

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

CARACTERIZAÇÃO DAS CIRCULAÇÕES ROTACIONAL E DIVERGENTE
E AS ENERGIAS ASSOCIADAS SOBRE O SETOR TROPICAL DA
AMERICA DO SUL PARA DOIS MESES DE 1978

RAIMUNDO JAILDO DOS ANJOS

Campina Grande - Pb

Agosto de 1994

200
551.513(8)
Nome

CARACTERIZAÇÃO DAS CIRCULAÇÕES ROTACIONAL E DIVERGENTE
E AS ENERGIAS ASSOCIADAS SOBRE O SETOR TROPICAL
DA AMÉRICA DO SUL PARA DOIS MESES DE 1978

Dissertação apresentada ao Curso
de MESTRADO em METEOROLOGIA da
Universidade Federal da Paraíba,
em cumprimento às exigências
para a obtenção do grau de
Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Meteorologia Dinâmica

Manoel Francisco Gomes filho
orientador

José Oribe Rocha de Aragão
co-orientador

Campina Grande - PB

Agosto de 1994



A611c Anjos, Raimundo Jaildo dos.
Caracterização das circulações rotacional e divergente e as energias associadas sobre o setor tropical da América do Sul para dois meses de 1978 / Raimundo Jaildo dos Anjos. - Campina Grande, 1994.
105 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1994.
Referências.

"Orientação : Prof. Manoel Francisco Gomes Filho, Prof. José Oribe Rocha de Aragão".

1. Circulação da Atmosfera. 2. Energia Cinética. 3. Energias Associadas. 4. Dissertação - Meteorologia. I. Gomes Filho, Manoel Francisco. II. Aragão, José Oribe Rocha de. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB)

CDU 551.513(8)(043)

CARACTERIZAÇÃO DAS CIRCULAÇÕES ROTACIONAL E DIVERGENTE E AS
ENERGIAS ASSOCIADAS SOBRE O SETOR TROPICAL DA AMÉRICA DO SUL PARA
DOIS MESES DE 1978.

RAIMUNDO JAILDO DOS ANJOS

DISSERTAÇÃO

APROVADA

EM 16/08/94



MANOEL FRANCISCO GUMES FILHO
Orientador



MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO
Componente da Banca



VALDO DA SILVA MARQUES
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE
AGOSTO - 1994

O tempo é um drama em eterna representação, do qual somos o auditório fascinado. Com a atmosfera inferior como palco, o ar e a água como personagens principais e as nuvens como indumentária, os atos do " Tempo " são apresentados continuamente em algum lugar em redor do globo.

O texto é escrito pelo sol; a produção é dirigida pela rotação da Terra; e, como nenhuma cena de teatro é representada duas vezes da mesma maneira, cada episódio do tempo é interpretado com ligeira diferença, cada um assinalado por um traço de personalidade.

(CLYDE ORR)

" Embora a cada dia aprendemos mais sobre a natureza, tudo que conhecemos será finito. O desconhecido nunca deixará de ser infinito. E quanto mais aprendemos, mais infinito nos parece o desconhecido ".

(MAHATMA GANDHI)

RESUMO

Apresentamos alguns aspectos da Circulação Atmosférica sobre o setor Tropical da América do Sul através dos campos do vento rotacional e divergente. Baseado em KRISHNAMURTI e RAMANATHAN (1982) usamos dados diários em pontos de grade gerados pelo NATIONAL METEOROLOGICAL CENTER (NMC) das componentes zonal e meridional do vento para os meses de março e junho de 1978. Períodos de aumento e redução do gradiente na horizontal do Potencial de Velocidades entre o setor norte da América do Sul, Oceano Atlântico Sul e a Região Nordeste do Brasil sugerem a existência de uma célula de circulação direta sobre estas regiões.

É verificado também, baseado na distribuição espacial do Termo de Interação que sobre o norte da América do Sul existe predominância de transferência de energia da componente divergente para a componente rotacional, enquanto sobre o setor sul da América do Sul a transferência de energia é do modo rotacional para o divergente. Sobre o setor norte da Região Nordeste do Brasil, o modo rotacional recebe energia do modo divergente enquanto sobre no setor sul desta região, é o modo rotacional que cede energia ao modo divergente.

Os resultados mostram que a energia cinética associada com a componente rotacional não sofre variações significativas na alta troposfera sobre os setores norte e sul da América do Sul. Nas quatro áreas estudadas a energia cinética associada com a componente divergente é mais representativa.

ABSTRACT

We present some aspects of the Atmospheric Circulation over the tropical sector of South America as seen through the rotational and divergent wind fields. Following KRISNAMURTI and RAMANATHAN (1992) we use daily NMC grid points data of the zonal and meridional wind components for march and june 1978. Periods of enhancement and reduction in the horizontal gradient of the velocity potential between the northern sector of South America and the South Atlantic Ocean and the Northeast Region suggest the existence of a direct circulation cell over those regions.

It is verified too, based on the spatial distribution of the psi- ω interactions term that, over the northern sector of South America there is a predominance of energy transfer from the divergent to the rotational component while over the southern sector is from the rotational to the divergent one. Over the northern part of Northeast Brazil, the rotational mode receives energy from the divergent one while over the southern part of this region, the rotational mode gives energy to the divergent one.

The results show that the kinetic energy associated with the rotational component of the wind has no sharp variation in the upper troposphere over the northern and southern parts of South America.

DEDICATORIA

A Deus

Aos meus pais
José e Teresinha a quem tanto devo pelo
incentivo nos estudos

A Bete, companheira em todos os momentos

Aos meus filhos, Diego e Mayara

SUMARIO

	Página
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS	xvi
LISTA DE ABREVIATURAS	xvii
Capítulo 1 - INTRODUÇÃO	1
Capítulo 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
Capítulo 3 - DADOS E METODOLOGIA	14
3.1 - Dados Utilizados.....	15
3.2 - Metodologia.....	19
3.2.1 - Componente Rotacional e Divergente do Vento.....	19
3.2.2 - Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente.....	21

	Página
3.2.3 - Termo de Interação PSI.QUI	22
Capítulo 4 - RESULTADOS	24
4.1 - Distribuição Espacial do Potencial de Velocidades.....	24
4.1.1 - Análise do mês de março de 1978.....	25
4.1.2 - Análise do mês de junho de 1978.....	36
4.2 - Divisão da Energia Cinética.....	46
4.2.1 - Energia Cinética sobre o setor norte da América do Sul.....	46
4.2.2 - Energia Cinética sobre o setor sul da América do Sul.....	55
4.2.3 - Energia Cinética sobre a Região Norte do Brasil.....	60
4.2.4 - Energia Cinética sobre a Região Nordeste do Brasil.....	63
4.3 - Distribuição Espacial do Termo de Interação PSI.QUI.....	66
4.3.1 - Evolução Temporal do Termo de Interação PSI.QUI.....	81
Capítulo 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS.....	96

	Página
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
APENDICE A	104
APENDICE B	105

AGRADECIMENTOS

Inúmeras são as dificuldades encontradas por aqueles que se propõem a realizar trabalhos científicos. Na busca para se encontrar saída para alguns obstáculos, não podemos deixar de agradecer a Instituições e a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para o aprimoramento do nosso trabalho, tornando-o útil a comunidade Meteorológica do nosso País.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela oportunidade oferecida e pelo fornecimento dos dados de precipitação,

Ao Departamento de Ciências Atmosféricas da UFPB pela cessão dos dados diários de vento obtidos do NATIONAL METEOROLOGICAL CENTER (NMC),

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) de São José dos Campos pelo fornecimento das imagens de satélite,

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão da Bolsa de Estudos,

Ao Prof. Manoel Francisco Gomes Filho pela paciente orientação e permanente interesse com que acompanhou a realização deste trabalho,

Ao Prof. José Oribe Rocha de Aragão pela co-orientação e

encorajamento em minha participação no Programa de Pós-graduação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET),

A Engenheira Eyres Ventura da Silva da UFPB pelo auxílio na parte computacional,

A Banca Examinadora pelas valiosas sugestões,

Ao Prof. Enilson Palmeira Cavalcanti da UFPB e ao Meteorologista Ricardo de Souza Rodrigues pelo auxílio e apoio no software utilizado na confecção de algumas figuras,

Ao pessoal do Núcleo de Processamento de Dados (NPD) da UFPB, plantonistas e operadores pelos eficientes serviços prestados,

Aos colegas do 3º Distrito de Meteorologia - Recife pelo apoio e compreensão durante as várias fases de elaboração deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

