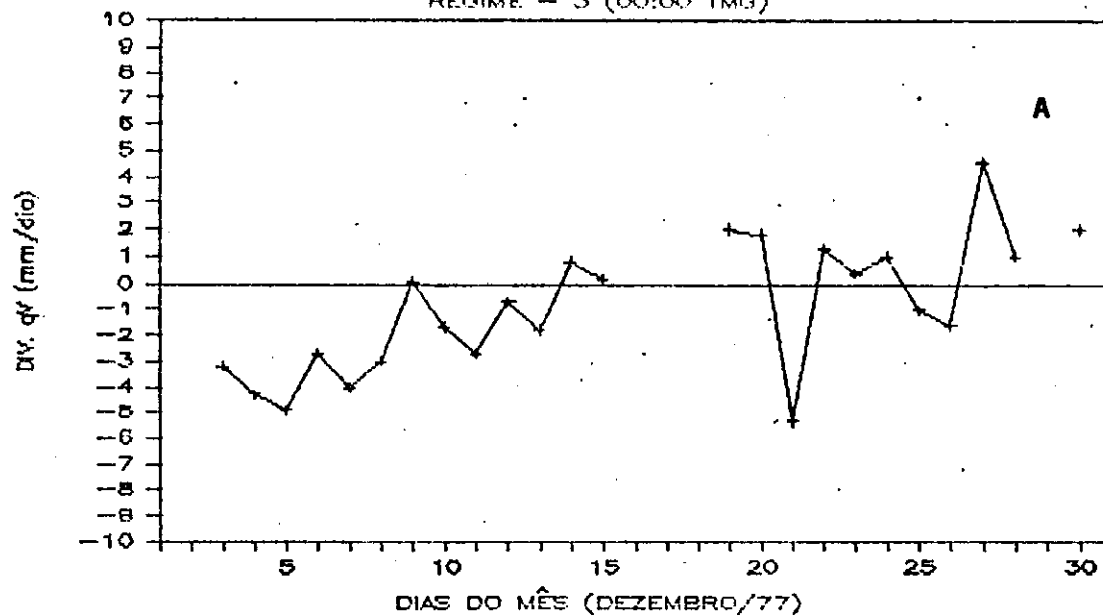


Figura B.02 - Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Norte (regime - 3) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

DIV. DO FLUXO DE VAPOR D'ÁGUA REGIME - 3 (00:00 TMG)



DIV. DO FLUXO DE VAPOR D'ÁGUA REGIME - 3 (12:00 TMG)

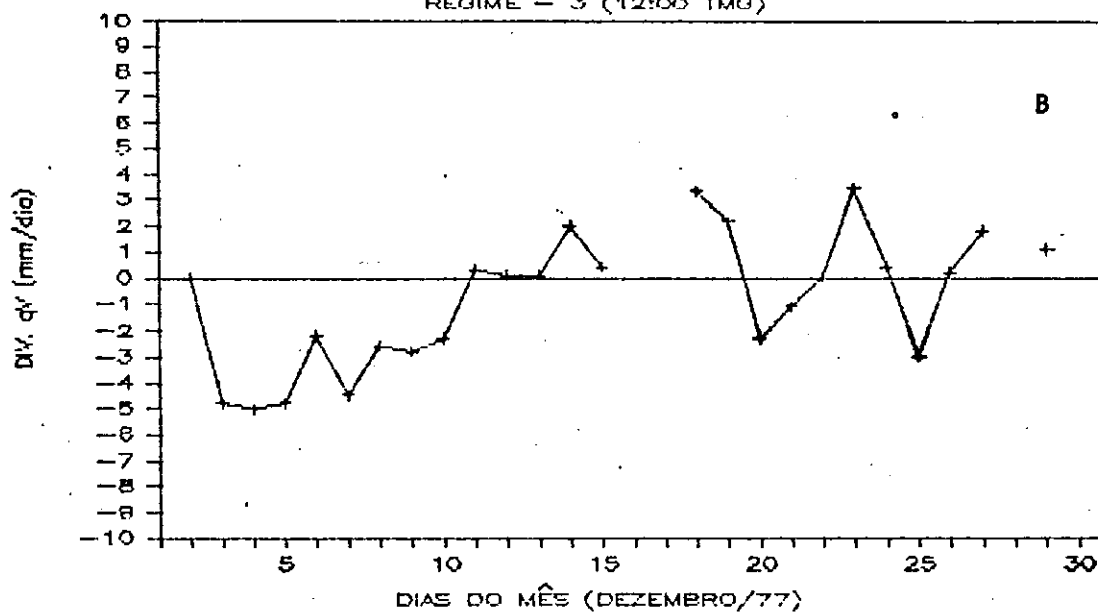


Figura B.03 - Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Norte (regime - 3) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

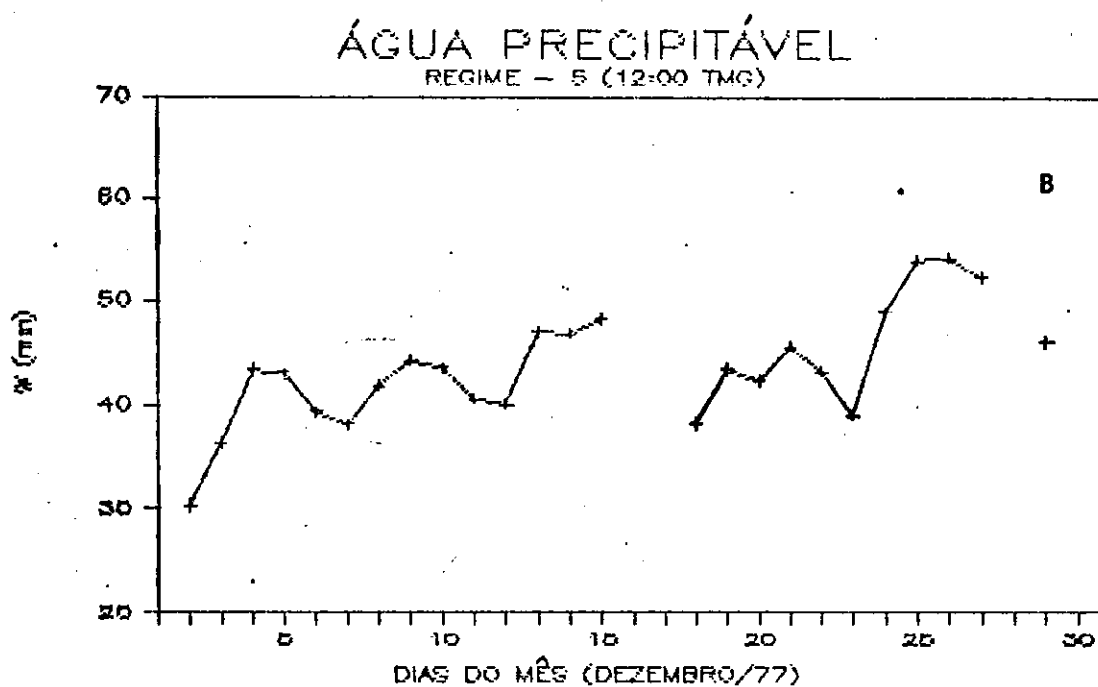
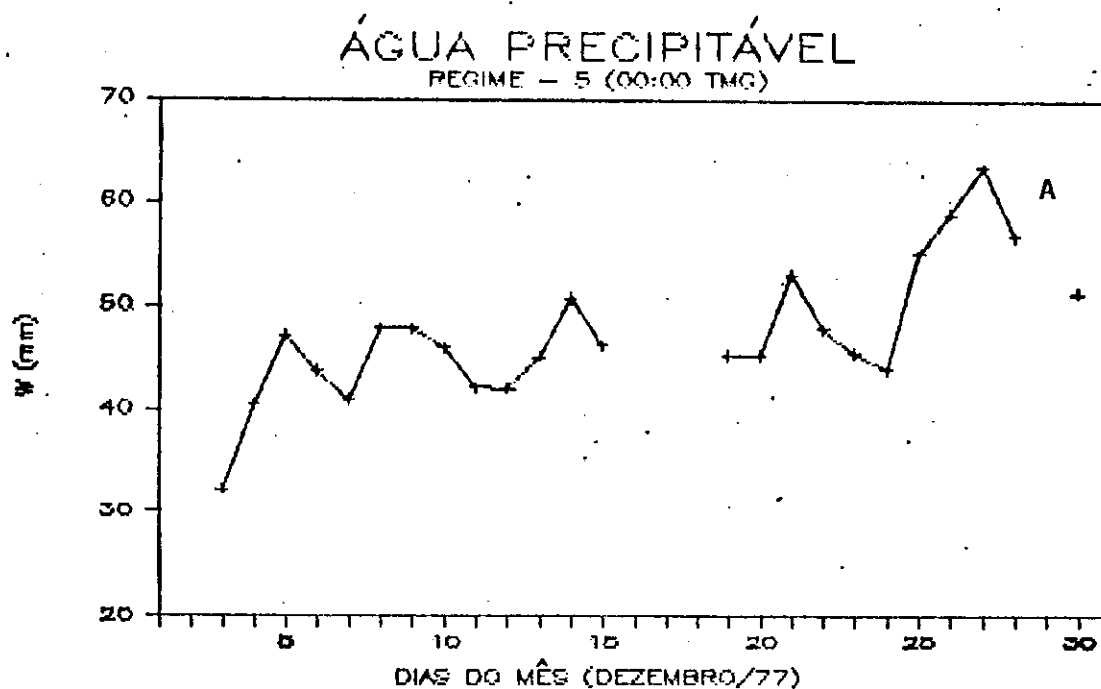


Figura B.04 -- Comportamento diário d'água precipitável para a área Leste (regime - 5) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

