



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-645-LAFE

**TRANSPORTE DE CALOR SENSÍVEL NA ESTRATOSFERA DO
HEMISFÉRIO SUL**

Kioshi Hada

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo
Dr. V. Brahamananda Rao, aprovada em outubro de 1974.

INPE
São José dos Campos
1975

INPE-645-LAFE

TÍTULO: TRANSPORTE DE CALOR SENSÍVEL NA
ESTRATOSFERA DO HEMISFÉRIO SUL

AUTOR: K. HADA

PROJETO: MESA

PUBLICADO EM: FEVEREIRO DE 1975



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS
São José dos Campos - Estado de S. Paula - Brasil

*TRANSPORTE DE CALOR SENSÍVEL NA ESTRATOSFERA
DO HEMISFÉRIO SUL*

Este relatório foi preparado, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciência Espacial e da Atmosfera, com especialização em Meteorologia, por Kioshi Hada, tendo como orientador o Dr. V. Brahamananda Rao, e sua publicação foi autorizada pelo abaixo assinado,

Fernando de Mendonça
Fernando de Mendonça
Diretor Geral



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS
São José dos Campos - Estado de S. Paulo - Brasil

Formulário PG-009

AVALIAÇÃO FINAL DE TRABALHO DE TESE

EXAMINANDO: Fís. Kioshi Hada

TÍTULO DO TRABALHO: Transporte de Calor Sensível na Estratosfera do Hemisfério Sul.

PERÍODO: 29 / 19 74

PROJETO: MESA

ORIENTADOR DE PESQUISA: Dr.V.B.Rao

ÁREA DE PÓS-GRADUAÇÃO: Ciência Espacial e da Atmosfera

MEMBRO DA BANCA: Dr.Luiz Alberto Vieira Dias

ASSINATURA DO MEMBRO: Luiz Alberto Vieira Dias Data: 15 / 10 / 74

INSTRUÇÕES AO EXAMINADOR

01. A apreciação de cada fator deverá ser efetuada pela colocação de um sinal no losango correspondente, à esquerda. Caso o examinador julgar que a apreciação está situada entre dois fatores subsequentes, deverá assinalar o losango correspondente, à direita.
02. O examinador deverá julgar, cada fator separadamente.
03. A avaliação é feita logo após o encerramento da exposição oral e arguição de questões.
04. A avaliação deve ser feita individualmente, por cada membro da Banca Examinadora.
05. Após o preenchimento deste formulário de avaliação, o mesmo deverá ser entregue ao Dr.Luiz Gylvan Meira Fº, Presidente da Banca Examinadora, o qual encaminhará para a Divisão de Ensino, para apuração do resultado final.

APRESENTAÇÃO FINAL REALIZADA EM 15 / 10 / 74.

HORA: 16:00 LOCAL: Anfiteatro

PRESIDENTE DA BANCA EXAMINADORA: Recebido do Examinador em: 15 / 10 / 74

Remetido à Divisão de Ensino em: 15 / 10 / 74

Assinatura: Ricardi A. B. Palmeira Data: 15 / 10 / 74



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS
São José dos Campos - Estado de S. Paulo - Brasil

Formulário PG-009

AVALIAÇÃO FINAL DE TRABALHO DE TESE

EXAMINANDO: Fis. Kioshi Hada

TÍTULO DO TRABALHO: Transporte de Calor Sensível na Estratosfera do Hemisfério Sul.

PERÍODO: 2º / 1974

PROJETO: MESA

ORIENTADOR DE PESQUISA: Dr. V.B. Rao

ÁREA DE PÓS-GRADUAÇÃO: Ciência Espacial e da Atmosfera

MEMBRO DA BANCA: Dr. Ricardo A.R. Palmeira - "ex-officio"

ASSINATURA DO MEMBRO: Ricardo A.R. Palmeira Data: 15 / 10 / 74

INSTRUÇÕES AO EXAMINADOR

01. A apreciação de cada fator deverá ser efetuada pela colocação de um sinal no losango correspondente, à esquerda. Caso o examinador julgar que a apreciação está situada entre dois fatores subsequentes, deverá assinalar o losango correspondente, à direita.
02. O examinador deverá julgar, cada fator separadamente.
03. A avaliação é feita logo após o encerramento da exposição oral e arguição de questões.
04. A avaliação deve ser feita individualmente, por cada membro da Banca Examinadora.
05. Após o preenchimento deste formulário de avaliação, o mesmo deverá ser entregue ao Dr. Luiz Gylvan Meira Fº, Presidente da Banca Examinadora, o qual encaminhará para a Divisão de Ensino, para apuração do resultado final.

APRESENTAÇÃO FINAL REALIZADA EM 15 / 10 / 74.

HORA: 16:00 LOCAL: Anfiteatro

PRESIDENTE DA BANCA EXAMINADORA: Recebido do Examinador em: 15 / 10 / 74

Remetido à Divisão de Ensino em: 15 / 10 / 74

Assinatura: Ricardo A.R. Palmeira Data: 15 / 10 / 74



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS
São José dos Campos - Estado de S. Paulo - Brasil

Formulário PG-009

AVALIAÇÃO FINAL DE TRABALHO DE TESE

EXAMINANDO: Fís. Kioshi Hada

TÍTULO DO TRABALHO: Transporte de Calor Sensível na Estratosfera do Hemisfério Sul.

PERÍODO: 29 / 19 74

PROJETO: MESA

ORIENTADOR DE PESQUISA: Dr. V. B. Rao

ÁREA DE PÓS-GRADUAÇÃO: Ciência Espacial e da Atmosfera

MEMBRO DA BANCA: Dr. Y. Viswanadham

ASSINATURA DO MEMBRO: Y. Viswanadham

Data: 15 / 10 / 74

INSTRUÇÕES AO EXAMINADOR

01. A apreciação de cada fator deverá ser efetuada pela colocação de um sinal no losango correspondente, à esquerda. Caso o examinador julgar que a apreciação está situada entre dois fatores subsequentes, deverá assinalar o losango correspondente, à direita.
02. O examinador deverá julgar, cada fator separadamente.
03. A avaliação é feita logo após o encerramento da exposição oral e arguição de questões.
04. A avaliação deve ser feita individualmente, por cada membro da Banca Examinadora.
05. Após o preenchimento deste formulário de avaliação, o mesmo deverá ser entregue ao Dr. Luiz Gylvan Meira Fº, Presidente da Banca Examinadora, o qual encaminhará para a Divisão de Ensino, para apuração do resultado final.

APRESENTAÇÃO FINAL REALIZADA EM 15 / 10 / 74.

HORA: 16:00

LOCAL: Anfiteatro

PRESIDENTE DA BANCA EXAMINADORA: Recebido do Examinador em: 15 / 10 / 74

Remetido à Divisão de Ensino em: 15 / 10 / 74

Assinatura: Ricardo A. B. Palmeira

Data: 15 / 10 / 74



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS
São José dos Campos - Estado de S. Paulo - Brasil

Formulário PG-009

AVALIAÇÃO FINAL DE TRABALHO DE TESE

EXAMINANDO: Físico Kioshi Hada

TÍTULO DO TRABALHO: Transporte de Calor Sensível na Estratosfera do Hemisfério Sul.

PERÍODO: 29 / 1974

PROJETO: MESA

ORIENTADOR DE PESQUISA: Dr. V. B. Rao

ÁREA DE PÓS-GRADUAÇÃO: Ciência Espacial e da Atmosfera

MEMBRO DA BANCA: Dr. V. B. Rao

ASSINATURA DO MEMBRO: V. B. Rao

Data: 15 / 10 / 74

INSTRUÇÕES AO EXAMINADOR

01. A apreciação de cada fator deverá ser efetuada pela colocação de um sinal no losango correspondente, à esquerda. Caso o examinador julgar que a apreciação está situada entre dois fatores subsequentes, deverá assinalar o losango correspondente, à direita.
02. O examinador deverá julgar, cada fator separadamente.
03. A avaliação é feita logo após o encerramento da exposição oral e arguição de questões.
04. A avaliação deve ser feita individualmente, por cada membro da Banca Examinadora.
05. Após o preenchimento deste formulário de avaliação, o mesmo deverá ser entregue ao Dr. Luiz Gylvan Meira F9, Presidente da Banca Examinadora, o qual encaminhará para a Divisão de Ensino, para apuração do resultado final.

APRESENTAÇÃO FINAL REALIZADA EM 15 / 10 / 74.

HORA: 16:00 LOCAL: Anfiteatro

PRESIDENTE DA BANCA EXAMINADORA: Recebido do Examinador em: 15 / 10 / 74

Remetido à Divisão de Ensino em: 15 / 10 / 74

Assinatura: Ricard. G. R. Paikmeiro

Data: 15 / 10 / 74



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS
São José dos Campos - Estado de S. Paulo - Brasil

Formulário PG-009

AVALIAÇÃO FINAL DE TRABALHO DE TESE

EXAMINANDO: Fís. Kioshi Hada

TÍTULO DO TRABALHO: Transporte de Calor Sensível na Estratosfera do Hemisfério Sul.

PERÍODO: 29 / 1974

PROJETO: MESA

ORIENTADOR DE PESQUISA: Dr. V. B. Rao

ÁREA DE PÓS-GRADUAÇÃO: Ciência Espacial e da Atmosfera

MEMBRO DA BANCA: Dr. M. A. Abdu

ASSINATURA DO MEMBRO: M. A. Abdu

Data: 15 / 10 / 74

INSTRUÇÕES AO EXAMINADOR

01. A apreciação de cada fator deverá ser efetuada pela colocação de um sinal no losango correspondente, à esquerda. Caso o examinador julgar que a apreciação está situada entre dois fatores subsequentes, deverá assinalar o losango correspondente, à direita.
02. O examinador deverá julgar, cada fator separadamente.
03. A avaliação é feita logo após o encerramento da exposição oral e arguição de questões.
04. A avaliação deve ser feita individualmente, por cada membro da Banca Examinadora.
05. Após o preenchimento deste formulário de avaliação, o mesmo deverá ser entregue ao Dr. Luiz Gylvan Meira F?, Presidente da Banca Examinadora, o qual encaminhará para a Divisão de Ensino, para apuração do resultado final.