		Página
Fig. 1	- Carta média para o mês de janeiro : Linhas de corrente (linhas cheias) e isotacas (linhas interrompidas) correspondentes ao nível de 250 hPa. Extraída de KOUSKY e FERREIRA (1982)	.....04
Fig. 2	- Carta média para o mês de julho : Linhas de corrente (linhas cheias) e isotacas (linhas interrompidas) correspondentes ao nível de 250 hPa. Extraída de KOUSKY e FERREIRA (1982)	.....05
Fig.3.1	- Distribuição espacial das estações meteorológicas sobre a Região Norte do Brasil	.....17
Fig.3.2	- Distribuição espacial das estações meteorológicas sobre a Região Nordeste do Brasil	.....18
Fig.4.1	- Pentada do Potencial de Velocidades para o período de 5 a 9 de março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	.....26
Fig.4.2	- Pentada do Potencial de Velocidades para o período de 10 a 14 de março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	.....27
Fig.4.3	- Pentada do Potencial de Velocidades para o período de 21 a 25 de março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	.....28
Fig.4.4	- Pentada do Potencial de Velocidades para o período de 26 a 30 de março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	.....29
Fig.4.5	- Pentada da Função de Corrente para o período de 5 a 9 de março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	.....31
Fig.4.6	- Potencial de Velocidades no dia 7 de março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	.....32

Fig.4.7	-	Potencial de Velocidades no dia 12 de março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	....33
Fig.4.8	-	Potencial de Velocidades no dia 13 de março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	....34
Fig.4.9	-	Distribuição média diária da precipitação (mm) em 32 estações meteorológicas localizadas no norte da Região Nordeste do Brasil em março de 1978	....35
Fig.4.10	-	Pentada do Potencial de Velocidades para o período de 2 a 6 de junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	....38
Fig.4.11	-	Pentada do Potencial de Velocidades para o período de 7 a 11 de junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	....39
Fig.4.12	-	Pentada do Potencial de Velocidades para o período de 12 a 16 de junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	....40
Fig.4.13	-	Pentada do Potencial de Velocidades para o período de 20 a 24 de junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	....41
Fig.4.14	-	Pentada do Potencial de Velocidades para o período de 25 a 29 de junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	....42
Fig.4.15	-	Potencial de Velocidades no dia 6 de junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	....43
Fig.4.16	-	Potencial de Velocidades no dia 14 de junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	....44
Fig.4.17	-	Pentada da Função de Corrente para o período de 2 a 6 de junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	....45
Fig.4.18	-	Área delimitando o setor norte (a) e setor sul (b) da América do Sul	....47

Fig.4.19 - Área delimitando a Região Norte (a) e Região Nordeste do Brasil	....48
Fig.4.20 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente em março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC sobre o setor norte da América do Sul	....51
Fig.4.21 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente em março de 1978 em 850 hPa as 00:00 UTC sobre o setor norte da América do Sul	....52
Fig.4.22 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente em junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC sobre o setor norte da América do Sul	....53
Fig.4.23 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente em junho de 1978 em 850 hPa as 00:00 UTC sobre o setor norte da América do Sul	....54
Fig.4.24 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente em março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC sobre o setor sul da América do Sul	....56
Fig.4.25 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente em março de 1978 em 850 hPa as 00:00 UTC sobre o setor sul da América do Sul	....57
Fig.4.26 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente em junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC sobre o setor sul da América do Sul	....58
Fig.4.27 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente em junho de 1978 em 850 hPa as 00:00 UTC sobre o setor sul da América do Sul	....59

Fig.4.28 -	Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente em março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC sobre a Região Norte do Brasil	....61
Fig.4.29 -	Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente em junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC sobre a Região Norte do Brasil	....62
Fig.4.30 -	Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente em março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC sobre a Região Nordeste do Brasil	....64
Fig.4.31 -	Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente em junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC sobre a Região Nordeste do Brasil	....65
Fig.4.32 -	Pentada do Termo de Interação PSI.QUI para o período de 5 a 9 de março de 1978 sobre a América do Sul em 300 hPa as 00:00 UTC	....67
Fig.4.33 -	Pentada do Termo de Interação PSI.QUI para o período de 10 a 14 de março de 1978 sobre a América do Sul em 300 hPa as 00:00 UTC	....68
Fig.4.34 -	Pentada do Termo de Interação PSI.QUI para o período de 21 a 25 de março de 1978 sobre a América do Sul em 300 hPa as 00:00 UTC	....69
Fig.4.35 -	Pentada do Termo de Interação PSI.QUI para o período de 26 a 30 de março de 1978 sobre a América do Sul em 300 hPa as 00:00 UTC	....70
Fig.4.36 -	Pentada do Termo de Interação PSI.QUI para o período de 2 a 6 de junho de 1978 sobre a América do Sul em 300 hPa as 00:00 UTC	....71
Fig.4.37 -	Pentada do Termo de Interação PSI.QUI para o período de 7 a 11 de junho de 1978 sobre a América do Sul em 300 hPa as 00:00 UTC	....72

- Fig.4.38 - Pentada do Termo de Interação PSI.QUI para o período de 12 a 16 de junho de 1978 sobre a América do Sul em 300 hPa as 00:00 UTC73
- Fig.4.39 - Pentada do Termo de Interação PSI.QUI para o período de 20 a 24 de junho de 1978 sobre a América do Sul em 300 hPa as 00:00 UTC74
- Fig.4.40 - Pentada do Termo de Interação PSI.QUI para o período de 25 a 29 de junho de 1978 sobre a América do Sul em 300 hPa as 00:00 UTC75
- Fig.4.41 - Termo de Interação PSI.QUI no dia 21 de março de 1978 sobre a América do Sul em 300 hPa as 00:00 UTC77
- Fig.4.42 - Termo de Interação PSI.QUI no dia 12 de junho de 1978 sobre a América do Sul em 300 hPa as 00:00 UTC78
- Fig.4.43 - Termo de Interação PSI.QUI no dia 19 de junho de 1978 sobre a América do Sul em 300 hPa as 00:00 UTC79
- Fig.4.44 - Termo de Interação PSI.QUI no dia 21 de junho de 1978 sobre a América do Sul em 300 hPa as 00:00 UTC80
- Fig.4.45 - Variação temporal do Termo de Interação PSI.QUI no setor norte (A) e no setor sul (B) da América do Sul em março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC82
- Fig.4.46 - Variação temporal do Termo de Interação PSI.QUI no setor norte (A) e no setor sul (B) da América do Sul em março de 1978 em 850 hPa as 00:00 UTC83
- Fig.4.47 - Variação temporal do Termo de Interação PSI.QUI no setor norte (A) e no setor sul (B) da América do Sul em junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC84
- Fig.4.48 - Variação temporal do Termo de Interação PSI.QUI no setor norte (A) e no setor sul (B) da América do Sul em junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC85

Fig.4.49 -	Variação temporal do Termo de Interação PSI.QUI na Região Norte do Brasil em março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	....87
Fig.4.50 -	Variação temporal do Termo de Interação PSI.QUI na Região Norte do Brasil em junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	....88
Fig.4.51 -	Distribuição média diária da precipitação em 31 estações meteorológicas localizadas na Região Norte do Brasil em março de 1978 as 12:00 UTC	....89
Fig.4.52 -	Distribuição média diária da precipitação em 31 estações meteorológicas localizadas na Região Norte do Brasil em junho de 1978 as 12:00 UTC	....90
Fig.4.53 -	Imagens do satélite GOES na banda do infravermelho para o dia: a) 05/03/1978 b) 06/03/1978	....92
Fig.4.54 -	Variação temporal do Termo de Interação PSI.QUI na Região Nordeste do Brasil em março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	....93
Fig.4.55 -	Variação temporal do Termo de Interação PSI.QUI na Região Nordeste do Brasil em junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC	....94
Fig.4.56 -	Imagens do satélite GOES na banda do infravermelho para o dia: a) 07/03/1978 b) 08/03/1978 c) 09/03/1978 d) 10/03/1978	....95
APENDICE A		...104
APENDICE B		...105

LISTA DE SÍMBOLOS

u	- componente zonal do vento
v	- componente meridional do vento
ψ	- função de corrente
χ	- potencial de velocidades
V_H	- vento horizontal
V_ψ	- componente rotacional do vento
V_χ	- componente divergente do vento
K_e	- energia cinética total
K_ψ	- energia cinética da componente rotacional
K_χ	- energia cinética da componente divergente
K_P	- energia cinética das perturbações
EPD	- energia potencial disponível
$EPDP$	- energia potencial disponível das perturbações
$f \nabla\psi \cdot \nabla\chi$	- termo de interação PSI.QUI
δ	- divergência
ξ	- vorticidade
B_ψ	- fluxo no contorno meridional
B_χ	- fluxo no contorno zonal

LISTA DE ABREVIATURAS

AB	-	Alta da Bolívia
GFDL	-	Geophysical Fluid Dynamical Laboratory
NCAR	-	National Center for Atmospheric Research
NASA	-	National Atmospheric Spacial Agency
NMC	-	National Meteorological Center
INMET	-	Instituto Nacional de Meteorologia
TSM	-	Temperatura da Superfície do Mar
MONEX	-	Monsoon Experiment
GARP	-	Global Atlantic Research Program
ZCAS	-	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	-	Zona de Convergência Intertropical
UTC	-	Unidade de Tempo Convencional
hPa	-	Hecto Pascal
ROL	-	Radiação de Onda Longa

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

A energia solar é praticamente, a principal fonte de energia responsável pelos movimentos que ocorrem na atmosfera terrestre, considerando-se as quantidades recebidas do interior da Terra, da Lua, das estrelas e de outros planetas como desprezíveis. Esta energia aquece a superfície terrestre de modo diferencial e dessa forma, o balanço anual de radiação em um setor qualquer da Terra ou da atmosfera não é necessariamente nulo.