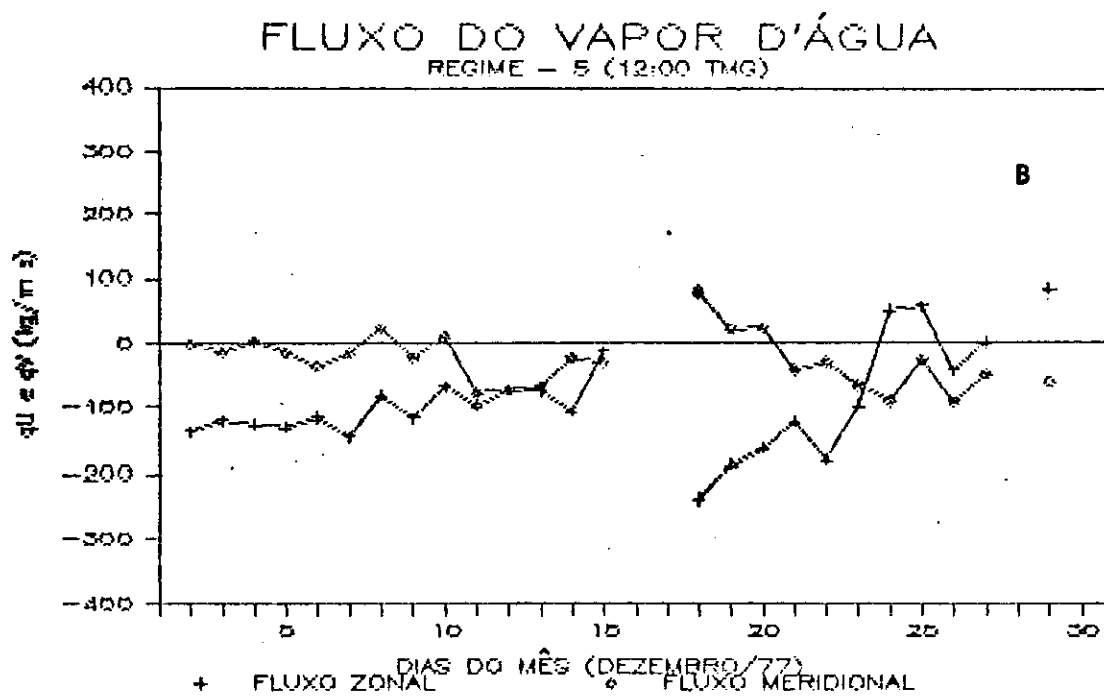
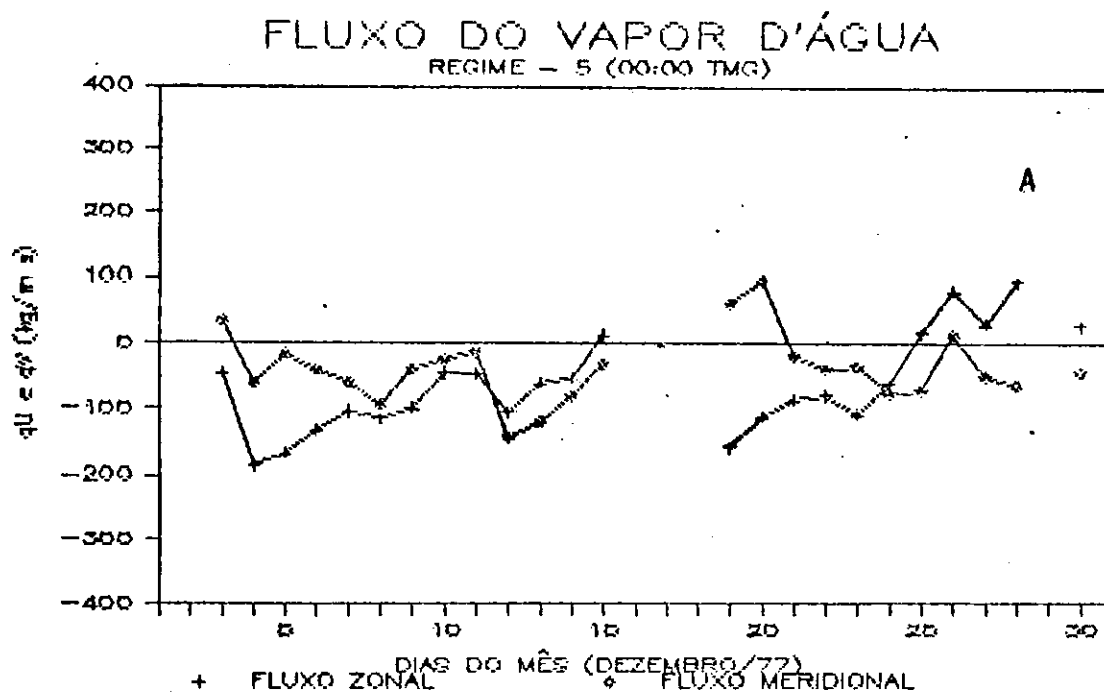
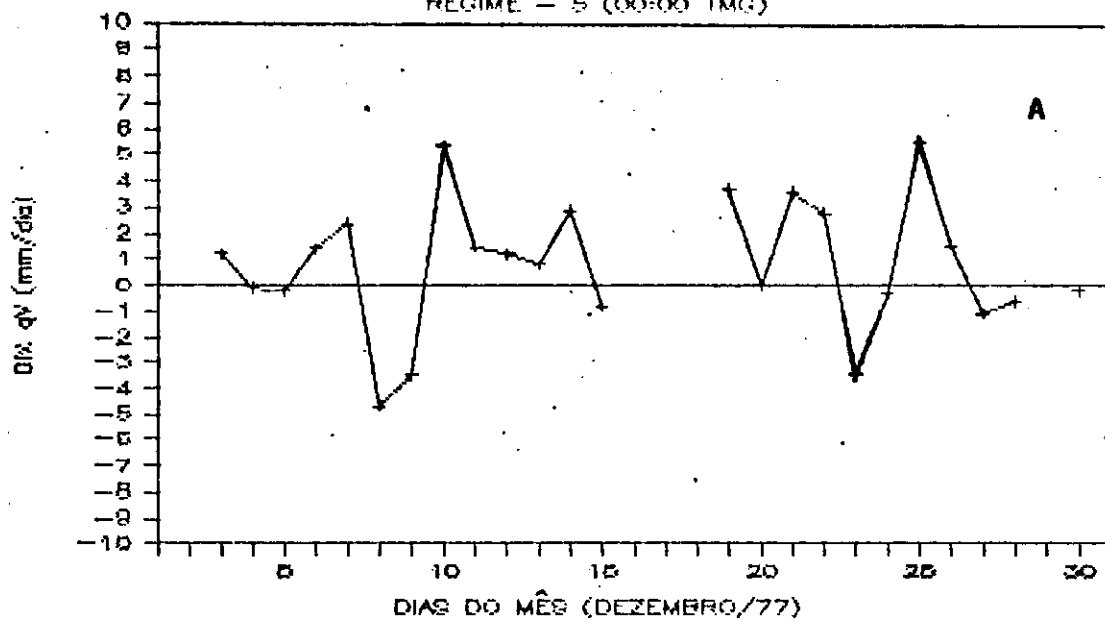


Figura B.05 - Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Leste (regime - 5) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

DIV. DO FLUXO DE VAPOR D'ÁGUA

REGIME - 5 (00:00 TMG)



DIV. DO FLUXO DE VAPOR D'ÁGUA

REGIME - 5 (12:00 TMG)

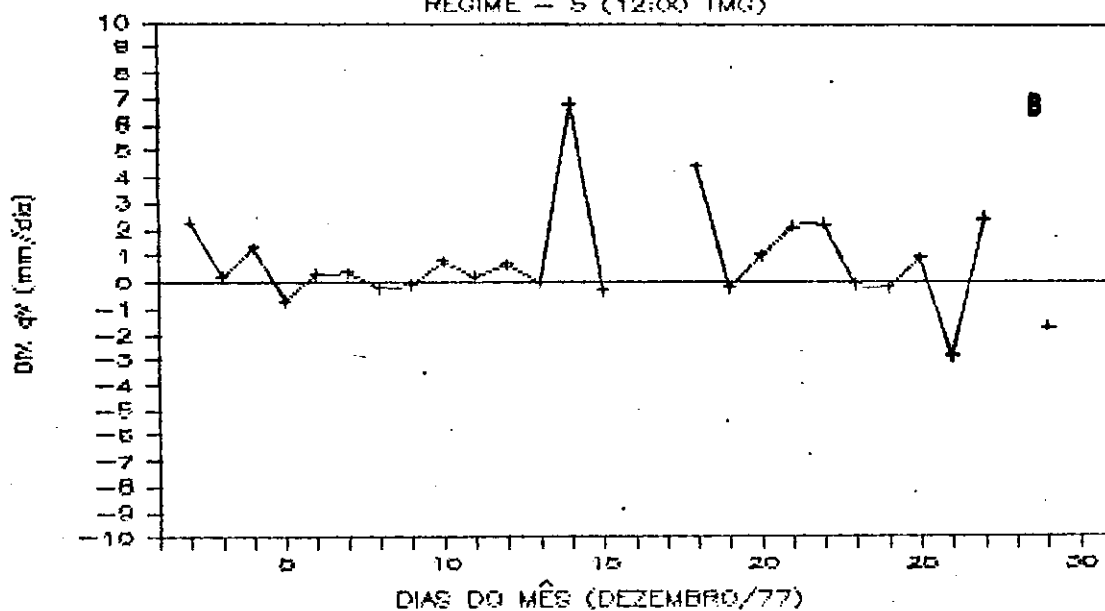


Figura B.06 - Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Leste (regime - 5) no mês de dezembro de 1977, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

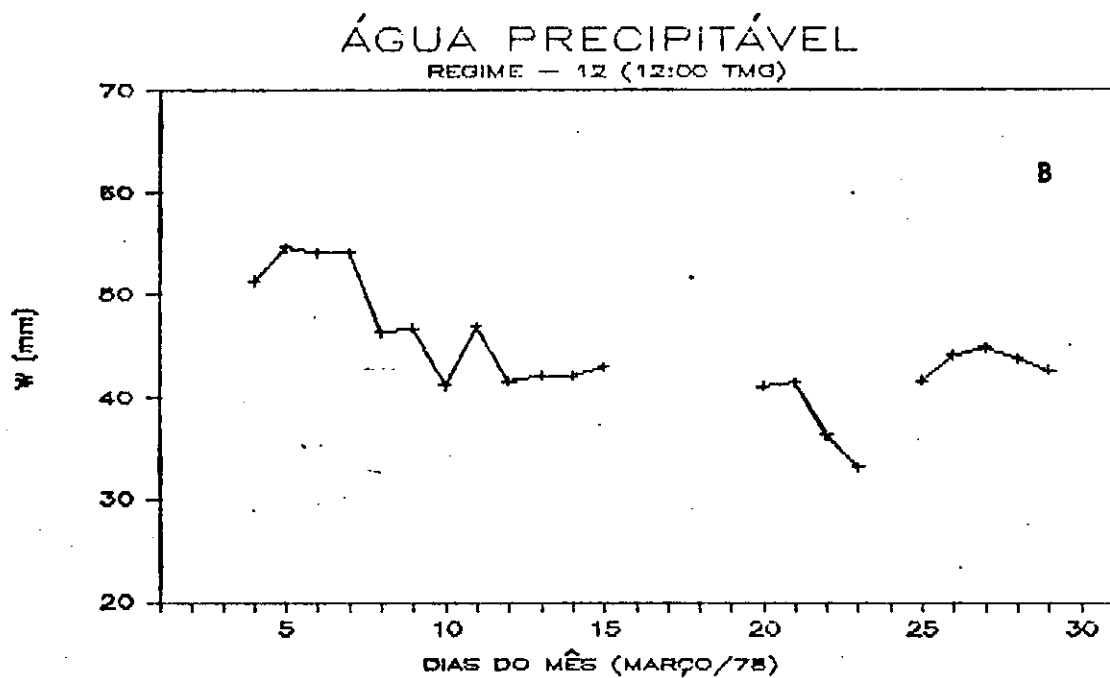
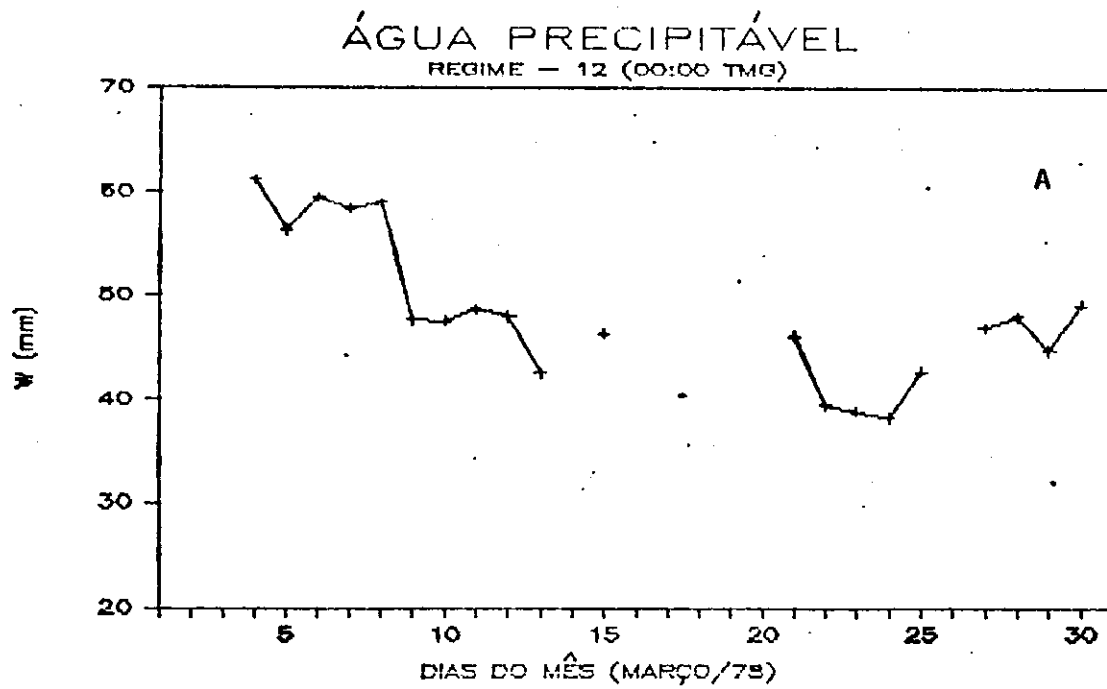