APRESENTAÇÃO FINAL REALIZADA EM 15 / 10 / 74.

HORA: 16:00 LOCAL: Anfiteatro

PRESIDENTE DA BANCA EXAMINADORA: Recebido do Examinador em: 15 / 10 / 74

Remetido à Divisão de Ensino em: 15 / 10 / 74

Assinatura: Ricardo A. B. Palmeira

Data: 15 / 10 / 74



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS
São José dos Campos - Estado de S. Paulo - Brasil

Formulário PG-009

AVALIAÇÃO FINAL DE TRABALHO DE TESE

EXAMINANDO: Fis. Kioshi Hada

TÍTULO DO TRABALHO: Transporte de Calor Sensível na Estratosfera do Hemisfério Sul.

PERÍODO: 29 / 19 74

PROJETO: MESA

ORIENTADOR DE PESQUISA: Dr. V. B. Rao

ÁREA DE PÓS-GRADUAÇÃO: Ciência Espacial e da Atmosfera

MEMBRO DA BANCA: Dr. Luiz Gylvan Meira Fº

ASSINATURA DO MEMBRO: _____

Data: 15 / 10 / 74

INSTRUÇÕES AO EXAMINADOR

01. A apreciação de cada fator deverá ser efetuada pela colocação de um sinal no losango correspondente, à esquerda. Caso o examinador julgar que a apreciação está situada entre dois fatores subsequentes, deverá assinalar o losango correspondente, à direita.
02. O examinador deverá julgar, cada fator separadamente.
03. A avaliação é feita logo após o encerramento da exposição oral e arguição de questões.
04. A avaliação deve ser feita individualmente, por cada membro da Banca Examinadora.
05. Após o preenchimento deste formulário de avaliação, o mesmo deverá ser entregue ao Dr. Luiz Gylvan Meira Fº, Presidente da Banca Examinadora, o qual encaminhará para a Divisão de Ensino, para apuração do resultado final.

APRESENTAÇÃO FINAL REALIZADA EM 15 / 10 / 74.

HORA: 16:00 LOCAL: Anfiteatro

PRESIDENTE DA BANCA EXAMINADORA: Recebido do Examinador em: / /

Remetido à Divisão de Ensino em: / /

Assinatura: _____ Data: / /

Dedico à minha esposa

Miriam Hada

RESUMO

Para o cálculo do transporte de calor sensível na estratosfera inferior, usamos dados médio nos pontos da grade de 100mb e dados diários de 30mb sob forma de cartas sinóticas analisadas nos dias selecionados em inverno e primavera. Obtivemos a direção e intensidade do transporte, apontamos a dominância de certos harmônicos estacionários e transitórios na estratosfera inferior. Discutimos também os dois aquecimentos fracos em meados de inverno e o aquecimento final nos fins da primavera. Na estratosfera superior usamos dados de 4 estações de foguetes do Hemisfério Sul, a fim de calcularmos o transporte de calor sensível. O transporte geralmente é pequeno em todas as estações durante o verão. No inverno, entretanto, há grande transporte no sentido do polo sul nas estações situadas nas latitudes altas.

ABSTRACT

The sensible heat transport in the lower stratosphere has been calculated using the mean grid point data of the 100mb and the daily data of 30mb analysed charts for a few days in winter and spring. The direction and intensity of the transport has been obtained and the dominance of certain stationary and transient harmonics in the lower stratosphere is pointed out. Two mild warmings during the mid winter and the final warming during the late spring were discussed. In the upper stratosphere the sensible heat transport has been calculated using the data of four Southern Hemisphere rocket stations. The transport is generally small at all the stations during the summer. In winter, however, there is a large transport towards the pole at high latitude stations.

ÍNDICE DA MATÉRIA

I	- TRANSPORTE DE CALOR SENSÍVEL NA ESTRATOSFERA DO HEMISFÉRIO SUL	1
	1.1 - Introdução	1
II	- TRANSPORTE DE CALOR SENSÍVEL POR HARMÔNICOS ESTACIONÁRIOS NA ESTRATOSFERA INFERIOR (100mb)	5
	2.1 - Análise harmônica	5
	2.2 - Dados	8
	2.3 - Resultados	9
	2.3.1 - Características das ondas estacionárias em 100mb	9
	2.3.2 - Espectro do transporte de calor sensível em 100mb	9
	2.3.3 - Transporte meridional total de calor sensível em 100mb	11
	2.3.4 - Distribuição da temperatura média zonal nas latitudes em 100mb	14
III	- TRANSPORTE DE CALOR SENSÍVEL POR HARMÔNICOS TRANSITÓRIOS DURANTE TEMPO DE AQUECIMENTO NA ESTRATOSFERA INFERIOR (30mb)	16
	3.1 - Análise harmônica	16
	3.2 - Dados	16
	3.3 - Resultados	17
	3.3.1 - Espectro do transporte de calor sensível por harmônicos transitórios em 30mb	17
	3.3.2 - Transporte meridional total de calor sensível por harmônicos transitórios em 30mb	22
	3.3.3 - Aquecimento brusco em meados de inverno	22
	3.3.4 - Aquecimento final em primavera	24

IV	- TRANSPORTE DE CALOR SENSÍVEL POR PERTURBAÇÕES TRANSITÓRIAS NA ESTRATOSFERA SUPERIOR	25
	4.1 - Método para cálculo do transporte de calor sensível..	25
	4.2 - Resultados	27
V	- CONCLUSÕES	31
	REFERÊNCIAS	33

LISTA DE FIGURAS

Figura II.1	-	Espectro do transporte de calor sensível no verão, ao nível de 100mb, por harmônicos estacionários	12
Figura II.2	-	Idem para o inverno	13
Figura II.3	-	Variação meridional da temperatura média zonal em 100mb	15
Figura II.4	-	Transporte meridional total de calor sensível por harmônicos estacionários, em inverno e verão, a 100mb	15
Figuras III.1 a III.4	-	Espectros do transporte de calor sensível, em dias de inverno e em dias de primavera, por harmônicos transitórios em 30mb	18
Figura III.5	-	Transporte meridional total de calor sensível por harmônicos transitórios, em dias de inverno e primavera, em 30mb.....	23
Figura III.6	-	Variação meridional da temperatura média zonal diária, a 30mb	23
Figuras IV.1 a IV.3	-	Variação do vento zonal, temperatura e transporte de calor sensível por perturbações transitórias, com a altitude e latitude na estratosfera, no inverno.....	28
Figuras IV.4 a IV.6	-	Idem para o verão: A - Ascension Island, MA - Mar Chiquita, MO - Moledezhanaaja, N - Natal	29

LISTA DE TABELAS

Tabela II.1	-	Amplitudes e fases das alturas geopotenciais da superfície isobárica de 100mb, em inverno e verão	10
Tabela IV.1	-	Distribuição do vento zonal, temperatura e transporte de calor sensível por turbulências transitórias, durante regime de verão, na estratosfera	30
Tabela IV.2	-	Distribuição do vento zonal, temperatura e transporte de calor sensível por turbulências transitórias, durante regime de inverno, na estratosfera.....	31

LISTA DE SÍMBOLOS

- a Raio da Terra.
- f Parâmetro de Coriolis.
- g Aceleração da gravidade terrestre.
- i Índice.
- j Índice.
- p pressão.
- H Qualquer função expansível em série de Fourier.
- M Número de pontos de grade computacional.
- N Número de observações em tempo e em cada nível de altitude.
- S Transporte de calor sensível.
- T Temperatura
- V Vento meridional ou vento zonal (capítulo 4)
- h_1 Coeficiente seno de Fourier da expansão de H .
- h_2 Coeficiente cosseno de Fourier da expansão de H .
- T_1 Coeficiente seno de Fourier da expansão de T .
- T_2 Coeficiente cosseno de Fourier da expansão de T .
- V_1 Coeficiente seno de Fourier da expansão de V .
- V_2 Coeficiente cosseno de Fourier da expansão de V .
- $\langle \rangle$ Símbolo que indica a média zonal.
- $(-)$ Símbolo que representa a média temporal.
- $(')$ Símbolo que representa o desvio em relação à média temporal.
- λ Longitude.
- ϕ Latitude.
- η Número de onda.

CAPÍTULO I

TRANSPORTE DE CALOR SENSÍVEL NA ESTRATOSFERA DO HEMISFÉRIO SUL

I.1 - INTRODUÇÃO

A circulação geral normalmente é estudada em termos do balanço de energia e da quantidade de movimento angular. Esse balanço, primeiro verificado por Starr (1954, 1960), foi demonstrado ser mantido por movimentos quase horizontais tanto na troposfera como na estratosfera inferior. Além disso, através de inferências indiretas por meio de substâncias tracejadoras, como o vapor de água, ozônio e substâncias radioativas, foi constatada a importância dos movimentos turbulentos (Starr, 1960).

Sugerem-se que a estratosfera inferior, após inúmeros estudos sobre o balanço de energia por diversos pesquisadores, tem movimentos forçados devido às seguintes evidências:

- 1) o transporte de calor sensível por processos turbulentos quase horizontais tem sentido contrário ao do gradiente de temperatura, que aponta para o polo (White, 1954). Isto insinua a transformação da energia potencial turbulenta disponível em zonal;
- 2) a energia cinética turbulenta é encontrada convertida em zonal (Oort, 1964);

- 3) a energia cinética turbulenta é encontrada convertida em energia potencial turbulenta disponível (White e Nolan, 1960; Oort, 1964);
- 4) a energia potencial disponível é continuamente destruída por processos radioativos (Newell, 1963; Oort, 1964).

Desse modo, é evidente que na estratosfera inferior não há geração de energia no local e necessita de fonte de energia externa. Estudos teóricos, realizados por Charney e Drazin (1961), e observacionais, por Newell (1966), sugeriram que o abastecimento de energia é realizado pela troposfera. Além disso, a teoria sugeriu que somente as ondas planetárias ultra-longas são capazes de propagar verticalmente suficiente quantidade de energia na forma geopotencial, e isto, de fato, está consistente com a predominância das ondas ultra-longas na estratosfera inferior. Particularmente na estratosfera inferior do H.N., há movimentos de grande interesse causados por aquela propagação de energia proveniente da troposfera. Um deles é o aquecimento brusco da estratosfera polar no inverno e na primavera.