Tal aquecimento diferencial gera fontes e sumidouros de calor na atmosfera, que são essenciais no condicionamento do tempo e do clima no planeta. Estas fontes e sumidouros de calor aquecem e resfriam o sistema Terra-atmosfera por meio de fluxo de calor sensível, calor latente e de radiação. A liberação de calor latente na região tropical é uma importante fonte de energia para a manutenção da circulação geral da atmosfera.

O estabelecimento e manutenção da circulação atmosférica e sua variação interanual sobre a América do Sul, apesar de vários estudos terem sido realizados nesse sentido, apresentam-se ainda como uma incógnita quando vistos sob a ótica dos mecanismos físicos que possam explicar sua manutenção e variabilidade. É conhecido que essa circulação reage diferentemente a fontes de calor próximas ao equador, principalmente, para fontes transientes como o caso de anos com eventos de El Niño, quando

essa região reage com secas na parte nordeste e enchentes nas partes sul e sudeste do Brasil.

É reconhecido por estudiosos da meteorologia tropical que durante o verão a circulação sobre a América do Sul apresenta um centro de ação anticiclônico na parte centro-oeste do continente (Figura. 1), denominada Alta da Bolívia e um cavado em altitude na parte nordeste (KOUSKY e GAN, 1981), (GAN, 1982). Esse cavado sobre o Oceano Atlântico e parte leste do continente é um dos mecanismos responsáveis pelas chuvas no Nordeste do Brasil durante o verão (dez-jan-fev). Contudo, tais analistas testemunham uma grande variabilidade durante esta estação, tanto na posição do centro do sistema quanto na sua intensidade. Essa característica evolue na estação do outono para uma circulação típica de inverno mostrada na Figura 2. Observamos nessa figura que o centro de ação anticiclônico (Alta da Bolívia-AB) fica bastante fraco e deslocado de sua posição de verão para noroeste, como consequência, o cavado em altitude fica enfraquecido até porque, existe a intensificação do anticiclone do Atlântico Sul que a essa época está localizado mais ao norte de sua posição média anual. A circulação nas altas latitudes no Hemisfério Sul apresenta-se aproximadamente zonal e de oeste o que supõe um escoamento de leste nos níveis mais baixos.

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos para estudar essa circulação, porém, essas tentativas foram feitas de forma localizada ou não integrada, e devido as dimensões do continente e as climatologias regionais próprias não se têm

encontrado soluções para uma escala maior.

Vários são os estudos que inferem informações sobre a circulação atmosférica sobre a América do Sul ou parte do continente. Trabalhos pioneiros como os de SERRA (1941) e RATISBONA (1942), tentam explicar as variações do Tempo e do Clima na parte brasileira do continente provocadas por deslocamentos de massas de ar na direção do oceano. Por outro lado, trabalhos mais recentes, a exemplo de NOBRE (1984), estabelece teleconexões entre padrões da circulação na América do Sul e outras partes do globo.

Poucos são os estudos que dão ênfase ao cálculo da energia cinética ou ao balanço da energia cinética sobre a América do Sul. Existe, por exemplo, a necessidade de se conhecer as características energéticas dos ventos rotacional e divergente. Com o objetivo de um melhor entendimento da energética da Circulação Atmosférica, este trabalho aborda alguns aspectos da Circulação sobre o setor tropical da América do Sul à partir do comportamento das componentes rotacional e divergente do vento. O trabalho procura ainda, compreender melhor como se processa as trocas de energias em regiões limitadas da América do Sul.

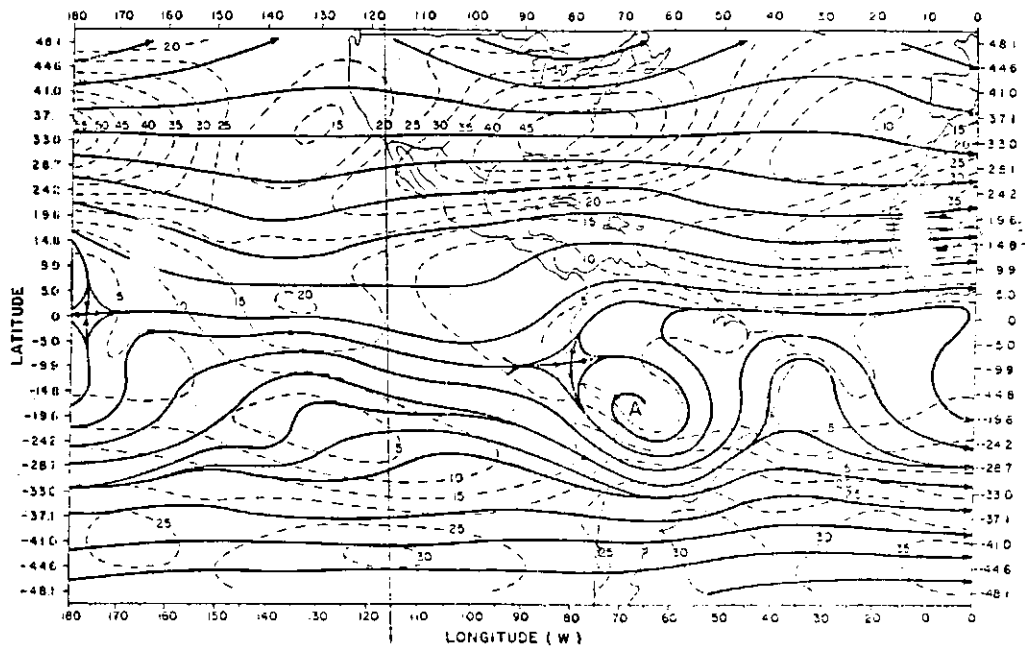


FIG. 1 - Carta média para o mês de janeiro : Linhas de corrente (linhas cheias) e isotacas (linhas interrompidas) correspondentes ao nível de 250 hPa. Extraída de KOUSKY e FERREIRA (1982)

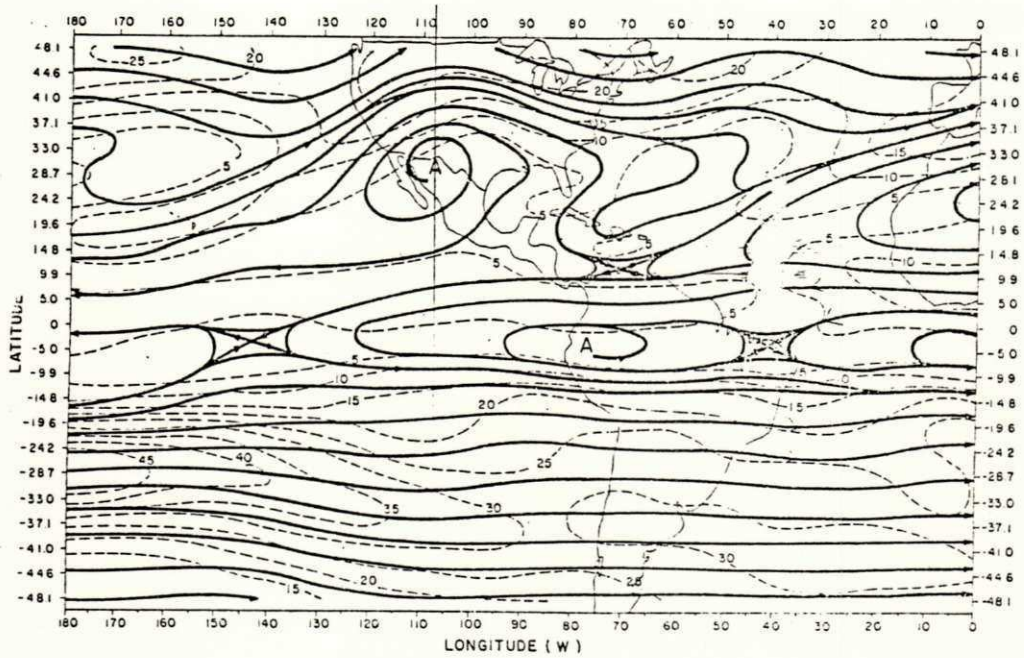


FIG. 2 - Linha média para o mês de julho : Linhas de corrente (Linhas Cheias) e isotacas (Linhas interrompidas) correspondentes ao nível de 250 hPa. Extraída de KOUSKY e FERREIRA (1982)

CAPITULO 2

REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Alguns trabalhos mais recentes como o de MARQUES (1981) tenta obter informações sobre a dinâmica da circulação sobre a Região Nordeste, usando as componentes do balanço de energia e vapor d'água atmosférico. Ele mostrou que para a estação chuvosa média e para a estação chuvosa do ano úmido, tem-se convergência na baixa troposfera e divergência na alta troposfera sobre a Região Nordeste, provocando um movimento vertical ascendente nos baixos níveis, estimulando a precipitação; por outro lado, para a estação seca média e para a estação chuvosa do ano seco há uma convergência em níveis médios com divergência acima e abaixo, induzindo um movimento descendente em baixos níveis, provocando a seca.