Figura B.07 - Comportamento diário d'água precipitável para a área Sul (regime - 12) no mês de março de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

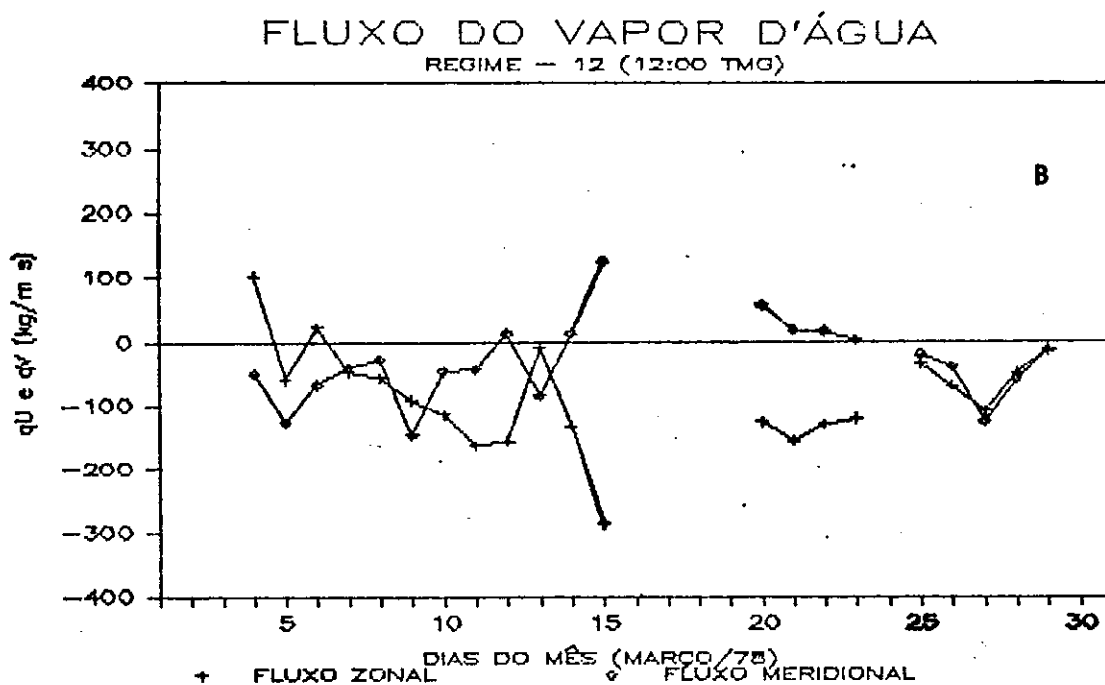
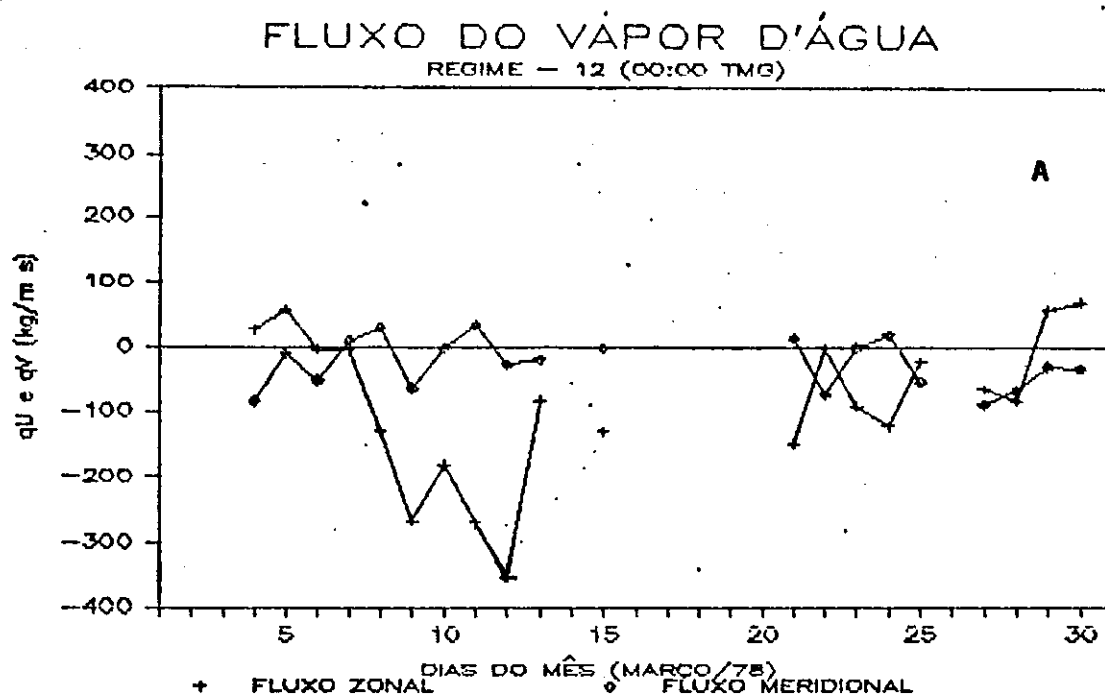


Figura B.08 - Comportamento diário do fluxo de vapor d'água para a área Sul (regime - 12) no mês de março de 1978, no horário das (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

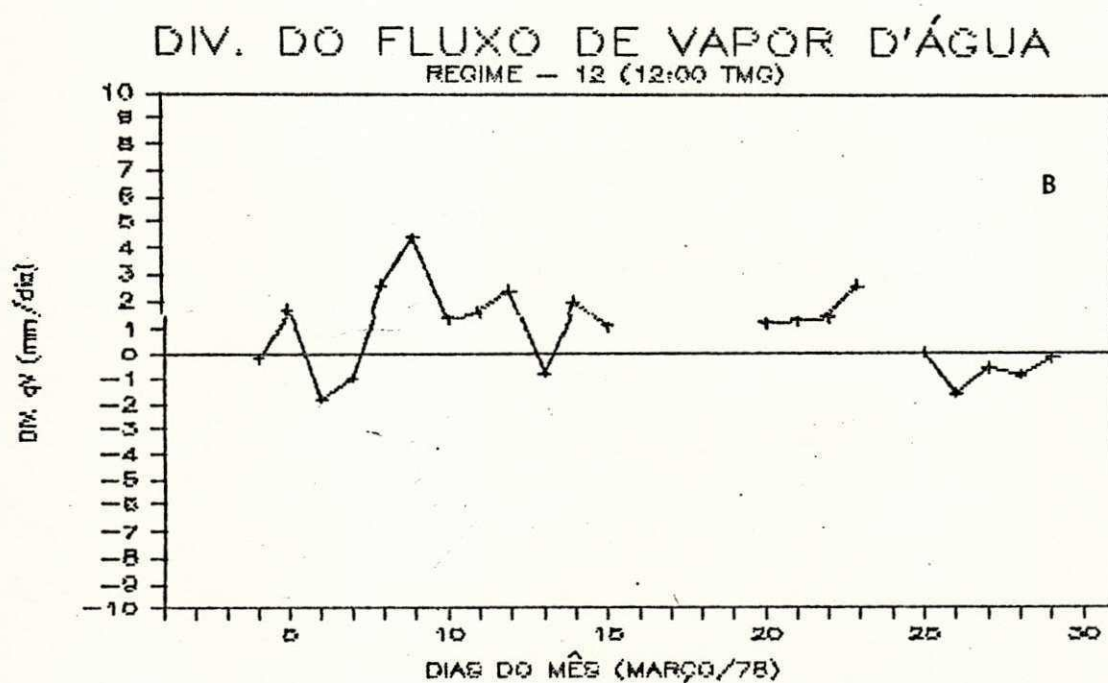
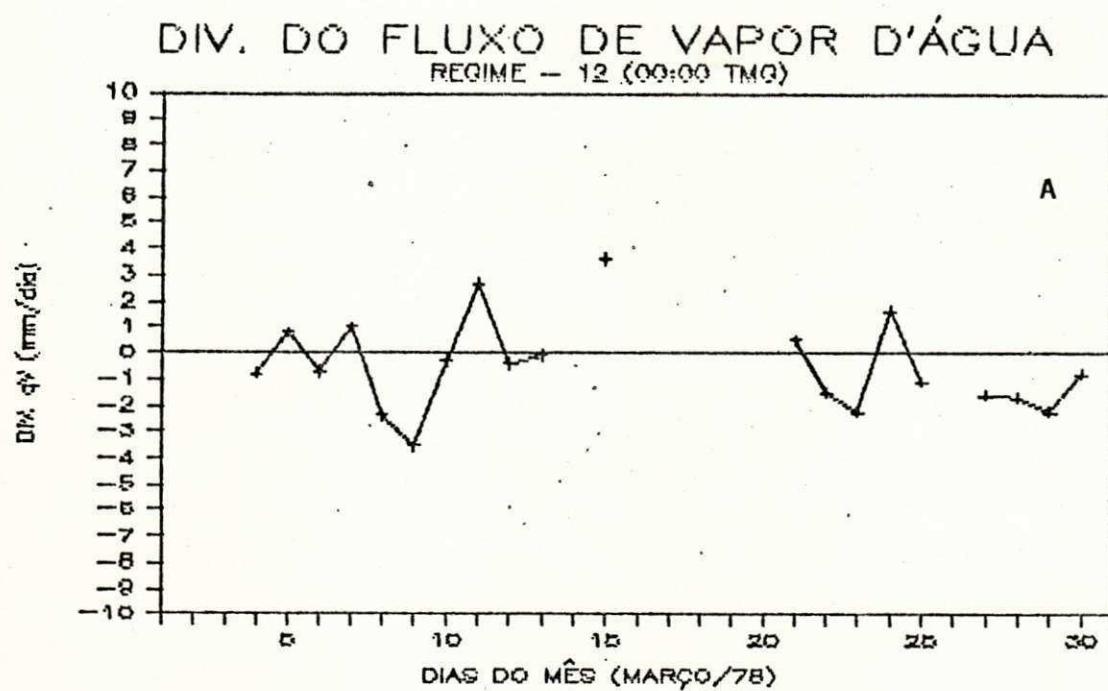