Na estratosfera inferior em situação normal de inverno, a temperatura atinge máxima nas latitudes médias e decresce no sentido do polo, de maneira que as regiões polares e equatoriais são quase que igualmente frias (Figura II.3). Essa estratosfera polar fria também contém um vórtice zonal com cisalhamento uniforme de oeste.

De poucos em poucos anos, esta configuração normal de inverno é interrompida de uma maneira espetacular. Em um espaço de poucos dias,

o vórtice torna-se bastante distorcido e se desmembra com acompanhamento de aquecimento de grande escala que pode rapidamente inverter o gradiente meridional de temperatura e criar uma corrente circumpolar de ventos de leste (Reed, Wolfe e Nishimoto, 1963).

Os estudos sobre a energética do aquecimento feitos por Julian e Labitzke (1965), Miller (1970) e outros, confirmaram que a crescente propagação da energia troposférica por ondas ultra-longas 1 e 2 é essencial para o desenvolvimento do aquecimento brusco. Além disso, um dos importantes processos associados com o aquecimento é o transporte de calor sensível por essas ondas. Apesar de numerosos estudos sobre o aquecimento e processo associado para o hemisfério norte, a situação média de inverno e verão ainda não é bem conhecida. Estudos semelhantes para o hemisfério sul não foram possíveis devido à falta de dados.

A estratosfera superior também ainda não é bem conhecida, porém, sabe-se que, por meio de dados de satélites, os intensos aquecimentos bruscos comparáveis com os da estratosfera inferior do hemisfério norte ocorrem em níveis mais altos do hemisfério sul (Murgatroyd, 1970).

De acordo com os dados que dispomos, vamos calcular o transporte de calor sensível em três etapas. Este cálculo provará uma das evidências de que a estratosfera inferior do H.S. é uma região forçada. Tal fato vamos ver através de nossos resultados.

Na primeira etapa, usando análise harmônica, obtivemos im

portantes informações sobre ondas estacionárias e transporte de calor sen
sível no nível de 100mb em verão e inverno. Na segunda etapa, usando a mes
ma análise harmônica, obtivemos informação sobre o aquecimento brusco em
inverno e primavera. Além disso, detectamos a onda predominante no perío
do de aquecimento. Finalmente, na terceira etapa, calculamos o transporte
de calor sensível por perturbações turbulentas transitórias, de maneira
algébrica, nas verticais, sobre as quatro estações meteorológicas de fo
guetes no hemisfério sul.

CAPÍTULO II

TRANSPORTE DE CALOR SENSÍVEL POR HARMÔNICOS ESTACIONÁRIOS NA ESTRATOSFERA INFERIOR

2.1 - ANÁLISE HARMÔNICA

Quando se estuda a circulação geral é conveniente desdobrar o escoamento em dois componentes: escoamento médio (na direção λ , longitude) e escoamento turbulento. Além disso, os componentes individuais de ϕ das zonais podem ser tratados como entidades físicas separadas (Saltzman, 1957). Isso sugere o uso da análise de Fourier para estudo das perturbações turbulentas caracteristicamente do tipo onda. Vamos apresentar brevemente as expressões matemáticas para o transporte de calor sensível.

Qualquer função de longitude, $H(\lambda)$, comportando-se regularmente ao longo de uma dada latitude, ϕ , e superfície isobárica, p , pode ser expressa em termos da expansão de Fourier do tipo

$$H(\lambda, \phi) = \langle H(\phi) \rangle + \sum_{n=1}^{\infty} \left[h_1(n, \phi) \cos(n\lambda) + h_2(n, \phi) \sin(n\lambda) \right] \quad (\text{II.1})$$

onde "n" é o número de onda em torno do círculo de latitude, $H(\phi)$, h_1 e h_2 são os coeficientes de Fourier definidos por

$$\langle H(\phi) \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} H(\lambda, \phi) d\lambda \quad (\text{II.2})$$

$$h_1(\eta, \phi) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} H(\lambda, \phi) \cos(\eta\lambda) d\lambda \quad (\text{II.3})$$

$$h_2(\eta, \phi) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} H(\lambda, \phi) \sin(\eta\lambda) d\lambda \quad (\text{II.4})$$

O $H(\lambda, \phi)$ representa a altura da superfície isobárica ou a temperatura. O componente meridional do vento geostrófico, definido por

$$V(\lambda, \phi) = \frac{g}{f a \cos(\phi)} \frac{\partial H}{\partial \lambda}, \quad (\text{II.5})$$

e a temperatura, podem ser expressos nas formas

$$V(\lambda, \phi) = \sum_{\eta=1}^{\infty} \left[V_1(\eta, \phi) \cos(\eta\lambda) + V_2(\eta, \phi) \sin(\eta\lambda) \right] \quad (\text{II.6})$$

$$T(\lambda, \phi) = \langle T(\phi) \rangle + \sum_{\eta=1}^{\infty} \left[T_1(\eta, \phi) \cos(\eta\lambda) + T_2(\eta, \phi) \sin(\eta\lambda) \right] \quad (\text{II.7})$$

onde g , f e a são a aceleração da gravidade terrestre, parâmetro de coriolis e o raio da Terra, respectivamente.

A função espectral do transporte meridional turbulento de calor sensível, através da latitude e por unidade de diferença de pressão, é dada por

$$S(\eta, \phi) = \frac{\pi a \cos(\phi)}{g} (V_1 \cdot T_1 + V_2 \cdot T_2) \quad (\text{II.8})$$

onde os coeficientes de Fourier são

$$V_1(n, \phi) = \frac{g\eta}{f a \cos(\phi)} h_2(n, \phi) \quad (\text{II.9})$$

$$V_2(n, \phi) = - \frac{g\eta}{f a \cos(\phi)} h_1(n, \phi) \quad (\text{II.10})$$

$$T_1(n, \phi) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} T(\lambda, \phi) \cos(n\lambda) d\lambda \quad (\text{II.11})$$

$$T_2(n, \phi) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} T(\lambda, \phi) \text{sen}(n\lambda) d\lambda \quad (\text{II.12})$$

de maneira que agora h_1 e h_2 são os coeficientes de Fourier da expansão da altura isobárica.

Para fins de computação, os coeficientes de Fourier podem ser calculados pelas fórmulas abaixo

$$\langle H(\phi) \rangle = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M H(\lambda_j, \phi) \quad (\text{II.13})$$

$$h_1(n, \phi) = \frac{2}{M} \sum_{j=1}^M H(\lambda_j, \phi) \cos(n\lambda_j) \quad (\text{II.14})$$

$$h_2(n, \phi) = \frac{2}{M} \sum_{j=1}^M H(\lambda_j, \phi) \text{sen}(n\lambda_j) \quad (\text{II.15})$$

Ao realizar a análise harmônica é necessário selecionar um número finito de harmônicos, como base para a representação de Fourier. Em nosso caso, vamos tomar até o décimo harmônico, baseando na informação em 36 (M) pontos ao longo do círculo de latitude.

2.2 - DADOS

Os dados de temperatura e altura geopotencial médios mensais de longo termo, no nível isobárico de 100mb, durante o inverno (julho) e verão (janeiro), tiramos do "CLIMATE OF THE UPPER AIR: SOUTHERN HEMISPHERE", publicado em 1969.

Esses dados estão em forma de tabela e para a obtenção dos mesmos foram utilizados dados de sondagem por radar e rádio, de diversas instituições do mundo que operam com a meteorologia. As unidades de temperatura e altura geopotencial são graus centígrados e metros geopotenciais, respectivamente.

Os dados superiores não têm boa distribuição espaço-temporal, além disso, há diferença de instrumentação e procedimento de avaliação dessas diferentes instituições. Portanto, acredita-se que os resultados das médias mensais efetuados pelos autores dessa publicação possam expressar as condições médias mensais de longo tempo.

2.3 - RESULTADOS

2.3.1 - Características das ondas estacionárias em 100mb

A Tabela II.1 mostra os resultados da computação das amplitudes e fases da altura geopotencial, no domínio do número de onda. As amplitudes das ondas, em geral, são maiores no inverno do que no verão, particularmente nas regiões polares. Geralmente, a onda de número de onda 1 domina o escoamento e isso está consistente com a teoria de Charney e Drazin (1961).

As fases das ondas geralmente aumentam com a latitude até 50°S e ao sul de 60°S elas se mantêm constantes ou decrescem. Isso sugere que as ondas se inclinam para leste com o aumento da latitude até 50°S e depois para oeste. Sabe-se que esse tipo de inclinação causa transporte de quantidade de movimento angular no sentido sul até 60°S , e no sentido norte na região ao sul de 60°S . Assim, há convergência da quantidade de movimento angular ao redor de 60°S onde encontramos fortes ventos zonais que formarão o jato da noite polar nos níveis mais altos. Essa configuração do campo de escoamento também é observada no hemisfério norte.

2.3.2 - Espectro do transporte de calor sensível em 100mb

O transporte meridional, através das latitudes de 20°S - 80°S ao longo da superfície de 100mb, foi calculado através de equação (8), no inverno (julho) e verão (janeiro). Na estratosfera inferior (100mb) o trans

TABELA II.1

AMPLITUDES E FASES DA ALTURA GEOPOTENCIAL
EM DIVERSAS LATITUDES

JANEIRO						
LATITUDE	30	40	50	60	70	80
Nº DE ONDA DOMINANTE	1	2	1	1	1	1
AMPLITUDE 1	36	12	61	67	58	52
AMPLITUDE 2	12	18	6	6	6	9
AMPLITUDE 3	20	7	17	11	3	0.5
FASE 1	8	38	200	225	237	236
FASE 2	88	83	33	339	343	332
FASE 3	144	135	138	143	155	64
JULHO						
LATITUDE	30	40	50	60	70	80
Nº DE ONDA DOMINANTE	1	3	1	1	1	1
AMPLITUDE 1	46	8	80	147	52	57
AMPLITUDE 2	34	33	23	37	19	6
AMPLITUDE 3	26	39	54	41	12	5
FASE 1	23	43	134	217	242	248
FASE 2	87	90	193	281	206	144
FASE 3	134	153	207	164	133	65

porte é devido, principalmente, às ondas estacionárias (Kao e Sagendorf, 1970).