CASARIN (1983) desenvolveu um trabalho de análise observacional das ações de bloqueio no Hemisfério Sul, para o período de 1975 a 1979. Ele concluiu que as ações de bloqueio ocorrem na América do Sul principalmente no outono e que a duração de tais fenômenos é menor que em áreas do hemisfério, principalmente as da parte leste da Austrália, que é o local de máxima ocorrência no Hemisfério Sul.

SILVA DIAS et al., (1987) utilizaram um modelo linearizado de água rasa no plano beta equatorial para obter informações sobre o impacto da circulação troposférica tropical forçada diariamente sobre a América do Sul. Eles observaram que a atividade

convectiva diária sobre o setor tropical da América do Sul controla a distribuição da precipitação pesada sobre regiões adjacentes.

KAYANO et al., (1988) utilizaram os campos do movimento vertical e do vento zonal em dois anos contrastantes para obter informações sobre o comportamento das circulações tropicais. Seus resultados mostraram que as noções teóricas sobre as circulações tropicais induzidas por fontes de calor, presentemente aceitas, podem ser aplicadas para explicar algumas das características observadas. Na verdade, os autores concluíram que a intensidade e a localização dos movimentos ascendentes e descendentes foram consistentes com as anomalias de precipitação.

Uma série de estudos discute os padrões da circulação oceânico-atmosférica sobre a América do Sul nos anos que surgem fontes anômalas de calor como o caso de El Niño. JULIAN e CHERVIN (1978) usando o modelo global do NCAR, na presença de uma anomalia positiva da temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico Equatorial Leste, encontraram valores positivos de pressão ao nível do mar (anomalia menos controle) sobre o Nordeste e a Região Amazônica, e ao sul uma extensa área de anomalia negativa. Resultados consistentes foram encontrados por KESHAVAMURTY (1982) com o modelo do GEOPHYSICAL FLUID DYNAMICAL LABORATORY (GFDL) da NASA. Embora utilizando anomalias idealizadas de TSM no Pacífico Central, ele encontrou, em baixos níveis, circulações anticiclônicas sobre a Amazônia e a Região Nordeste do Brasil, e ciclônicas ao sul das Regiões Norte e Nordeste do Brasil.

GILL (1980), através de um modelo simples mostrou que um aquecimento diabático, simétrico ao redor do equador, induz movimentos ascendentes na área forçada e movimentos subsidentes fora dela. HOSKINS e KAROLY (1981) concluíram que a fonte de aquecimento em baixas latitudes gera na alta troposfera, trens de onda que se propagam em direção aos polos e para leste.

Estudos dos balanços de energia e calor têm sido muito utilizados para explicar a dinâmica atmosférica. Entre estes pode-se destacar os trabalhos de HASTENRATH (1966a, 1966b), HOLLAND and RASMUSSEN (1973), HANTEL and PEYINGHAUS (1976), MOHANTY et al., (1982). Alguns autores também tem-se utilizado dos balanços de energia cinética, e quantidade de movimento (momentum) para explicar o comportamento dinâmico da atmosfera em casos de eventos especiais como El Niño. Exemplos destes últimos podem ser vistos em KESHAVAMURTY (1968), KESHAVAMURTY et al., (1970), KUNG and TSUI (1975), TSUI and KUNG (1977).

Baseando-se nessas observações, os autores desenvolveram uma série de experimentos numéricos que confirmaram os resultados obtidos observacionalmente. KESHAVAMURTY et al., (1970) examinou os diferentes termos da equação para o balanço de energia cinética turbulenta estacionária e estimou suas contribuições na manutenção do cavado das monções sobre o norte da Índia. Eles observaram que a maior contribuição para essa manutenção contra a dissipação friccional era a partir do trabalho realizado pelas forças de pressão na horizontal. As contribuições dos termos de advecção média e transiente eram de uma ordem de magnitude menor. Eles observaram ainda que há uma diminuição de energia cinética

turbulenta estacionária pela ascensão de ar frio e descendência de ar quente no plano X - P, na baixa troposfera. Essa circulação térmica indireta é forçada pelo fluxo externo de energia potencial, principalmente os provenientes dos contornos inferior e ao sul da região estudada.

Outros autores ainda se utilizaram das componentes rotacional e divergente do vento para inferir informações acerca da energética dos sistemas atmosféricos. Exemplos desses trabalhos temos: SARDESHMUKH e HOSKINS (1987), PITCHER e GEISLER (1988), HENDON (1986), STEPHENS et al (1978), SHUKLA e SAHA (1974), KRISHNAMURTI e RAMANATHAN (1982).

Existem alguns estudos teóricos e observacionais que tentam explicar os mecanismos responsáveis pela manutenção da circulação atmosférica. Exemplo disso, é o trabalho devido a KRISHNAMURTI et al., (1982) no qual os autores examinaram aspectos observacionais da evolução nas trocas de energia e aquecimento diferencial durante o experimento MONEX (Monsoon Experiment) do Global Atlantic Research Program - GARP.

Eles enumeraram alguns resultados importantes obtidos a partir desse trabalho:

a) Grande acréscimo na energia cinética total (K_e) e da energia cinética rotacional (K_ψ) sobre o Mar da Arábia, em torno de uma semana antes do estabelecimento das chuvas de monção, sobre o centro da Índia.

b) O campo do aquecimento diferencial durante o período de estabelecimento da monção move-se para uma posição favorável

à geração de energia potencial disponível das perturbações (EPD) e sua conversão em energia cinética das perturbações (ECP).

c) A liberação de Energia Potencial Disponível das perturbações vai aumentar a energia cinética das circulações divergentes, (K_{χ}).

d) A energia cinética divergente (K_{χ}) não aumenta significativamente com o tempo. Essa energia é transferida rapidamente para o movimento rotacional via interação $\psi \cdot \chi$. A orientação dos fluxos divergentes é de grande importância nessas transferências durante as várias fases das monções.

SHUKLA e SAHA (1974) apresentaram um esquema interativo para calcular a função de corrente e o potencial de velocidades (ψ , χ) a partir dos campos observados dos ventos.

Alguns autores abordam o cálculo da energia cinética sobre a América do Sul para explicar os mecanismos de crescimento e decaimento de distúrbios atmosféricos. Entre estes destacam-se os trabalhos de SILVA DIAS (1985), SAKAMOTO (1992) e MARQUES et. al. (1992).

A análise do balanço de energia cinética sobre a América do Sul foi inicialmente estudado por SILVA DIAS (1985). Neste trabalho, o autor estuda a manutenção da Alta da Bolívia sobre a parte centro-oeste da América do Sul e a amplificação do cavado profundo na parte nordeste do continente durante a estação de verão. Ele observou, que o aumento da energia potencial disponível na parte central do continente, ocorre com o aquecimento convectivo sobre a região. Por outro lado, a energia potencial

disponível na área de atuação do cavado (incluindo a Região Nordeste do Brasil) tem comportamento energético oposto. Na área do cavado, a energia cinética é mais alta do que na área central da América do Sul.

Mais recentemente, SAKAMOTO (1992) utilizando dados diários da componente zonal e meridional do vento sobre a América do Sul, fez uma análise do balanço de energia cinética, numa situação de frente estacionária no Brasil em fevereiro de 1989. De seu estudo podem ser destacadas algumas observações:

a) A distribuição espacial dos termos da equação de balanço de energia mostra que, áreas de tendência positiva na região da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCIT) são essencialmente devido à conversão de Energia Potencial Disponível (EPD) em energia cinética (geração ageostrófica).

b) Na fase de máxima evolução da ZCAS, o termo de geração ageostrófica age como fonte de energia e o termo de resíduo, como o principal sumidouro de energia cinética em quase toda a camada atmosférica.

c) A intensificação dos ventos de oeste em altos níveis, ocorre ao sul da região da circulação da Alta da Bolívia.

MARQUES e RAO (1992) por sua vez, fizeram um estudo observacional da energética e eficiência das ondas baroclínicas de escala média no Hemisfério Sul. Nesse trabalho é observado a evolução de um distúrbio baroclínico que domina a atmosfera de verão do Hemisfério Sul no período de 9 a 17 de dezembro de

1979. Os resultados mostram que o transporte de calor na atmosfera tem um atraso de um a dois dias em relação ao máximo de transporte de calor nos baixos níveis. Este tempo de atraso é devido ao resultado do transporte de energia da onda para os altos níveis, enquanto ela amadurece. Esses resultados mostram ainda que o transporte de calor é mais eficiente que o transporte de momentum, sendo o dia de máxima eficiência, um dia antes de a onda de média escala atingir o máximo de energia cinética.