Figura B.09 - Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Sul (regime - 12) no mês de março de 1978, no horário das: - (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

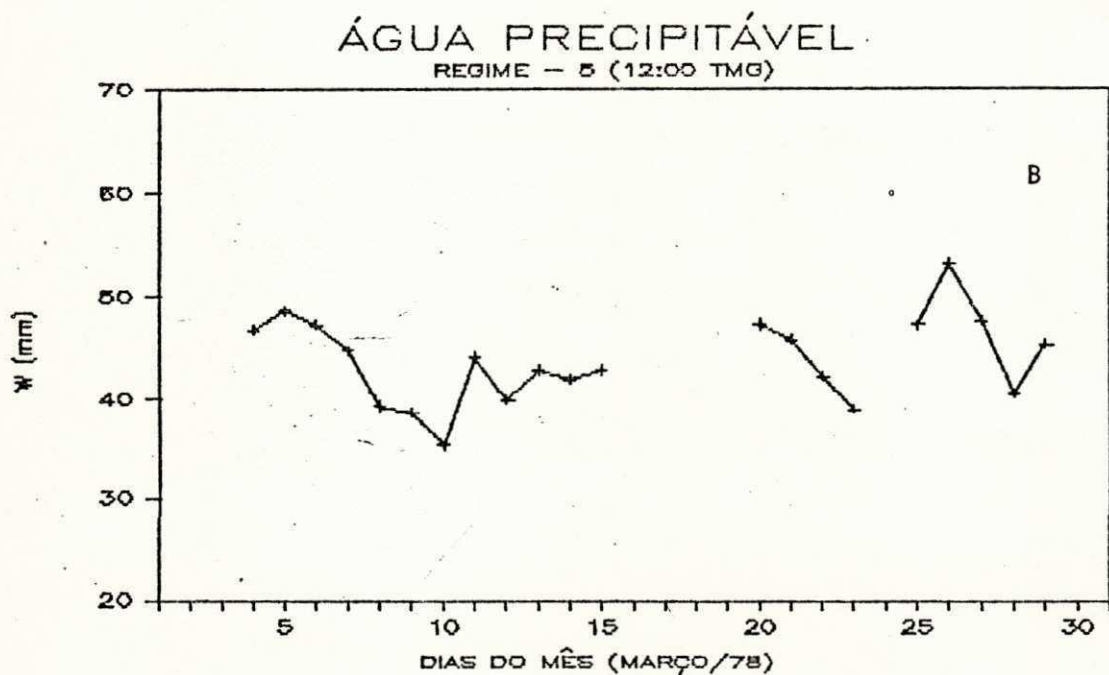
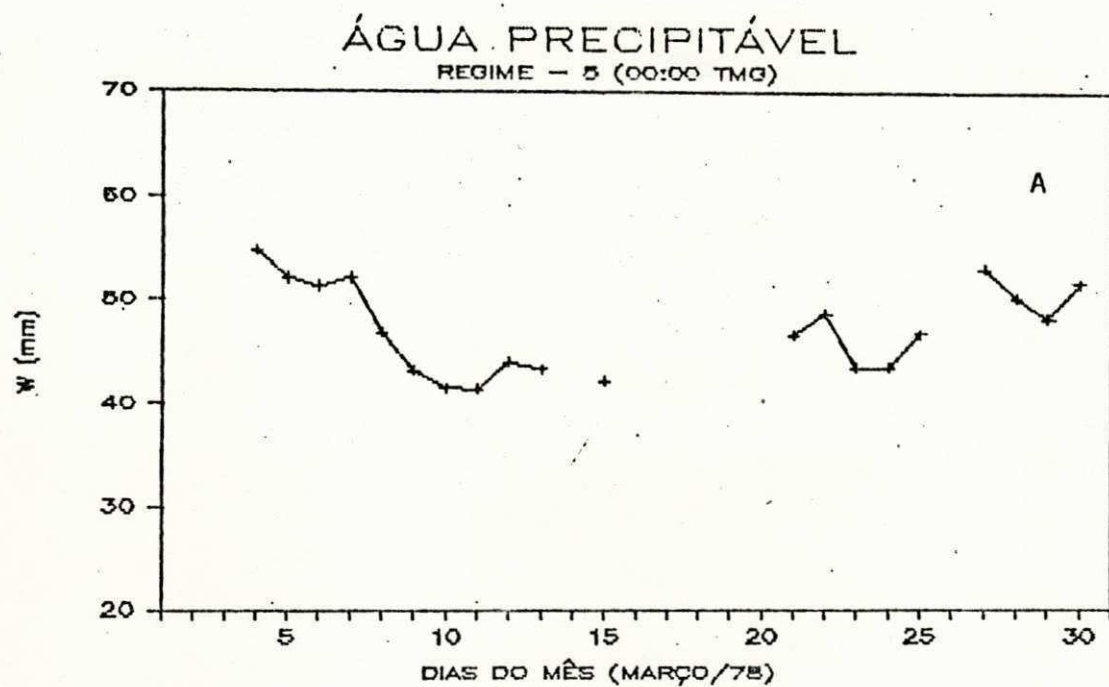


Figura B.10 - Comportamento diário d'água precipitável pa
ra a área Leste (regime - 5) no mês de mar
ço de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG
e (b) 12:00 TMG.

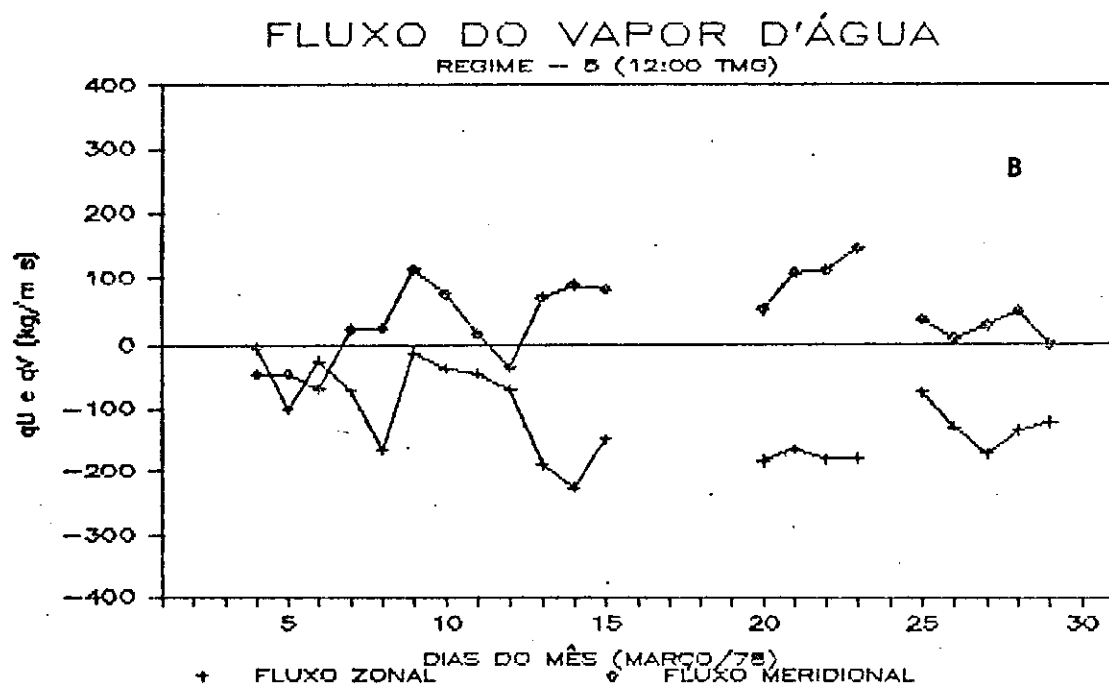
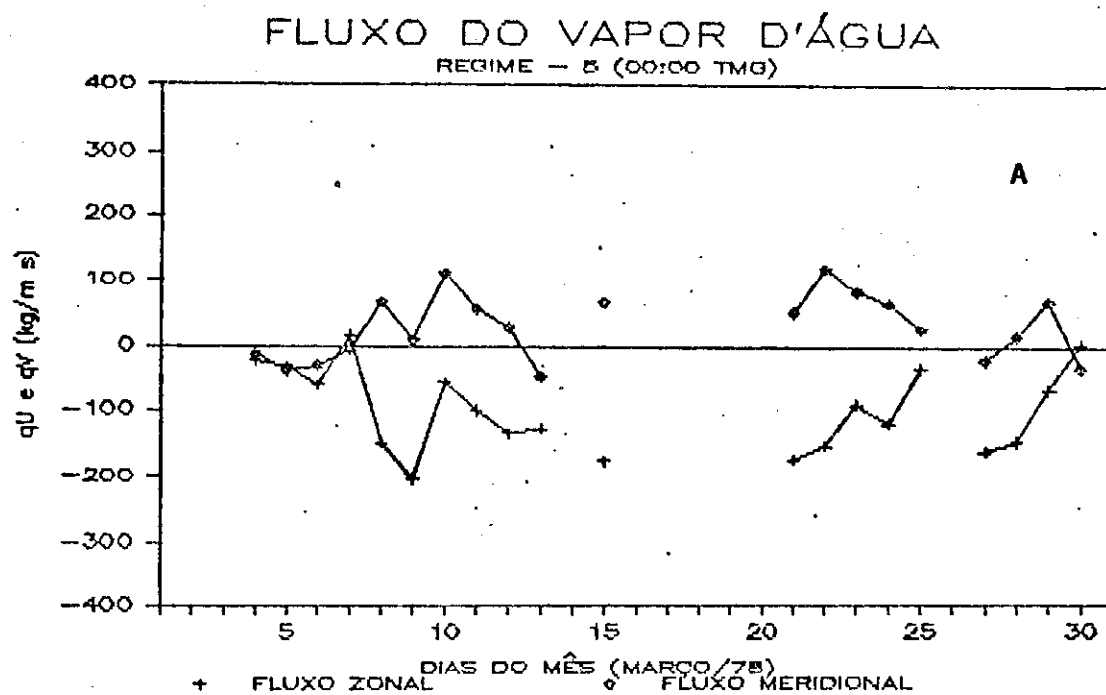


Figura B.11 - Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Leste (regime - 5) no mês de março de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