A distribuição espectral do transporte meridional em inverno e verão, está representada nas Figuras II.1 e II.2, respectivamente. Deste espectro podemos ver que o transporte geralmente é no sentido do pólo sul e maior no inverno do que no verão. O harmônico 1 é dominante em ambas as estações do ano e o transporte pelo mesmo é bem maior nas latitudes altas no inverno. Pela Figura II.2 podemos ver que o transporte através de 60° Sul é maior que de 70° S que, por sua vez, é maior que de 80° S. Neste caso, temos uma convergência de calor sensível pela onda 1 dentro de $60 - 80^{\circ}$ S. Do mesmo ponto de vista, temos divergência de calor dentro de $50 - 60^{\circ}$ S.

O transporte em direção polar ou equatorial, a fim de manter o balanço de calor sensível na estratosfera inferior, pode ser melhor visto através do transporte meridional total de calor sensível. Pelo fato de somente os primeiros três ou quatro harmônicos serem dominantes, podemos tomar apenas os cinco primeiros harmônicos.

2.3.3 - Transporte meridional total de calor sensível em 100mb

Somando-se os 5 harmônicos obtivemos o transporte total. Os resultados estão "plotados" na Figura II.4. No verão, o transporte total é pequeno e dirigido principalmente para o pólo sul. No inverno, o transporte também está dirigido para o pólo sul, exceto em 40° S, com pequeno

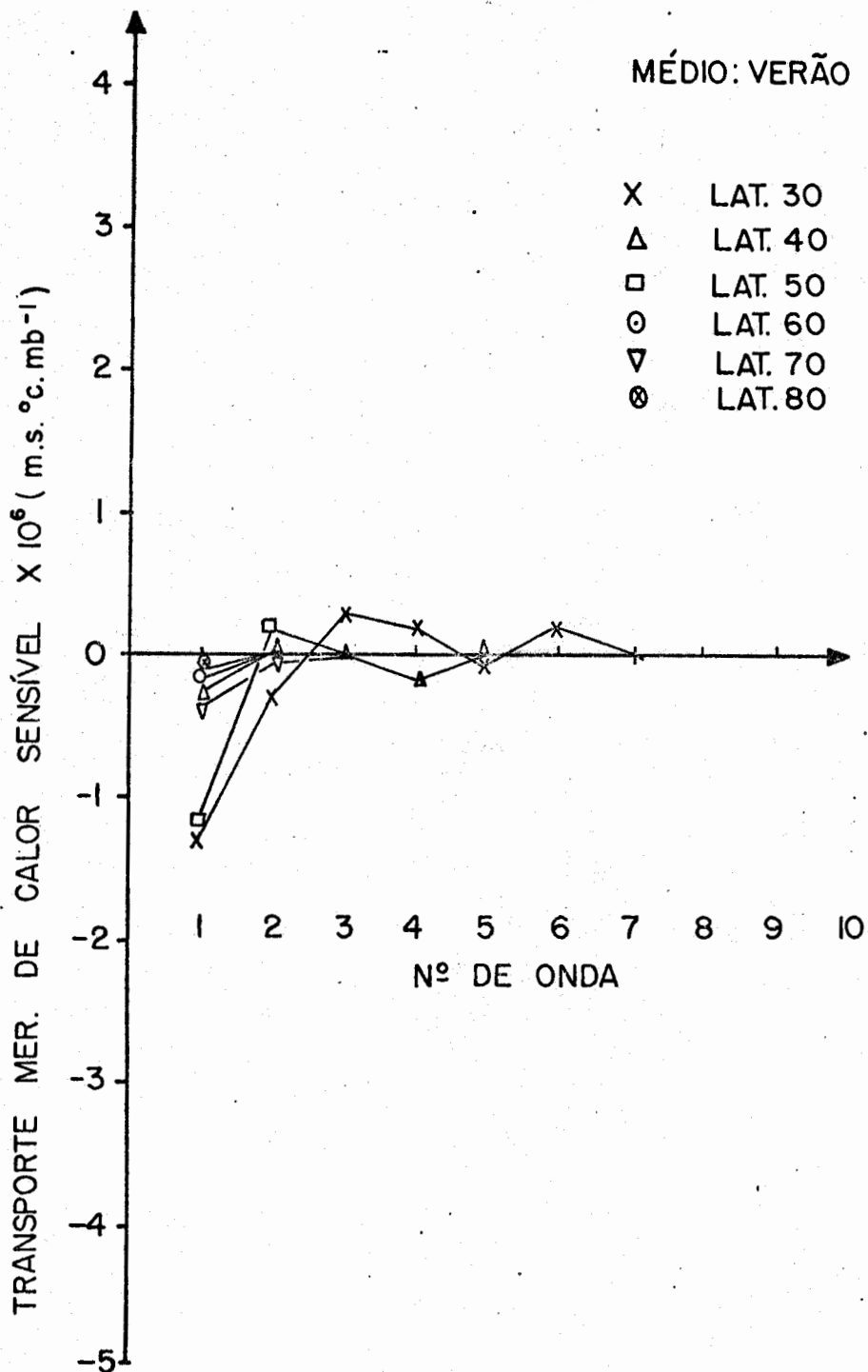


Fig. II.1 - Espectro do transporte de calor sensível no verão ao nível de 100mb, por harmônicos estacionários.

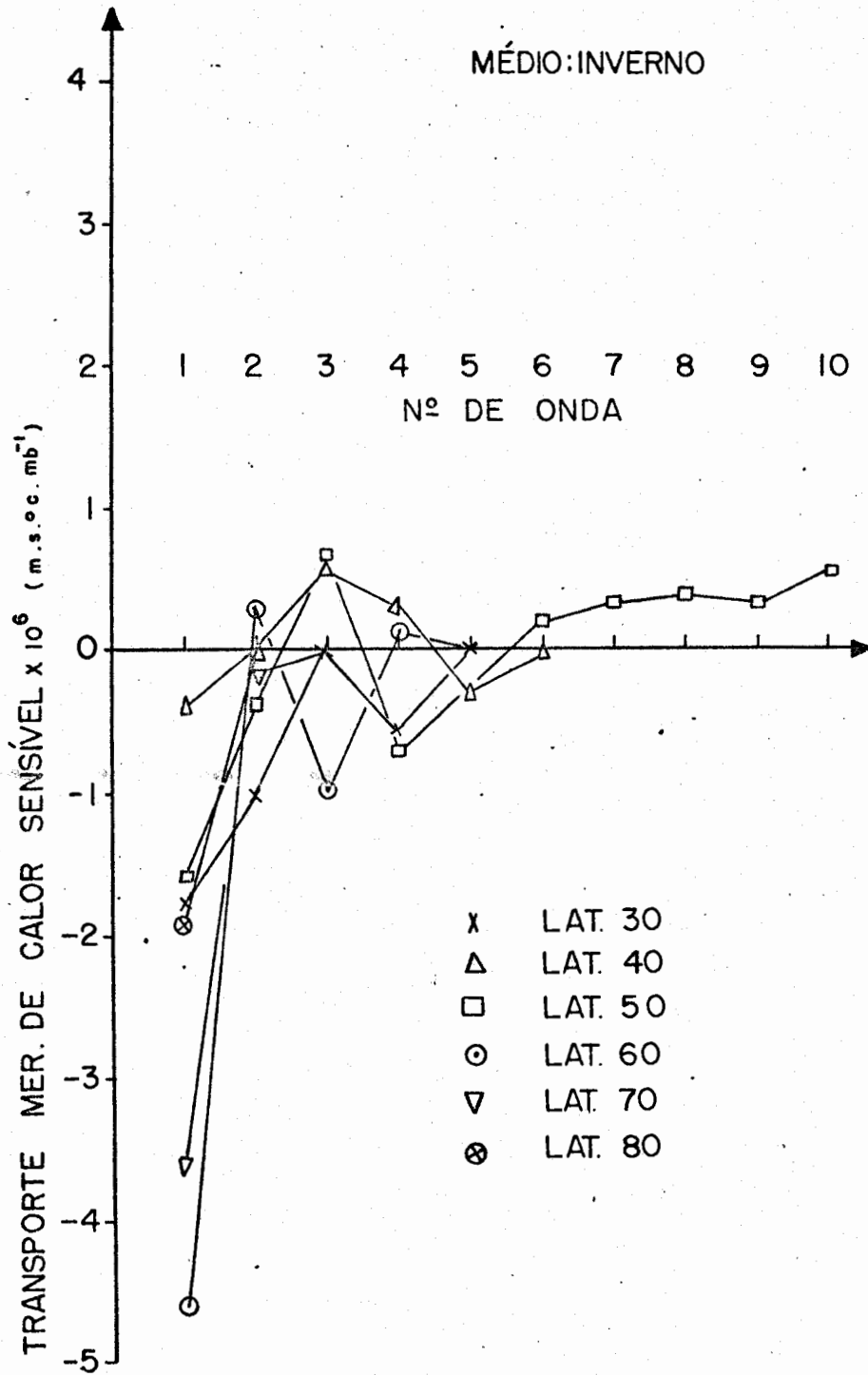


Fig. II.2 - Espectro do transporte de calor sensível no inverno ao nível de 100mb, por harmônicos estacionários.

transporte na direção equatorial. Porém, a intensidade de transporte é bem maior que aquela no verão, principalmente nas latitudes altas.

O máximo transporte está no inverno, em 60°S , e no verão em 50°S . Portanto, as latitudes altas desde 60°S a 80°S no inverno, são regiões de convergência de calor. Isso nos leva a inferir a necessidade de importação de calor nessas regiões para compensar a possível perda de calor devido à radiação. O fato do máximo transporte em 60°S (no inverno) passar para 50°S (no verão), significa o efeito da migração da posição do sol em direção norte. Resultado semelhante para o hemisfério norte foi obtido por Kao e Sagendorf (1970) e Peixoto (1960).