GRIMM et al., (1990) testaram os métodos de JULIAN (1984) e de KRISHNAMURTI e LOW-NAM (1986) na determinação do vento divergente em 200 hPa, na faixa tropical, à partir de dados de Radiação de Onda Longa (ROL). Eles concluíram que a utilização de dados de ROL produz melhor ajuste no campo do vento divergente. Os padrões de divergência obtidos por JULIAN e KRISHNAMURTI e LOW-NAM são muito semelhantes, porém de KRISHNAMURTI obtem-se magnitudes muito menores que de JULIAN e até mesmo menores que (u) e (v) analisados. JULIAN fornece melhores resultados, em vista de sua melhor calibração. KRISHNAMURTI apresenta uma relação fisicamente mais significativa entre ROL e Divergência, mas sua calibração é menos confiável.

A análise dos estudos acima mencionados permite relacionar algumas características básicas da Circulação Atmosférica. A necessidade de se conhecer algumas características energéticas dessa circulação nos levou a uma sugestão do trabalho de SAKAMOTO (1992), que é o cálculo da energia cinética com os ventos rotacional e divergente. Outro objetivo desse trabalho é compreender melhor, o modo como se processa as trocas de

energias no setor Tropical da America do Sul através do processo de interação.

CAPITULO 3

DADOS E METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os dados e a metodologia utilizados nos cálculos da energia cinética das componentes rotacional e divergente e no cálculo do termo de interação. Estes cálculos são realizados em função de uma única base de dados, a do NATIONAL METEOROLOGICAL CENTER (NMC).

Este trabalho aborda alguns aspectos da Circulação Atmosférica sobre o Setor Tropical da América do Sul à partir do comportamento das componentes rotacional e divergente do vento e infere informações sobre a energética de sistemas atmosféricos sobre o setor Tropical da América do Sul. O trabalho procura ainda, compreender melhor como se processa as trocas de energia em regiões limitadas do continente.

Os períodos estudados compreendem basicamente os meses de março e junho de 1978. Esses períodos são meses de atuação de diferentes sistemas de perturbações sobre o Brasil a saber:

março - zona de convergência intertropical (ZCIT) com atuação na parte norte do Brasil e vórtices ciclônicos da alta troposfera na Região Nordeste do Brasil.

junho - sistemas de brisas no litoral do continente, ondas de leste com atuação mais marcante no litoral e zona da mata da Região Nordeste do Brasil e os sistemas frontais predominando nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil.

A escolha dos meses de março e junho de 1978 deve-se a disponibilidade dos dados no Departamento de Ciências Atmosféricas da UFPB.

3.1. DADOS UTILIZADOS

Uma das maiores dificuldades encontradas por aqueles que se propõem a estudar o comportamento das circulações atmosféricas sobre a América do Sul é a pouca disponibilidade de dados de altitude. Na verdade, a má cobertura das estações de radiossondagens, vem afetando seriamente as análises dos estudos no setor Tropical da América do Sul.

Neste estudo foram utilizados dados diários da componente zonal e meridional do vento, gerados pelo NATIONAL METEOROLOGICAL CENTER (NMC) dos Estados Unidos. Os dados do NMC fazem parte de um conjunto de dados globais obtidos para dar suporte ao FGGE. Estes dados cobrem os meses de março e junho de 1978 e estão em pontos de grade com espaçamento de 2.5° x 2.5° (latitude x longitude). As análises basearam-se nos níveis de 300 hPa e 850 hPa no horário das 00:00 UTC.

Os dados cobrem uma grade que vai de 80° W a 20° W e de 12.5° N a 30° S. Os dias em que não havia dados, foram preenchidos através da média ponderada da série temporal dos parâmetros utilizados nesse trabalho.

Foram também utilizados dados diários de precipitação de 31 estações meteorológicas localizadas na Região Norte

do Brasil e 32 estações sobre a Região Nordeste do Brasil, obtidos do INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). A distribuição das estações meteorológicas é apresentada na Figura 3.

As imagens de satélite utilizadas neste trabalho foram adquiridas do INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE).

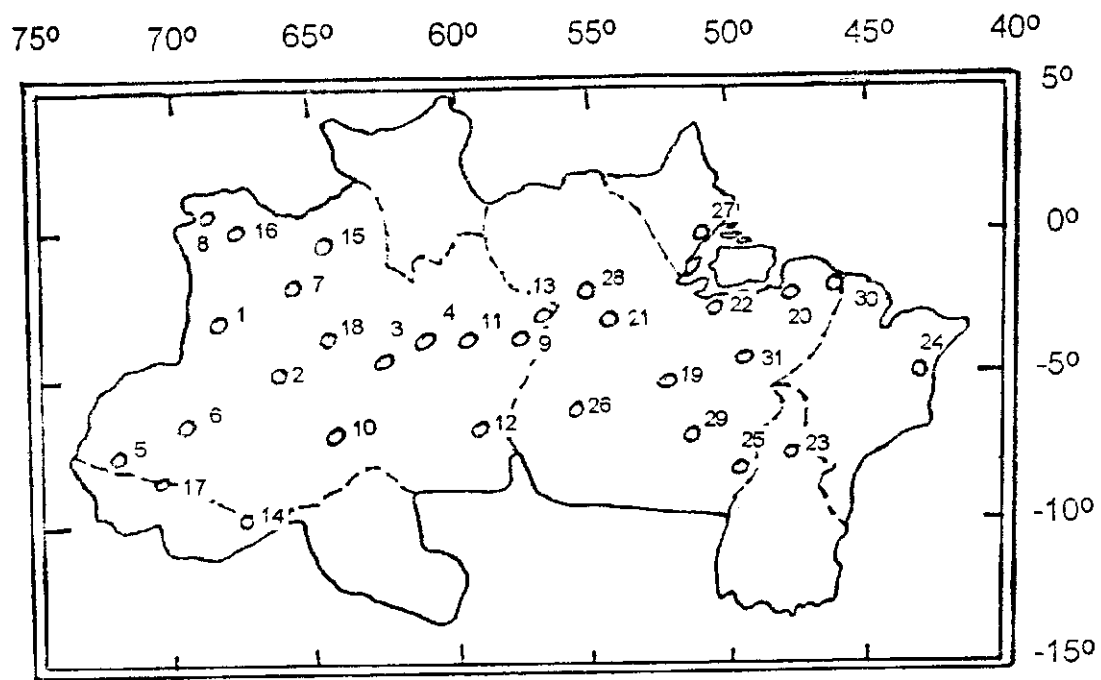


Fig.3.1 - Distribuição espacial das estações meteorológicas sobre a Região Norte do Brasil