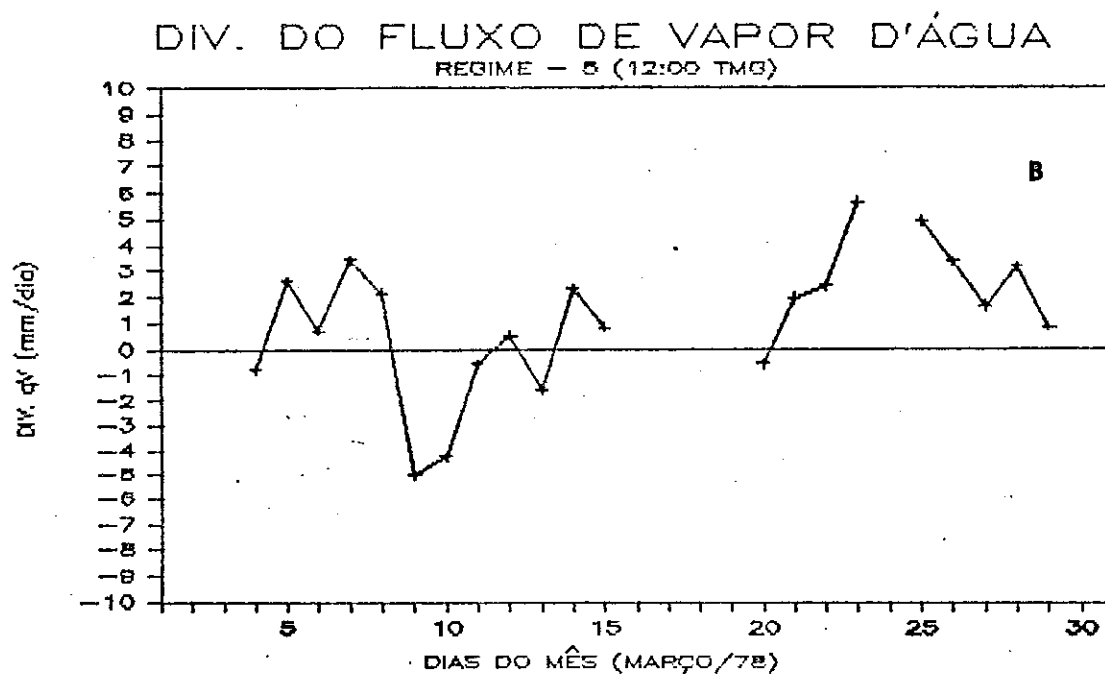
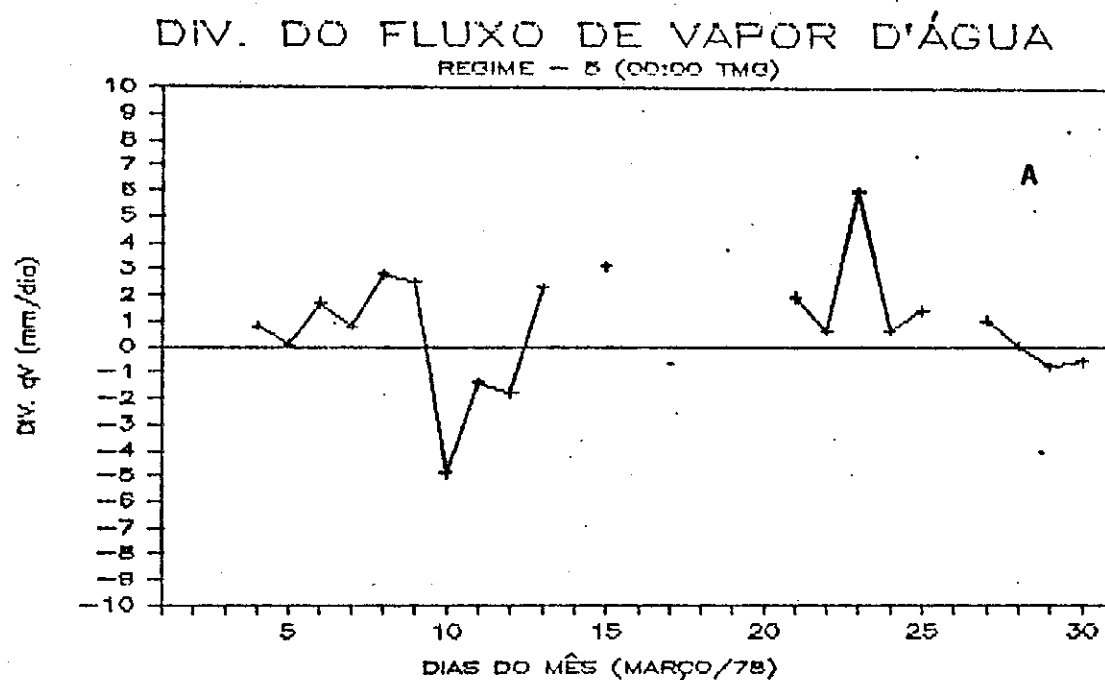


Figura B.12 - Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Leste (regime - 5) no mês de março de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

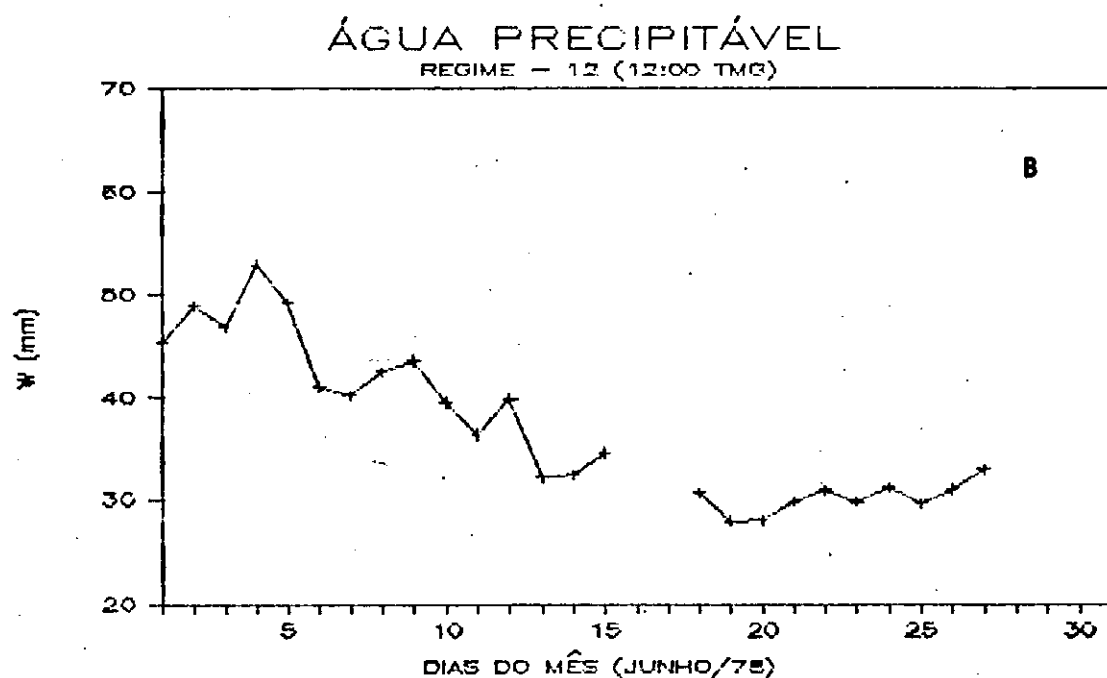
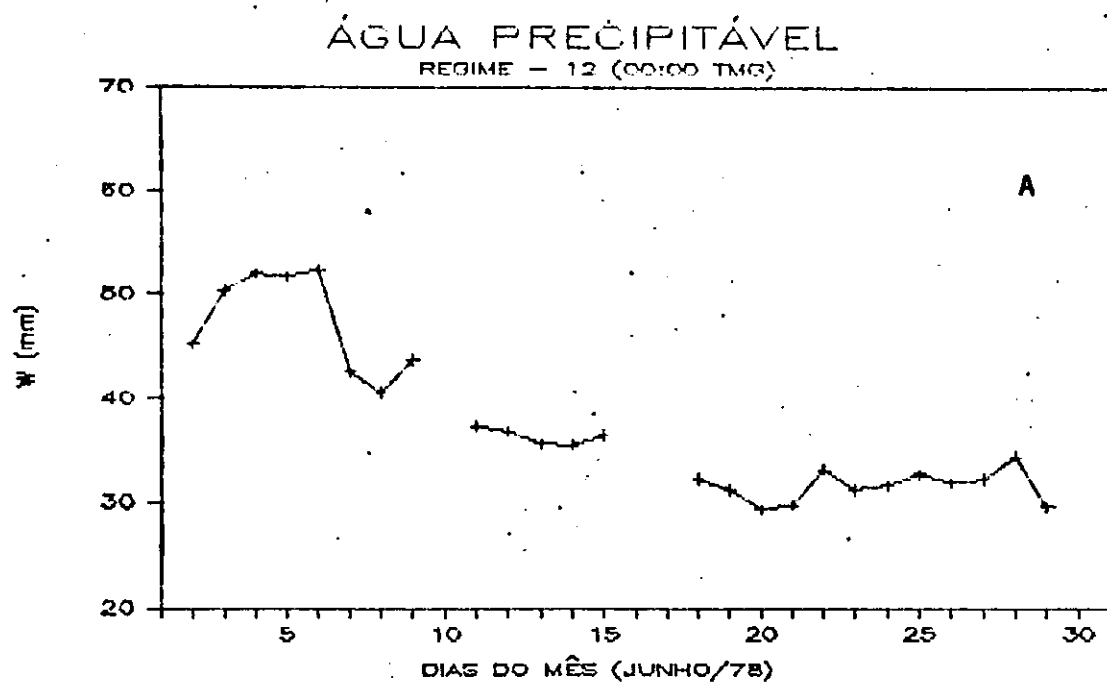


Figura B.13 - Comportamento diário d'água precipitável para a área Súl (regime - 12) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

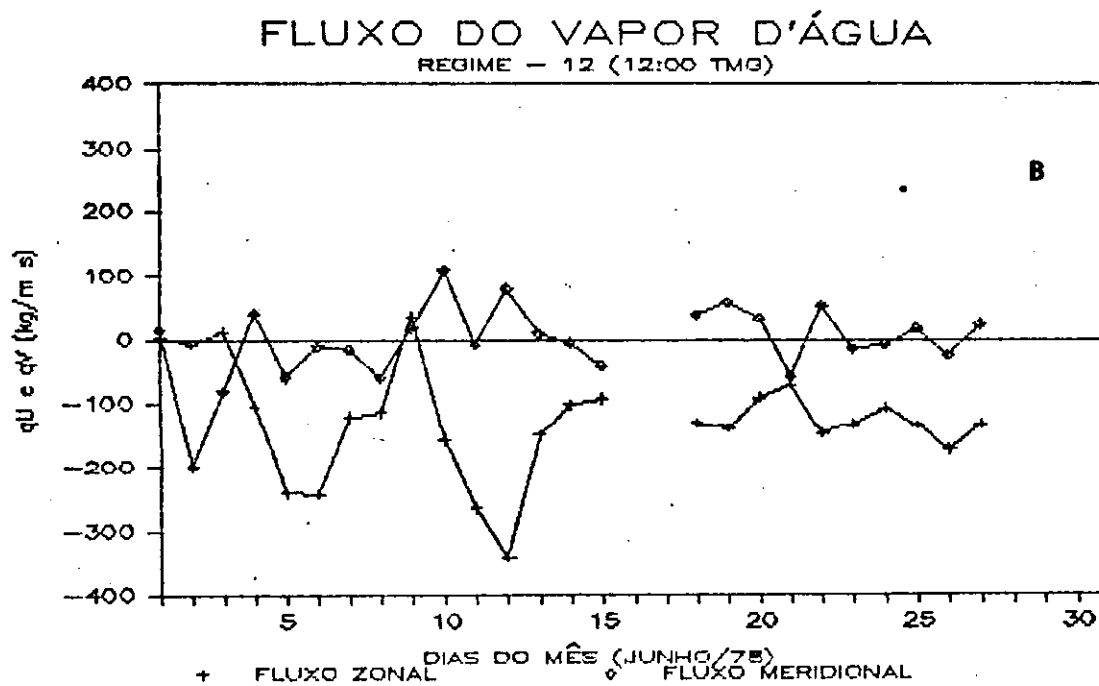
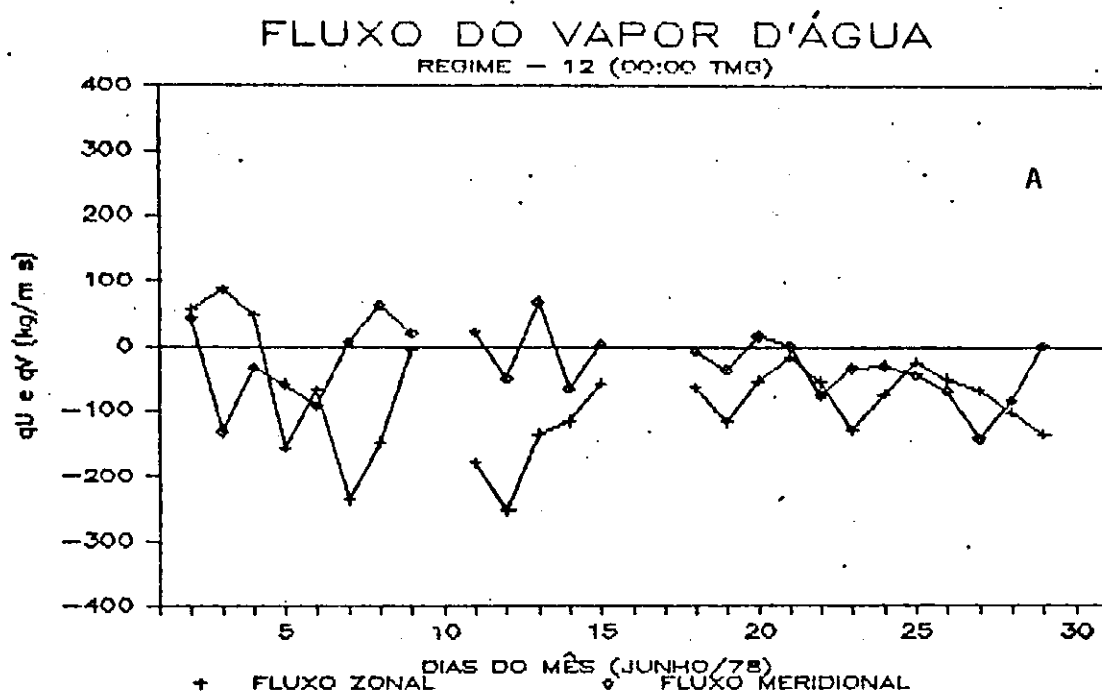