2.3.4 - Distribuição da temperatura média zonal em latitudes

A temperatura média foi calculada através da equação (2). Os resultados estão representados pela Figura II.3. Tanto no inverno como no verão, o gradiente de temperatura está dirigido para o equador exceto ao sul de 50°S no inverno, onde o gradiente de temperatura está dirigido para o pólo sul. Isso sugere que, no inverno, há conversão de energia potencial zonal para turbulenta. Conseqüentemente, o transporte de calor no inverno (exceto nas latitudes altas) e no verão tem sentido contrário ao do gradiente de temperatura. Esse resultado concorda com as conclusões de Kao e Sagendorf (1970) e White (1954) para o hemisfério norte.

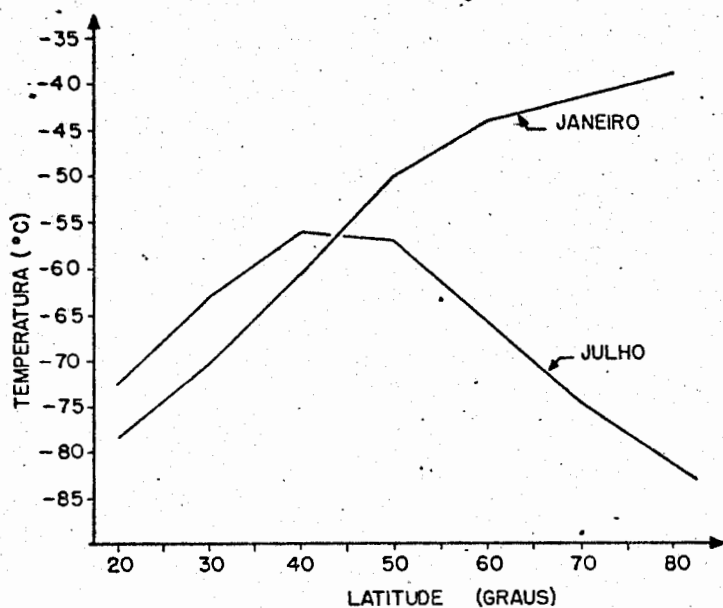


Fig. II.3 - Variação meridional da temperatura média zonal em 100mb.

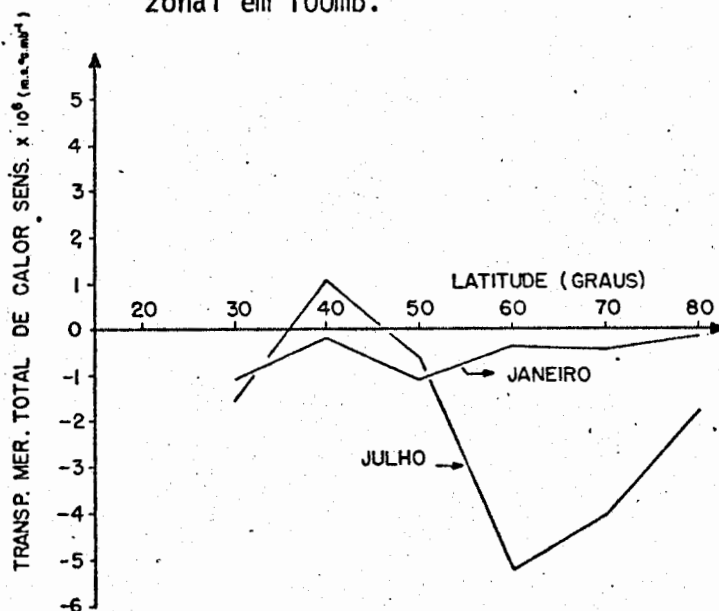


Fig. II.4 - Transporte meridional total de calor sensível por harmônicos estacionários, em inverno e verão, em 100mb.

CAPÍTULO III

TRANSPORTE DE CALOR SENSÍVEL POR HARMÔNICOS TRANSITÓRIOS DURANTE O TEMPO DE AQUECIMENTO NA ESTRATOSFERA INFERIOR (30mb)

3.1 - ANÁLISE HARMÔNICA

A teoria aplicada neste capítulo é a mesma que a do capítulo II. Para fins de computação, usamos os mesmos argumentos adotados na quele capítulo.

3.2 - DADOS

Os dados de temperatura e altura geopotencial em 30mb nos dias seleccionados durante o inverno (18/6, 9/7, 13/8, 17/8, 20/8, 27/8), e a primavera (29/10, 5/11, 19/11) do ano de 1969, foram obtidos do Miller et al (1970), sob a forma de cartas sinóticas.

Em nosso trabalho esses dados foram interpolados linearmente em M pontos (M=36) da grade, ao longo de cada círculo de latitude desde 40°S até 80°S, com intervalos de 10° em latitude e 10° em longitude. As unidades para temperatura e altura geopotencial são °C e metro geopotencial, respectivamente.

A cobertura de dados no hemisfério sul, principalmente no

inverno e na primavera quando ocorria o fenômeno de aquecimento era muito insatisfatória. O lançamento de um satélite com radiômetro multicanal de espectrômetro de infravermelho em 1969, Nimbus III, permitiu grande aumento de dados.

Nas análises sinóticas feitas pelos citados autores, primeiro foram utilizados somente dados de radar convencional, de maneira a obter uma estimativa compatível com os dados de satélite.

3.3 - RESULTADOS

3.3.1 - Espectro do transporte de calor sensível por harmônicos transitórios em 30mb

Neste caso, o transporte também foi calculado através da equação II.8. Os resultados estão representados pelas Figuras III.1 a III.4. Através dessas figuras podemos ver que o transporte na direção polar é dominado pelos primeiros 3 ou 4 harmônicos. Além disso, podemos ver a predominância do harmônico 2 nos dias de inverno e do harmônico 1 nos dias de primavera. O transporte também é maior nas latitudes mais altas. Nas latitudes mais baixas (40 e 50°S) o harmônico 1 é dominante no inverno e 2 ou 3, em primavera. Por outro lado, nas latitudes altas o harmônico 1 é dominante na primavera e o harmônico 2, no inverno.

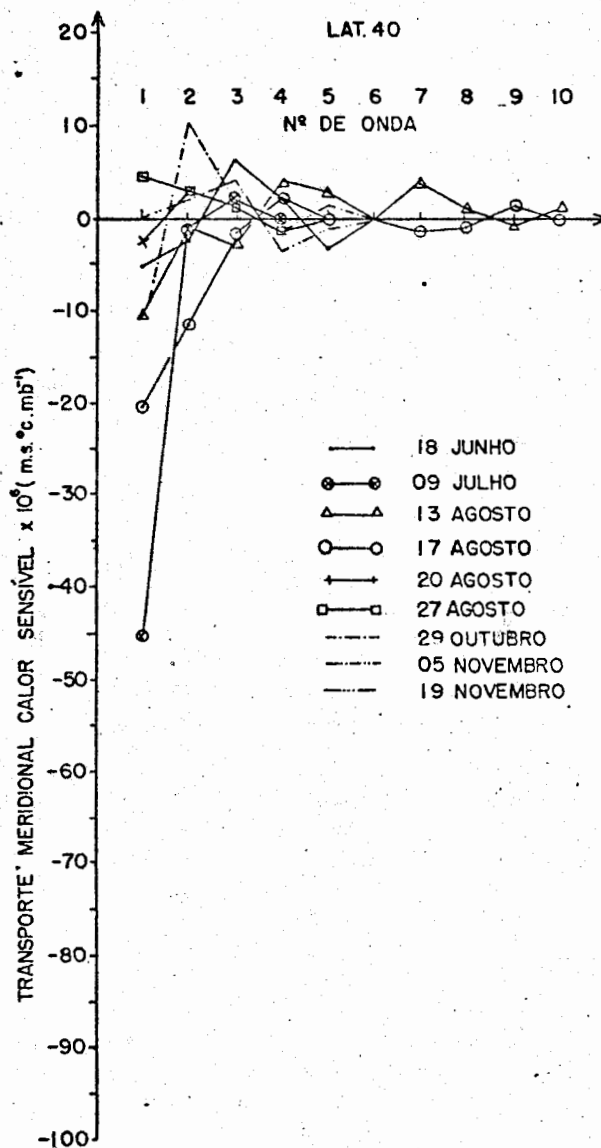


Fig. III.1 - Espectros do transporte de calor sensível, em dias de inverno e em dias de primavera, por harmônicos transitórios em 30mb (Lat. 40°).

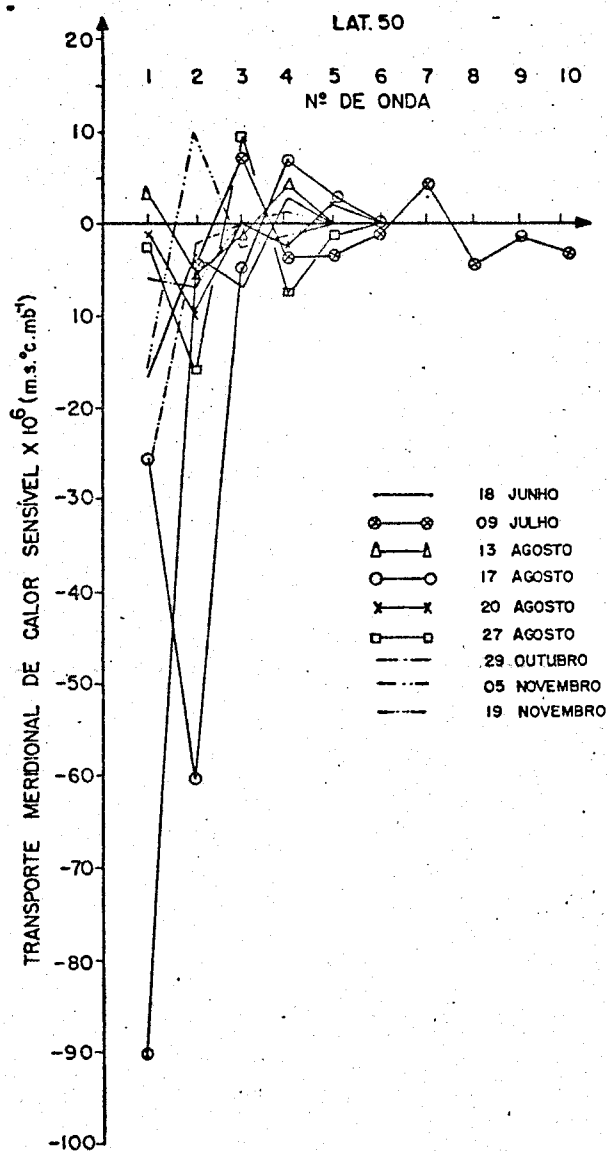


Fig. III.2 - Espectros do transporte de calor sensível. em dias de inverno e em dias de primavera, por harmônicos transitórios em 30mb (Lat. 50°).

