

ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI

ASPECTOS ENERGÉTICOS
DA ATMOSFERA
SOBRE O NORDESTE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao
Curso de MESTRADO EM METEORO
LOGIA da Universidade Federal
da Paraíba, em cumprimento às
exigências para obtenção do
Grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO : METEOROLOGIA DINÂMICA

DR. HUKUM SINGH RATHOR
Orientador

CAMPINA GRANDE
JUNHO - 1986



C376a Cavalcanti, Enilson Palmeira.
Aspectos energéticos da atmosfera sobre o Nordeste do Brasil / Enilson Palmeira Cavalcanti. - Campina Grande, 1986.
59 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1986.
"Orientação: Prof. Dr. Hukum Singh Rathor".
Referências.

1. Atmosfera - Aspectos Energéticos. 2. Atmosfera - Nordeste - Brasil. 3. Energia Atmosférica. 4. Meteorologia - Dissertação. I. Rathor, Hukum Singh. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB) III. Título

CDU 551.51(812/813)(043)

ASPECTOS ENERGÉTICOS DA ATMOSFERA SOBRE
O NORDESTE DO BRASIL

ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI

DISSERTAÇÃO APROVADA COM DISTINÇÃO EM
16/06/86

HS Rathor

HUKUM SINGH RATHOR

Orientador

Valdo da Silva Marques

VALDO DA SILVA MARQUES

Membro

Jose Oribe Rocha de Aragão

JOSE ORIBE ROCHA DE ARAGÃO

Membro

CAMPINA GRANDE

JUNHO 1986

Aos meus pais,
José Cavalcanti e Nina,

meu reconhecimento.

A Célia, esposa e companheira,
e às nossas filhas, Erika e
Edyla,

dedico-lhes.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Hukum Singh Rathor pela sua orientação.

Ao Dr. Pedro Leite da Silva Dias pelas sugestões dadas.

Ao Dr. Pedro Vieira de Azevedo pelo apoio prestado.

Aos Drs. José Oribe Rocha de Aragão e Valdo da Silva Marques pelas discussões e sugestões.

Ao Núcleo de Meteorologia Aplicada pelos dados de precipitação e de radiossonda.

Aos colegas do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal da Paraíba pelo apoio e compreensão durante a fase de elaboração do trabalho.

A José Fernando Santos e Cleide dos Santos pela excelente datilografia e confecção das figuras.

Aos amigos que contribuíram, direta ou indiretamente para a realização deste Trabalho.

RESUMO

Neste estudo, é feita uma tentativa de investigar alguns aspectos da energia atmosférica e seus fluxos sobre a região Nordeste do Brasil para alguns meses do ano tipicamente seco de 1980.

Dados diários referentes as 12 estações de radiossonda da região foram usados no cômputo das médias mensais das energias estáticas seca, úmida e saturada nos três meses típicos: normal, chuvoso e anômalo seco. A distribuição vertical destas energias foram tabuladas e expressas graficamente para cada mês e cada estação desde a superfície até o nível de 100 mb.

Os valores dos fluxos de energia que entram e que saem num cubo imaginário sobre a região, para várias camadas e para cada mês, foram computados com o auxílio da componente normal do vento ao longo do contorno do cubo, fazendo-se uso de interpolação e ajustamento de massa por técnicas pracionadas.

Os valores de energia total indicam diferenças quase insignificantes mês a mês. No entanto, a diferença entre as energias úmida e saturada mostram-se significativas a baixo de 300 mb e conduzem a interpretações úteis. A convergência e divergência de massa, resultando em movimento vertical, entendida como efeitos dinâmicos, são os principais responsáveis pela geração ou inibição da precipitação. A atmosfera sobre o Nordeste do Brasil atua como fonte de energia latente, conseqüentemente como fonte de vapor d'água durante os meses secos e como sumidouro durante o mês tipicamente chuvoso.

ABSTRACT

In this study, an attempt has been made to investigate some aspects of atmospheric energy, and its flux over the drought-prone region of Northeast Brazil for some months of the typically dry year of 1980.

Daily radiosonde data, for 12 stations over the region, have been used for computation of the mean monthly dry, humid and saturated static energy for the three typical months: normal, rainy and anomalously dry. The vertical distribution of these energies has been tabulated and expressed graphically for each month and for each station from surface to 100 mb level..

The values of energy flux into and out of an imaginary cube over the region, for several layers for each month, have been computed making use of the normal component of wind along the boundary of the cube, making use of interpolation and mass adjustment standard techniques.

The total values of energy indicate rather insignificant differences from month to month, however the difference between moist and saturated energies are significant below 300 mb and lead to some very useful interpretations. The convergence and divergence of mass resulting in vertical motion and associated dynamic effects are mainly responsible for the generation and inhibition for the precipitation. The atmosphere over Northeast Brazil acts as a source of latent heat energy and thus of water vapour during dry months and as a sink of those during the typically rainy month.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Fig. 1.1 - Área em estudo e o continente	02
Fig. 1.2 - Isoietas médias anuais (mm) para o período 1931-60. Fonte: STRANG (1972)	03
Fig. 1.3 - Desvio normalizado da pluviosidade no período do março, abril e maio para o NE do Brasil. Fonte: RAO & BRITO (1984)	04
Fig. 4.1 - Total de precipitação (mm) para o mês de janeiro. Ano : 1980. Fonte: ARAÚJO et alii (1985)	19
Fig. 4.2 - Desvio da precipitação (%) no mês de janeiro, em relação à normal. Ano : 1980. Fonte: ARAÚJO et alii (1985)	20
Fig. 4.3 - Total de precipitação (mm) para o mês de fevereiro. Ano : 1980. Fonte: ARAÚJO et alii (1985)	21
Fig. 4.4 - Desvio da precipitação (%) no mês de fevereiro, em relação à normal. Ano : 1980. Fonte: ARAÚJO et alii (1985)	22
Fig. 4.5 - Total de precipitação (mm) para o mês de março. Ano : 1980. Fonte: ARAÚJO et alii (1985)	23
Fig. 4.6 - Desvio da precipitação (%) no mês de março em relação à normal. Ano : 1980. Fonte: ARAÚJO et alii (1985)	24

- Fig. 4.7 - Localização do contorno descrito pelas projeções das faces verticais do "cubo" sobre o NE do Brasil e seus respectivos pontos de grade. Também os sentidos (+) e (-) das componentes do vento normal V_N 28
- Fig. 4.8 - Malha de pontos de grade para a face lateral do "cubo" onde os pontos A, B, C e D correspondem a $(14^\circ S, 34^\circ W)$, $(4^\circ S, 34^\circ W)$, $(4^\circ S, 46^\circ W)$ e $(14^\circ S, 46^\circ W)$, respectivamente 29
- Fig. 5.1 - Distribuição vertical das energias estáticas 1-seca ($C_p \bar{T} + \bar{\phi}$), 2-úmida ($C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$) e 3-saturada ($C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$) em $KJ.Kg^{-1}$. Média mensal para o "cubo" em: (a) janeiro, (b) fevereiro e (c) março de 1980 39
- Fig. 5.2 - Distribuição vertical da velocidade normal média mensal ($m.S^{-1}$), para o "cubo" em: (a) janeiro, (b) fevereiro e (c) março de 1980 44
- Fig. 5.3 - Esquema gráfico do Fluxo Lateral de Massa-FLM ($10^8 Kg.S^{-1}$) para os meses de (a) janeiro, (b) fevereiro e (c) março de 1980 mostrando importação e exportação de massa nos níveis baixos, médios e altos para o "cubo" do NE Brasileiro 45

- Fig. A.1 - Distribuição vertical das energias estáticas 1-seca ($C_p \bar{T} + \bar{\phi}$), 2-úmida ($C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$) e 3-saturada ($C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$) em $KJ.Kg^{-1}$. Média mensal para cada estação aerológica em estudo - janeiro de 1980 A.10
- Fig. A.2 - Distribuição vertical das energias estáticas 1-seca ($C_p \bar{T} + \bar{\phi}$), 2-úmida ($C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$) e 3-saturada ($C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$) em $KJ.Kg^{-1}$. Média mensal para cada estação aerológica em estudo - fevereiro de 1980 A.12
- Fig. A.3 - Distribuição vertical das energias estáticas 1-seca ($C_p \bar{T} + \bar{\phi}$), 2-úmida ($C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$) e 3-saturada ($C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$) em $KJ.Kg^{-1}$. Média mensal para cada estação aerológica em estudo - março de 1980 A.14

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 4.1 - Relação das estações utilizadas no estudo	26
Tabela 5.1 - Energia estática média mensal para a atmosfera sobre o Nordeste do Brasil em KJ.Kg^{-1} para o mês de Janeiro de 1980 ...	36
Tabela 5.2 - Energia estática média mensal para a atmosfera sobre o Nordeste do Brasil em KJ.Kg^{-1} para o mês de fevereiro de 1980 .	37
Tabela 5.3 - Energia estática média mensal para a atmosfera sobre o Nordeste do Brasil em KJ.Kg^{-1} para o mês de março de 1980	38
Tabela 5.4 - Fluxo lateral de massa - FLM (10^8Kg.S^{-1}) e velocidade normal ajustada - V_N^* (m.S^{-1}) para o "cubo" sobre o NE do Brasil nos meses janeiro, fevereiro e março de 1980 ..	41
Tabela 5.5 - Fluxos de (a) $C_p T + \phi$, (b) Lq e (c) $C_p T + \phi + Lq$ em (10^{13}J.S^{-1}) para o "cubo" sobre o NE do Brasil em janeiro de 1980	48
Tabela 5.6 - Fluxos de (a) $C_p T + \phi$, (b) Lq e (c) $C_p T + \phi + Lq$ em (10^{13}J.S^{-1}) para o "cubo" sobre o NE do Brasil em fevereiro de 1980	49

<p>Tabela 5.7 - Fluxos de (a) $C_p T + \phi$, (b) Lq e (c) $C_p T + \phi + Lq$ em (10^{13} J.S^{-1}) para o "cubo" sobre o NE do Brasil em março de 1980</p>	<p>50</p>
<p>Tabela A.1 - Energia média mensal da atmosfera (KJ.Kg^{-1}) para cada estação aerológica em estudo. Mês de janeiro de 1980</p>	<p>A.1</p>
<p>Tabela A.2 - Energia média mensal da atmosfera (KJ.Kg^{-1}) para cada estação aerológica em estudo. Mês de fevereiro de 1980</p>	<p>A.4</p>
<p>Tabela A.3 - Energia média mensal da atmosfera (KJ.Kg^{-1}) para cada estação aerológica em estudo. Mês de março de 1980</p>	<p>A.7</p>

S U M Á R I O

	Página
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	07
3. FORMULAÇÃO TEÓRICA	11
4. METODOLOGIA	17
4.1 - Escolha do período de estudo	17
4.2 - Os dados e sua representatividade	25
4.3 - "Cubo" sobre o Nordeste do Brasil a ser <u>es</u> tudado	25
4.4 - Interpolação dos elementos para os pontos de grade	27
4.5 - Ajustamento de massa	30
4.6 - Avaliação dos fluxos	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1 - Distribuição espacial de energia	33
5.2 - Vento normal e fluxo lateral de massa	35
5.3 - Fluxo lateral de energia estática	46
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
APÊNDICE - A	A.1
APÊNDICE - B	B.1

1. INTRODUÇÃO

A região Nordeste do Brasil corresponde a uma área de aproximadamente 10^6 Km², o que representa cerca de 12% do território nacional onde habitam em torno de 35% da população brasileira (IBGE - 1980). Situada entre os meridianos de 35° - 50° W e os paralelos de 0° - 20° S (Fig. 1.1), esta região é banhada pelo Oceano Atlântico ao norte e leste, ao noroeste tem próximo a floresta amazônica, onde registra-se um dos mais altos índices pluviométricos do Globo. Apesar de sua localização ser propícia a um alto teor de umidade atmosférica, paradoxalmente sua parte central é conhecida por suas características se mi-áridas, apresentando anomalias climáticas que se refletem mais acentuadamente na alta variabilidade espacial e temporal da precipitação.

Segundo STRANG (1972) todo o litoral norte e leste da região, como também a parte noroeste, recebem uma pluviosidade média anual acima de 1.200 mm, chegando a atingir 2.000 mm em alguns pontos do litoral sul, enquanto que no seu interior chega a alcançar somente cerca de 500 mm (Fig. 1.2).

RAO & BRITO (1984) estudaram a variação da precipitação média ano a ano no trimestre considerado mais chuvoso (março-maio) para a região em questão onde na Fig. 1.3 apresentam a flutuação temporal do desvio padrão normalizado em percentagens pluviométricas baseado em dados de 20 estações climatológicas da região para o período de 1964-1983. Pode-se observar que a pluviosidade se afasta significativamente da média climatológi-



Fig. 1.1 - ÁREA EM ESTUDO E O CONTINENTE.

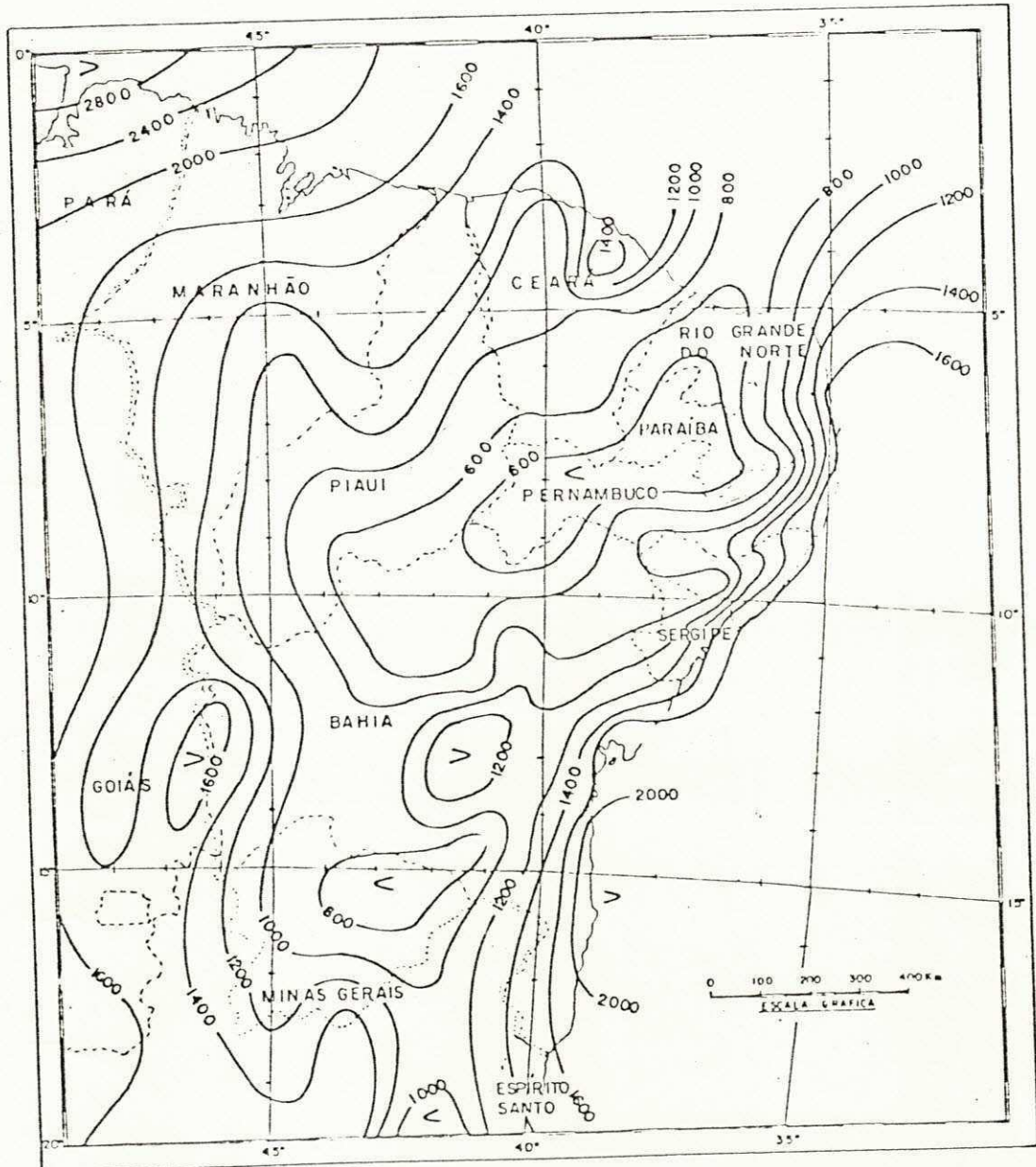


Fig. 1.2 - ISOIETAS MÉDIAS ANUAIS (mm) PARA O PERÍODO 1931-60. FONTE: STRANG (1972).

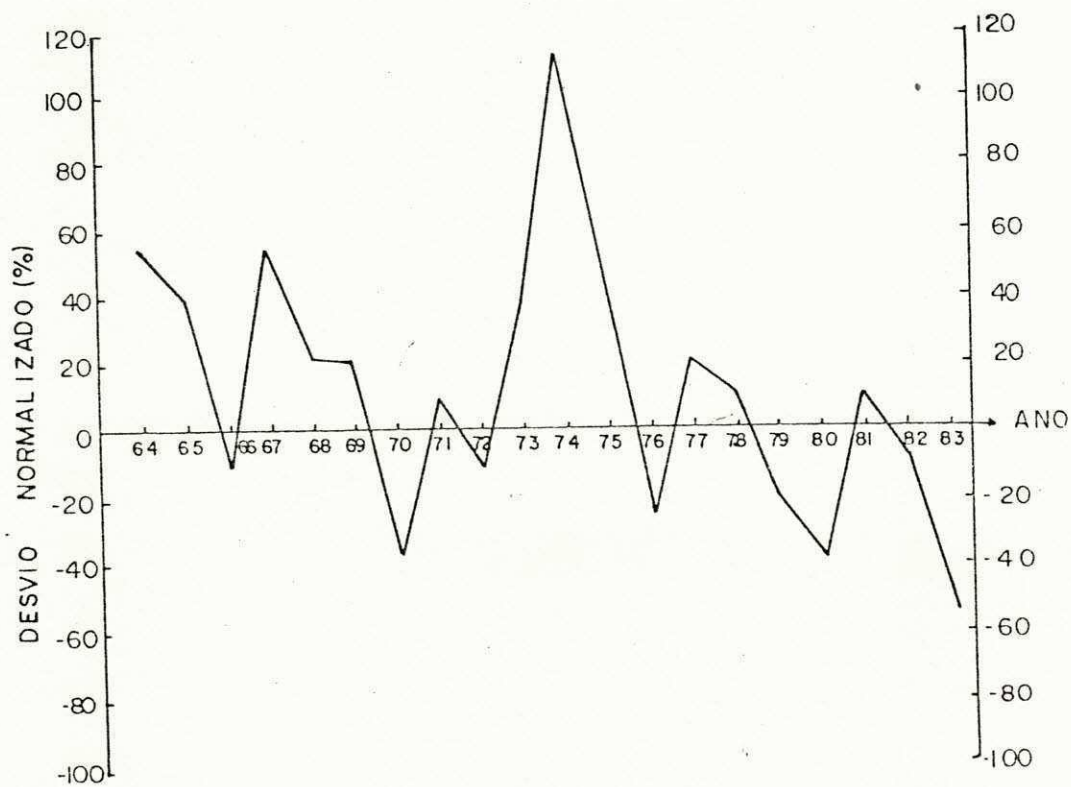


Fig. 1.3 - DESVIO NORMALIZADO DA PLUVIOSIDADE NO PERÍODO MARÇO, ABRIL e MAIO PARA O NE DO BRASIL. FONTE: RAO & BRITO (1984).

ca em alguns anos, como por exemplo, o ano de 1974 apresenta um desvio positivo de 120% enquanto que 1980 um desvio negativo de 40% significando que 1974 foi um ano acentuadamente chuvoso, no entanto 1980 mostrou-se bastante seco.

A cada dia a região Nordeste do Brasil desperta o interesse de pesquisadores que constantemente procuram explicações ou indicativos causadores de tais anomalias climáticas haja vista a importância que representa a região no contexto nacional, tanto do ponto de vista social quanto econômico .

Reconhece-se atualmente a existência de poucos trabalhos que tentam estudar a atmosfera sobre essa região explorando aspectos energéticos. Pode-se destacar nesta área de conhecimentos os trabalhos de SILVA MARQUES (1981) que foi uma primeira tentativa de análise do clima para o ar superior sobre a região Nordeste explorando aspectos energéticos, do fluxo de vapor d'água e da circulação geral, e SILVA MARQUES et alii (1983). Maiores detalhes serão dados posteriormente.