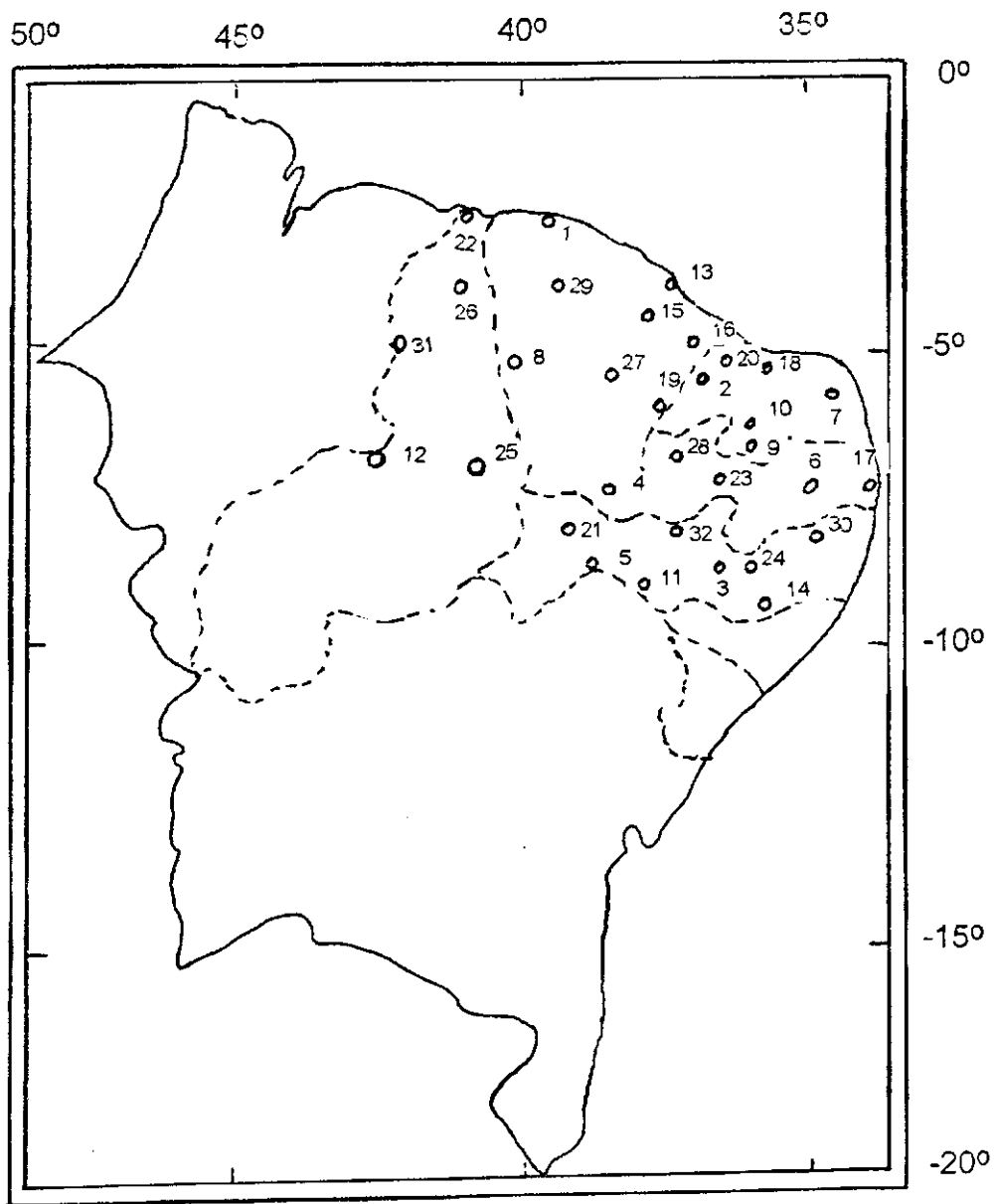


Fig.3.2 - Distribuição espacial das estações meteorológicas sobre a Região Nordeste do Brasil

3.2. METODOLOGIA

O procedimento adotado neste trabalho está baseado no trabalho de KRISHNAMURTI e RAMANATHAN (1982). Esses autores expressam a equação do balanço de energia cinética em função de suas componentes divergente e rotacional.

Para fins de cálculos computacionais, dividiu-se o trabalho nos seguintes tópicos:

- a) Componentes Rotacional e Divergente do Vento
- b) Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente
- c) Termo de Interação PSI.QUI

3.2.1. COMPONENTES ROTACIONAL E DIVERGENTE DO VENTO

Para calcular as componentes rotacional (\vec{v}_ψ) e divergente (\vec{v}_χ) do campo dos ventos, partimos das definições da Vorticidade e Divergência, cujas relações matemáticas são dadas pelas equações (1) e (2) respectivamente. Esses dois parâmetros são obtidos a partir das componentes zonal e meridional do vento horizontal:

$$(1) \quad \zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

$$(2) \quad \delta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$$

Onde ζ é a componente vertical do vetor vorticidade dados por:

e δ é a divergência horizontal.

Agora, separando o campo dos ventos em suas partes não-divergente (\vec{v}_ψ) e irrotacional (\vec{v}_χ), e de acordo com o Teorema de HELMHOLTZ, podemos ver que:

$$\vec{v}_H = \vec{v}_\psi + \vec{v}_\chi$$

com

$$\nabla \cdot \vec{v}_\psi = 0$$

e

$$\nabla \times \vec{v}_\chi = 0$$

dai, pode-se ter, por definição, uma função de corrente (ψ) tal que:

$$\vec{v}_\psi = K \times \nabla \psi$$

e

$$(3) \quad \zeta = K \cdot \nabla \times \vec{v} = \nabla^2 \psi$$

e por conseguinte, definindo um potencial de velocidades (χ)

$$\vec{v}_\chi = -\nabla\chi$$

e

$$(4) \quad \delta = \nabla \cdot \vec{v} = \nabla^2\chi$$

Finalmente, as componentes rotacional e divergente (\vec{v}_ψ , \vec{v}_χ) do vento são obtidos através da relaxação das relações (3) e (4), uma vez conhecida a Vorticidade ($\zeta = \nabla^2\psi$) e a divergência $\delta = \nabla^2\chi$.

3.2.2. ENERGIA CINÉTICA DAS COMPONENTES ROTACIONAL E DIVERGENTE

Para se obter as energias cinéticas das componentes rotacional (K_ψ) e divergente (K_χ) do campo dos ventos respectivamente, temos:

$$(5) \quad K_\psi = \frac{1}{2} (u_\psi^2 + v_\psi^2)$$

$$(6) \quad K_\chi = \frac{1}{2} (u_\chi^2 + v_\chi^2)$$

uma vez calculados a função de corrente (ψ) e o potencial de velocidades (χ), como mostrado no item anterior.

3.2.3. TERMO DE INTERAÇÃO PSI.QUI

KRISHNAMURTI e RAMANATHAN (1982) expressam a equação da energia cinética para um determinado domínio, pelas suas componentes rotacional e divergente, através das relações matemáticas:

$$(7) \quad \frac{\partial \overline{\overline{K}}_{\psi}}{\partial t} = \overline{\overline{B}}_{\psi} + \overline{\overline{f \nabla_{\psi} \cdot \nabla \chi}} + \overline{\overline{\nabla^2 \psi \nabla \psi \cdot \nabla \chi}} + \overline{\overline{\nabla^2 \chi (\nabla \psi)^2 / 2}} + \overline{\overline{WJ(\psi, \frac{\partial \chi}{\partial p})}} + \overline{\overline{F\psi}}$$

e

$$(8) \quad \frac{\partial \overline{\overline{K}}_{\chi}}{\partial t} = \overline{\overline{B}}_{\chi} - \overline{\overline{\chi \nabla^2 \phi}} - \overline{\overline{f \nabla \psi \cdot \nabla \chi}} - \overline{\overline{\nabla^2 \psi \nabla \psi \cdot \nabla \chi}} - \overline{\overline{\nabla^2 \chi (\nabla \psi)^2 / 2}} - \overline{\overline{WJ(\psi, \frac{\partial \chi}{\partial p})}} + \overline{\overline{F\chi}}$$

A integração horizontal dessas equações sobre uma área que engloba a América do Sul, expressa o balanço de energia cinética para uma determinada área fechada.

Onde os termos $\overline{\overline{B}}_{\psi}$, $\overline{\overline{B}}_{\chi}$ denotam fluxos através dos contornos meridional e zonal e os termos com duplas barras denotam os termos das interações $\psi \cdot \chi$. Os termos $\overline{\overline{F}}_{\chi}$ e $\overline{\overline{F}}_{\psi}$ representam os termos de atrito relativos aos movimentos

divergente e rotacional.

Nesse trabalho só calculamos o primeiro termo de interação ($f \nabla\psi \cdot \nabla\chi$), porque como pode ser visto em KRISHNAMURTI et al., (1982) a contribuição dos outros termos de interação para o balanço das energias cinéticas rotacional e divergente é bem menor em relação ao primeiro termo.

A magnitude do termo ($f \nabla\psi \cdot \nabla\chi$) depende da orientação dos vetores (\vec{v}_ψ) e (\vec{v}_χ). Se sobre o Hemisfério Sul ($f \nabla\psi \cdot \nabla\chi > 0$), então a transferência de energia cinética é do modo rotacional para o modo divergente. Se ($f \nabla\psi \cdot \nabla\chi < 0$), então é o modo divergente da energia cinética que transfere energia para o modo rotacional.

CAPITULO 4

4. RESULTADOS

4.1. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO POTENCIAL DE VELOCIDADES

O Teorema de HELMHOLTZ estabelece que qualquer campo do vento horizontal (\vec{V}_H) pode ser dividido em suas partes rotacional (\vec{V}_ψ) e divergente (\vec{V}_χ). Esse Teorema relaciona essas duas componentes em termos de duas funções escalares, a função de corrente (ψ) e o potencial de velocidades (χ). Foi visto no capítulo 3 que de acordo com esse teorema:

$$\vec{V}_H = \vec{V}_\psi + \vec{V}_\chi$$

onde,

$$\vec{V}_\psi = K \times \nabla \psi \quad \text{e} \quad \vec{V}_\chi = -\nabla \chi$$

A parte rotacional do vento (\vec{V}_ψ) flui paralelo aos contornos de (ψ), e a parte divergente atua perpendicularmente aos contornos de (χ), dos baixos para os altos valores. Suas magnitudes são inversamente proporcionais ao espaçamento dos contornos.

Na análise da distribuição espacial do potencial de velocidades (χ) e da função de corrente (ψ), foi utilizado um intervalo de contorno de $5.0 \times 10^6 \text{ m}^2 \times \text{s}^{-1}$

4.1.1. Análise do mês de março de 1978

Na análise da distribuição espacial do potencial de velocidades (χ) e da função de corrente (ψ), são utilizadas as médias feitas a cada cinco dias (pentadas) no nível de 300 hPa às 00:00 UTC. As médias a cada cinco dias foram definidas nos períodos indicados na Tabela 1.

TABELA 1 - Pentadas para o mês de março de 1978

Pentada	Data Inicial	Data Final
01	05/03	09/03
02	10/03	14/03
03	21/03	25/03
04	26/03	30/03

Em março de 1978 houve interrupção nos dados diários entre os dias 15 e 20.