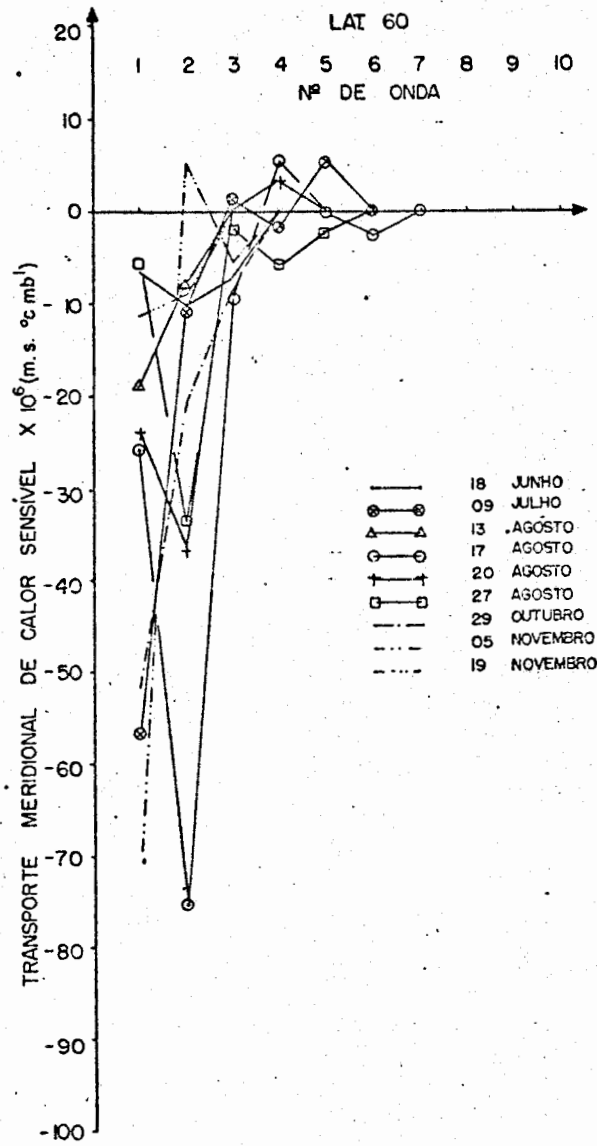


Fig. III.3 - Espectros do transporte de calor sensível, em dias de inverno e em dias de primavera, por harmônicos transitórios em 30mb (Lat. 60°).

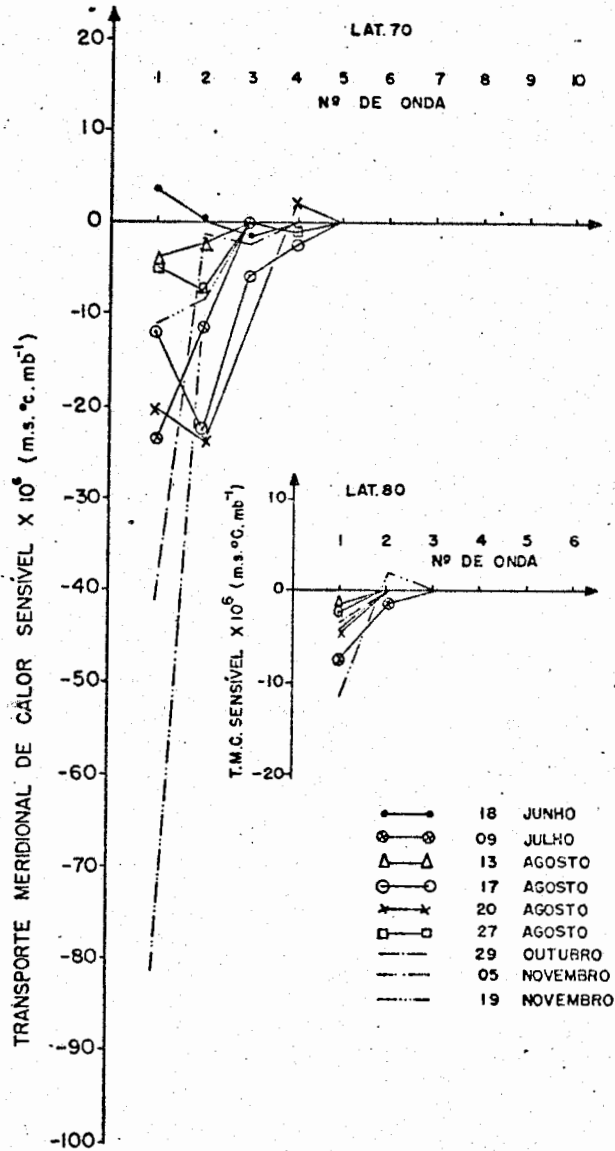


Fig. III.4 - Espectros do transporte de calor sensível, em dias de inverno e em dias de primavera, por harmônicos transitórios em 30mb (Lat. 70°).

3.3.2 - Transporte meridional total de calor sensível por harmônicos transitórios em 30mb

A Figura III.5 nos mostra o transporte meridional total de calor sensível pelos primeiros 5 harmônicos. Tanto em dias de inverno como primavera, o transporte total está dirigido para o pólo sul. O transporte total através da latitude 80°S é pequeno; através da latitude 40°S , no inverno e na primavera, pode ser tanto na direção equatorial como polar. O transporte através de 50°S , em meados de inverno, é maior que nas latitudes altas, ao passo que na primavera o máximo transporte é através de 60 ou 70°S .

Quando numa certa região, o transporte total for muito intenso e na direção polar, podemos inferir o fenômeno de aquecimento. Dessa maneira detectamos dois aquecimentos bruscos não muito intensos em meados do inverno (9/7 e 17/8) e um na primavera (aquecimento final).

3.3.3 - Aquecimento brusco em meados de inverno

Os aquecimentos bruscos que detectamos não são muito intensos, como os do hemisfério norte. Para estudar tais aquecimentos observamos as Figuras III.5 e III.6. A primeira fase de aquecimento começou em fins de junho (18/6) e terminou em torno de 9 de julho (Miller et al, 1970). De fato, podemos observar a intensificação do máximo transporte de calor sensível em 50°S . A segunda fase de aquecimento começou em meados de ago

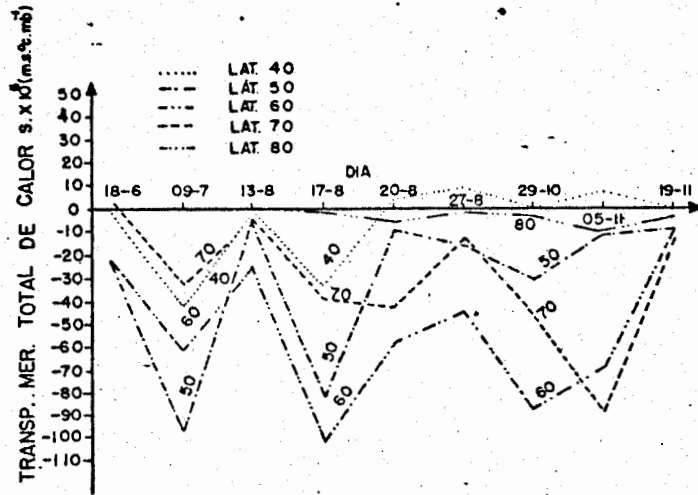


Fig. III.5 - Transporte meridional total de calor sensível por harmônicos transitórios, em dias de inverno e primavera, em 30mb.

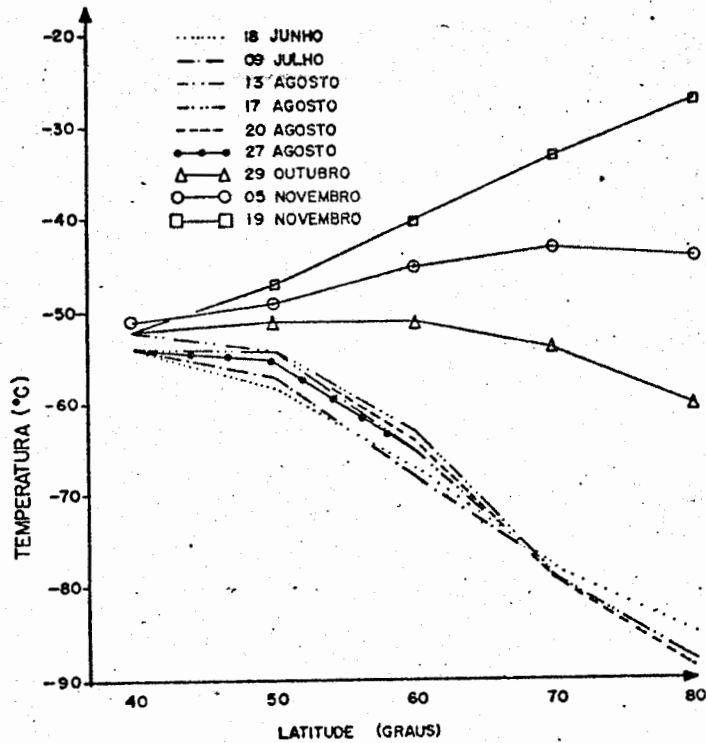


Fig. III.6 - Variação meridional da temperatura média zonal diária, em 30mb.

to (13/8) e terminou em torno de 17 de agosto. Neste caso, podemos ver a intensificação do máximo transporte em 50°S .