Tendo em vista a importância da energia na circulação geral da atmosfera e sua relação com os processos físicos envolvidos, procurou-se neste trabalho explorar alguns aspectos energéticos para estudar a atmosfera do Nordeste em meses com características típicas para um ano previamente escolhido, como apresentado de forma mais explícita a seguir.

O presente trabalho tem como objetivo geral estudar alguns aspectos energéticos da atmosfera sobre o Nordeste do Brasil, tais como: distribuição espacial das energias estáticas seca, úmida e latente, como também seus respectivos flu

xos totais, e o fluxo lateral de massa para um volume de con
trole em forma de "cubo" localizado sobre a região mencionada, em meses típicos (seco, chuvoso) de um ano considerado se
co para a região.

Na tentativa de atingir tal objetivo, tomou-se o ano de 1980 para estudo e em seguida escolheu-se alguns meses de características típicas, como sendo normal, chuvoso e anô
malo seco com base nos totais mensais de precipitação compa
ra dos aos totais climatológicos da região. Os dados referentes aos meses escolhidos, passaram por um processo de consistência espacial e temporal de forma a oferecer resultados confiáveis. Com a obtenção dos dados derivados, verificou-se a distribui
ção espacial dos vários tipos de energias estáticas através do comportamento apresentado em cada estação aerológica estudada. Foi observado também a distribuição vertical para a média en
tre estas estações referentes a cada mês, representando desta forma a média para a região.

Para se obter a interpolação dos diversos elemen
tos necessários aos cálculos dos fluxos nos pontos de observações para os pontos da grande idealizada na face lateral do "cubo", utilizou-se a técnica de análise objetiva a qual possi
bilitou automatizar a avaliação dos diversos fluxos.

Procurando-se diagnosticar essas situações típi
cas, relacionou-se os resultados obtidos com o fato do mês ser considerado normal, chuvoso ou anômalo seco entre outros aspectos relacionados com a circulação geral.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diversas pesquisas têm sido executadas em várias partes do Globo terrestre visando investigações de fenômenos atmosféricos. Entre estes trabalhos destacam-se alguns que julgou-se ter importância relevante à pesquisa executada neste trabalho.

BENTON & ESTOQUE (1954) e PEIXOTO (1965) verificaram que a energia liberada pelas mudanças de fase da água alteram a baroclinicidade da atmosfera, influenciando desta forma os campos da energia cinética, momento e vorticidade.

ANJANEYULU (1969) fazendo uma estimativa do calor e mistura sobre a zona de influência de monção na Índia, utilizando dados de radiossondagens referentes aos meses de julho e agosto de 1956 a 1960, no qual utilizou métodos semelhantes aos propostos por PALMEN (1958), RIEHL & MALKUS (1958), verificou a existência de convergência no fluxo de massa nos níveis abaixo de 600 mb e divergência acima de 500 mb. A energia total apresentou valores máximos para a baixa e alta troposfera e valores mínimos para a média troposfera. Os cálculos dos fluxos mostraram uma exportação de calor sensível de $8,8 \times 10^{18}$ cal/dia e uma importação de $16,1 \times 10^{18}$ cal/dia de calor latente nesta região.

AUGUSTEIN et alii (1973) utilizando dados de observações do programa experimental ATEX (Atlantic Trade-wind Experiment) calcularam o transporte horizontal de massa e energia pelos ventos alísios em uma situação de pouca atividade

convectiva. Foi usada uma metodologia que possibilita a determinação do fluxo horizontal em um volume, calculando-se a integral de linha das propriedades integradas verticalmente, sobre o contorno descrito pelas projeções na horizontal das faces verticais deste volume. Em seu estudo o contorno tem forma triangular onde nos vértices localizaram-se os navios que permitiram as medições dos elementos necessários aos cálculos dos fluxos de energias latente e sensível.

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

Segundo KOUSKY (1979) as chuvas de dezembro-janeiro, ao sul do NE brasileiro, estão inteiramente relacionadas com as penetrações de frentes frias oriundas do sul do continente. Demonstrou ainda que as penetrações de frentes estão também associadas com o acréscimo de chuva ao longo da costa este do NE do Brasil, desde a Bahia até o Rio Grande do Norte, durante a estação de chuvas, e que algumas vezes estas frentes podem influenciar até a parte norte, tal como o estado do Cearã.

GOMES FILHO (1979) procurando prováveis causas locais estudou a influência do albedo superficial e da orografia nos mecanismos geradores de precipitação na região NE do Brasil. Ele mostrou que tanto a orografia como o albedo induzem

uma velocidade vertical descendente, com máximo localizado exatamente sobre a zona semi-árida da região. Portanto, a orografia e o albedo superficial atuam como inibidores de precipitação no NE Brasileiro.

ALESTALO (1981) ao estudar o balanço de energia do sistema terra-atmosfera sobre a Europa, utilizando dados de radiossondagens de 1974 a 1976, sugeriu que para a obtenção de razoáveis estimativas quantitativas do fluxo de energia total, anual e sazonal, para uma região com boa rede de estações aerológicas, a área desta região não deve ser inferior a $6-7 \times 10^6 \text{ km}^2$. Esta especificação está de certa forma coerente com a deste trabalho.

SILVA MARQUES (1981) estudando a energética e o fluxo de vapor d'água na atmosfera da região NE do Brasil verificou que, quanto ao fluxo de vapor d'água, as diferenças fundamentais entre as estações seca e chuvosa são reveladas através das fronteiras norte e sul e entre os anos seco e chuvoso através das fronteiras noroeste e sudeste. Estes dois resultados levam a crer que variações relevantes no balanço de vapor d'água na região devem estar ligadas às variações do posicionamento da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), associadas com possíveis penetrações de massas de ar procedentes do sul do continente. A integração vertical mostrou que a região se comporta como fonte de energia estática seca em ambas as estações com valores aproximadamente iguais. Porém, comporta-se como sumidouro de calor latente na estação chuvosa e como fonte na estação seca.

Uma forte convergência de massa na média troposfe

ra, encontrada na estação seca (médias de 8 anos) e no ano se
co (1976), parece exercer um papel fundamental no diagnóstico
destas situações, pois ela força a subsidência em baixos ní
veis não permitindo que haja condições favoráveis à convecção
e a conseqüente precipitação. Resultados semelhantes também fo
ram verificados por SILVA MARQUES et alii (1983).

3. FORMULAÇÃO TEÓRICA

As equações necessárias ao estudo do balanço de energia na atmosfera podem ser deduzidas a partir das equações fundamentais da meteorologia dinâmica, tais como: equação do movimento horizontal, termodinâmica, continuidade de massa, hidrostática e difusão do vapor d'água na atmosfera, expressas respectivamente por:

$$\frac{d\vec{V}_H}{dt} = - \nabla_H \phi - f \vec{K} \times \vec{V}_H + \vec{F} \quad (3.1)$$

$$\frac{dQ}{dt} = c_p \frac{dT}{dt} - \alpha \omega \quad (3.2)$$

$$\nabla_H \cdot \vec{V}_H + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0 \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial p} = - \alpha \quad (3.4)$$

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

todas em coordenadas de pressão, onde

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

- ϕ é o geopotencial;

- f é o parâmetro de Coriolis;
- \vec{F} é a força de fricção;
- Q é o calor;
- C_p é o calor específico a pressão constante;
- T é a temperatura;
- α é o volume específico;
- ω é a velocidade vertical em coordenadas de pressão;
- q é a umidade específica;
- $\Gamma(q)$ é a taxa de geração ou destruição de vapor d'água;
- t é o tempo;
- p é a pressão;
- $\nabla_H \equiv \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j}$ é o operador nabla (horizontal).

Manipulando-se com estas equações obtém-se a equação do balanço de energia na forma:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (K + C_p T) + \nabla_H \cdot (K + \phi + C_p T) \vec{V}_H \\ + \frac{\partial}{\partial p} (K + \phi + C_p T) \omega = \frac{dQ}{dt} + \vec{V}_H \cdot \vec{F} \end{aligned} \quad (3.6)$$

onde

- $K = \frac{1}{2} (u^2 + v^2)$ é a energia cinética;
- $\partial(K + C_p T)/\partial t$ é a taxa de variação local de energia;
- $\nabla_H \cdot (K + \phi + C_p T) \vec{V}_H$ é o fluxo horizontal de energia;
- $\partial (K + \phi + C_p T) \omega / \partial p$ é o fluxo vertical de energia;

- dQ/dt é a taxa de aquecimento ou resfriamento;
 - $\vec{V} \cdot \vec{F}$ é a dissipação de energia pela fricção;
- todos por unidade de massa.

A equação do balanço de energia na forma latente fica:

$$\frac{\partial Lq}{\partial t} + \nabla_H \cdot Lq\vec{V}_H + \frac{\partial Lq}{\partial P} \omega = L\Gamma(q) \quad (3.7)$$

onde

- L é o calor latente de vaporização;
 - $\partial Lq/\partial t$ é a taxa de variação local de energia latente;
 - $\nabla_H \cdot Lq\vec{V}_H$ é o fluxo horizontal de energia latente;
 - $\partial Lq/\partial P$ é o fluxo vertical de energia latente;
 - $L\Gamma(q)$ é a taxa de geração ou destruição de energia latente;
- todos por unidade de massa.

Integrando dQ/dt para uma determinada massa tem-se:

$$H = \iiint \frac{dQ}{dt} dm \quad (3.8)$$

onde dm é um elemento infinitesimal de massa, e

$$H = H_S + F_L - H_R \quad (3.9)$$

onde

- H_S é o fluxo de calor sensível;

- H_L é o fluxo de calor latente;
- H_R é o fluxo de energia líquida por radiação.

A equação do balanço de energia objetivando a avaliação quantitativa do fluxo total mensal de energia para um determinado volume de controle, em forma de "cubo", reduz-se:

$$H_S + H_L - H_R = \iiint \nabla_H \cdot \overline{(C_p T + \phi) \vec{V}_H} \, dm \quad (3.10)$$

sendo

$$H_L = LP = LE - \iiint \nabla_H \cdot \overline{Lq \vec{V}_H} \, dm \quad (3.11)$$

onde

- P é a precipitação;
- E é a evaporação.

Combinando as equações (3.10) e (3.11) obtém-se;

$$H_S - H_R + LE = \iiint \nabla_H \cdot \overline{(C_p T + \phi + Lq) \vec{V}_H} \, dm \quad (3.12)$$

Vale salientar que a taxa local ($\partial/\partial t$), o termo friccional ($\vec{V}_H \cdot \vec{F}$) e a energia cinética (K) foram abandonados para a obtenção das equações (3.10), (3.11) e (3.12) por serem considerados desprezíveis em relação aos demais. Algumas considerações sobre a importância do fluxo vertical foi discutido

por HANTELL & BAADER (1978), no entanto, segundo SILVA MARQUES et alii (1983) este incorpora-se ao calor sensível.

Utilizando o teorema da divergência, as equações dos fluxos totais de energia estática seca ou calor sensível ($C_p T + \phi$) e de energia latente (Lq), podem ser reescritas como:

$$H = \frac{1}{g} \int_{P_T}^{P_0} \overline{(C_p T + \phi) V_N} dP dL \quad (3.13)$$

$$H_L = \frac{1}{g} \int_{300}^{P_0} \overline{Lq V_N} dP dL \quad (3.14)$$

onde

- $V_N = u_N + v_N$ é a velocidade do vento normal às faces verticais do "Cubo" (positivo para fora);
- g é a aceleração normal da gravidade;
- P_0 é a pressão na base do "Cubo" (≈ 1000 mb);
- P_T é a pressão no tampo do "Cubo" (100 mb);
- dL é um elemento infinitesimal de comprimento do contorno descrito pela projeção das faces vertical do "Cubo" no plano horizontal;
- dP é um elemento infinitesimal de pressão na vertical.

Escrevendo as equações de forma mais apropriada para os cálculos, desmembrando a parte total em média mais transiente, tem-se:

$$\begin{aligned}
 H = \frac{1}{g} \int_0^1 \int_{P_T}^{P_0} \overline{(C_p T + \phi) V_N} dP dL \\
 + \frac{1}{g} \int_0^1 \int_{P_T}^{P_0} (C_p T + \phi)' V_N' dP dL \quad (3.15)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_L = \frac{1}{g} \int_0^1 \int_{300}^{P_0} L \bar{q} \bar{V}_N dP dL \\
 + \frac{1}{g} \int_0^1 \int_{300}^{P_0} L q' V_N' dP dL \quad (3.16)
 \end{aligned}$$

onde a barra (-) representa a média e aspas (') representa o transiente.

O fluxo lateral de massa (FLM) médio para o "Cubo" é dado por:

$$\text{FLM} = \frac{1}{g} \int_0^1 \int_{P_T}^{P_0} V_N dP dL. \quad (3.17)$$

4. METODOLOGIA

4.1 - Escolha do período de estudo.

Uma vez que o objetivo é estudar alguns meses ca racterísticos de um ano seco, escolheu-se o ano de 1980 por considerá-lo o mais representativo dos anos secos do período 1978-1982, como também por apresentar um número razoável de es tações aerológicas operando na área com boa regularidade nas observações. Quanto aos meses de características típicas em re lação a precipitação mensal, adotou-se a classificação feita por ARAÚJO et alii (1985), que utilizou 172 postos pluviométricos da região. Escolheu-se para estudo os meses de janeiro (normal), fevereiro (chuvoso) e março (anômalo seco) ou seja:

Ano de estudo - 1980 (ano considerado seco)

Meses típicos - Janeiro (normal)

Fevereiro (chuvoso)

Março (anômalo seco)

onde adotou-se o seguinte critério de classificação:

- a) No mês de janeiro de 1980, registraram-se os seguintes to tais de precipitação; a oeste do estado da Bahia observa-se núcleos de 400 mm, enquanto que no litoral do estado o to tal de chuva caída supera os 400 mm; no interior da região do NE do Brasil, em média, notam-se valores de precipitação entre 100 e 200 mm (Fig. 4.1). Na configuração do campo dos desvios, cerca de 60% da área do NE do Brasil está limi tada pela isolinha de desvio positivo de 50% (Fig. 4.2).

Faz-se exceção ao litoral norte e parte do Maranhão, onde observam-se desvios negativos de 50%. Assim o mês de janeiro de 1980 pode ser classificado como normal em relação à média climatológica regional.

- b) Em fevereiro, observa-se totais significativos de precipitação acima dos valores climatológicos em quase toda a região do NE do Brasil, com valores acima de 200 mm, exceto no interior dos estados da Paraíba e Pernambuco, onde observam-se valores próximos de 100 mm (Fig. 4.3). Essa situação concorda com a do desvio que mostra valores positivos compreendidos entre 50% e 300% sobre toda região do NE do Brasil (Fig. 4.4). Assim, pode-se considerar que este mês é tipicamente chuvoso.
- c) No mês de março, observam-se totais de precipitação em torno de 50 mm no interior da região NE do Brasil. Por outro lado, valores significativos de chuva são observados numa estreita faixa do litoral dos estados de Alagoas, Sergipe, parte do litoral da Bahia e ao norte do Maranhão e Piauí (Fig. 4.5). Associado a essa descrição o mapa de desvios da precipitação registra valores negativos (50%) na maior parte (90%) da área (Fig. 4.6). Apenas uma estreita faixa litorânea entre as cidades de Salvador e João Pessoa, registra valores de desvios positivos superiores a 50%. Assim, esse mês pode ser classificado como seco anômalo em termos de precipitação para a região, considerando o regime de chuva cujo máximo de precipitação ocorre normalmente no mês de março, em quase toda área do NE do Brasil excetuando-se ape

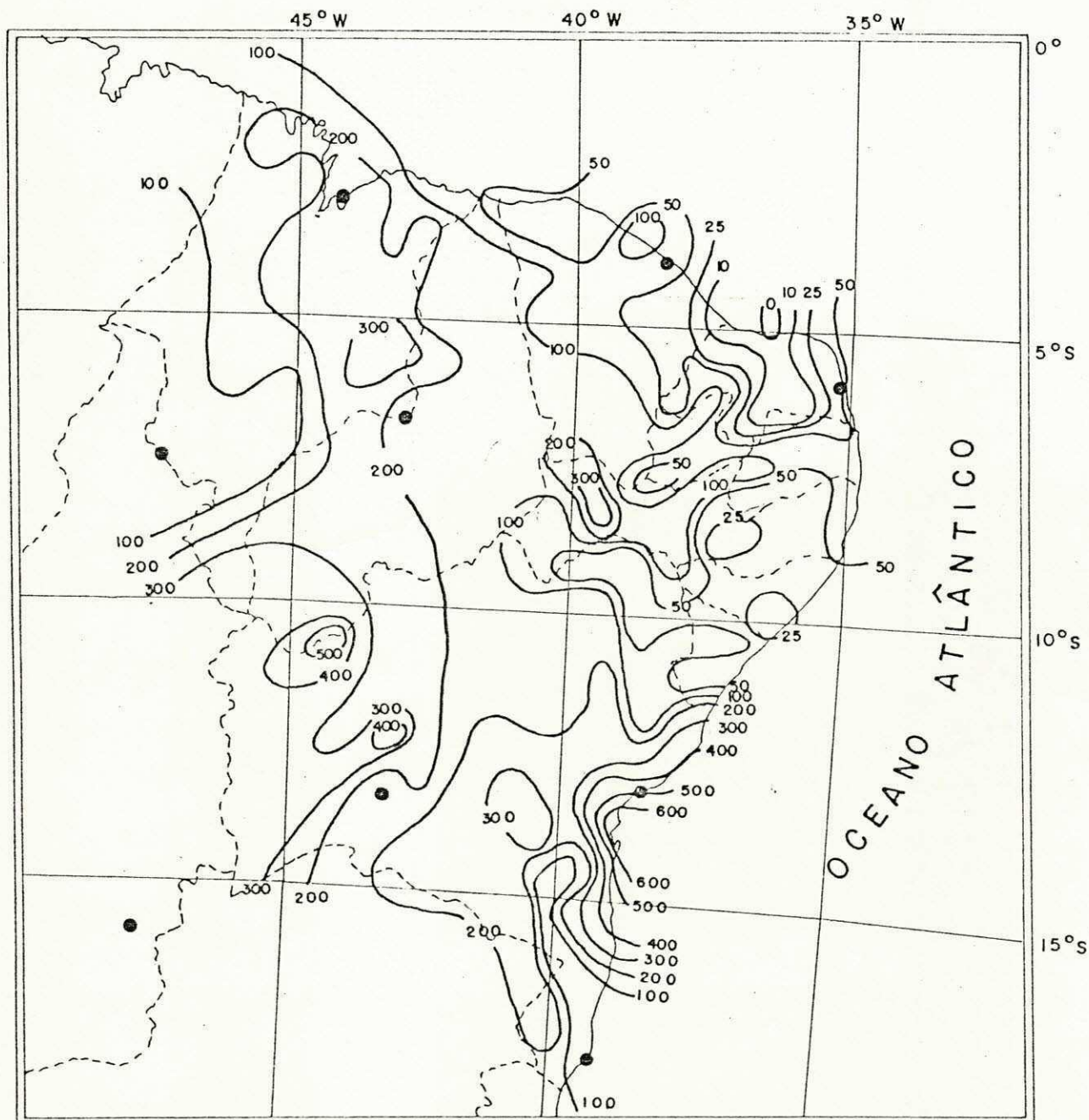


Fig. 4.1 - TOTAL DE PRECIPITAÇÃO (mm) PARA O MÊS DE JANEIRO.
Ano: 1980. FONTE: ARAÚJO et alii (1985).