As Figuras 4.1 - 4.4 mostram o padrão médio do potencial de velocidades (χ) sobre a América do Sul. Nestas figuras, ficam evidentes períodos alternados de aumento e diminuição do campo médio do potencial de velocidades sobre o setor Tropical da América do Sul durante o mês de março. A presença de um centro de mínima do potencial de velocidades no centro da Região Norte do Brasil, indica uma região produtora (fonte) de energia, com divergência predominando na alta troposfera, compatível com a atuação da circulação da Alta da Bolívia, principalmente nas du-

as últimas pentadas. As linhas positivas formam um centro de máxima de potencial de velocidades sobre o Oceano Atlântico Sul, que se desloca de leste para oeste no decorrer do período.

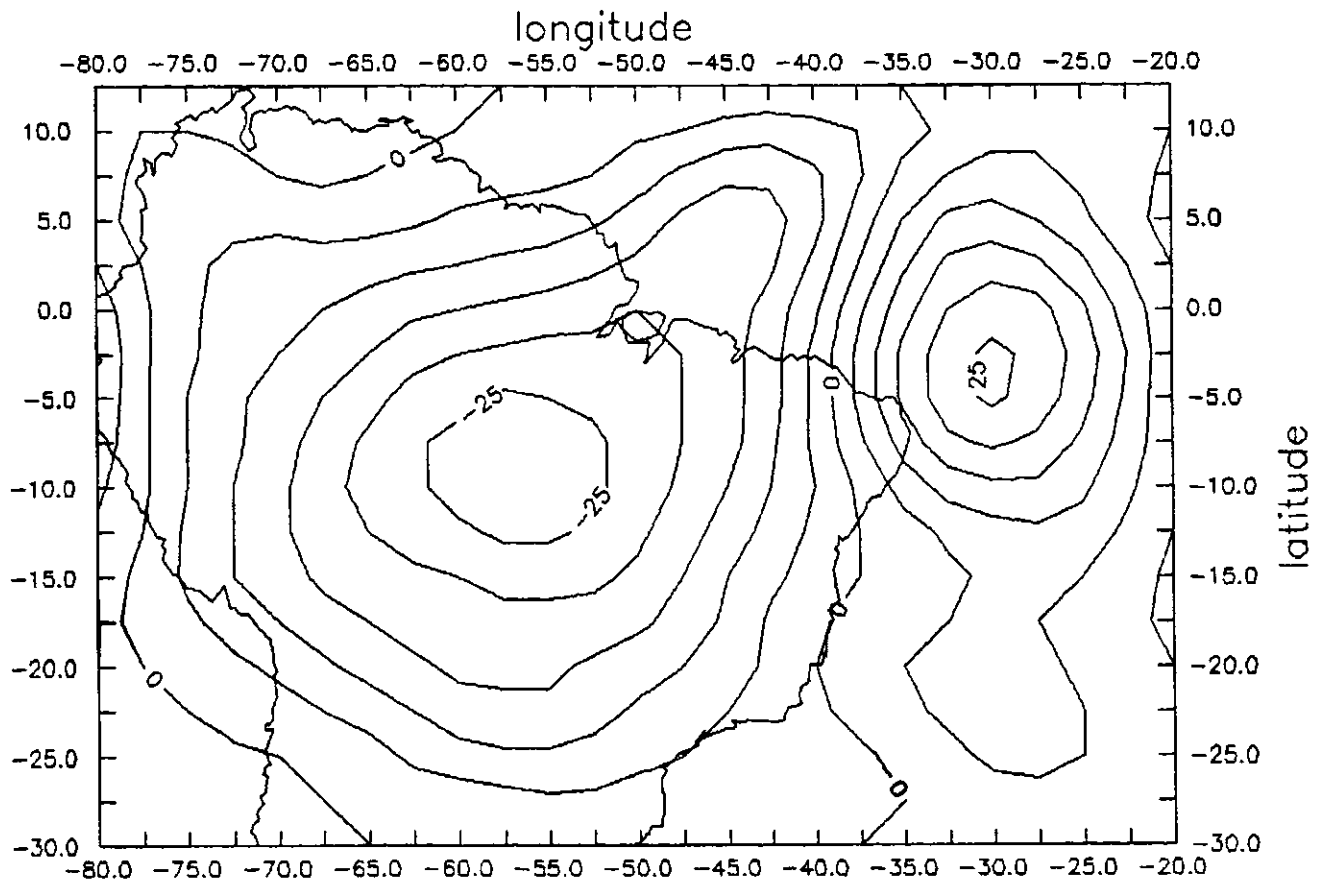


Fig.4.1 - Pentada do Potencial de Velocidades $\times 10^6$ ($m^2 s^{-1}$) para o período de 5 a 9 de março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $5 \times 10^6 m^2 s^{-1}$

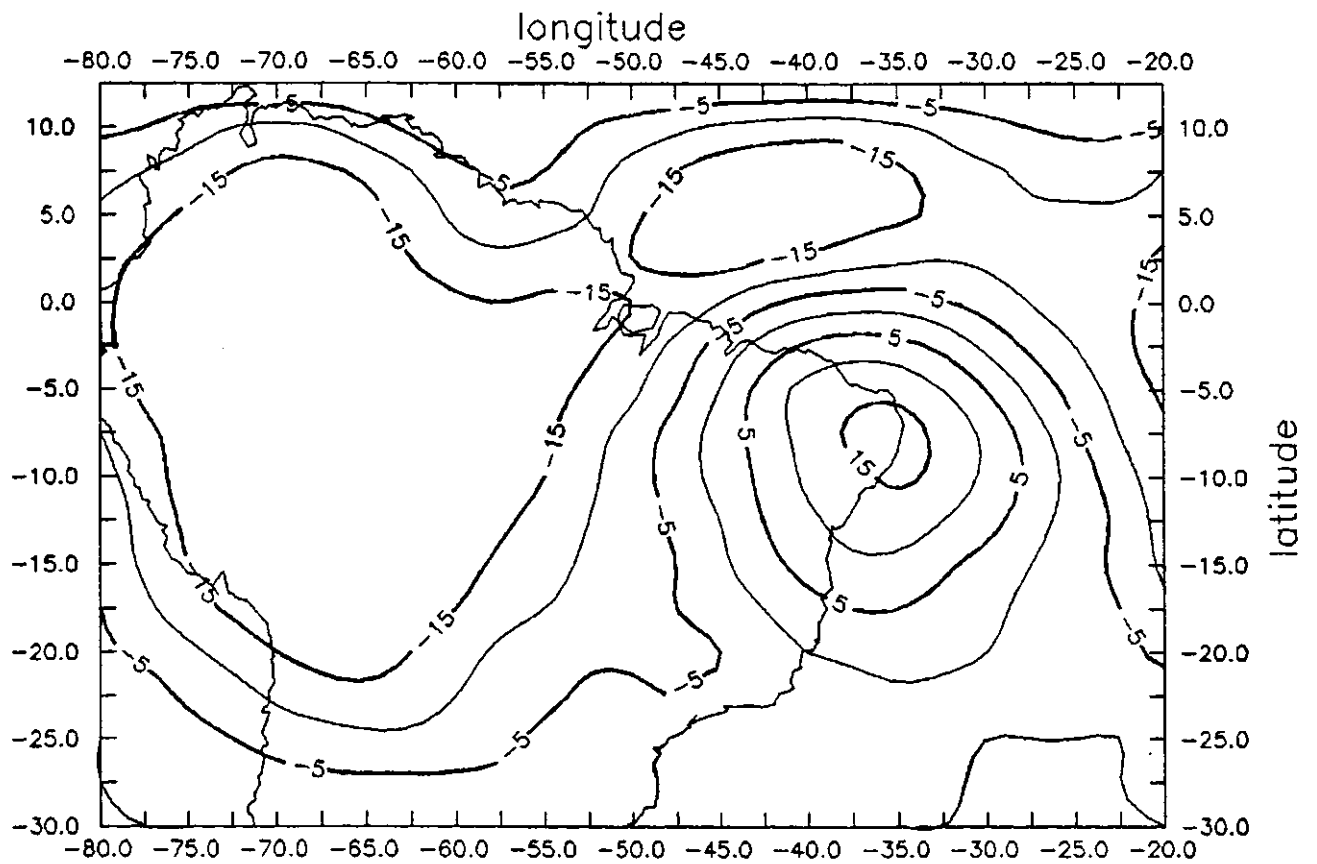


Fig.4.2 - Pentada do Potencial de Velocidades $\times 10^6$ ($m^2 s^{-2}$) para o período de 10 a 14 de março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $5 \times 10^6 m^2 s^{-2}$