Observando a Figura III.6, podemos ver que apesar do transporte intenso na direção polar, o gradiente de temperatura não mudou. Porém, houve um suave aquecimento local em torno de $50 - 60^{\circ}\text{S}$.

3.3.4 - Aquecimento final na primavera

O aquecimento final teve início em 29 de outubro e terminou em torno de 19 de novembro (Miller et al, 1970). Observemos as Figuras III.5 e III.6. De fato, aos 5 de novembro, a região de máximo transporte aproximou-se bem mais para o pólo, passando de 60°S (em 29 de outubro) para 70°S , com aumento na intensidade, causando inversão do gradiente de temperatura meridional.

Quando o aquecimento ocorre em meados de inverno o transporte é maior nas latitudes baixas (9 de julho) e quando ocorre na primavera (aquecimento final) o transporte é bem maior nas latitudes altas (5 de novembro).

CAPÍTULO IV

TRANSPORTE DE CALOR SENSÍVEL POR PERTURBAÇÕES TRANSITÓRIAS NA ESTRATOSFERA SUPERIOR

4.1 - MÉTODO PARA O CÁLCULO DO TRANSPORTE DE CALOR SENSÍVEL

Devido à falta de dados de observação para níveis superiores, a maioria dos pesquisadores concentrou seus estudos, tanto teóricos quanto observacionais, na estratosfera inferior. A estratosfera superior ainda não é bem conhecida, porque a única fonte de dados são os foguetes, que são poucos e não amplos em tempo.

No hemisfério sul temos dados de apenas quatro estações meteorológicas de foguetes, situadas duas em latitudes tropicais (Ascension Islands e Natal), uma em latitude média (Mar Chiquita) e a última em latitude alta (Moledezhanja). Como podemos ver, não temos boa distribuição espacial de dados de foguetes e, portanto, não podemos calcular o transporte de calor pelo método das ondas.

Em vista disso, classificamos os dados de foguetes para regime de inverno (período com ventos de oeste predominantes) e regime de verão (ventos de leste predominantes) e depois calculamos o transporte local de calor por turbulências transitórias em pontos na vertical local, sobre as quatro estações, desde 20 km. até 56 km. de altura, com intervalos de 4 km.

A expressão matemática para tal tipo de cálculo é

$$\overline{VT} = \overline{V T} + \overline{V'T'} \quad (\text{IV.1})$$

onde o primeiro termo do lado direito é o transporte por turbulências permanentes e o segundo, por turbulências transitórias.

Em nosso trabalho calculamos apenas o transporte de calor sensível, S, por turbulências transitórias, $\overline{V'T'}$, utilizando a seguinte expressão matemática:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N V'_i T'_i}{N} \quad (\text{IV.2})$$

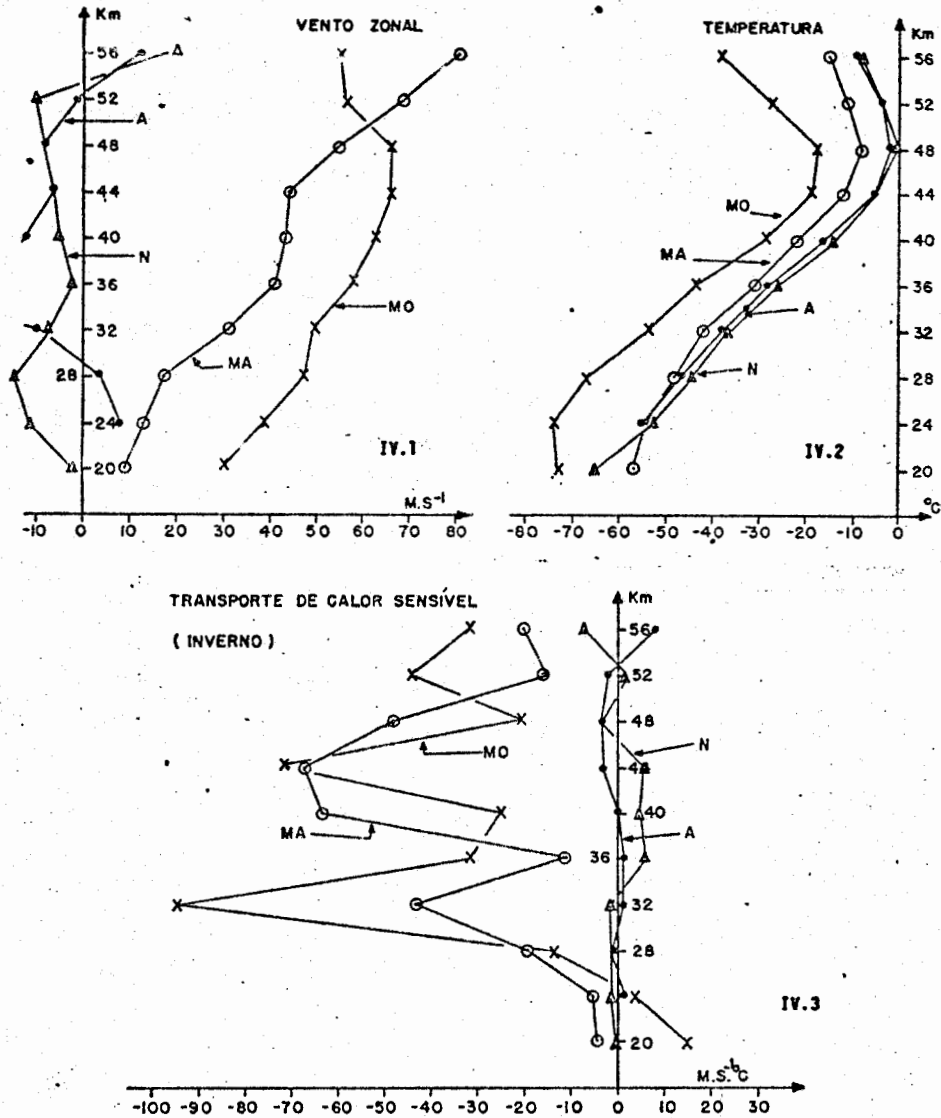
onde N é o número de observações em tempo, para cada nível.

Aqui, devemos chamar a atenção de que as medições de temperatura nas quatro estações são feitas por diferentes sistemas de sondagem por foguetes. A compatibilidade é boa até cerca de 45 km (Finger e Gelman, 1974). Não fizemos, aqui, nenhuma tentativa para corrigir os dados nos níveis superiores, uma vez que os erros relativos são esperados serem pequenos nos desvios da média a qual usamos para calcular o transporte de calor.

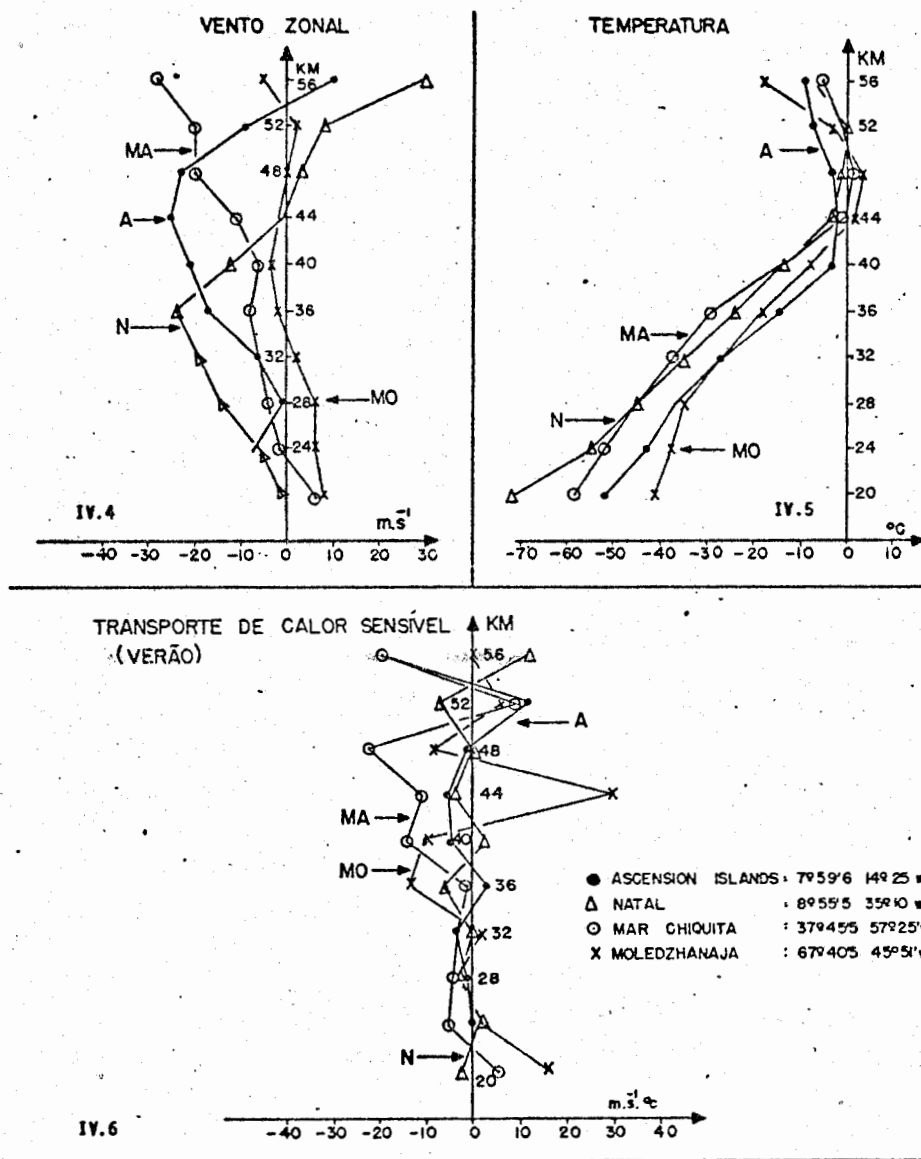
4.2 - RESULTADOS

Os resultados do transporte, obtidos de (2), estão representados pelas Figuras IV.3 e IV.6 e nas Tabelas IV.2 e IV.1. Nas latitudes altas e médias, durante o regime de inverno, reinam ventos fortes de oeste geralmente crescentes com altitude e latitude, nas latitudes tropicais reinam geralmente ventos fracos de leste, Figura IV.1. As temperaturas na estratosfera inferior (20km) parecem atingir máximos nas latitudes médias, Figura IV.2. O transporte de calor de toda a estratosfera, nas latitudes tropicais é pequeno. Na estratosfera superior o transporte é grande e totalmente dirigido para o pólo sul, Figura IV.3.