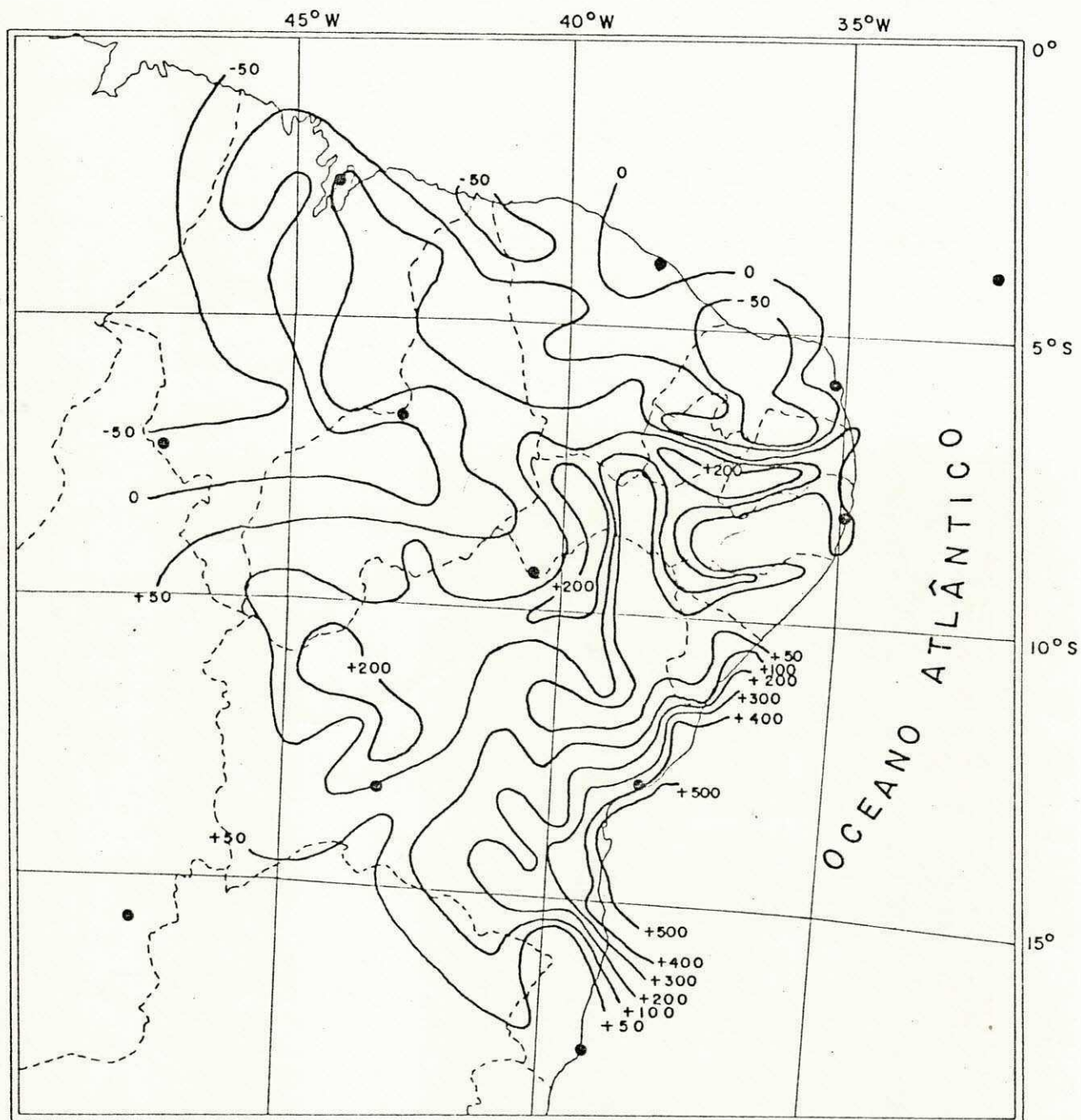


Fig. 4.2 - DESVIO DA PRECIPITAÇÃO (%) NO MÊS DE JANEIRO, EM RE
LAÇÃO À NORMAL. Ano: 1980. FONTE: ARAÚJO et alii
(1985).

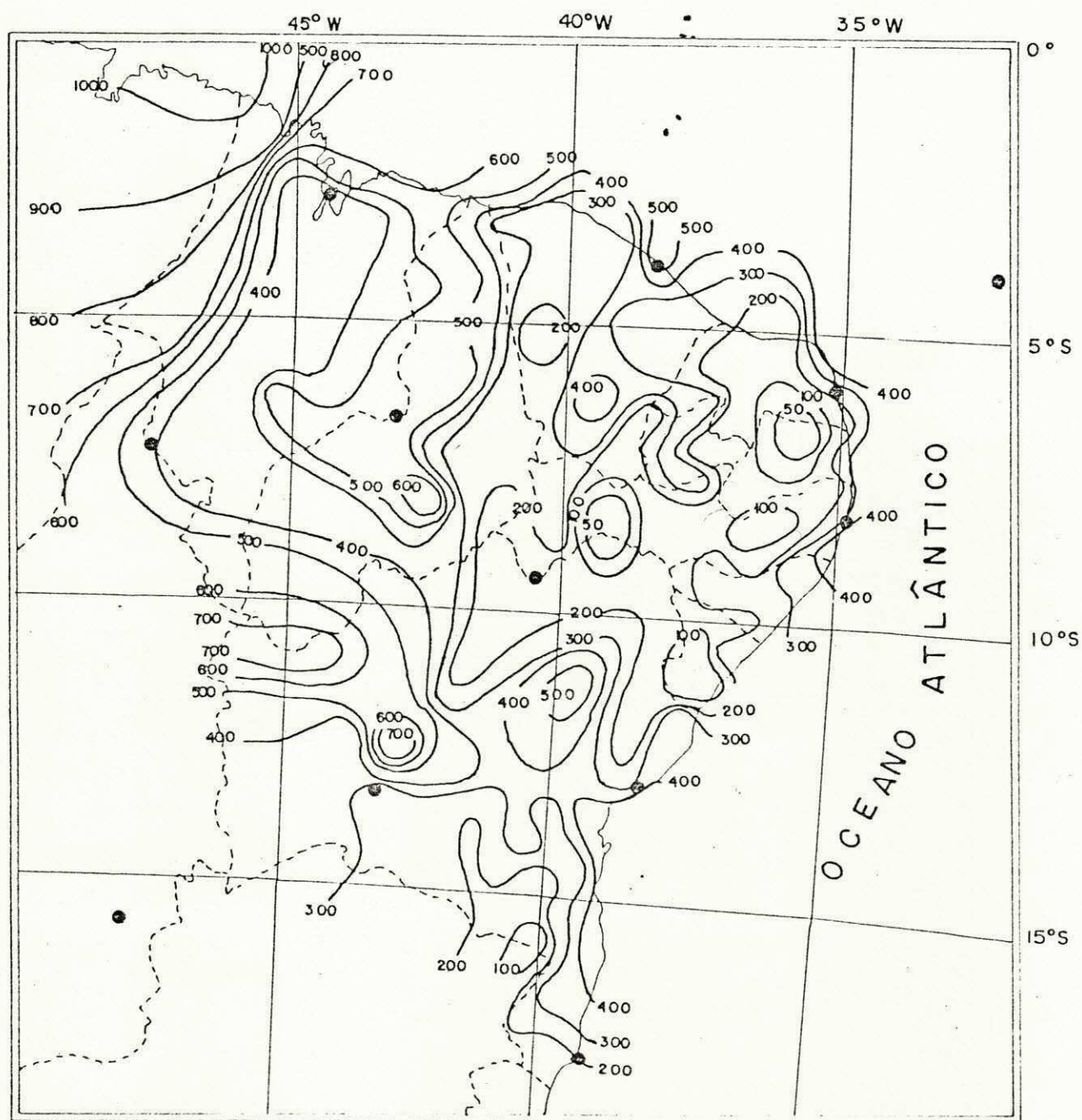


Fig. 4.3 - TOTAL DE PRECIPITAÇÃO (mm) PARA O MÊS DE FEVEREIRO.
Ano: 1980. FONTE: ARAÚJO et alii (1985).

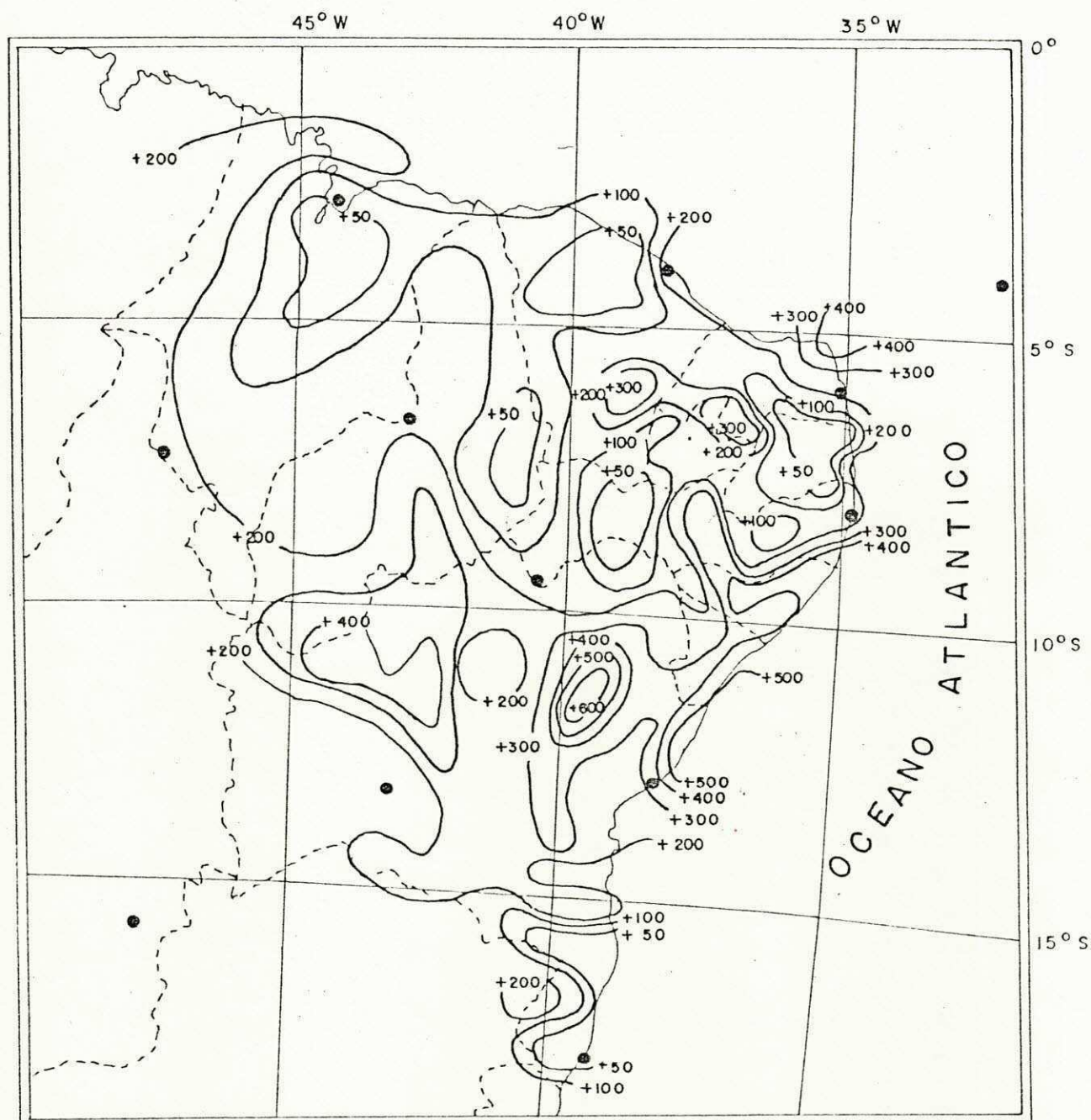


Fig. 4.4 - DESVIO DA PRECIPITAÇÃO (%) NO MÊS DE FEVEREIRO, EM RELAÇÃO À NORMAL. Ano: 1980. FONTE; ARAÚJO et alii (1985).

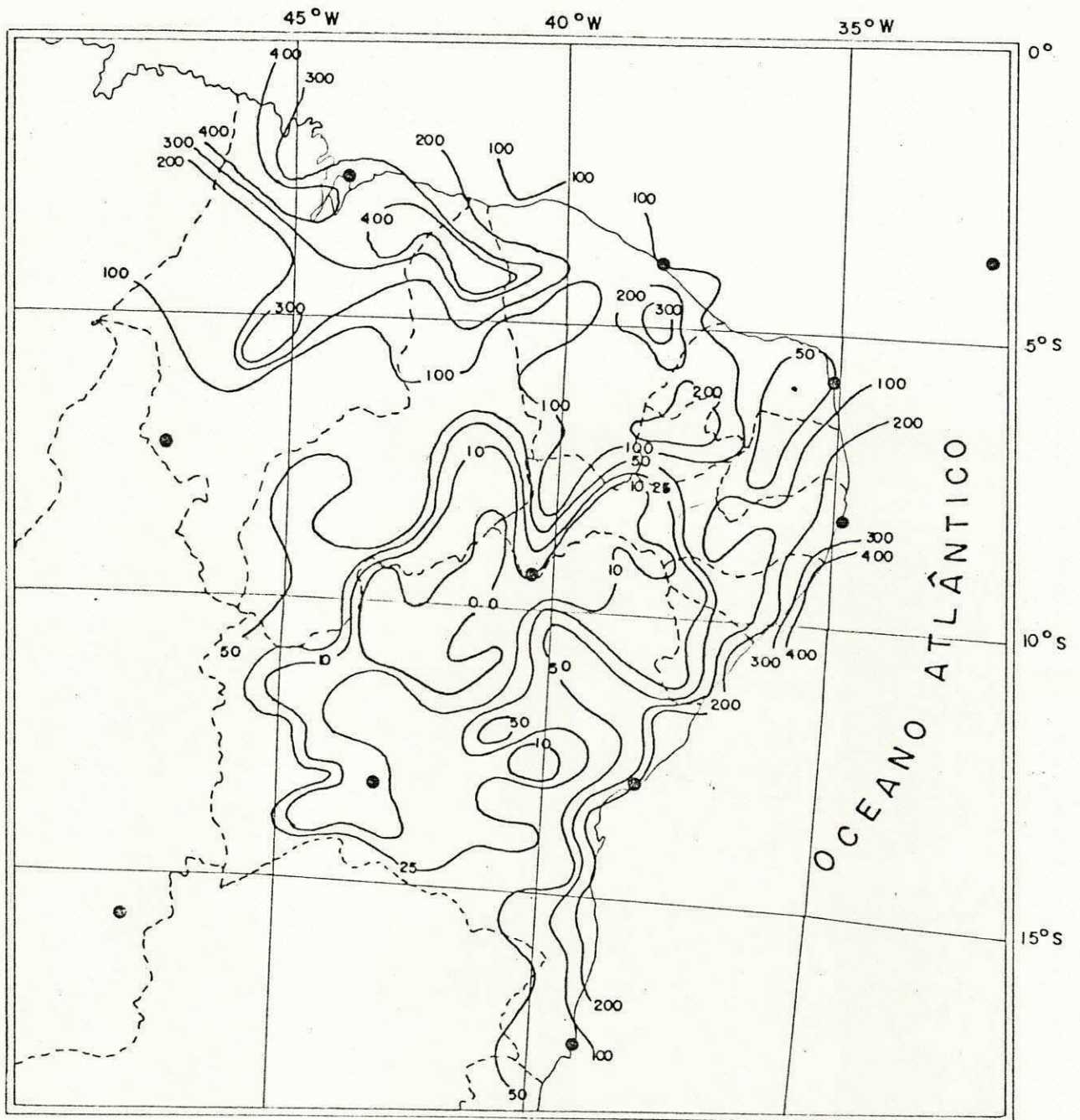


Fig. 4.5 - TOTAL DE PRECIPITAÇÃO (mm) PARA O MÊS DE MARÇO.
Ano: 1980. FONTE: ARAÚJO et alii (1985).

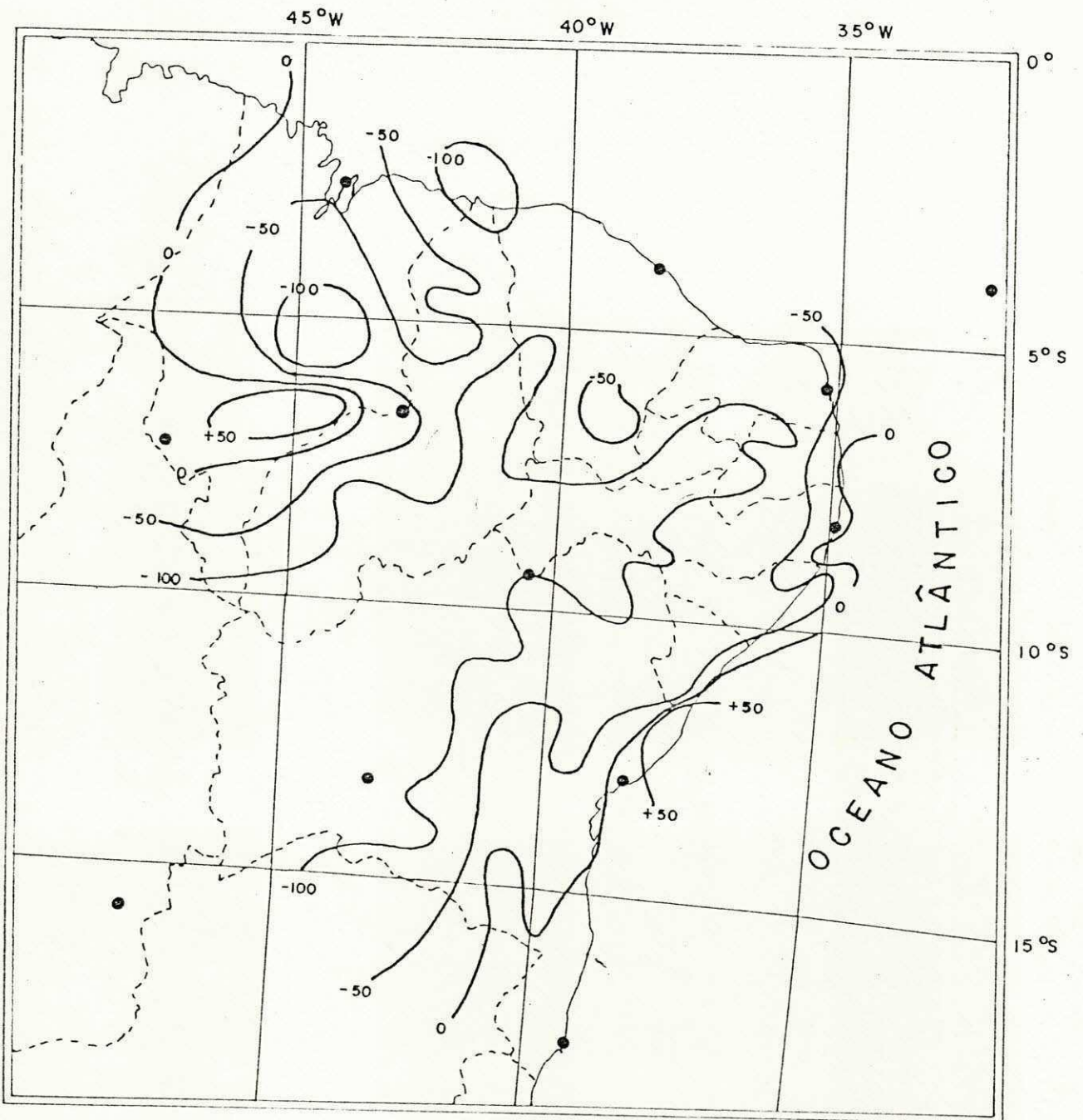


Fig. 4.6 - DESVIO DA PRECIPITAÇÃO (%) NO MÊS DE MARÇO, EM RELAÇÃO À NORMAL. Ano: 1980. FONTE: ARAÚJO et alii (1985).

nas a faixa litorânea e a porção Sul do NE Brasileiro (STRANG, 1972).

4.2 - Os dados e sua representatividade.

Para a execução deste trabalho utilizou-se dados obtidos por radiossondas relativas as doze estações aerológicas que cobrem a região NE do Brasil com sondagens diárias às 12:00 TMG (tempo médio de Greenwich). Essas estações pertencem à rede de estações de altitude do Instituto Nacional de Meteorologia - INEMET, as quais são relacionadas na tabela 4.1.

Para obter-se resultados confiáveis foi feito uma consistência nos dados de vento, temperatura, umidade e geopotencial, eliminando-se aqueles que apresentaram-se fisicamente inconsistentes. Também foram eliminadas as estações com um número de sondagens inferior a 15 (quinze) dias de observações no mês considerado.

Na aplicação do modelo foram utilizados os seguintes níveis: superfície da terra (≈ 1000 mb) e os isobáricos padrões de 850, 700, 500, 300, 200, 150 e 100 mb.

Com os dados devidamente preparados, calculou-se para cada camada os diversos tipos de energias (média mensal em KJ.K_g^{-1}) para cada estação em estudo, como também para a região NE do Brasil (média entre as estações). Os resultados são mostrados em forma de tabelas e figuras.