Figura B.14 - Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Sul (regime - 12) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG..

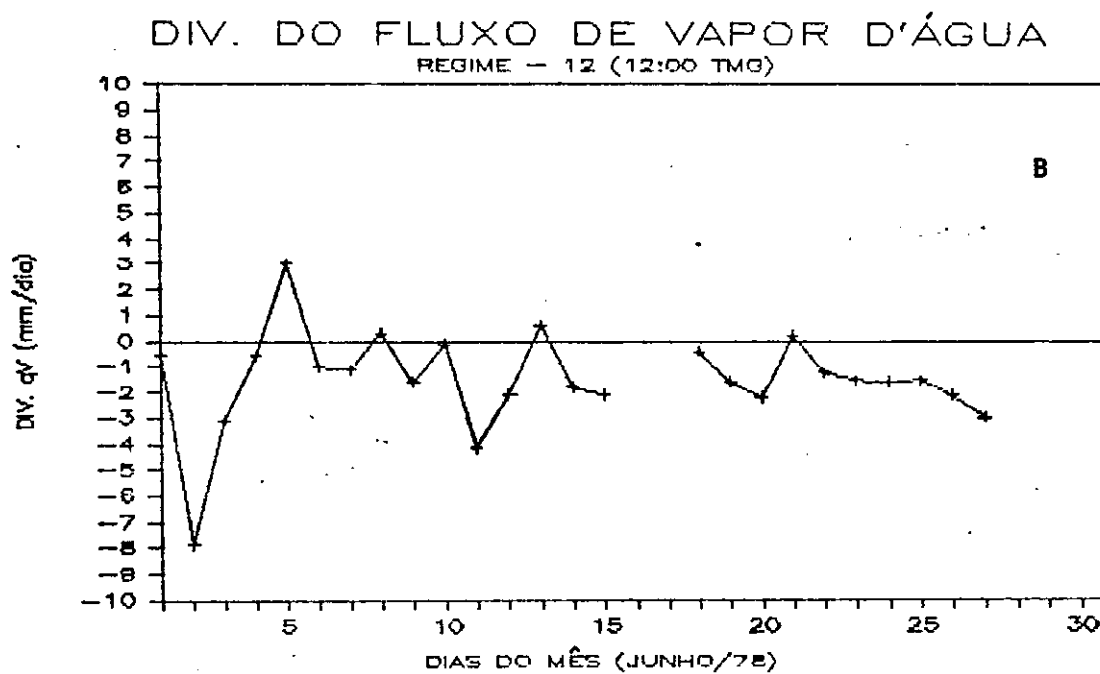
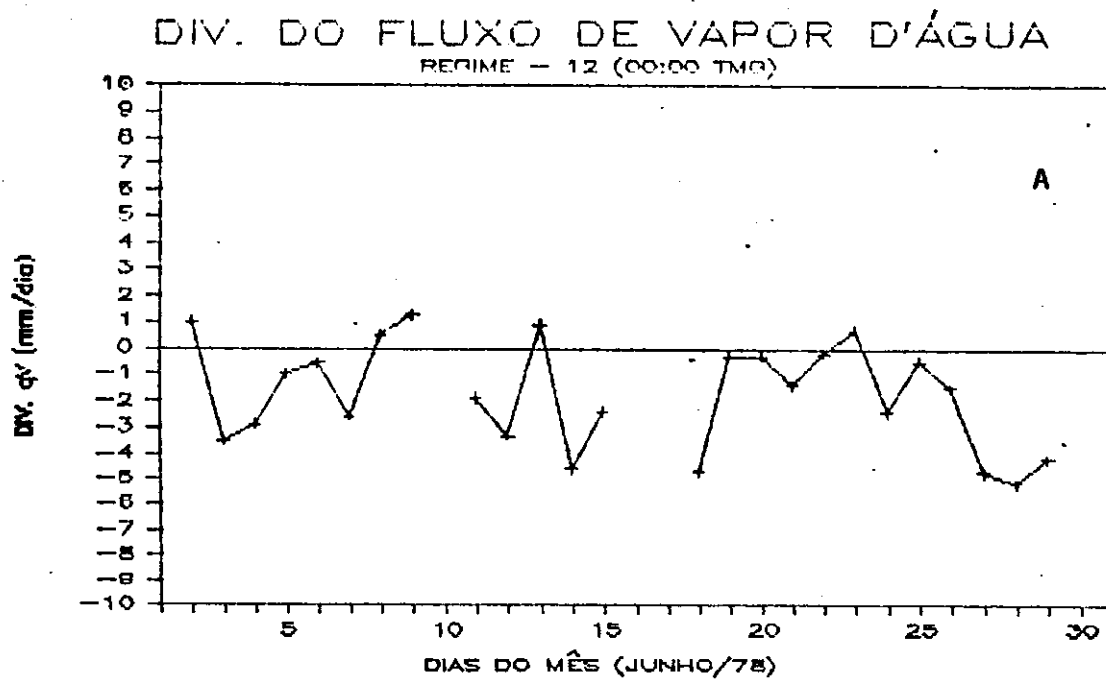


Figura B.15 - Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Sul (regime - 12) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

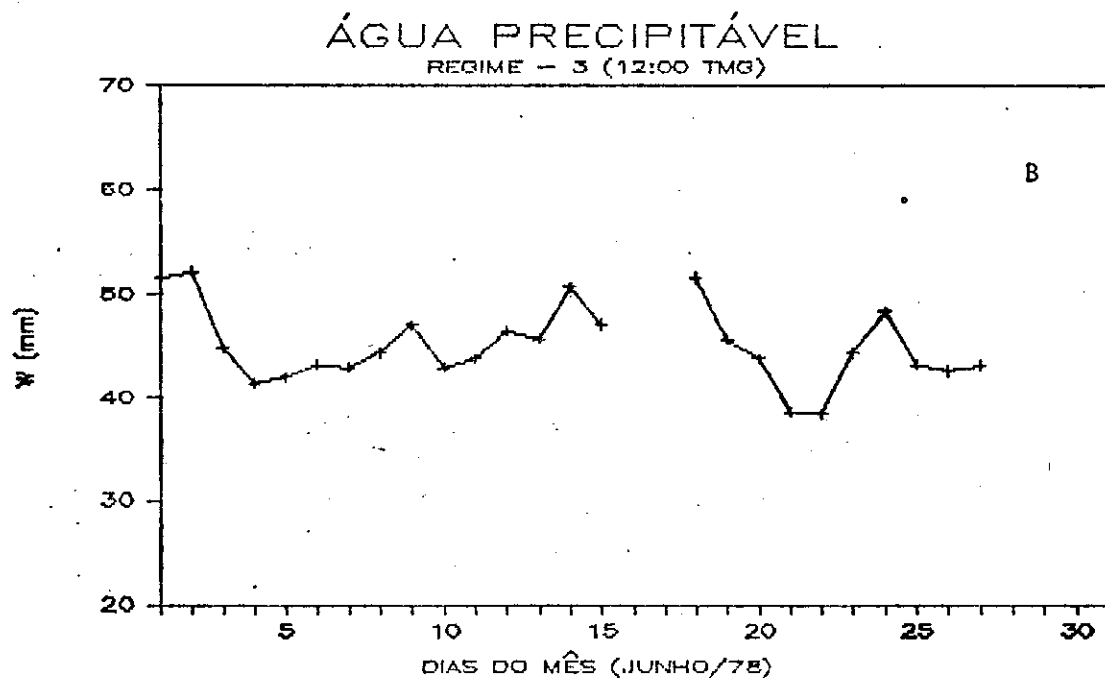
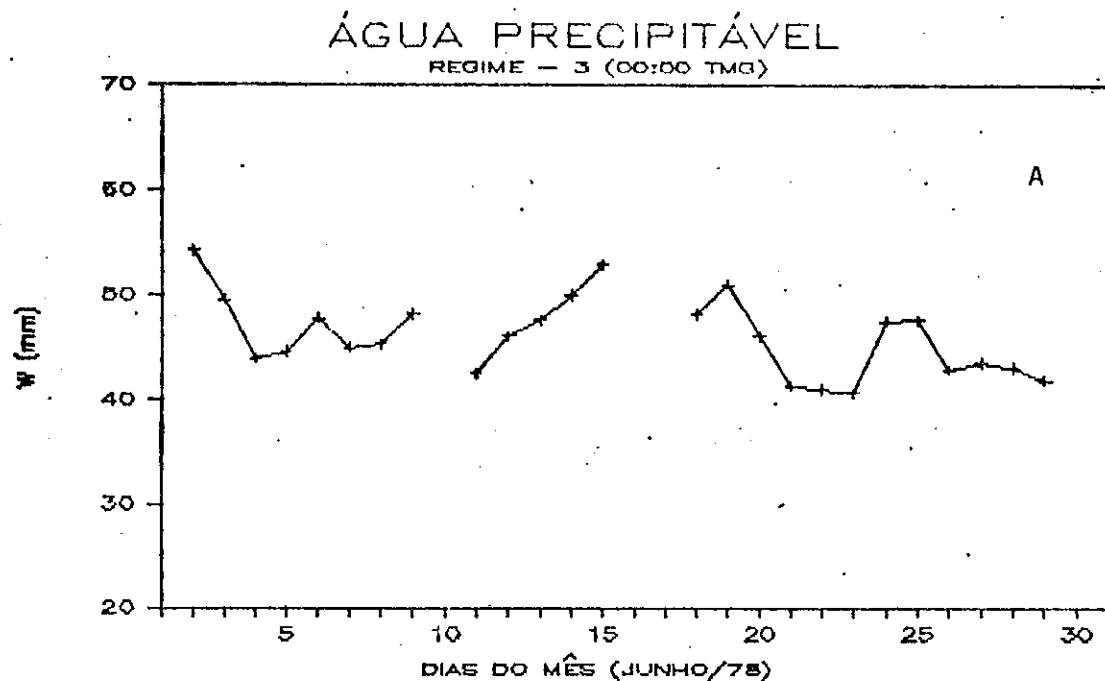