Quando o regime for de verão, os ventos em toda a estratosfera parecem ser predominantemente de leste e fracos, Figura IV.4. De acordo com a equação do vento térmico, as temperaturas dessa região, ao contrário do que ocorre em regime de inverno, geralmente são mais quentes nas latitudes altas do que nas médias, Figura IV.5. O transporte é pequeno em toda a estratosfera e a direção de transporte é muito variável com a altitude, Figura IV.6.



Figs. IV.1 a IV.3 - Variação do vento zonal, temperatura e transporte de calor sensível por perturbações transitórias, com a altitude e a latitude na estratosfera, no inverno.



Figs. IV.4 a IV.6 - Variação do vento zonal, temperatura e transporte de calor sensível por perturbações transitórias, com a altitude e latitude na estratosfera, no verão.

TABELA IV.1

TRANSPORTE DE CALOR SENSÍVEL POR PERTURBAÇÕES TRANSITÓRIAS
DURANTE REGIME DE VERÃO

Altura Estação	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56
Ascension Isl. 7° 59'S14° 25'W		0 (61)	-1 (77)	-3 (79)	3 (78)	-4 (78)	-5 (80)	-1 (80)	12 (79)	-18 (66)
Natal 8° 55'S35° 10'W	-2 (2)	1 (17)	-3 (23)	0 (23)	-6 (23)	3 (23)	-3 (21)	-1 (21)	-7 (19)	10 (16)
Mar Chiquita 37° 45'S57° 10'W	+5 (16)	-5 (21)	-4 (22)	-3 (22)	-1 (23)	-14 (22)	-11 (23)	-22 (20)	10 (20)	-18 (15)
Moldezhanja 67° 40'S45° 51'E	16 (25)	2 (25)	-3 (25)	1 (25)	-13 (25)	-10 (26)	30 (26)	-8 (22)	6 (18)	0 (15)

Obs.: A unidade de altura é Km e a do transporte de calor sensível é (m.s.°C). Os números entre parênteses são números de observações.

TABELA IV.2

TRANSPORTE DE CALOR SENSÍVEL POR PERTURBAÇÕES TRANSITÓRIAS
DURANTE REGIME DE INVERNO

Altura Estação	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56
Ascension Isl. 7° 59'S 14° 25'W		2 (18)	-1 (58)	1 (59)	1 (58)	0 (58)	-3 (60)	-3 (59)	-2 (58)	7 (53)
Natal 8° 55'S 35° 10'W	0 (8)	-1 (11)	-1 (11)	-1 (11)	6 (11)	5 (10)	6 (10)	-3 (9)	2 (9)	-7 (5)
Mar Chiquita 37° 45'S 57° 25'W	-3 (11)	-5 (16)	-19 (20)	-44 (21)	-11 (23)	-67 (23)	-72 (25)	-48 (26)	-15 (25)	-19 (21)
Moldezhanja 67° 40'S 45° 51'E	15 (28)	3 (28)	-14 (28)	-94 (30)	-31 (29)	-25 (29)	-72 (27)	-20 (26)	-44 (23)	-41 (20)

Obs.: A unidade de altura é Km e a do transporte de calor sensível é (m.s.°C). Os números entre parênteses são números de observações.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

Baseados na disponibilidade dos dados, dividimos o cálculo do transporte de calor sensível em três partes: transporte por ondas estacionárias em 100mb, por ondas transitórias em 30mb, e transporte por perturbações turbulentas na estratosfera superior.

No capítulo II calculamos a primeira parte do transporte. O transporte é geralmente para o pólo sul e maior no inverno, particularmente nas latitudes altas. O transporte total também é bem maior no inverno do que no verão. Além disso, o transporte total através de 60°S , no inverno, é bem maior que através de outras latitudes. As temperaturas ao sul de 50° sul, no inverno, decrescem no sentido do pólo sul. Assim o transporte de calor sensível está dirigido para região de menor temperatura. Isto sugere a transformação de energia potencial disponível para a energia potencial da perturbação.

O transporte por ondas transitórias foi calculada no capítulo III. No nível de 30mb notamos que há predominância do harmônico 1 e 2 nos dias de inverno e do harmônico 1 nos dias de primavera. Em dias de inverno, o transporte total é maior nas latitudes mais baixas ($50 - 60^{\circ}\text{S}$) e em dias de primavera nas latitudes mais altas ($60 - 70^{\circ}\text{S}$). Mesmo com o transporte de calor no sentido do pólo sul, no inverno, o gradiente de temperatura não muda até o início da primavera (29 de outubro). Esse fato su

gere a importância do aparecimento da radiação solar para a mudança da circulação de inverno para a de verão.

Finalmente, no capítulo IV, calculamos o transporte de calor usando os dados de foguetes a fim de obtermos algumas informações sobre a estratosfera superior. Dependendo da direção do vento zonal, dividimos o ano em duas partes: inverno e verão. O transporte no inverno é maior nas estações em Mar Chiquita e em Moledezhanja. Nas estações tropicais em Ascension Island e Natal, o transporte é pequeno. No verão o transporte é pequeno em todas as quatro estações.

AGRADECIMENTOS

Aos Drs. Fernando de Mendonça e Luiz Gylvan Meira Filho,
pelo apoio,

Dr. V. B. Rao, pela orientação,

Gloria M. Ribeiro, pela datilografia e a todos que,
de uma maneira ou outra, tornaram possível a realiza
ção desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- |1| CHARNEY, J. G. AND DRAZIN, P. G. - *"Propagation of Planetary Scale Disturbances from the Lower into the Upper Atmosphere"*, Journal of Geophys. Res., 66, 83 - 109, 1961.
- |2| FINGER, F. G. AND GELMAN, M. E. - *"Some results of the WMO (CIMO) Rocketsonde Intercomparisons - Phase II"*, Presented at the 17 COSPAR Meeting - São Paulo, 1974.
- |3| JULIAN, P. R. AND LABITZKE, K. B. - *"A Study of Atmospheric Energetics During the January - February Stratospheric Warming"*, Journal of Atmospheric Sciences, 22, 597 - 610, 1965.
- |4| KAO, S. K. AND SAGENDORF, J. F. - *"The Large-Scale Meridional Transport of Sensible Heat in Wavenumber Frequency Space"*, Tellus, 22 (2), 172 - 185, 1970.
- |5| MILLER, A. J. - *"The Transfer of Kinetic Energy from the Troposphere to Stratosphere"*, Journal of Atmosphere Sciences, 22, 597 - 610, 1965.
- |6| MILLER, A. J., FINGER, F. G. AND GELMAN, N. E. - *"30mb Synoptic Analyses for the Southern Hemisphere Winter Derived with the Aid of Nimbus III (SIRS) Data"*, NASA Technical Memorandum: NASA TM X-2109, 1-27, December 1970.
- |7| MURGATROYD, R. J. - *"The Physics and Dynamics of the Stratosphere and Mesosphere"*, Reports on Progress in Physics, 33(9), 817-880, 1970.
- |8| NEWELL, R. E. - *"Preliminary Study of Quasi-Horizontal Eddy Fluxes from Meteorological Rocket Network Data"*, Journal of Atmospheric Sciences, 20, 213-225, 1963.

- [9] NEWELL, R. E. - *"Energy and Momentum of Atmosphere Above the Tropopause"*
Problems of Atmospheric Circulation: Edited by R. V. Garcia e
T. F. Malone, 106, 126, 1966.
- [10] OORT, A. H. - *"On the Energetics of the Mean and Eddy Circulation in*
the Lower Stratosphere", Tellus, 16 (3), 309 - 327, August 1964.
- [11] RAO, V. B. - *"On some Aspects of Stationary Harmonics of the*
Atmosphere", Journal of Indian Geophysical Union, 131 - 136, 1970.
- [12] PEIXOTO, J. P. - *"Hemispheric Temperature Conditions During the Year*
1950". Scientific Report n^o 4, Planetary Circulation Project,
Mass., Int. Tech., 211 pp.
- [13] SALTZMAN, B. - *"Equations Governing the Energetics of the Larger Scales*
of Atmospheric Turbulence in the Domain of Wave Number", Journal
of Meteorology, 14, 513 - 523, 1957.
- [14] STARR, V.P. - *"Studies of the Atmospheric General Circulation"*, Final
Report, Part 1, General Circulation Project Contract n^o AF19,
122-153, Dep. of Meteor., Mass. Inst. of Tech., 535, 1954.
- [15] STARR, V. P. - *"Questions Concerning the Energy of Stratospheric*
Motions", Archiv. für met. Geophys. und Brokl., A., 12, 1-7, 1960
- [16] TALJARD, J. J., H. VAN LOON AND ET AL. - *"Climate of Upper Air, Part 1"*
Atlas, National Weather Service Comand, Washington Navy Yard,
Bldg. 200, Washington, D.C. 20390, Vol. 1, 1969.
- [17] WHITE, R. M. - *"The Counter Gradient Flux of Sensible Heat in the Lower*
Stratosphere", Tellus, 6, 177 - 179, 1954.
- [18] WHITE, R. M., AND NOLAN, G. F. - *"A Preliminary Study of the Potential*
to Kinetic Energy Conversion Process in Stratosphere", Tellus,
12 (12), 145 - 148, 1960.