4.3 - "Cubo" sobre o Nordeste do Brasil a ser estudado.

TABELA 4.1

RELAÇÃO DAS ESTAÇÕES UTILIZADAS NO ESTUDO

NÚMERO DE ORDEM	NÚMERO SINÓTICO	NOME DA ESTAÇÃO	ESTADO	ALTITUDE (m)	LATITUDE	LONGITUDE
01	82280	São Luiz (SL)	MA	51	02°32'	44°17'
02	82397	Fortaleza (FZ)	CE	26	03°46'	38°36'
03	82400	Fernando de Noronha (FN)	FN*	45	03°51'	32°25'
04	82599	Natal (NT)	RN	49	05°55'	35°15'
05	82678	Floriano (FR)	PI	123	06°46'	43°01'
06	82765	Carolina (CI)	MA	193	07°20'	47°28'
07	82900	Recife (RF)	PE	07	08°03'	34°55'
08	82938	Petrolina (PL)	PE	370	09°23'	40°29'
09	83229	Salvador (SV)	BA	51	13°01'	38°31'
10	83288	Bom Jesus da Lapa (LP)	BA	440	13°16'	43°25'
11	83378	Brasília (BR)	DF	1061	15°47'	47°56'
12	83498	Caravelas (CV)	BA	03	17°44'	39°15'

* Território

Para se avaliar quantitativamente os fluxos das energias estáticas seca, úmida e latente tomou-se um volume de controle em forma de "Cubo", onde a área da base é tomada pela intersecção dos paralelos de 4°S e 14°S com os meridianos de 36°W e 46°W (Fig. 4.7) e a altura vai da superfície (≈1000 mb) ao nível isobárico de 100 mb. Pode-se perceber que este não forma um cubo perfeito, no entanto preferiu-se chamá-lo as sim.

Em cada nível de pressão idealizou-se uma malha horizontal em pontos de grade com 2° de latitude por 2° de longitude, de forma que os pontos referentes ao contorno do "Cubo" se ajustam perfeitamente à malha horizontal idealizada. Com este procedimento gera-se indiretamente na face lateral deste "Cubo", uma malha vertical de pontos de grade (Fig. 4.8) de tal forma que torna-se possível avaliar as expressões (3.15), (3.16) e (3.17).

4.4 - Interpolação dos elementos para os pontos de grade.

A interpolação dos elementos necessários aos cálculos dos fluxos, dos pontos de observações para os pontos da grade horizontal e conseqüentemente para a malha vertical, foram efetuados utilizando-se a técnica de análise objetiva (Low-Pass) desenvolvida por BARNES (1964), DOSWELL (1977) e MADDOX (1980) onde o valor de um parâmetro f é estimado para o ponto de grade por:

$$f_o(I,J) = \frac{\sum_{n=1}^N W_n f_n(X,Y)}{\sum_{n=1}^N W_n} \quad (4.1)$$

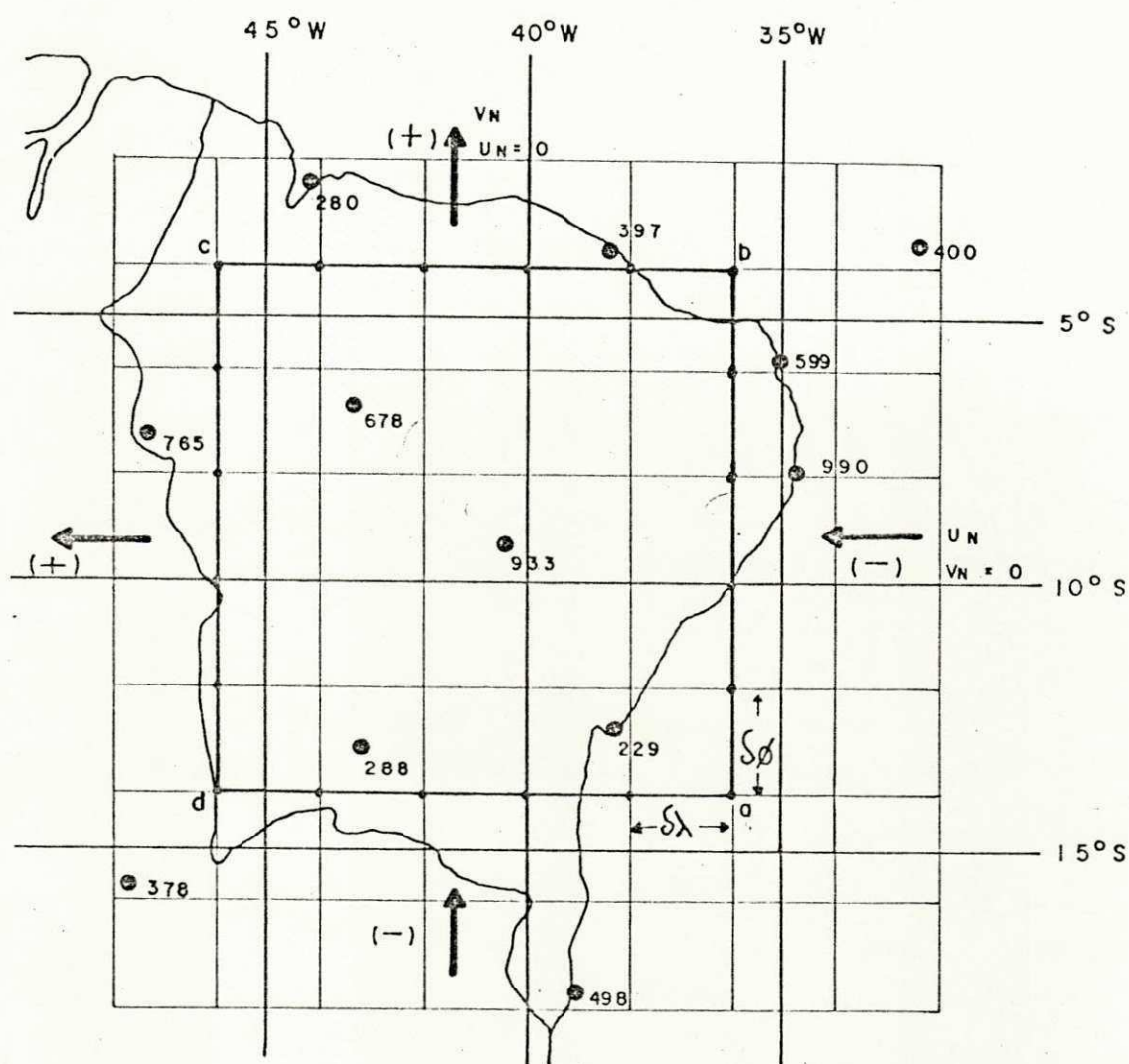
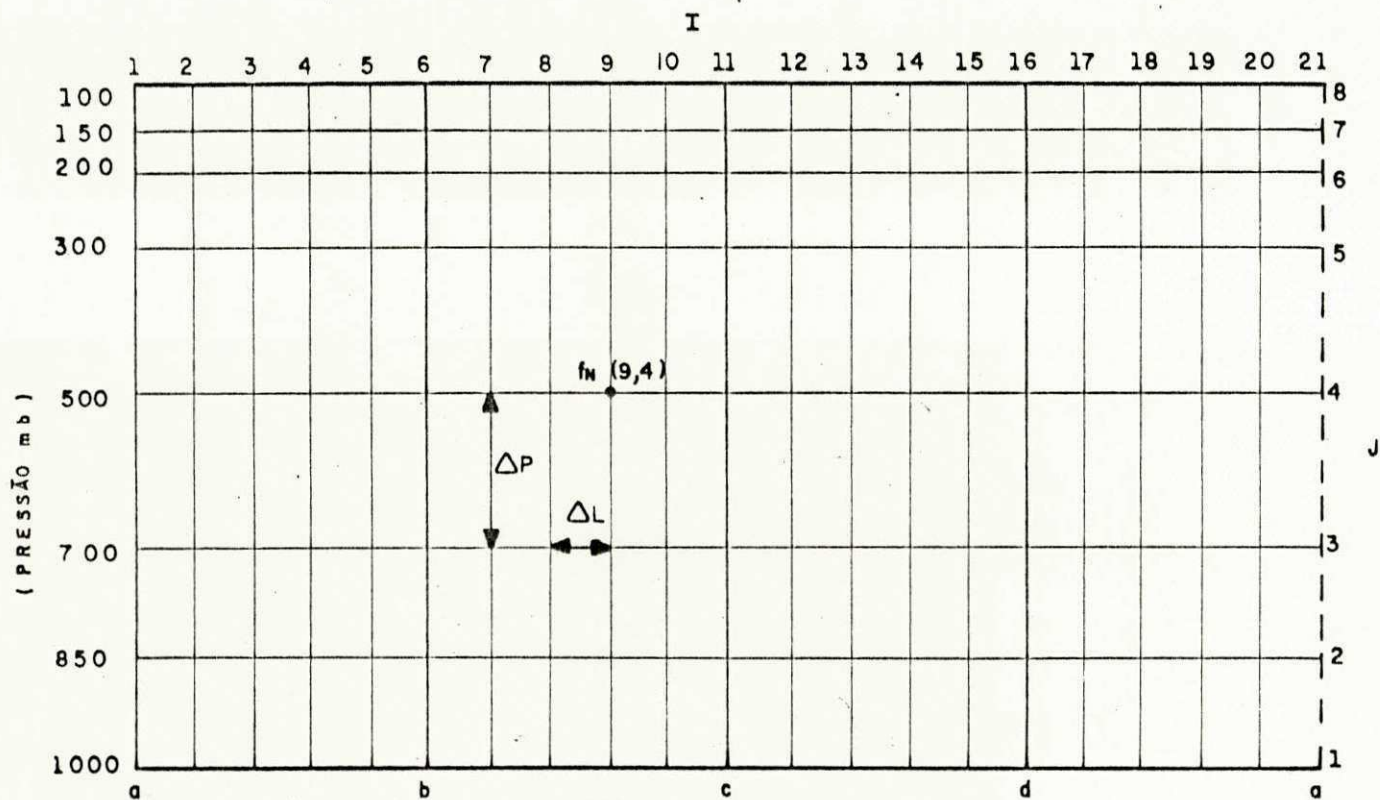


Fig. 4.7 - LOCALIZAÇÃO DO CONTOURO DESCRITO PELAS PROJEÇÕES DAS FACES VERTICAIS DO "CUBO" SOBRE O NE DO BRASIL E SEUS RESPECTIVOS PONTOS DE GRADE. TAMBÉM OS SENTIDOS (+) E (-) DAS COMPONENTES DO VENTO NORMAL V_N .



4.8 - MALHA DE PONTOS DE GRADE PARA A FACE LATERAL DO "CUBO" ONDE OS PONTOS A, B, C e D CORRESPONDEM A $(14^{\circ}\text{S}, 34^{\circ}\text{W})$, $(4^{\circ}\text{S}, 34^{\circ}\text{W})$, $(4^{\circ}\text{S}, 46^{\circ}\text{W})$ e $(14^{\circ}\text{S}, 46^{\circ}\text{W})$ RESPECTIVAMENTE.

onde W_n é uma função peso dado por:

$$W_n = \text{EXP} (-d_n^2/4C) \quad (4.2)$$

Sendo C um parâmetro do filtro, d_n a distância do ponto de grade horizontal para cada estação e N ($n = 1, 2, \dots, N$) e o número de estações que influenciam o cômputo do valor no ponto de grade horizontal.

Escolheu-se o valor de $C = 17.799$, tal que, para valores de comprimento de onda menores que 1.000 km é desejado que a amplitude de onda seja reduzida mais do que 50%.

4.5 - Ajustamento de massa.

A componente do vento normal a face lateral do "Cubo" em cada ponto da grade, foi ajustada de um certo δ para que os cálculos dos fluxos satisfaçam a continuidade de massa.

A velocidade normal ajustada V_N^* para cada ponto da grade é dada por;

$$V_N^* (I, J) = V_N (I, J) - \delta \quad (4.3)$$

onde δ foi determinado de forma iterativa até que fosse satisfeita a condição de continuidade de massa para um fluido incompressível, ou seja, que o fluxo lateral de massa no "Cubo" ficasse reduzido a zero.

A velocidade normal ajustada média para cada camada K , $V_N^* (K)$ é:

$$V_N^*(I,K) = \frac{1}{2} [V_N(I,K) + V_N(I,K+1) - 2\delta] \quad (4.4)$$

$$V_N^*(K) = \frac{1}{m} \left[\sum_{l=1}^m V_N^*(I,K) \right] \quad (4.5)$$

onde os índices $I = 1, 2, \dots, m$; $J = 1, 2, \dots, n$ e $K = 1, 2, \dots, n-1$, sendo m o número de pontos no contorno do "Cubo" (20) e n o número de pontos na vertical (8).

Este ajustamento se faz necessário devido à erros nas medições da intensidade e direção do vento, pela própria interpolação feita para os pontos da grade, como também por ter sido considerado o topo da atmosfera como sendo 100 mb.

4.6 - Avaliação dos fluxos.

Os termos das equações para os cálculos dos fluxos foram generalizados na forma:

$$D = \int_0 \left[\frac{1}{g} \int_{P_T}^{P_0} f_N dP \cdot dL \right] \quad (4.6)$$

onde f_N é uma função relativa ao parâmetro em questão, por exemplo, se o parâmetro for $(C_p T + \phi) \bar{V}_N$ este corresponderá ao f_N .

Agora, após se definir o parâmetro;

$$A = \frac{1}{g} \int_{P_{J+1}}^{P_J} f_N dP \quad (4.7)$$

e sendo $f_N(m+1, J) = f_N(1, J)$ a condição para fechar a face lateral do "Cubo", avaliou-se A para cada camada em cada ponto do contorno como:

$$A(l, K) = \frac{1}{2g} [f_N(l, K) + f_N(l, K+1)] \Delta P_{K, K+1} \quad (4.8)$$

o que leva a $A(m+1, K) = A(1, K)$.

Semelhantemente para a integração lateral do "Cubo" obtém-se;

$$B(l, K) = \frac{1}{2} [A(l, K) + A(l+1, K)] \Delta L_{l, l+1} \quad (4.9)$$

Logo, o fluxo de f_N para cada camada (K) será;

$$C(K) = \sum_{l=1}^m B(l, K) \quad (4.10)$$

e para o "Cubo" total;

$$D = \sum_{K=1}^{n-1} C(K) \quad (4.11)$$

onde $l = 1, 2, \dots, m$; $J = 1, 2, \dots, n$ e $K = 1, 2, \dots, n-1$, sendo m o número de pontos no contorno (20) e n o número de pontos na vertical (8).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, procura-se apresentar e discutir os resultados obtidos acerca da distribuição espacial de energia (para cada estação aerológica), da distribuição média de energia na região (média entre as estações aerológicas), como também da velocidade normal do vento, do fluxo lateral de massa e dos fluxos de energias estáticas seca, úmida e latente para o "Cubo" sobre o NE do Brasil nos meses típicos de janeiro, fevereiro e março obedecendo a seguinte sequência.

5.1 - Distribuição espacial de energia.

Através das tabelas A.1, A.2 e A.3 referentes ao apêndice A que mostram essencialmente os valores obtidos das energias estáticas seca ($C_p T + \phi$), úmida [$C_p T + \phi + Lq(T_d, P)$] e saturada [$C_p T + \phi + Lq_s(T, P)$] expressos em $KJ.Kg^{-1}$ para cada estação aerológica e para cada mês estudado que;

A energia estática seca não apresenta variações significativas de um local para o outro nem de mês para mês estudado, entretanto observa-se um gradiente vertical mais fraco nos níveis abaixo de 750 mb nas estações localizadas no litoral em relação às estações que se encontram no interior da região em todos os meses estudados.

Com relação à energia estática úmida, esta mostra-se coerente em ordem de grandeza e na distribuição vertical com os resultados obtidos por SILVA MARQUES et alii (1983),

apresentando para todas as estações aerológicas estudadas valores máximos nos baixos e altos níveis da troposfera e mínimos nos níveis médios.

Sendo a umidade atmosférica um parâmetro de maior variabilidade, ela é portanto o principal causador da variação na energia estática úmida ($C_p T + \phi + Lq$) nos níveis abaixo de 300 mb, de forma que no mês de fevereiro (chuvoso) de 1980 os valores obtidos apresentam-se maiores do que para o mês de janeiro (normal) e maiores ainda em relação a março (anômalo seco), ambos também de 1980. Isso é verdade praticamente para todas as estações aerológicas estudadas.

O exposto acima, pode ser observado de forma melhor através das figuras (Fig. A.1, A.2 e A.3) do apêndice A que mostram uma área hachureada compreendida entre as curvas de energias estáticas úmida e saturada para cada estação aerológica, significando que quanto menor for essa área mais próxima a atmosfera se encontra da saturação mantendo-se a temperatura e a pressão constantes. Em outras palavras, quanto menor for a área mais úmida se encontra a atmosfera. Observa-se que praticamente em todas as estações aerológicas a área hachureada correspondente ao mês de fevereiro (Fig. A.2) é menor que em março (Fig. A.3) ficando o mês de janeiro (Fig. A.1) em situação intermediária, de forma que fevereiro mostra-se mais úmido em relação aos outros dois meses.

O discutido anteriormente para cada estação de uma forma geral, pode ser interpretado de forma mais satisfatória quando se observa a média entre as estações, entendida

aqui como a média para a região. Nas Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 observa-se claramente que a energia estática seca praticamente não muda de mês para mês estudado. Por outro lado a energia estática úmida para fevereiro apresenta valores maiores que em janeiro e maiores ainda que em março, para praticamente todas as camadas abaixo de 300 mb.

Comparando as áreas compreendidas entre as curvas de energias estáticas úmida e saturada (Fig. 5.1) pode-se observar que fevereiro é mais úmido que janeiro e mais úmido que março. Porém, essas diferenças não são tão grandes para justificar a grande diferença em termos de precipitação.

Sendo

$$\begin{array}{ll} & > 0 \text{ estável} \\ \frac{d}{dz} (C_p T + \phi + Lq) & = 0 \text{ neutro} \\ & < 0 \text{ instável} \end{array}$$

um critério para se estudar a instabilidade estática, verifica-se que:

Nos três meses estudados a atmosfera sobre o NE do Brasil nos níveis abaixo de 600 mb apresenta-se instável, enquanto que para os níveis acima deste (níveis mais altos) encontra-se estável ver Fig. 5.1.

5.2 - Vento normal e fluxo lateral de massa.

A tabela 5.4 mostra os valores correspondentes à velocidade do vento ajustado normal à face lateral do "Cubo"

TABELA 5.1

ENERGIA ESTÁTICA MÉDIA MENSAL PARA A ATMOSFERA SOBRE O NORDESTE DO BRASIL EM KJ.Kg^{-1} PARA O MÊS DE JANEIRO DE 1980.

CAMADAS (mb)	$c_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}(T_d, P)$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}(T_d, P)$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s(T, P)$
SUP-850	294,18	12,38	37,47	306,56	344,03	354,99
850-700	285,71	22,96	22,36	308,67	331,03	341,82
700-500	274,32	44,34	10,28	318,66	328,94	339,27
500-300	253,81	76,30	2,84	330,11	332,95	337,55
300-200	229,87	108,40	—	338,27	338,27	338,27
200-150	212,25	130,65	—	342,20	349,90	349,90
150-100	200,04	150,93	—	350,97	350,97	350,97

TABELA 5.2

ENERGIA ESTÁTICA MÉDIA MENSAL PARA A ATMOSFERA SOBRE O NORDESTE DO BRASIL EM KJ.Kg^{-1} PARA O MÊS DE FEVEREIRO DE 1980.