Figura B.16 - Comportamento diário d'água precipitável para a área Norte (regime - 3) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

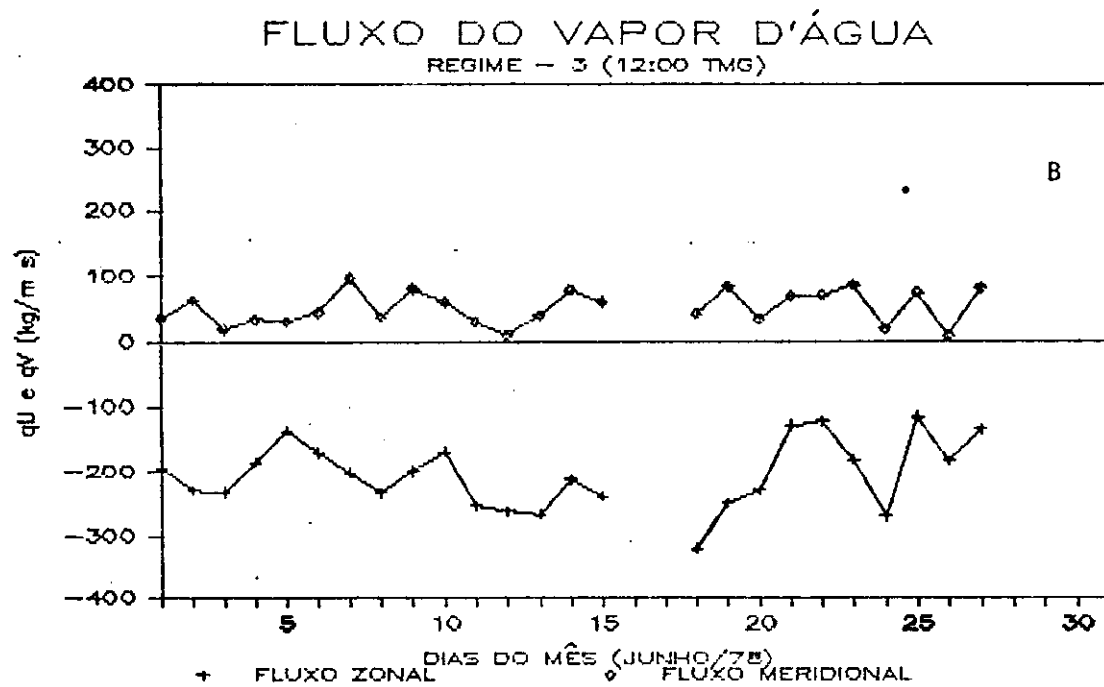
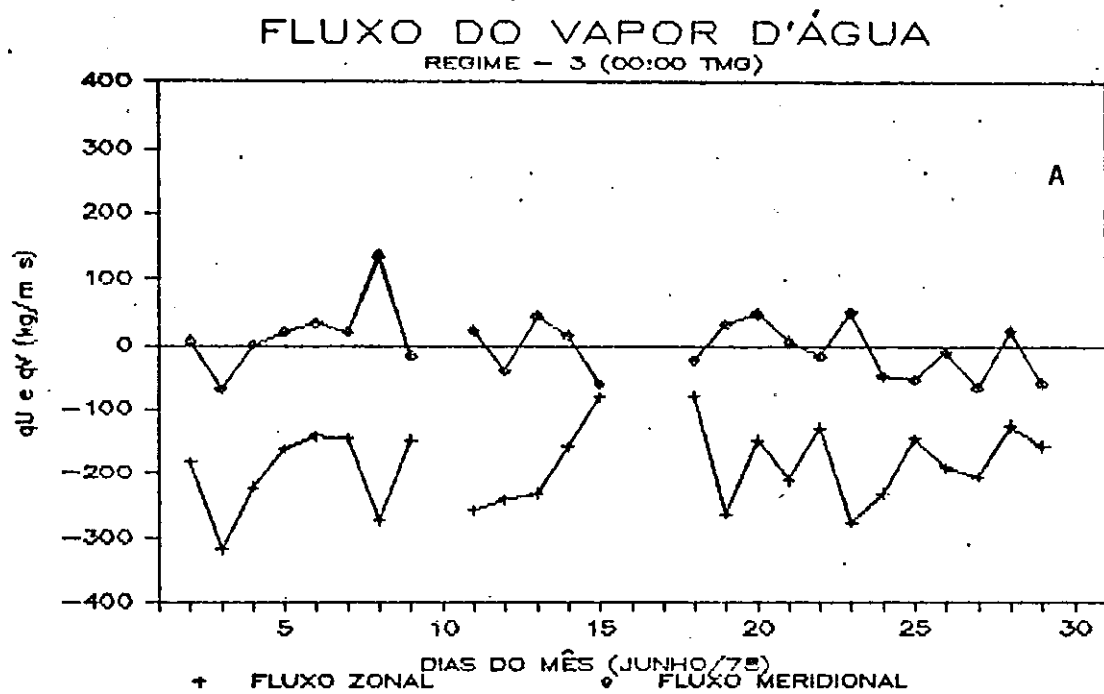
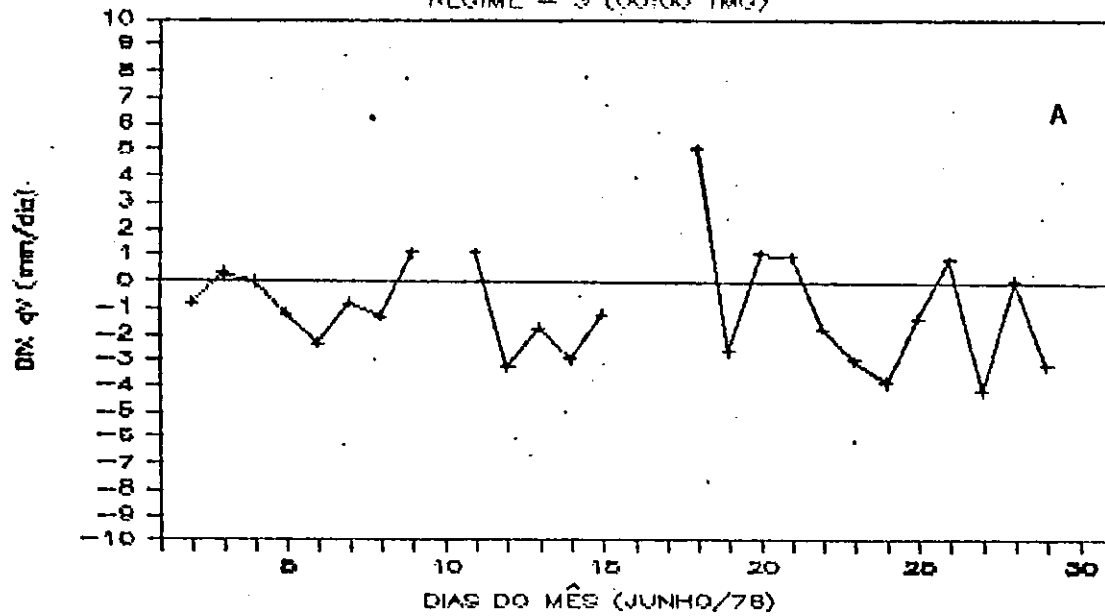


Figura B.17 - Comportamento diário do fluxo do vapor d'água para a área Norte (regime - 3) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

DIV. DO FLUXO DE VAPOR D'ÁGUA

REGIME - 3 (00:00 TMG)



DIV. DO FLUXO DE VAPOR D'ÁGUA

REGIME - 3 (12:00 TMG)

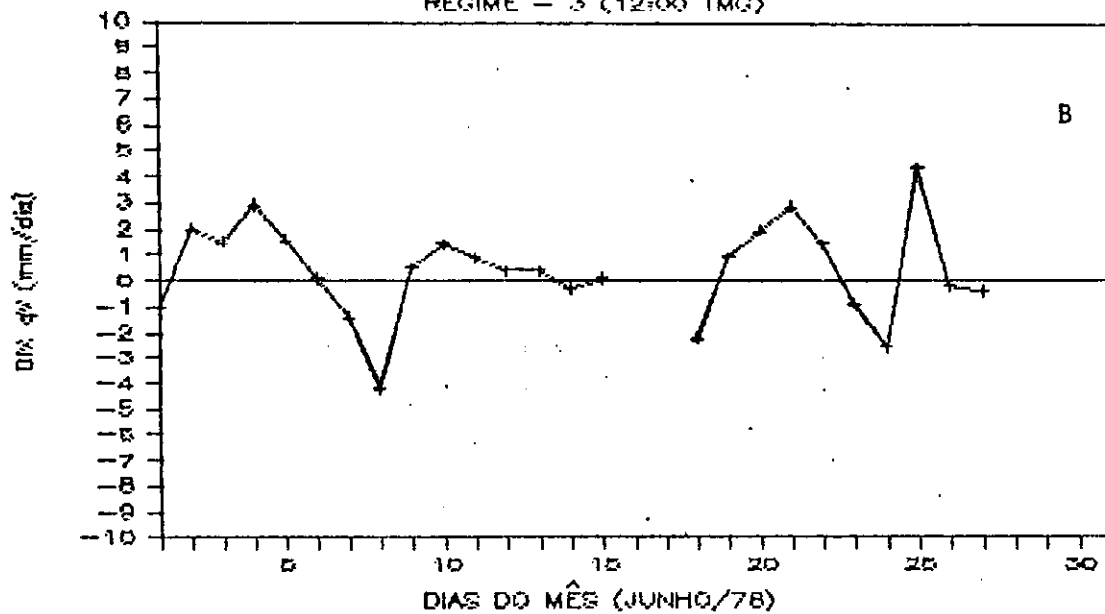


Figura B.18 - Comportamento diário da divergência do fluxo de vapor d'água para a área Norte (regime - 3) no mês de junho de 1978, no horário das: (a) 00:00 TMG e (b) 12:00 TMG.