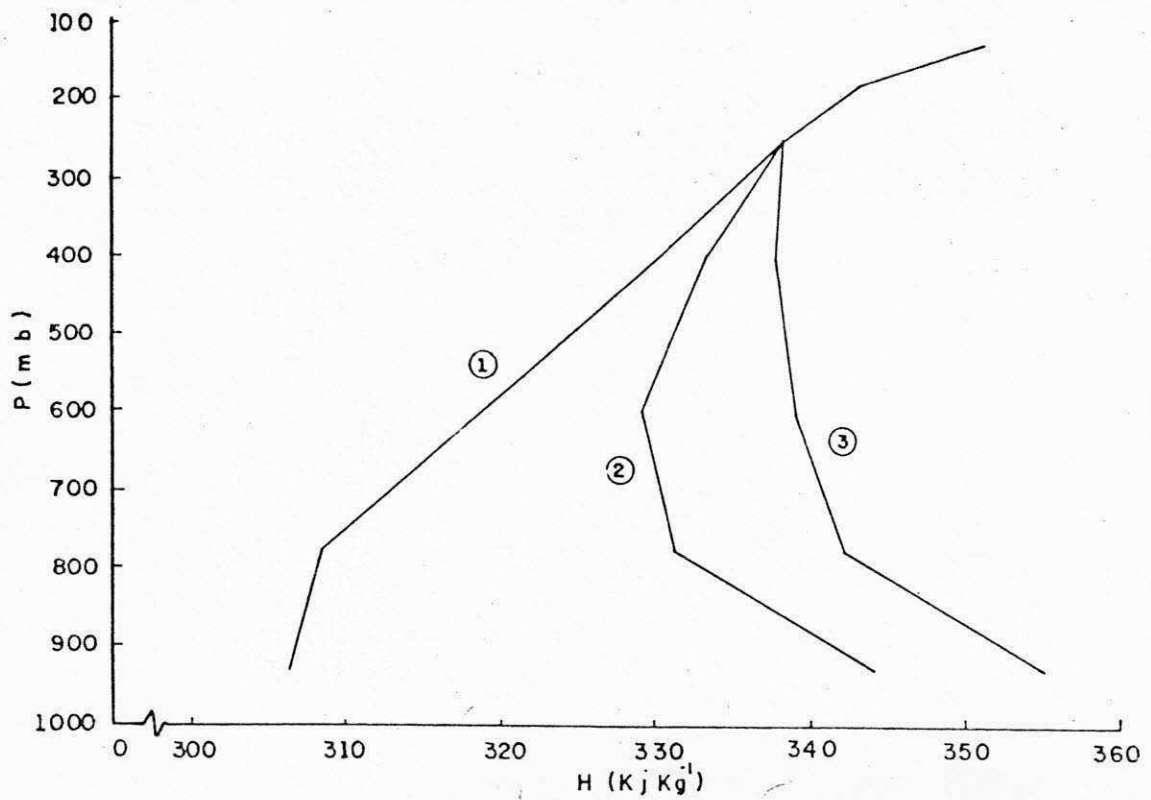
CAMADAS (mb)	$c_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}(T_d, P)$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}(T_d, P)$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s(T, P)$
SUP-850	293,45	12,27	37,76	305,72	343,48	352,03
850-700	285,63	22,87	24,01	308,50	332,51	341,46
700-500	274,41	44,25	12,60	318,66	331,26	339,32
500-300	254,21	76,33	4,23	330,54	334,77	338,19
300-200	230,39	108,55	—	338,94	338,94	338,94
200-150	213,14	130,83	—	343,97	343,97	343,97
150-100	200,94	151,12	—	352,06	352,06	352,06

TABELA 5.3

ENERGIA ESTÁTICA MÉDIA MENSAL PARA A ATMOSFERA SOBRE O NORDESTE DO BRASIL EM KJ.Kg^{-1} PARA O MÊS DE MARÇO DE 1980.

CAMADAS (mb)	$c_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}(T_d, P)$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}(T_d, P)$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s(T, P)$
SUP-850	293,66	12,33	36,31	305,99	342,30	352,95
850-700	285,62	22,99	22,01	308,61	330,62	341,62
700-500	274,54	44,37	9,73	318,91	328,64	339,69
500-300	254,17	76,47	2,50	330,64	333,14	338,45
300-200	230,00	108,64	—	338,64	338,64	338,64
200-150	212,72	130,90	—	343,62	343,62	343,62
150-100	200,68	151,19	—	351,87	351,87	351,87

(a)



(b)

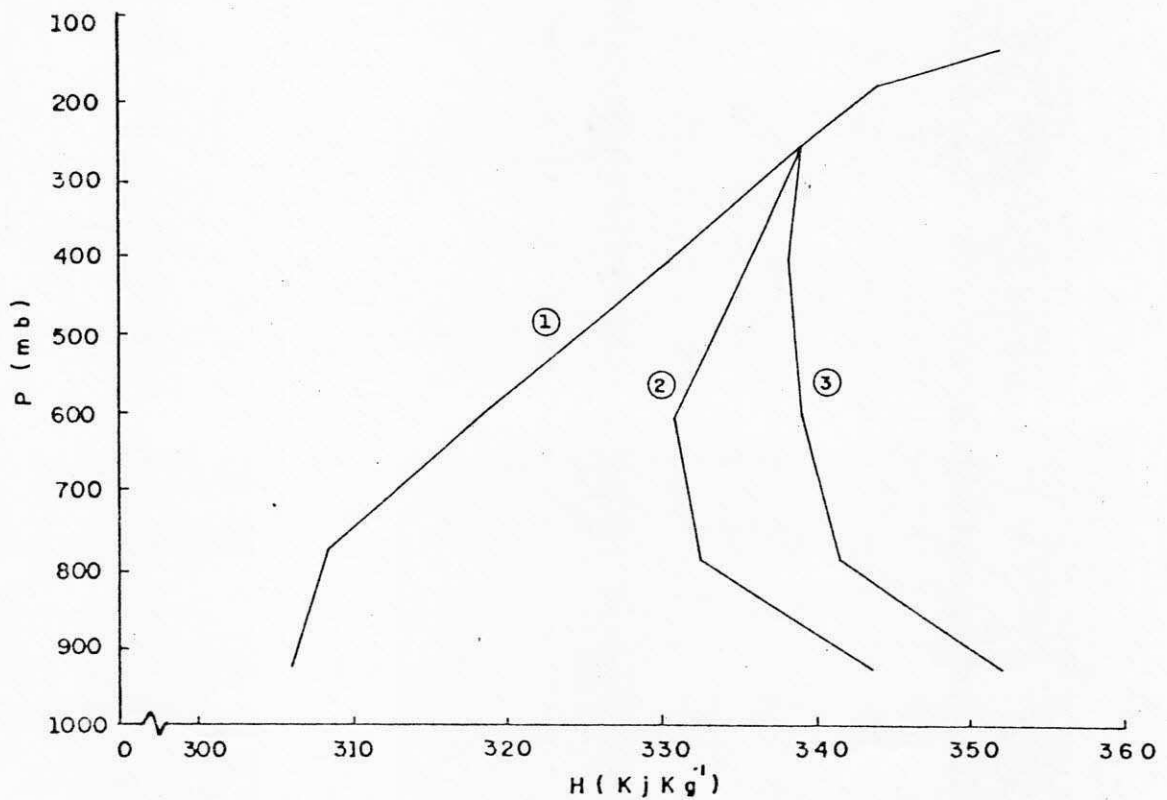


Fig. 5.1 - DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DAS ENERGIAS ESTÁTICAS
 1-SECA ($C_p \bar{T} + \bar{\phi}$), 2-ÚMIDA ($C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$) E
 3-SATURADA ($C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$) EM KJ.Kg^{-1} . MÉDIA
 MENSAL PARA O "CUBO" EM: (a) JANEIRO. (b) FE

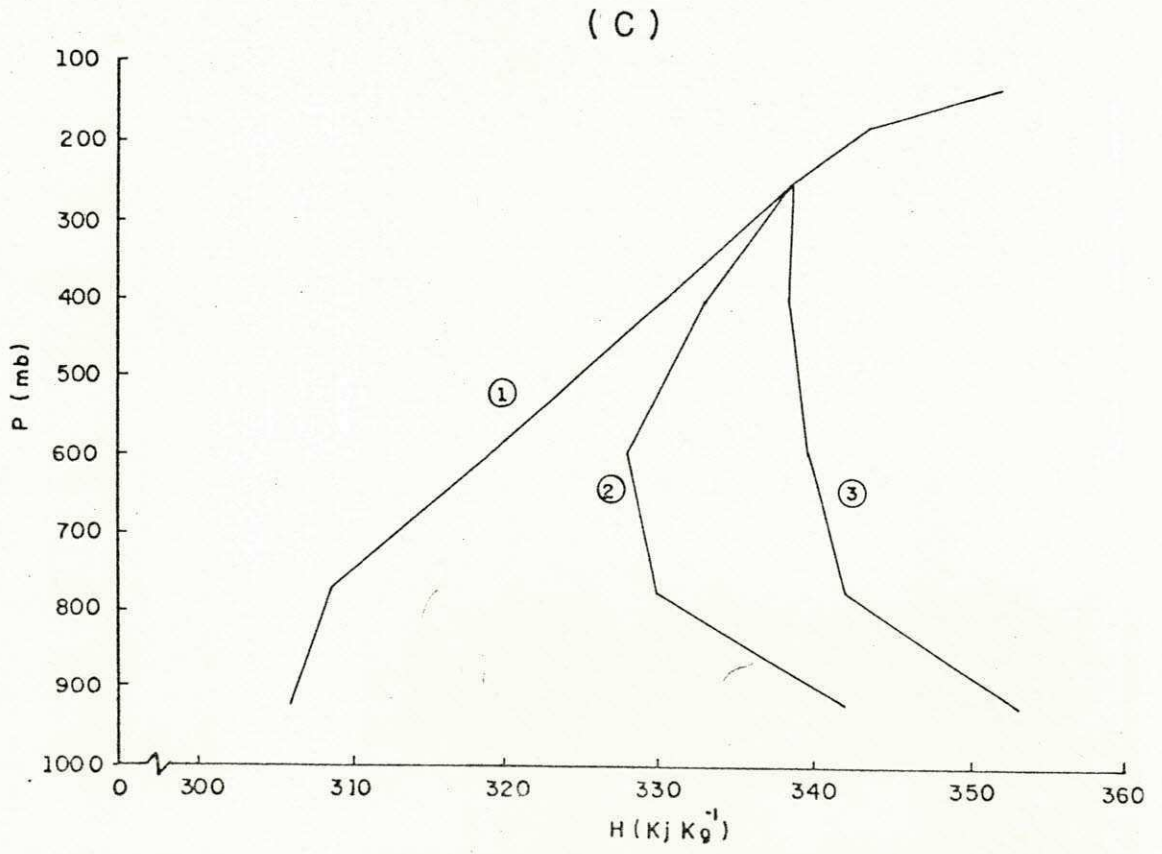


Fig. 5.1 - (Continuação)

TABELA 5.4

FLUXO LATERAL DE MASSA - FLM (10^8 Kg. s^{-1}) E VELOCIDADE NORMAL A JUSTADA - V_N^* (ms^{-1}), PARA O "CUBO" SOBRE O NE DO BRASIL NOS MESES DE JANEIRO, FEVEREIRO E MARÇO DE 1980.

CAMADAS (mb)	JANEIRO		FEVEREIRO		MARÇO	
	FLM	V_N^*	FLM	V_N^*	FLM	V_N^*
SUP-850	28,04	0,47	-50,93	-0,71	48,27	0,76
850-700	47,16	0,74	-62,64	-0,81	5,73	0,17
700-500	15,34	0,21	-46,77	-0,48	-38,96	-0,34
500-300	18,65	0,15	24,21	0,08	-46,51	-0,52
300-200	-50,03	-0,84	102,10	0,70	11,60	0,02
200-150	-34,38	-1,90	28,05	0,75	18,81	0,69
150-100	-24,78	-1,27	5,98	0,06	1,06	0,03
IMPORTAÇÃO	-109,19		-160,34		-85,47	
EXPORTAÇÃO	109,19		160,34		85,47	
T O T A L	0,0		0,0		0,0	

V_N^* ($m \cdot s^{-1}$) e o fluxo lateral de massa FLM (10^8 Kg^{-1}) para cada camada da atmosfera nos meses de janeiro, fevereiro e março de 1980.

Observa-se que a velocidade normal ajustada para o mês de janeiro é positiva (para fora do "Cubo") nas camadas SUP-850, 850-700, 700-500 e 500-300 mb e negativa (para dentro do "Cubo") nas camadas 300-200, 200-150 e 150-100 mb. Logo verifica-se velocidade normal para dentro do "Cubo" nos níveis altos e saindo deste nos níveis médios e baixos da troposfera. Sendo a velocidade normal proporcional ao FLM, este apresenta importação de massa nos níveis altos e exportação nos níveis médios e baixos.

No mês de fevereiro de 1980 observa-se velocidade normal ajustada negativa nas camadas SUP-850, 850-700 e 700-500 mb e positiva nas camadas 500-300, 300-200, 200-150 e 150-100 mb. Logo existe para este mês velocidade normal para dentro do "Cubo" nos baixos níveis e para fora nos níveis altos, de forma que o FLM apresenta importação nos baixos níveis e exportação nos níveis altos.

O mês de março de 1980 apresenta uma velocidade ajustada positiva nas camadas SUP-850, 850-700 mb e negativa em 700-500 e 500-300 mb retornando a positiva em 300-200, 200-150 e 150-100 mb. Resumindo-se, tem-se que na baixa e alta troposfera a velocidade normal ajustada é para fora do "Cubo", já na média troposfera é para dentro. De forma semelhante, o FLM mostra exportação de massa nos altos e baixos níveis e importação nos níveis médios.

Através da Fig. 5.2, observa-se com mais clareza o que foi discutido anteriormente com relação a velocidade normal ajustada, como também é possível se comparar a componente do vento normal (média em cada camada) com a componente normal ajustada. Percebe-se que a diferença é insignificante uma vez que este ajustamento praticamente não altera as linhas de correntes associadas aos campos de vento. Vale salientar que o valor do δ para fevereiro foi o maior encontrado ($\delta=0,30$), mesmo assim é um valor que não compromete os resultados.

Com base nos resultados discutidos anteriormente e sabendo-se que exportação está associado à divergência e importação a convergência, conclui-se que realmente existe uma condição dinâmica favorável à precipitação no mês de fevereiro com convergência de massa nos níveis baixos e médios e divergência nos níveis altos da troposfera. Devido à continuidade de massa, convergência nos baixos níveis gera movimento vertical ascendente favorecendo desta forma o desenvolvimento de nuvens capazes de produzir precipitação desde que haja umidade suficiente, o que já foi de certa forma comprovado.

No mês de março aparece um efeito dinâmico inibidor de precipitação em concordância com resultados anteriores obtidos por SILVA MARQUES (1981) e SILVA MARQUES et alii (1983) para um trimestre seco e para uma estação seca, com convergência de massa nos níveis médios e divergência nos baixos e altos níveis, acarretando um movimento vertical descendente nos baixos níveis eliminando a possibilidade de formação de nuvens suficientemente desenvolvidas ao ponto de gerar precipitação. A convergência nos níveis médios poderia favorecer a formação

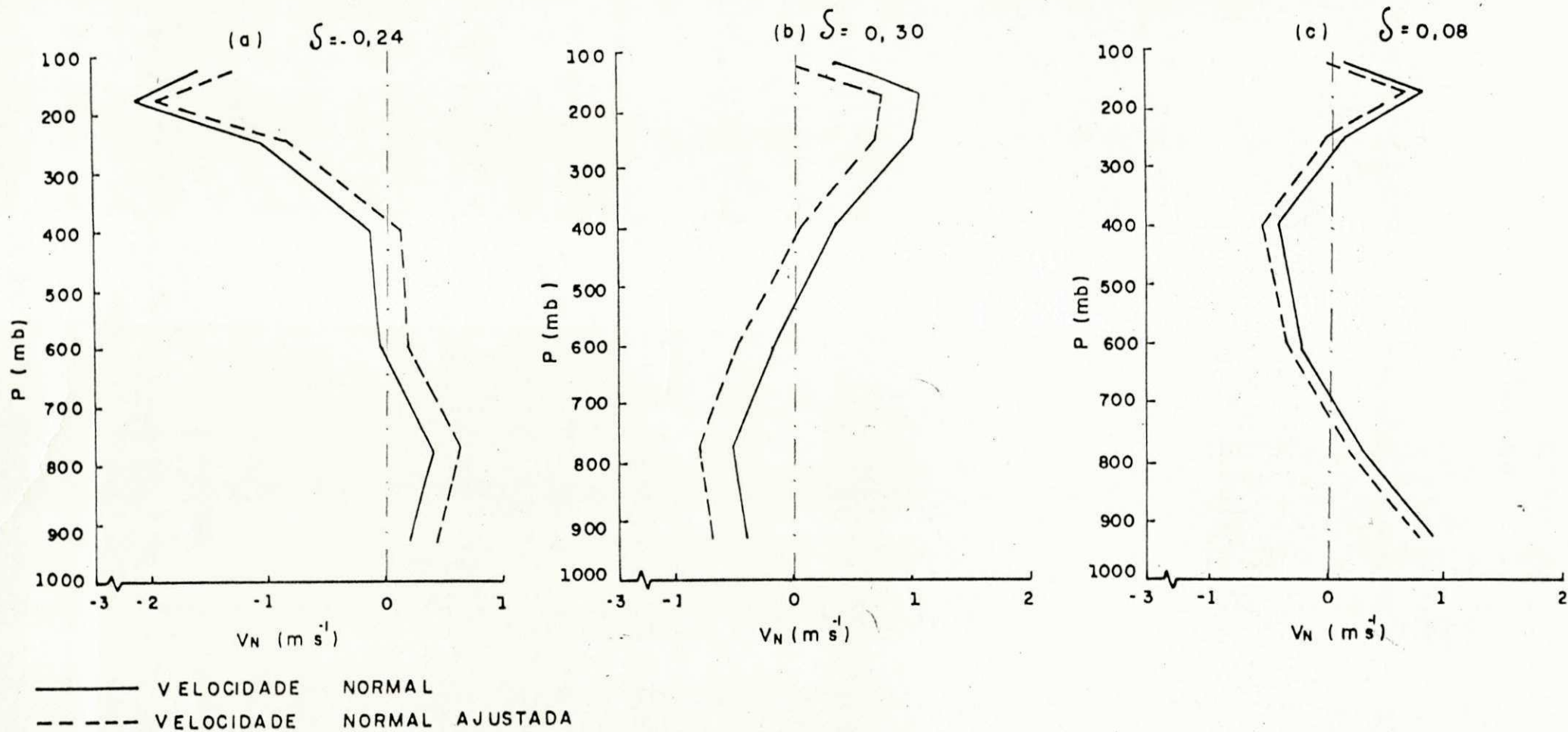


Fig. 5.2 - DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DA VELOCIDADE NORMAL MÉDIA MENSAL ($m s^{-1}$), PARA O "CUBO" EM: (a) JANEIRO, (b) FEVEREIRO e (c) MARÇO DE 1980.

de nuvens capazes de produzir chuva mas isso parece não ocorrer porque a umidade nestes níveis é bastante baixa.

Para janeiro, considerado normal em relação ao total mensal de precipitação, não se observa um efeito dinâmico em concordância a tais considerações. Admite-se que isso ocorre em virtude das chuvas desse mês terem acontecido em poucos dias com intensidades razoáveis, fazendo com que o total mensal de precipitação ficasse próximo da média climatológica da região. Assim, este efeito quando comparado a um efeito médio, no caso o FLM, fica descaracterizado, ou seja, o estado médio do campo do vento não é representativo para produzir efeito dinâmico que seja responsável pelo total mensal de precipitação do mês de janeiro de 1980.

No intuito de mostrar de forma mais clara os resultados referentes ao FLM apresentados pelo modelo, construiu-se um esquema gráfico onde mostra-se o comportamento do fluxo de massa no "Cubo" em três camadas SUP-700, 700-300 e 300-100 mb correspondendo às camadas baixa, média e alta da troposfera (Fig. 5.3) para os meses em questão.

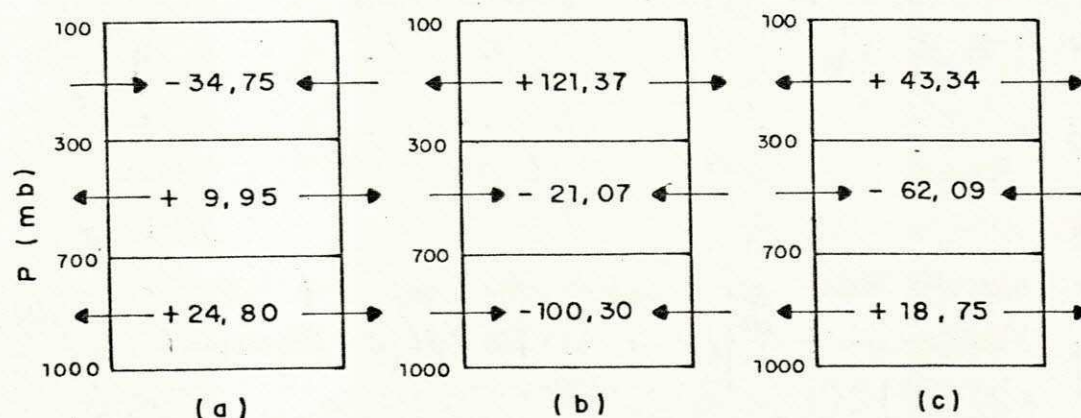


Fig. 5.3 - ESQUEMA GRÁFICO DO FLUXO LATERAL DE MASSA FLM (10^8 Kg.s^{-1}) PARA OS MESES DE (a) JANEIRO,

(b) FEVEREIRO E (c) MARÇO DE 1980 MOSTRANDO IMPORTAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MASSA NOS NÍVEIS BAIXOS, MÉDIOS E ALTOS PARA O "CUBO" DO NE BRASILEIRO.

5.3 - Fluxo lateral de energia estática.

Os resultados referentes aos fluxos de energias estáticas seca, úmida e latente para o "Cubo" do NE, nos meses de janeiro, fevereiro e março de 1980 são apresentados na seguinte ordem:

Para janeiro (normal), a tabela 5.5 mostra valores correspondentes aos fluxos de energias estáticas (a) seca, (b) latente e (c) úmida, onde a parte total é separada em média e transiente, sendo a parte média a maior responsável pelo transporte de todos os tipos de energias citados.

O fluxo de energia estática seca total apresenta exportação nas camadas SUP-850, 850-700, 700-500 e 500-300 mb e importação nas camadas 300-200, 200-150 e 150-100 mb onde na intergração vertical mostra uma importação igual a $-39,15 \times 10^{13} \text{J.S}^{-1}$.

O fluxo de energia latente total para este mês indica exportação nas camadas baixas até a camada 500-300 mb. Acima desta camada o fluxo é nulo devido a não existência de umidade atmosférica. A integração vertical apresenta uma exportação igual a $41,68 \times 10^{13} \text{J.S}^{-1}$, significando que em janeiro de 1980 a atmosfera do NE comportou-se como fonte de vapor d'água.

A energia estática úmida total apresenta exportação nas camadas baixas até a camada 500-300 mb e importação acima desta. A integração vertical revela uma exportação igual a $2,53 \times 10^{13} \text{J.S}^{-1}$.

Para fevereiro (chuvoso) a tabela 5.6 apresenta os valores dos fluxos de energias estática (a) seca, (b) latente e (c) úmida para o "Cubo", onde também a parte média é a principal responsável pelo transporte das energias citadas.

O fluxo de energia estática seca total mostra importação nas camadas SUP-850, 850-700 e 700-500 e exportação em 500-300, 300-200, 200-150 e 150-100 mb. Na integração vertical tem-se uma exportação de $41,88 \times 10^{13} \text{J.S}^{-1}$.

O fluxo da energia latente total representa importação nas camadas baixas até a camada 500-300 mb. Na integração vertical este fluxo corresponde a uma importação de $-32,52 \times 10^{13} \text{J.S}^{-1}$, constituindo-se num sumidouro de vapor d'água, principalmente em virtude da condensação com a conseqüente conversão de energia da forma latente para sensível.

O fluxo de energia estática úmida total indica importação nas camadas baixas até 500-300 mb e exportação acima destas. A integração vertical corresponde a uma exportação de $9,36 \times 10^{13} \text{J.S}^{-1}$.

Para março (anômalo seco) a tabela 5.7 dá os valores correspondentes aos fluxos de energias estáticas (a) seca, (b) latente e (c) úmida para o "Cubo". Como nos casos anteriores a parte média é a principal responsável para o transporte de energia.

TABELA 5.5

FLUXOS DE (a) $C_p T + \phi$, (b) Lq e (c) $C_p T + \phi + Lq$ EM (10^{13} J.s^{-1})
PARA O "CUBO" SOBRE O NE DO BRASIL EM JANEIRO DE 1980.

(a)

CAMADAS (mb)	MÉDIO	TRANSIENTE	T O T A L
SUP-850	85,09	0,12	85,21
850-700	144,80	0,03	144,83
700-500	47,63	-0,58	47,05
500-300	62,04	-1,04	61,00
300-200	-170,97	-2,11	-173,08
200-150	-117,27	-0,53	-117,80
150-100	-86,22	-0,14	-86,36
SUP-100	-34,90	-4,25	-39,15

(b)

CAMADAS (mb)	MÉDIO	TRANSIENTE	T O T A L
SUP-850	10,61	1,12	11,73
850-700	19,62	1,21	20,83
700-500	7,41	0,84	8,25
500-300	0,40	0,47	0,87
300-200	—	—	—
200-150	—	—	—
150-100	—	—	—
SUP-100	38,04	3,64	41,68

(c)

CAMADAS (mb)	MÉDIO	TRANSIENTE	T O T A L
SUP-850	95,70	1,24	96,94
850-700	164,42	1,24	165,66
700-500	55,04	0,26	55,30
500-300	62,44	-0,57	61,87
300-200	-170,97	-2,11	-173,08
200-150	-117,27	-0,53	-117,80
150-100	-86,22	-0,14	-86,36
SUP-100	3,14	-0,61	2,53

TABELA 5.6

FLUXOS DE (a) $C_p T + \phi$, (b) $Lq E$ (c) $C_p T + \phi + Lq E$ EM ($10^{13} \cdot J \cdot S^{-1}$)
PARA O "CUBO" SOBRE O NE DO BRASIL EM FEVEREIRO DE 1980.

(a)

CAMADAS (mb)	MÉDIO	TRANSIENTE	T O T A L
SUP-850	-156,35	-0,76	-157,11
850-700	-193,65	-0,23	-193,88
700-500	-146,79	-0,10	-146,89
500-300	80,99	-1,14	79,85
300-200	346,03	-1,56	344,47
200-150	95,96	-0,48	95,48
150-100	20,33	-0,37	19,96
SUP-100	46,52	-4,64	41,88

(b)

CAMADAS (mb)	MÉDIO	TRANSIENTE	T O T A L
SUP-850	-18,66	-0,15	-18,81
850-700	-11,95	1,58	-10,37
700-500	-6,86	2,92	-3,94
500-300	-0,36	0,96	0,60
300-200	—	—	—
200-150	—	—	—
150-100	—	—	—
SUP-100	-37,83	5,31	-32,52

(c)

CAMADAS (mb)	MÉDIO	TRANSIENTE	T O T A L
SUP-850	-175,01	-0,91	-175,92
850-700	-205,60	1,35	-204,25
700-500	-153,65	2,82	-150,83
500-300	80,63	-0,18	80,45
300-200	346,03	-1,56	344,47
200-150	95,96	-0,48	95,48
150-100	20,33	-0,37	19,96
SUP-100	8,69	0,67	9,36

TABELA 5.7

FLUXOS DE (a) $C_p T + \phi$, (b) $Lq E$ (c) $C_p T + \phi + Lq E$ (10^{13} J.s^{-1})
 PARA O "CUBO" SOBRE O NE DO BRASIL EM MARÇO DE 1980.

(a)

CAMADAS (mb)	MÉDIO	TRANSIENTE	T O T A L
SUP-850	147,89	-0,15	147,74
850-700	17,40	0,13	17,53
700-500	-124,85	-0,01	-124,86
500-300	-153,79	-0,64	-154,43
300-200	40,49	-0,43	40,06
200-150	64,95	0,01	64,96
150-100	3,92	0,02	3,94
SUP-100	-3,99	-1,07	-5,06

(b)

CAMADAS (mb)	MÉDIO	TRANSIENTE	T O T A L
SUP-850	17,58	-0,61	16,97
850-700	7,47	-1,10	6,37
700-500	-0,08	-0,34	-0,42
500-300	-0,40	0,43	0,03
300-200	—	—	—
200-150	—	—	—
150-100	—	—	—
SUP-100	24,57	-1,62	22,95

(c)

CAMADAS (mb)	MÉDIO	TRANSIENTE	T O T A L
SUP-850	165,47	-0,76	164,71
850-700	24,87	-0,97	23,90
700-500	-124,93	-0,35	-125,28
500-300	-154,19	-0,21	-154,40
300-200	40,49	-0,43	40,06
200-150	64,95	0,01	64,96
150-100	3,92	0,02	3,94
SUP-100	20,58	-2,69	17,89

O fluxo de energia estática seca total indica exportação nas camadas SUP-850 e 850-700 mb e importação em 700-500 e 500-300 mb, retornando a exportação em 300-200, 200-150 e 150-100 mb. Na integração vertical tem-se importação igual $-5,06 \times 10^{13} \text{J.S}^{-1}$.

O fluxo de energia latente total para este mês, corresponde a exportação em SUP-850 e 850-700 mb e pequena importação em 700-500 mb voltando a ter também pequena exportação em 500-300 mb. A integração vertical mostra uma exportação igual a $22,95 \times 10^{13} \text{J.S}^{-1}$, significando que a evaporação prevaleceu sobre a precipitação em março de 1980.

O fluxo de energia estática úmida total apresenta exportação nas camadas baixas e altas e importação nas camadas médias. A integração vertical revela uma exportação igual a $17,89 \times 10^{13} \text{J.S}^{-1}$ para março de 1980.

Comparando os resultados referentes aos fluxos de energia estática total dos meses em questão, observa-se que:

Nos meses de janeiro e março ha importação de calor sensível, logo é de se pensar que ocorra um aquecimento considerável no "Cubo", mas isto não ocorre na realidade, haja vista que esta energia importada é usada em parte no processo de evaporação e em parte também na conversão em energia cinética, que praticamente é dissipada pela fricção, sendo que a energia cinética e de dissipação friccional não foram levadas em conta neste trabalho. Isto de certa forma se confirma quando observa-se o fluxo de energia latente, que apresenta exportação. Pela equação (3.7) pode-se concluir que há um excesso

de evaporação sobre a precipitação nos meses de janeiro e março de 1980, sendo que em janeiro isso ocorre com mais intensidade.

No mês de fevereiro ocorre o inverso. Há exportação de calor sensível mas não ocorre grande resfriamento no "Cubo" tendo em vista que para fevereiro, mês considerado chuvoso, ocorre conversão de energia latente em sensível por condensação, que tende a equilibrar o sistema. Também é possível comprovar isso quando se olha para o fluxo de calor latente o qual indica importação. Pela equação (3.7) pode-se concluir que em fevereiro de 1980 houve um excesso de precipitação sobre a evaporação, com conseqüente conversão de energia latente em sensível.

Tendo-se em vista os resultados encontrados e considerando-se as limitações impostas pela metodologia utilizada, pode-se evidenciar os seguintes pontos mais importantes, referentes a este capítulo.

Não existe diferença considerável na energia estática seca na atmosfera sobre o Nordeste do Brasil entre os três meses estudados: janeiro (normal), fevereiro (chuvoso) e março (anômalo seco).

As diferenças de umidade mês a mês, observadas a través das energias estáticas úmida e saturada, não são tão grandes para justificar a grande diferença em termos de precipitação. Em vista disto, julgou-se haver um efeito dinâmico capaz de melhor explicar tal diferença na precipitação.

Procurando-se os efeitos dinâmicos, o fluxo late

ral de massa indica haver um efeito favorável à precipitação em fevereiro e desfavorável em março, sendo que em janeiro não há igual efeito dinâmico. Admite-se que isto se verifica em virtude das chuvas de janeiro ocorrerem em poucos dias do mês e mais na parte sul da região, que segundo KOUSKY (1979) es tão inteiramente relacionados com as penetrações de frentes frias oriundas do sul do continente.

Estes resultados comprovam a hipótese de que as condições dinâmicas são mais importantes que as termodinâmicas para a caracterização do período seco ou chuvoso na região Nordeste do Brasil, como também a afirmação de ARAGÃO (1975) de que durante os períodos de seca nesta região há suficiente umi dade nos baixos níveis da atmosfera mas en ex iste um mecanismo dinâmico capaz de provocar movimentos ascendentes que tenham como resultado formação de nuvens suficientemente desenvolvi das para produzir precipitação.

A convergência em níveis médios, encontrada no presente trabalho, parece ser um mecanismo dinâmico inibidor da precipitação. Este mesmo resultado já foi encontrado ante riormente para médias trimestrais por SILVA MARQUES (1981).

Os fluxos de energias estáticas indicam que o NE constitui-se em fonte de vapor d'água no mês de janeiro carac terizando um excesso de evaporação sobre a precipitação cerca de $11,7 \text{ mm dia}^{-1}$. O mesmo ocorre em março sendo que em menor intensidade, cerca de $6,4 \text{ mm dia}^{-1}$. Em fevereiro o NE compor ta-se como sumidouro comprovando a caracterização deste mês de chuvoso pois ocorre um excesso da precipitação sobre a eva poração, cerca de $9,1 \text{ mm dia}^{-1}$.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com base nos resultados discutidos no capítulo anterior, chega-se às seguintes conclusões relevantes:

1. A energia estática seca, praticamente não apresenta diferença entre os meses estudados, entretanto observa-se um gradiente vertical mais fraco nos níveis abaixo de 750 mb nas estações localizadas no litoral em relação as que se encontram no interior da região em todos os meses estudados.

2. As diferenças observadas através das energias estáticas úmida e saturada, não são tão grandes para justificar a grande diferença em termos de precipitação, muito embora verifica-se que:

a - A energia estática úmida nos níveis abaixo de 300 mb, apresentam valores um pouco maiores em fevereiro (chuvoso) do que em março (anômalo seco), ficando janeiro (normal) em situação intermediária.

b - O mês de fevereiro mostra-se um pouco mais úmido que janeiro e um pouco mais que março.

c - A atmosfera encontra-se instável abaixo de 600 mb e estável acima deste para os três meses estudados.

3. Os efeitos dinâmicos são os principais responsáveis para estimular ou inibir a precipitação na região Nordeste do Brasil, concorrendo com ARAGÃO (1975), de forma que:

- a - Em fevereiro ocorre convergência de massa nos níveis baixos, associado a movimento vertical ascendente favorecendo a precipitação.
- b - Em março ocorre divergência de massa nos baixos níveis, convergência nos níveis médios associado a movimento vertical descendente inibindo a precipitação.
- c - Em janeiro admite-se que o principal efeito dinâmico favorável à precipitação, principalmente ao sul da região, são as penetrações de frentes frias oriundas do sul do continente (KOUSKY - 1979).

4. Os fluxos médios são os que mais contribuem para o transporte das energias estáticas seca, úmida e latente.

5. A atmosfera sobre a Região Nordeste do Brasil comporta-se como fonte de energia latente conseqüentemente como fonte de vapor d'água no mês seco e normal e como sumidouro no mês chuvoso.

Para trabalhos futuros é interessante estudar o comportamento diário dos parâmetros de energia estática procurando formalizar maiores conhecimentos da energética da atmosfera do Nordeste do Brasil. Para isto deve-se adicionar as seguintes preocupações:

- a - Procurar aperfeiçoar a técnica da análise objetiva afim de proceder uma interpolação mais aproximada da distribuição real.

- b - Utilização de dados extraídos de observações feitas por satélites meteorológicos, afim de cobrir as lacunas em áreas onde não sejam feitas observações convencionais.
- c - Incluir os efeitos da orografia na superfície do planeta no campo do vento.
- d - Procurar avaliar os erros inerentes para um melhor ajuste do modelo.

#

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALESTALO, M., 1981. The energy budget of the earth-atmosphere system in Europe. *TELLUS* 33, No. 4, (360-371).
- ANJANEYULU, T.S.S., 1969. On the estimates of heat and moisture over the Indian monsoon though zone. *TELLUS* 21, No. 1, (64-74).
- ARAGÃO, J.O.R., 1975. *Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil*. Tese de Mestrado em Meteorologia - São José dos Campos - SP. INPE. 47p.
- ARAÚJO, M.A.A.; RATHOR, H.S.; MELLO, C.C.; CAVALCANTI, E.P.; LIMA, J.F.; SOBRAL, Z.R. e FILHO, M.F.G., 1985. *Um estudo da divergência e do fluxo de vapor d'água para períodos típicos (secos e chuvosos) sobre a região Nordeste do Brasil*. Relatório de Pesquisa - Convênio CNPq-UFPb/CCT/NMA - Campina Grande - Pb. 104p.
- AUGSTEIN, E.; RIEHL, H; OSTAPOFF, F. and WAGNER, V., 1973. Mass and energy transports in an undisturbed Atlantic Trad-Wind flow. *Monthly Weather Review* 101, No. 2, (101-111).
- BARNES, S.L., 1974. A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. *J. Appl. Meteor.*, 3, (396-409).
- BENTON, G.S. and ESTOQUE, M.A., 1954. Water vapour transfer over North American Continent. *J. Meteor.* 11, (462-477).
- DOSWELL, C.A., 1977. Obtaining meteorologically significant surface divergence fields through the filtering property of objective analysis. *Monthly Weather Review*, 105, (885-892).

GOMES FILHO, M.F., 1979. *Um estudo sobre a influência do albêdo diferencial e da orografia na circulação atmosférica: Uma aplicação para o Nordeste Brasileiro*. Tese de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 93p.

HANTELL, M. and BAADER, H., 1978. Diabatic heating climatology of the zonal atmosphere. *J. Atmos. Sci.* 35, (1180-1189).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 1980. *IX Recenseamento Geral do Brasil*. Censo Demográfico de 1980. Resultados Preliminares, 81p.

KOUSKY, V.E., 1979. Frontal influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 107, No. 9, (1140-1153).

LORENZ, E.N., 1967. *The Nature and theory of the general circulation of the atmosphere*. WMO. No. 218, TP 115, 161p.

MADDOX, R.A., 1980. An objective technique for separating macroscale and mesoscale features in meteorological data. *Monthly Weather Review*, 108 (1108-1121).

NEWELL, R.E; KIKSON, J.W.; VICENT, D.G; and BOER, G.J., 1974. *The general circulation of the tropical atmosphere*. Cambridge, MIT. PRESS, V. 2, 377p.

PALNEN, E., 1958. Vertical circulation and release of kinetic energy during the development of Hurricane "Hazel" into an extratropical storm, *TELLUS* 10, No. 1, (1-24).

PEIXOTO, J.P., 1965. *On the role of water vapor in the energetics of the general circulation of the atmosphere*. Separata de Portugalie Physica, V.4, FASC. II Lisboa. (135-170).

- RAO, V.B. and BRITO, J.I.B., 1984. *Interrannual variations of rainfall in Northeast Brazil and their connections with the large scale features*. Second WMO Symposium on Tropical Droughts, Fortaleza 24-28 September.
- RIEHL, H. and MALKUS, J.S., 1958. On the heat balance in the equatorial trough zone. *Geophysica*, No. 6, (504-538).
- SILVA MARQUES, V., 1981. *Estudos da energética e do fluxo de vapor d'água na atmosfera sobre o Nordeste Brasileiro*. Tese de Doutorado em Meteorologia. São José dos Campos-SP. INPE, 182p.
- SILVA MARQUES, V.; RAO, V. B. and MOLION, L. C. B., 1983. Interannual and seasonal variations in the structure and energetics of atmosphere over Northeast Brazil. *TELLUS* 35, No. 2, (136-148).
- STRANG, D.M.G., 1972. *Análise climatológica das normais pluviométricas do Nordeste do Brasil*. São José dos Campos. CTA/IAE, 70p.

APÊNDICE - A

TABELAS E FIGURAS APRESENTANDO A DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE ENERGIA ESTÁTICA PARA AS ESTAÇÕES AEROLÓGICAS UTILIZADAS NO ESTUDO, EM JANEIRO, FEVEREIRO E MARÇO DE 1980.

TABELA A.1

ENERGIA MÉDIA MENSAL DA ATMOSFERA (KJ.Kg^{-1}) PARA CADA ESTAÇÃO AEROLÓGICA EM ESTUDO. MÊS DE JANEIRO DE 1980.