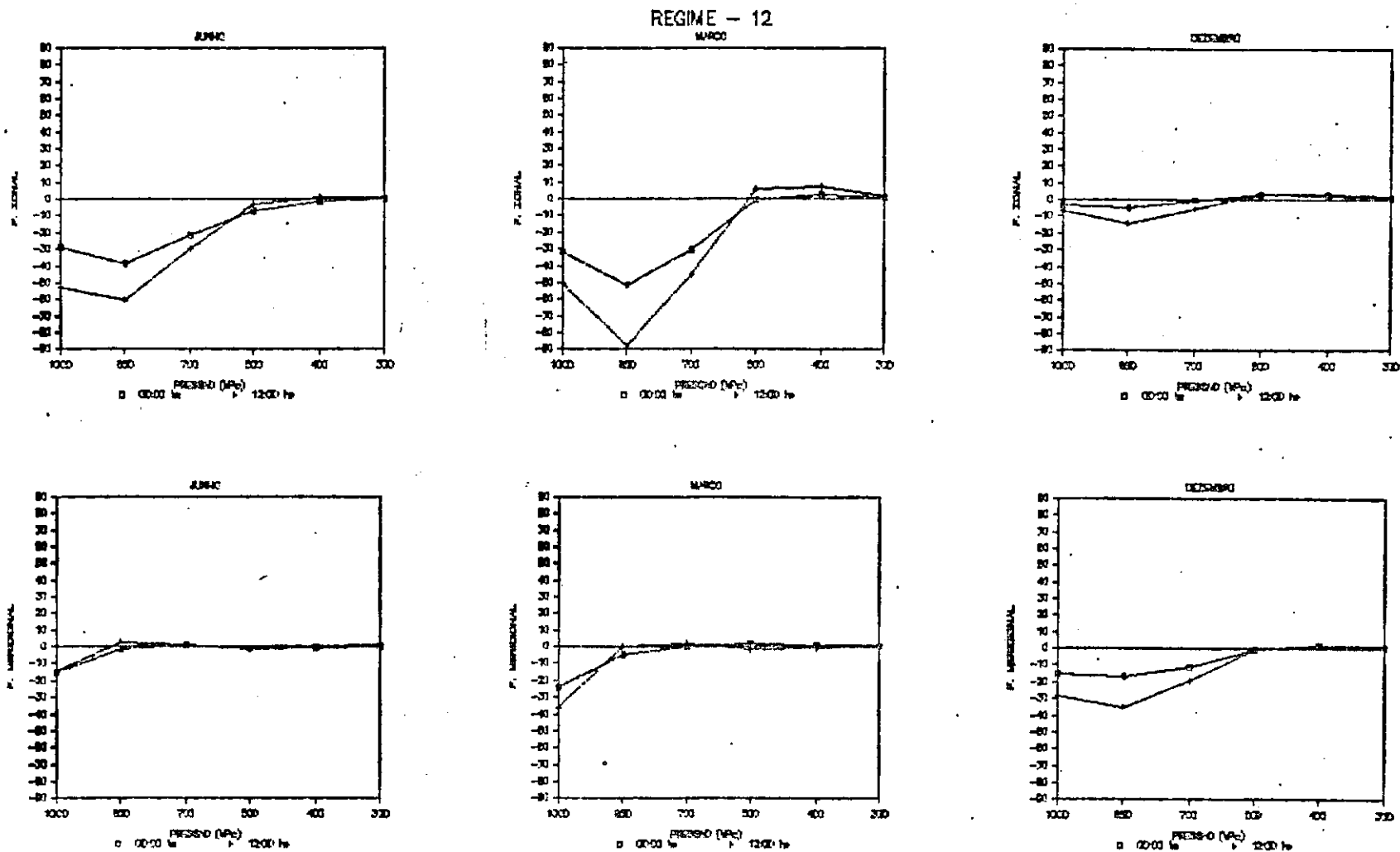


Figura B.19 - Perfil vertical médio mensal dos fluxos zonal e meridional do vapor d'água (Kg/m.s) para a área Sul (regime - 12) no horário das: 00:00 TMG e 12:00 TMG, para dezembro de 1977, março e junho de 1978.

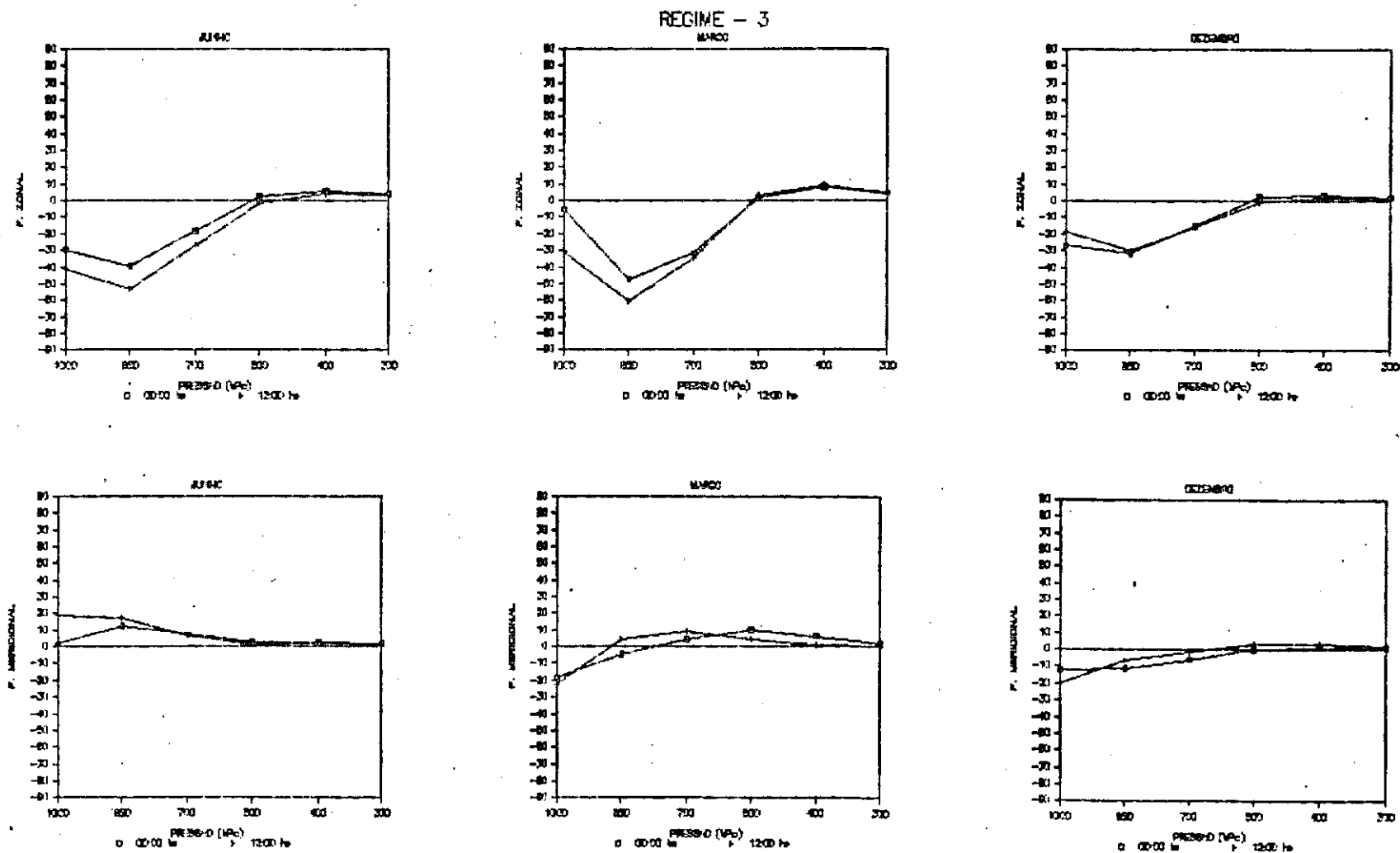


Figura B.20 - Perfil vertical médio mensal dos fluxos zonal e meridional do vapor d'água (Kg/m.s) para a área Norte (regime - 3) no horário das: 00:00 TMG e 12:00 TMG, para dezembro de 1977, março e junho de 1978.

REGIME - 5

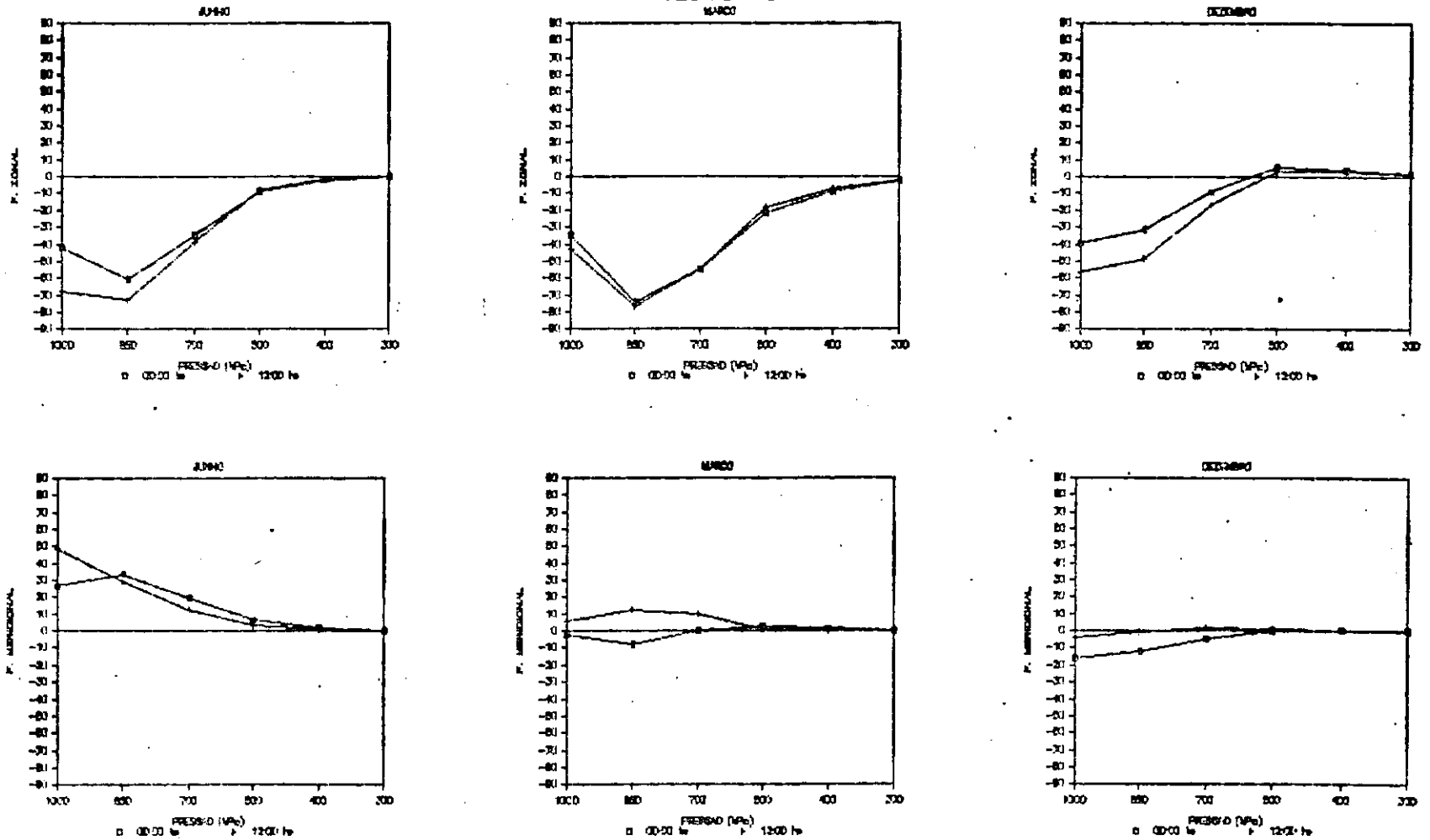


Figura B.21 - Perfil vertical médio mensal dos fluxos zonal e meridional do vapor d'água (Kg/m.s) para a área Leste (regime - 5) no horário das: 00:00 TMG e 12:00 TMG para dezembro de 1977, março e junho de 1978.