82280 - SÃO LUIS (SL)

CAMADAS (mb)	$c_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	295,03	12,36	42,01	307,39	349,40	357,96
850-700	286,48	22,92	26,12	309,39	355,51	344,24
700-500	274,71	44,28	14,02	318,99	333,01	340,11
500-300	254,31	76,37	4,99	330,68	335,67	338,34
300-200	230,26	108,58	—	338,84	338,84	338,84
200-150	212,18	130,81	—	342,99	342,99	342,99
150-100	198,13	151,19	—	349,31	349,31	349,31

82297 - FORTALEZA (FZ)

CAMADAS (mb)	$c_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	294,30	12,40	36,10	306,70	342,80	355,82
850-700	285,52	22,94	20,73	308,46	329,19	341,12
700-500	274,81	44,27	9,31	319,08	328,38	340,43
500-300	254,15	76,38	2,30	330,53	332,83	338,28
300-200	230,19	108,57	—	338,76	338,76	338,76
200-150	212,39	130,74	—	343,13	343,13	343,13
150-100	199,91	151,14	—	351,05	351,05	351,05

82599 - NATAL (NT)

CAMADAS (mb)	$c_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	294,92	12,37	34,52	307,29	341,81	358,51
850-700	285,48	22,91	18,37	308,39	326,76	340,86
700-500	274,13	44,23	8,29	318,35	326,64	338,75
500-300	253,34	76,26	2,43	329,61	332,03	336,78
300-200	229,66	108,42	—	338,08	338,08	338,08
200-150	212,60	130,64	—	343,24	343,24	343,24
150-100	200,62	151,14	—	351,76	351,76	351,76

TABELA A.1 (continuação)

82400 - FERNANDO DE NORONHA (FN)

CAMADAS (mb)	$C_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	294,34	12,45	37,73	306,79	344,52	355,56
850-700	286,00	23,09	19,82	309,09	328,92	342,75
700-500	274,21	44,43	7,62	318,64	326,26	339,42
500-300	253,91	76,39	2,02	330,30	332,32	337,48
300-200	230,53	108,65	—	339,18	339,18	339,18
200-150	213,08	131,10	—	344,18	344,18	344,18
150-100	201,64	151,70	—	353,34	353,34	353,34

82678 - FLORIANO (FR)

CAMADAS (mb)	$C_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	293,51	12,33	39,44	305,84	345,29	351,56
850-700	285,57	22,89	27,36	308,46	335,82	341,37
700-500	274,07	44,18	12,40	318,26	330,65	338,39
500-300	253,10	76,02	2,54	329,13	331,67	336,51
300-200	228,55	107,64	—	336,19	336,19	336,19
200-150	210,98	129,93	—	340,91	340,91	340,91
150-100	198,79	148,96	—	347,75	347,75	347,75

82900 - RECIFE (RF)

CAMADAS (mb)	$C_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	294,41	12,54	35,83	306,95	342,78	365,56
850-700	285,77	23,02	19,76	308,79	328,55	342,05
700-500	274,66	44,34	7,71	319,00	326,71	340,63
500-300	253,58	76,36	1,84	329,93	331,78	337,29
300-200	229,79	108,50	—	338,29	338,29	338,39
200-150	212,89	130,76	—	343,65	343,65	343,65
150-100	201,46	151,36	—	352,82	352,82	352,82

TABELA A.1 (continuação)

83229 - SALVADOR (SV)

CAMADAS (mb)	$C_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	293,59	12,40	36,53	305,99	342,52	352,39
850-700	284,97	22,94	20,88	307,91	328,79	339,42
700-500	273,86	44,25	9,45	318,11	327,55	337,90
500-300	254,28	76,27	2,70	330,56	333,26	338,11
300-200	230,73	108,46	—	339,19	339,19	339,19
200-150	212,70	130,74	—	343,44	343,44	343,44
150-100	200,55	151,13	—	351,67	351,67	351,67

83288 - BOM JESUS DA LAPA (LP)

CAMADAS (mb)	$C_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	293,34	12,18	37,64	305,51	343,15	351,84
850-700	285,92	22,95	25,84	308,88	334,71	342,72
700-500	274,13	44,29	13,44	318,42	331,86	338,54
500-300	253,78	76,34	3,89	330,11	334,00	337,62
300-200	229,29	108,42	—	337,70	337,70	337,70
200-150	211,22	130,50	—	341,72	341,87	341,72
150-100	199,24	150,79	—	350,03	350,03	350,03

TABELA A.2

ENERGIA MÉDIA MENSAL DA ATMOSFERA (KJ.Kg^{-1}) PARA CADA ESTAÇÃO AEROLÓGICA EM ESTUDO. MÊS DE FEVEREIRO DE 1980.

82280 - SÃO LUIS (SL)

CAMADAS (mb)	$c_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	293,83	12,36	42,06	306,19	348,25	352,78
850-700	286,14	22,88	28,78	309,02	337,80	343,13
700-500	274,59	44,28	14,98	318,87	333,85	339,71
500-300	254,49	76,38	4,50	330,87	335,37	338,64
300-200	230,18	108,59	—	338,77	338,77	338,77
200-150	212,11	130,87	—	342,99	342,99	342,99
150-100	198,72	151,26	—	349,98	349,98	349,98

82397 - FORTALEZA (FZ)

CAMADAS (mb)	$c_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	294,37	12,32	39,61	306,70	346,30	355,51
850-700	286,20	22,80	23,85	309,00	332,86	342,99
700-500	275,24	44,21	12,57	319,45	332,02	341,42
500-300	254,20	76,27	4,60	330,47	335,07	338,32
300-200	229,73	108,38	—	338,11	338,11	338,11
200-150	211,99	130,67	—	342,66	342,66	342,66
150-100	199,07	151,15	—	350,22	350,22	350,22

82599 - NATAL (NT)

CAMADAS (mb)	$c_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	294,54	13,22	38,78	306,86	345,64	356,26
850-700	285,96	22,84	21,84	308,80	330,64	342,37
700-500	274,72	44,25	10,84	318,98	329,81	340,16
500-300	254,13	76,39	4,36	330,52	334,87	338,16
300-200	230,09	108,58	—	338,67	338,67	338,67
200-150	213,30	130,80	—	344,10	344,10	344,10
150-100	201,26	151,23	—	352,49	352,49	352,49

TABELA A.2 (continuação)

82400 - FERNANDO DE NORONHA (FN)

CAMADAS (mb)	$C_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	294,19	12,34	37,08	306,52	343,60	355,09
850-700	285,24	22,82	18,10	308,06	326,15	340,10
700-500	273,89	44,13	7,76	318,02	325,78	338,05
500-300	252,75	76,10	3,13	328,85	331,98	335,83
300-200	229,73	108,25	—	337,98	337,98	337,98
200-150	214,26	130,58	—	334,84	334,84	334,84
150-100	202,30	151,27	—	353,57	353,57	353,57

82678 - FLORIANO (FR)

CAMADAS (mb)	$C_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	293,26	12,25	37,88	305,51	343,40	350,37
850-700	286,05	22,77	26,54	308,82	335,35	342,66
700-500	275,14	44,20	15,13	319,33	334,47	340,89
500-300	255,11	76,45	5,18	331,56	336,74	339,90
300-200	230,21	108,74	—	338,95	338,95	338,95
200-150	212,37	108,80	—	343,17	343,17	343,17
150-100	200,52	149,25	—	349,77	349,77	349,77

82900 - RECIFE (RF)

CAMADAS (mb)	$C_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	294,21	12,40	37,74	306,61	344,35	354,95
850-700	285,79	22,94	23,15	308,74	331,89	342,04
700-500	274,62	44,34	11,46	318,96	330,43	340,00
500-300	254,78	76,43	3,31	331,21	334,51	339,03
300-200	231,88	108,58	—	340,46	340,46	340,46
200-150	215,44	130,87	—	346,31	346,31	346,31
150-100	204,25	151,55	—	355,80	355,80	355,80

TABELA A.2 (continuação)

92983 - PETROLINA (PL)

CAMADAS (mb)	$C_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	292,32	12,24	35,46	304,56	340,02	348,15
850-700	284,97	22,98	24,57	307,95	332,53	339,50
700-500	273,82	44,33	13,63	318,15	331,79	337,79
500-300	254,26	76,34	3,85	330,60	334,45	338,13
300-200	230,34	108,55	—	338,88	338,88	338,88
200-150	212,20	130,88	—	343,08	343,08	343,08
150-100	200,09	151,39	—	351,48	351,48	351,48

83229 - SALVADOR (SV)

CAMADAS (mb)	$C_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	293,43	12,37	36,85	305,79	342,64	351,54
850-700	285,22	22,87	22,84	308,09	330,93	340,17
700-500	273,70	44,17	12,49	317,87	330,37	337,58
500-300	253,42	76,14	4,25	329,57	333,82	336,71
300-200	229,89	108,30	—	338,19	338,19	338,19
200-150	212,83	130,61	—	343,44	343,44	343,44
150-100	201,20	151,08	—	352,28	352,28	352,28

83378 - BRASILIA (BR)

CAMADAS (mb)	$C_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	290,90	11,86	34,40	302,76	337,17	343,61
850-700	285,15	22,96	26,44	308,11	334,55	340,22
700-500	273,98	44,36	14,60	318,34	332,94	338,25
500-300	254,73	76,56	4,94	331,29	336,23	339,03
300-200	231,50	108,96	—	340,46	340,46	340,46
200-150	213,80	131,39	—	345,19	345,19	345,19
150-100	201,03	151,89	—	352,93	352,93	352,93

TABELA A.3

ENERGIA MÉDIA MENSAL DA ATMOSFERA (KJ.Kg^{-1}) PARA CADA ESTAÇÃO AEROLÓGICA EM ESTUDO. MÊS DE MARÇO DE 1980.

82280 - SÃO LUIS (SL)

CAMADAS (mb)	$c_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	294,32	12,35	42,99	306,68	349,67	354,78
850-700	286,10	22,89	28,67	309,00	337,66	343,08
700-500	274,53	44,38	15,43	318,92	334,35	339,56
500-300	254,67	76,52	5,10	331,19	336,29	339,06
300-200	230,31	108,62	—	338,93	338,93	338,93
200-150	211,57	130,85	—	342,42	342,42	342,42
150-100	198,35	151,27	—	349,62	349,62	349,62

82297 - FORTALEZA (FZ)

CAMADAS (mb)	$c_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	294,46	12,37	37,93	306,83	344,76	355,67
850-700	286,57	22,91	23,90	309,48	333,39	344,56
700-500	275,46	44,36	11,73	319,82	331,55	342,26
500-300	255,16	76,62	3,12	331,79	334,91	340,04
300-200	231,83	109,02	—	340,85	340,85	340,85
200-150	214,63	131,44	—	346,07	346,07	346,07
150-100	201,99	151,97	—	353,96	353,96	353,96

82400 - FERNANDO DE NORONHA (FN)

CAMADAS (mb)	$c_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	294,33	12,36	39,03	306,69	345,73	355,18
850-700	285,64	22,91	20,63	308,55	329,18	341,54
700-500	274,08	44,27	7,73	318,35	326,08	338,52
500-300	235,68	76,34	1,73	330,02	331,75	337,40
300-200	230,40	108,52	—	338,92	338,92	338,92
200-150	213,66	130,84	—	344,50	344,50	344,50
150-100	201,32	151,50	—	352,82	352,82	352,82

TABELA A.3 (continuação)

82678 - FLORIANO (FR)

CAMADAS (mb)	$C_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	293,99	12,32	36,05	306,31	342,36	353,77
850-700	285,74	22,87	22,05	308,61	330,66	341,89
700-500	274,89	44,23	9,49	319,12	328,61	340,35
500-300	254,20	76,30	2,55	330,50	333,05	338,56
300-200	228,07	108,37	—	337,44	337,44	337,44
200-150	210,88	130,40	—	341,29	341,29	241,29
150-100	199,07	148,97	—	348,05	348,05	348,05

82900 - RECIFE (RF)

CAMADAS (mb)	$C_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	294,16	12,46	36,72	306,62	343,34	354,98
850-700	285,64	23,01	19,41	308,65	328,06	341,44
700-500	274,90	44,37	7,08	319,27	326,35	340,64
500-300	254,16	76,43	1,97	330,60	332,57	338,39
300-200	230,05	108,60	—	338,65	338,65	338,65
200-150	212,95	130,84	—	343,79	343,79	343,79
150-100	200,79	151,34	—	352,13	352,13	352,13

82983 - PETROLINA (PL)

CAMADAS (mb)	$C_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	292,33	12,28	31,75	304,62	336,36	348,59
850-700	284,94	23,06	19,48	308,00	327,47	339,57
700-500	274,21	44,40	9,28	318,61	327,89	338,97
500-300	253,92	76,48	2,27	330,40	332,66	337,97
300-200	229,67	108,64	—	338,31	338,31	338,31
200-150	211,77	130,80	—	342,57	342,57	342,57
150-100	200,19	151,24	—	351,43	351,43	351,43

TABELA A.3 (continuação)

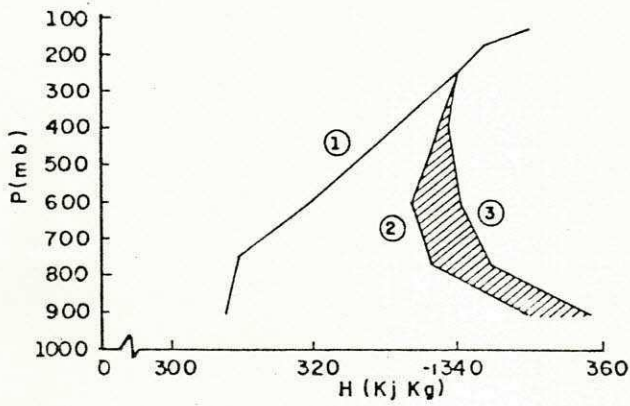
83229 - SALVADOR (SV)

CAMADAS (mb)	$C_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	293,52	12,46	36,52	305,98	342,50	354,22
850-700	284,67	23,03	20,83	307,70	328,53	338,55
700-500	274,19	44,36	8,06	318,55	326,60	338,64
500-300	253,71	76,41	1,41	330,12	331,52	337,83
300-200	228,94	108,49	—	337,43	337,43	337,43
200-150	211,37	130,62	—	341,98	341,98	341,98
150-100	199,68	151,01	—	350,70	350,70	350,70

83378 - BRASILIA (BR)

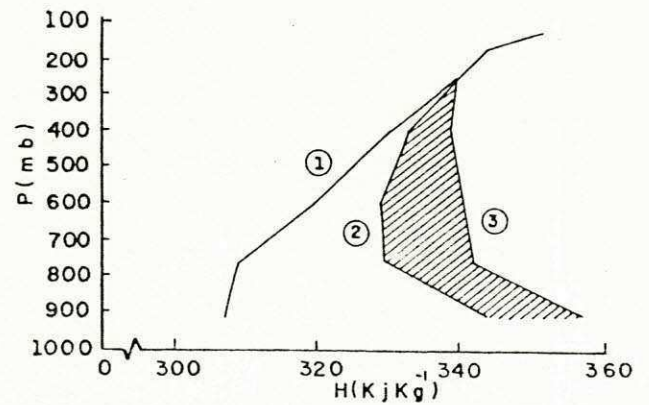
CAMADAS (mb)	$C_p \bar{T}$	$\bar{\phi}$	$L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$	$C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$
SUP-850	292,13	12,01	29,51	304,14	333,65	348,19
850-700	285,65	23,24	21,11	308,89	330,00	342,33
700-500	274,05	44,61	9,05	318,66	327,71	338,56
500-300	253,87	76,67	1,89	330,54	332,43	338,32
300-200	230,70	108,87	—	339,57	339,57	339,57
200-150	214,89	131,40	—	246,12	346,12	346,12
150-100	204,01	152,23	—	356,07	356,07	356,07

S L

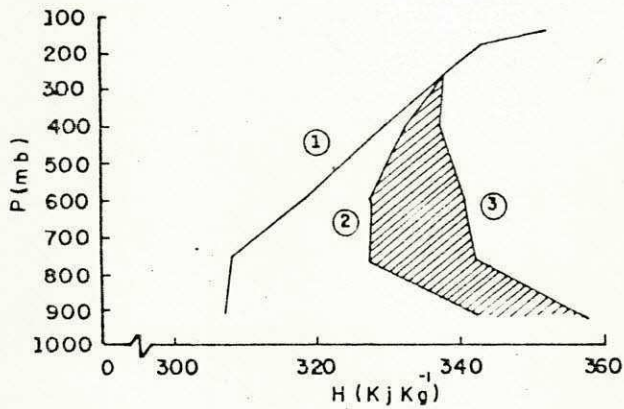


F Z

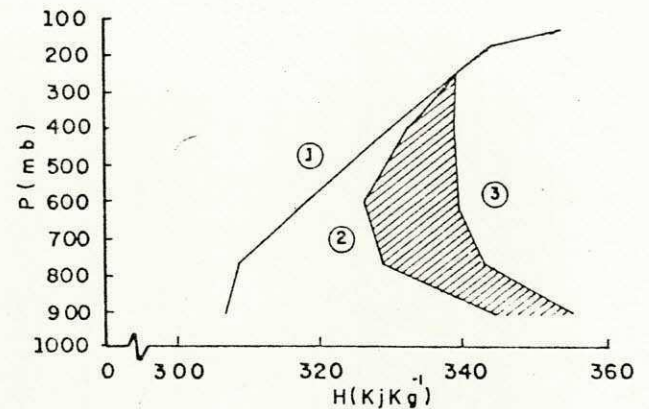
A.10



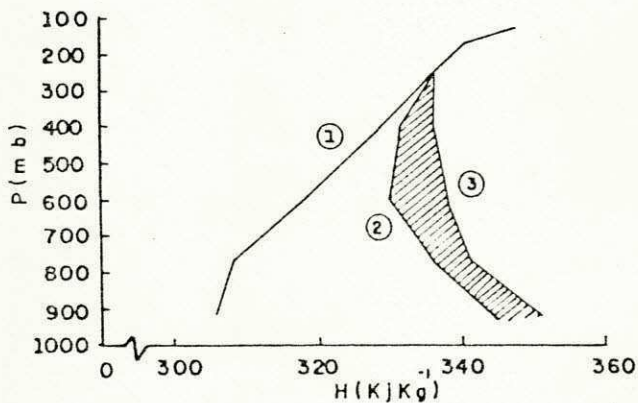
N T



F N



F R



R F

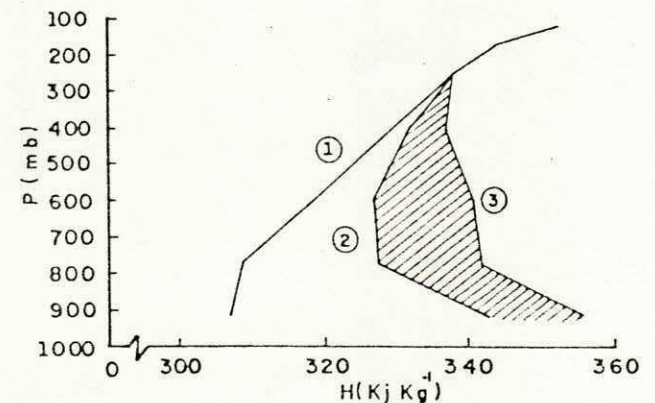
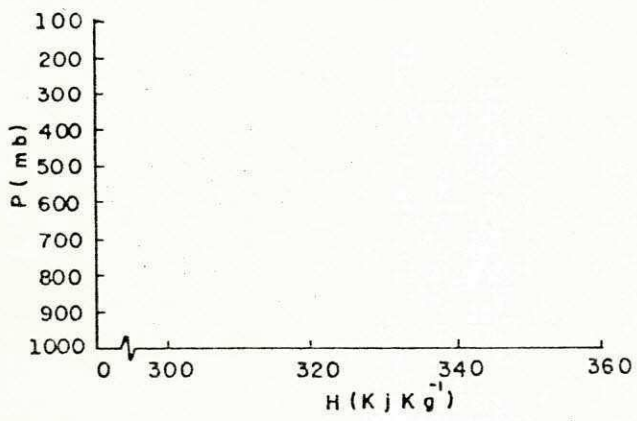
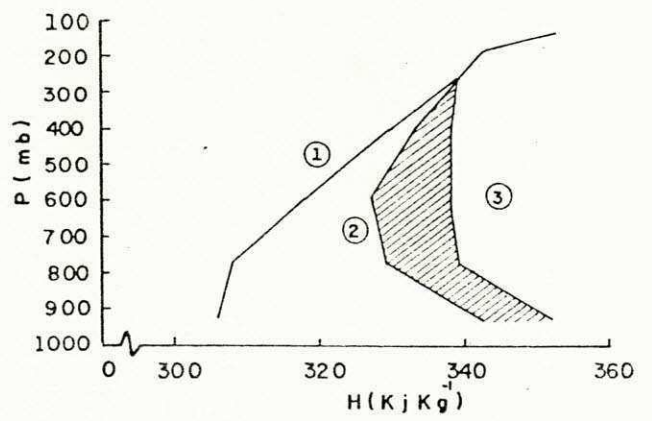


Fig. A.1 - DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DAS ENERGIAS ESTÁTICAS 1-SECA ($c_p \bar{T} + \bar{\phi}$), 2-ÚMIDA ($c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$) E 3-SATURADA ($c_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$) EM $KJ.Kg^{-1}$. MÉDIA MENSAL PARA CADA ESTAÇÃO AEROLÓGICA EM ESTUDO - JANEIRO DE 1980.

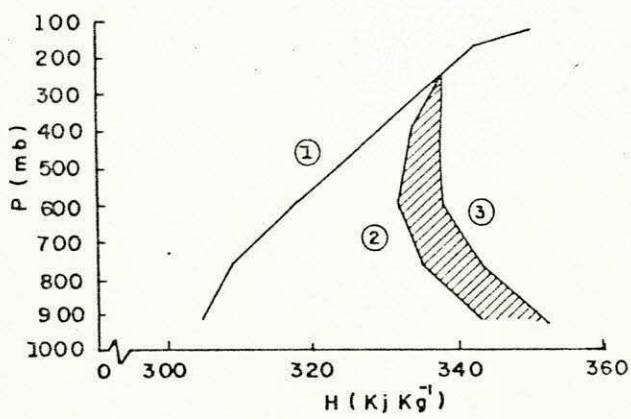
PL



SV A.11



LP



BR

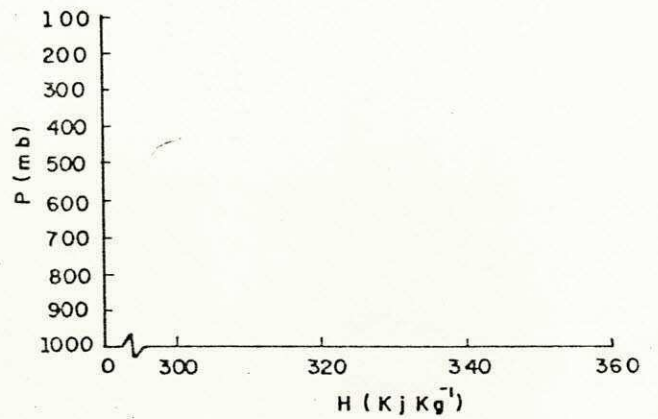


Fig. A.1 - (Continuação)

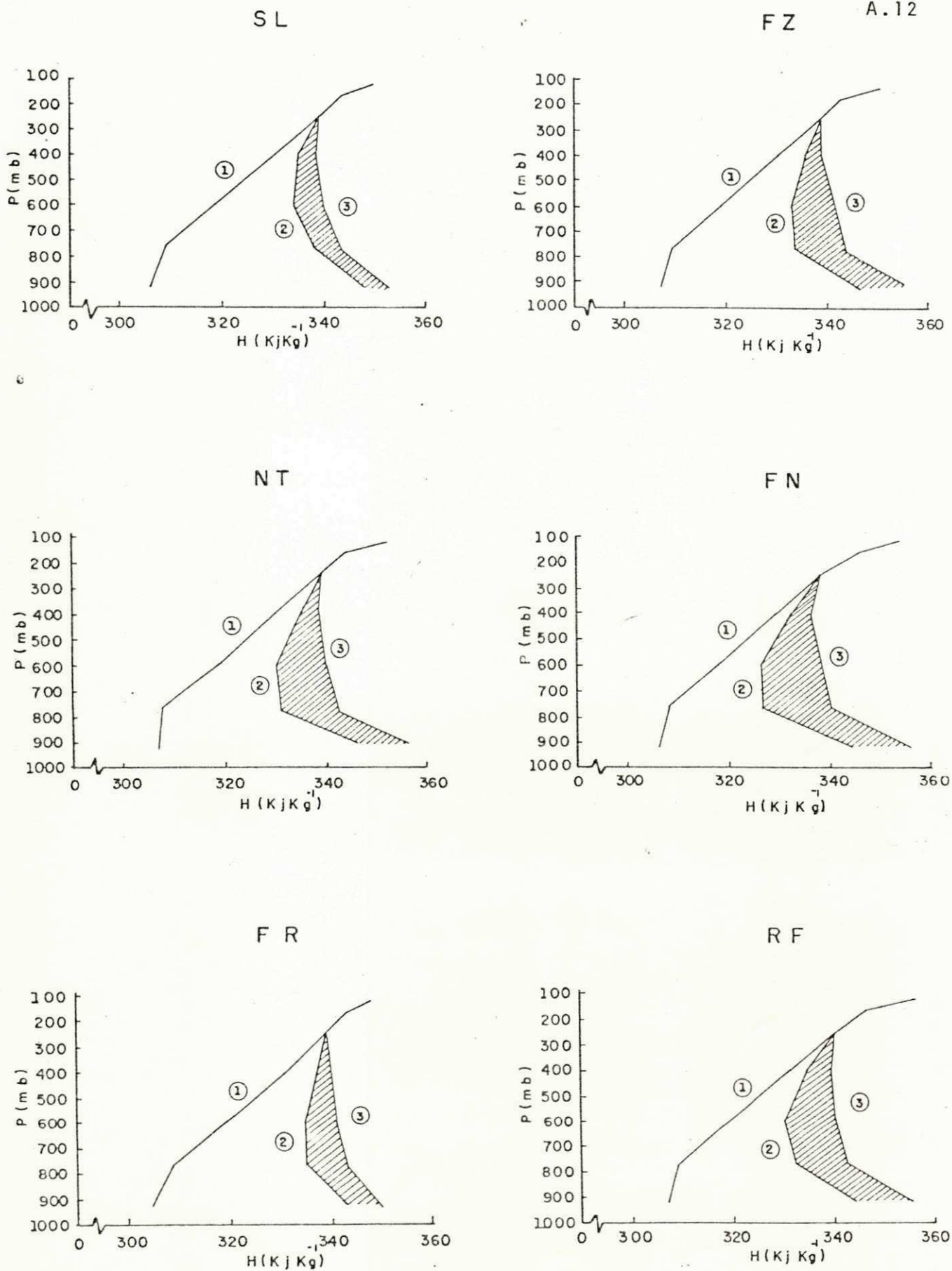


Fig. A.2 - DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DAS ENERGIAS ESTÁTICAS 1-SECA ($C_p \bar{T} + \bar{\phi}$), 2-ÚMIDA ($C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}$) E 3-SATURADA ($C_p \bar{T} + \bar{\phi} + L\bar{q}_s$) EM $KJ.Kg^{-1}$. MÉDIA MENSAL PARA CADA

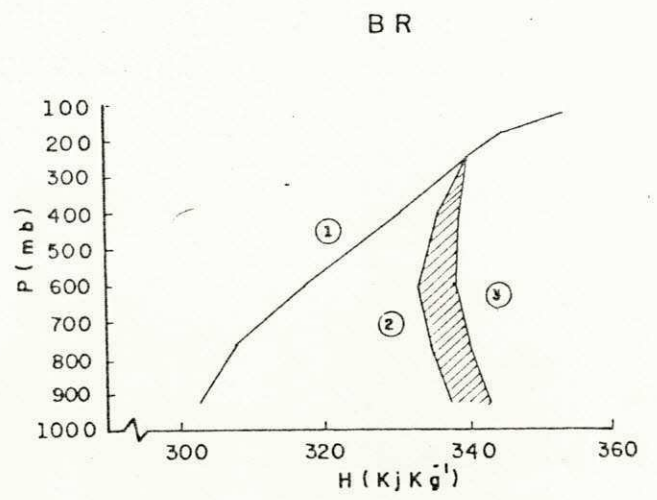
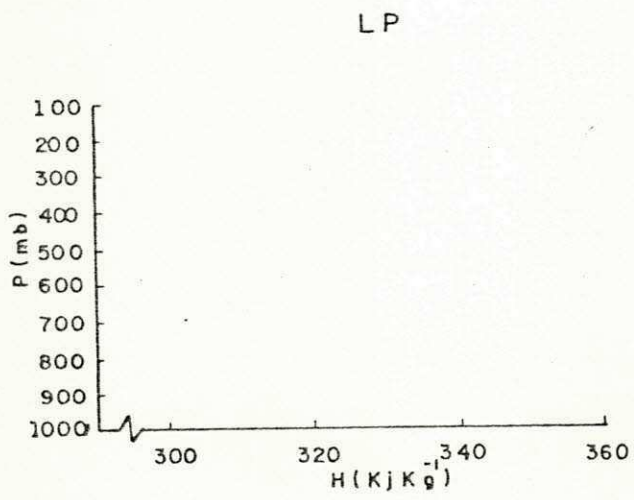
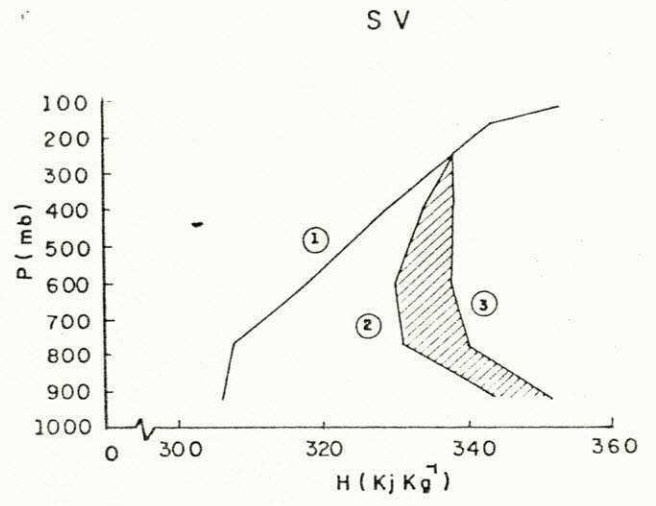
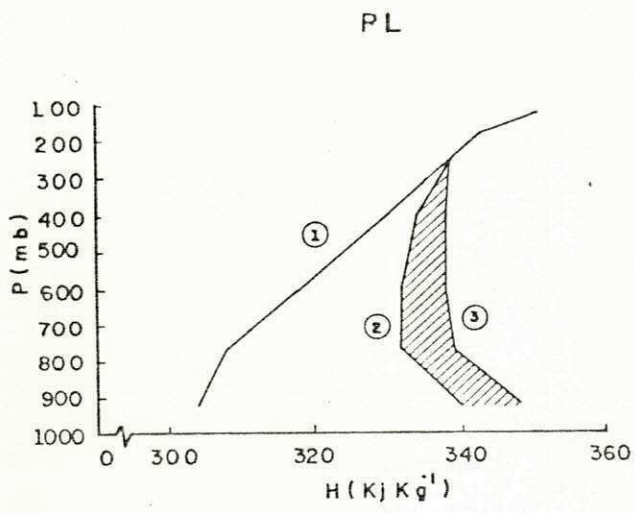


Fig. A.2 - (Continuação)

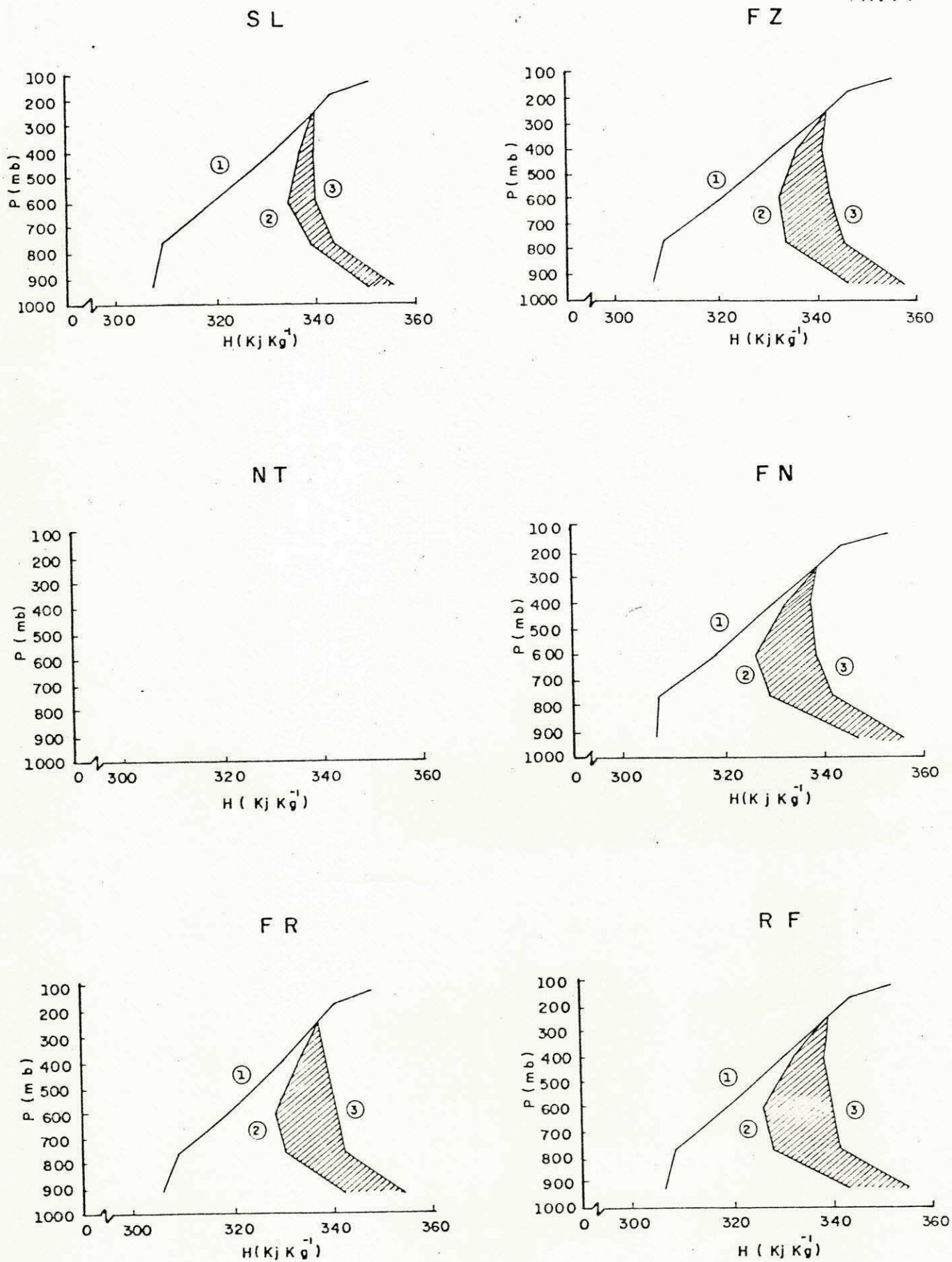
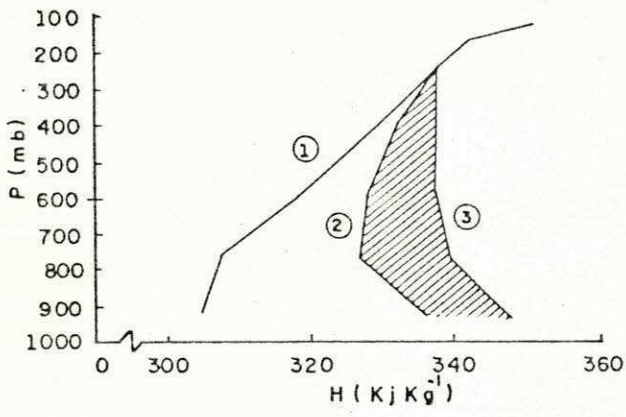
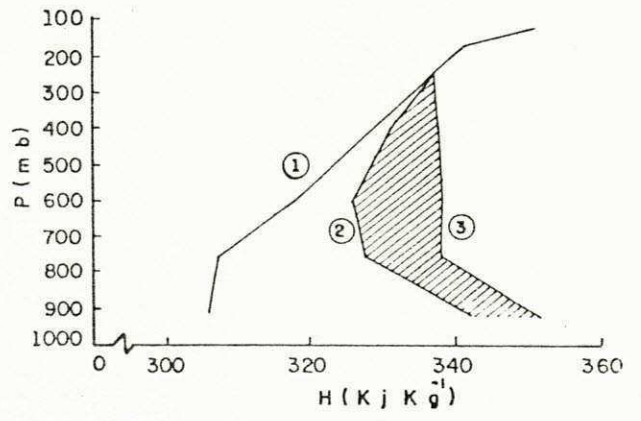


Fig. A.3 - DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DAS ENERGIAS ESTÁTICAS 1-SECA ($c_p \bar{T} + \bar{\Phi}$), 2-ÚMIDA ($c_p \bar{T} + \bar{\Phi} + L\bar{q}$) E 3-SATURADA ($c_p \bar{T} + \bar{\Phi} + L\bar{q}_s$) EM KJ.Kg^{-1} . MÉDIA MENSAL PARA CADA ESTAÇÃO AEROLÓGICA EM ESTUDO - MARÇO DE 1980.

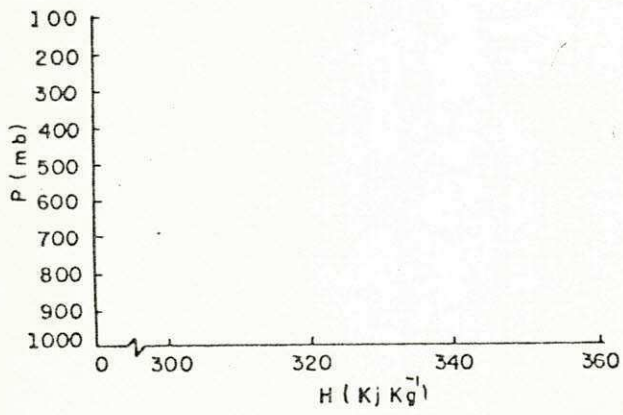
PL



SV



LP



BR

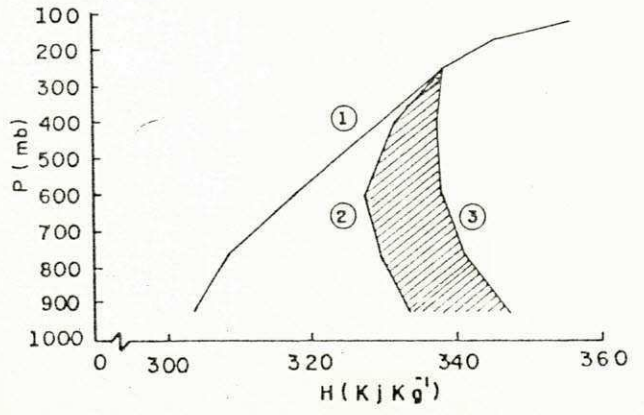


Fig. A.3 - (Continuação)

APÊNDICE - B

UNIDADES E MAGNITUDES DOS TERMOS CALCULADOS.

APÊNDICE - B

Magnitudes características de;

$h \sim 10^4 \text{ m}$	- escala de altura
$g \sim 10 \text{ m.s}^{-2}$	- aceleração normal da gravidade
$L \sim 10^6 \text{ J.Kg}^{-1}$	- calor latente de vaporização
$C_p \sim 10^3 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	- calor específico a pressão constante
$T \sim 10^2 \text{ K}$	- temperatura absoluta
$q \sim 10 \text{ g.Kg}^{-1}$	- umidade específica
$U \sim 10 \text{ m.s}^{-1}$	- velocidade horizontal
$\delta p \sim 10^4 \text{ N.m}^{-2}$	- espessura das camadas
$m\delta L \sim 10^6 \text{ m}$	- comprimento do contorno ($m=20$)

Logo os termos de energias terão magnitudes equivalentes a;

$C_p T \sim 10^2 \text{ KJ.Kg}^{-1}$	- entalpia específica
$\phi \sim 10^2 \text{ KJ.Kg}^{-1}$	- energia potencial
$Lq \sim 10 \text{ KJ.Kg}^{-1}$	- energia latente
$C_p T + \phi \sim 10^2 \text{ KJ.Kg}^{-1}$	- energia estática seca
$C_p T + \phi + Lq \sim 10^2 \text{ KJ.Kg}^{-1}$	- energia estática úmida

já para os fluxos tem-se;

$\frac{1}{g} \oint \oint V_N dp dL \sim 10^{10} \text{ Kg.s}^{-1}$	- fluxo total de massa
$\frac{1}{g} \oint \oint (C_p T + \phi) V_N dp dL \sim 10^{15} \text{ J.s}^{-1}$	- fluxo de energia estática seca
$\frac{1}{g} \oint \oint Lq V_N dp dL \sim 10^{14} \text{ J.s}^{-1}$	- fluxo de energia latente
$\frac{1}{g} \oint \oint (C_p T + \phi + Lq) dp dL \sim 10^{15} \text{ J.s}^{-1}$	- fluxo de energia estática úmida.