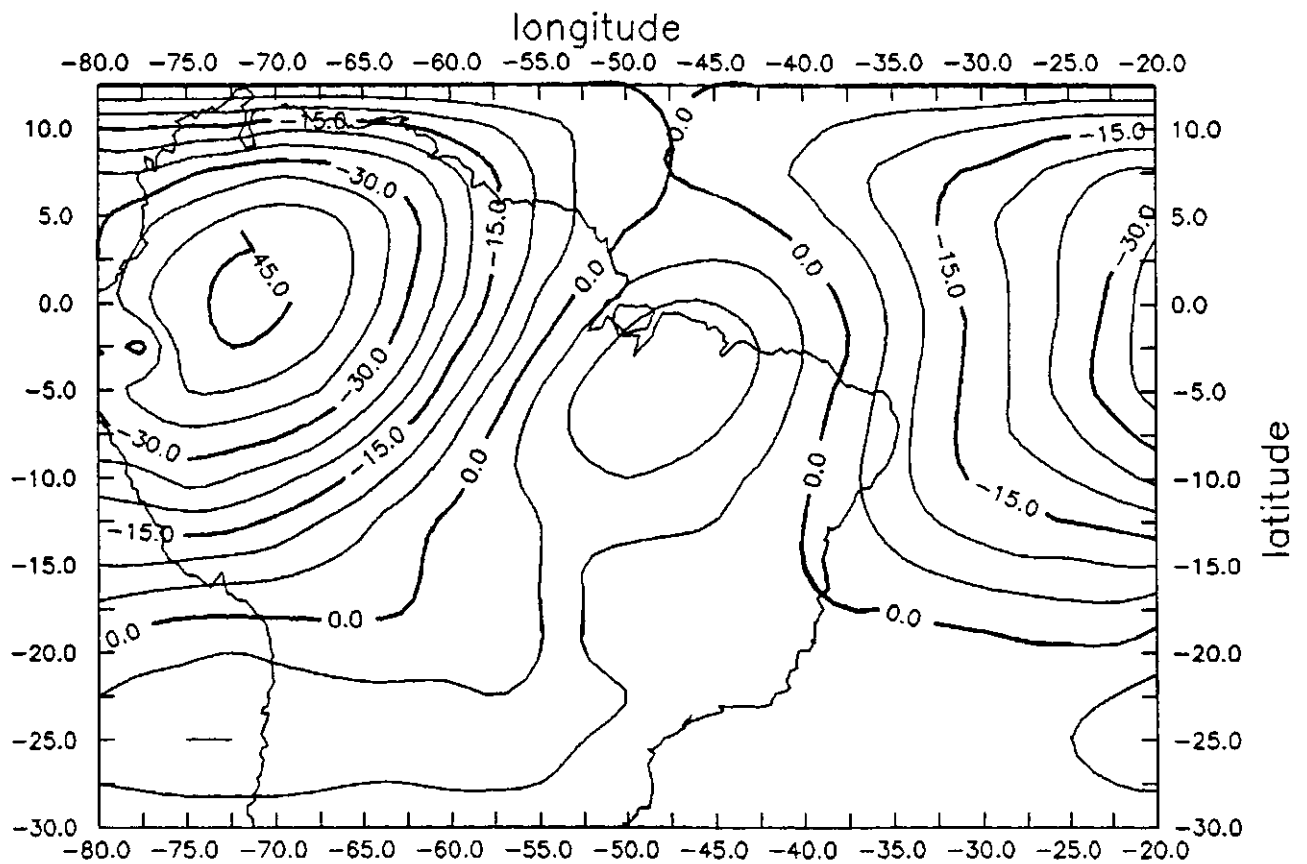


Fig.4.3 - Pentada do Potencial de Velocidades $\times 10^6$ ($m^2 s^{-1}$) para o período de 21 a 25 de março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $5 \times 10^6 m^2 s^{-1}$

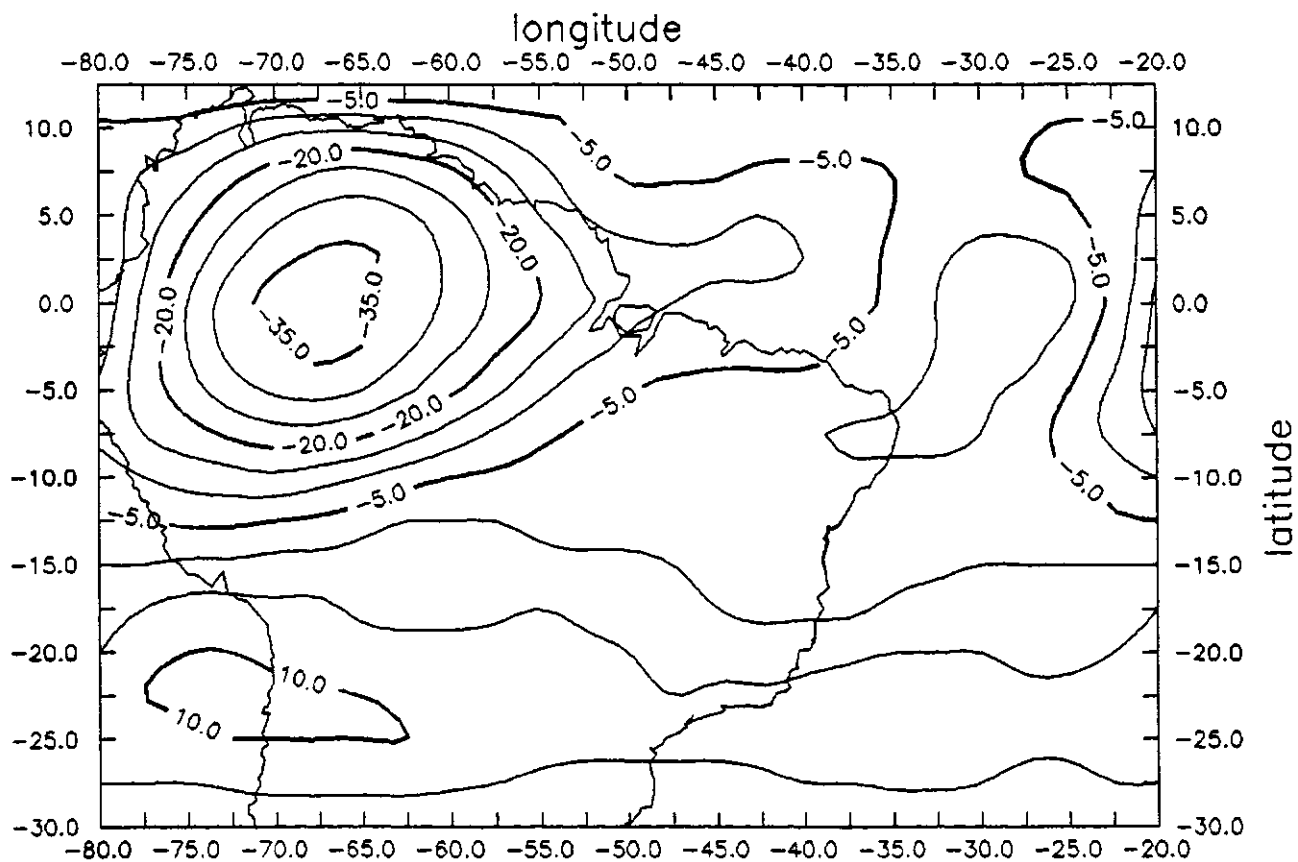


Fig.4.4 - Pentada do Potencial de Velocidades $\times 10^6$ ($m^2 s^{-1}$) para o período de 26 a 30 de março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $5 \times 10^6 m^2 s^{-1}$

A Figura 4.5 mostra o padrão médio da função de corrente (ψ) para o período de 5 a 9 de março de 1978. Nesta figura se observa predominância de um fluxo zonal atuando sobre toda a América do Sul. As demais pentadas para os outros períodos deixamos de apresentar, tendo em vista apresentarem o mesmo fluxo zonal.

A intensificação do centro de mínima do potencial de velocidades sobre a Região Norte, observada na pentada 3 (Fig.4.3) e a diminuição do centro de máxima de (χ) sobre a Região Nordeste, evidenciam intensificação do campo da divergência na alta troposfera sobre a Região Norte, e convergência na troposfera superior sobre a Região Nordeste. Esse padrão de circulação pode ser um indicativo da transferência de energia da parte divergente para a parte rotacional entre essas duas regiões.

A análise diária do padrão de potencial de velocidades no início do período (Figuras não mostradas) revela um movimento para norte-nordeste de um mínimo de potencial que se torna despreendido já à partir do dia 7 (Fig. 4.6) desaparecendo no dia 12 (Fig. 4.7). Enquanto isso, um centro positivo de (χ) desloca-se zonalmente do Oceano Atlântico Sul aproximadamente no sentido de leste para oeste desde o início do período estudado, com velocidade média de 1° de longitude/dia entre os dias 5 e 25 (Figuras 4.1, 4.2 e 4.3). Inicialmente, o centro positivo oscilou seguindo uma trajetória de leste-nordeste para sul-sudeste e depois de sul-sudeste para norte-noroeste. O estabelecimento desse centro sobre a Região Nordeste que ocorreu à partir

do dia 13 (Fig. 4.8), coincide com o período de menores alturas diárias de precipitação na parte norte da região (Fig. 4.9).

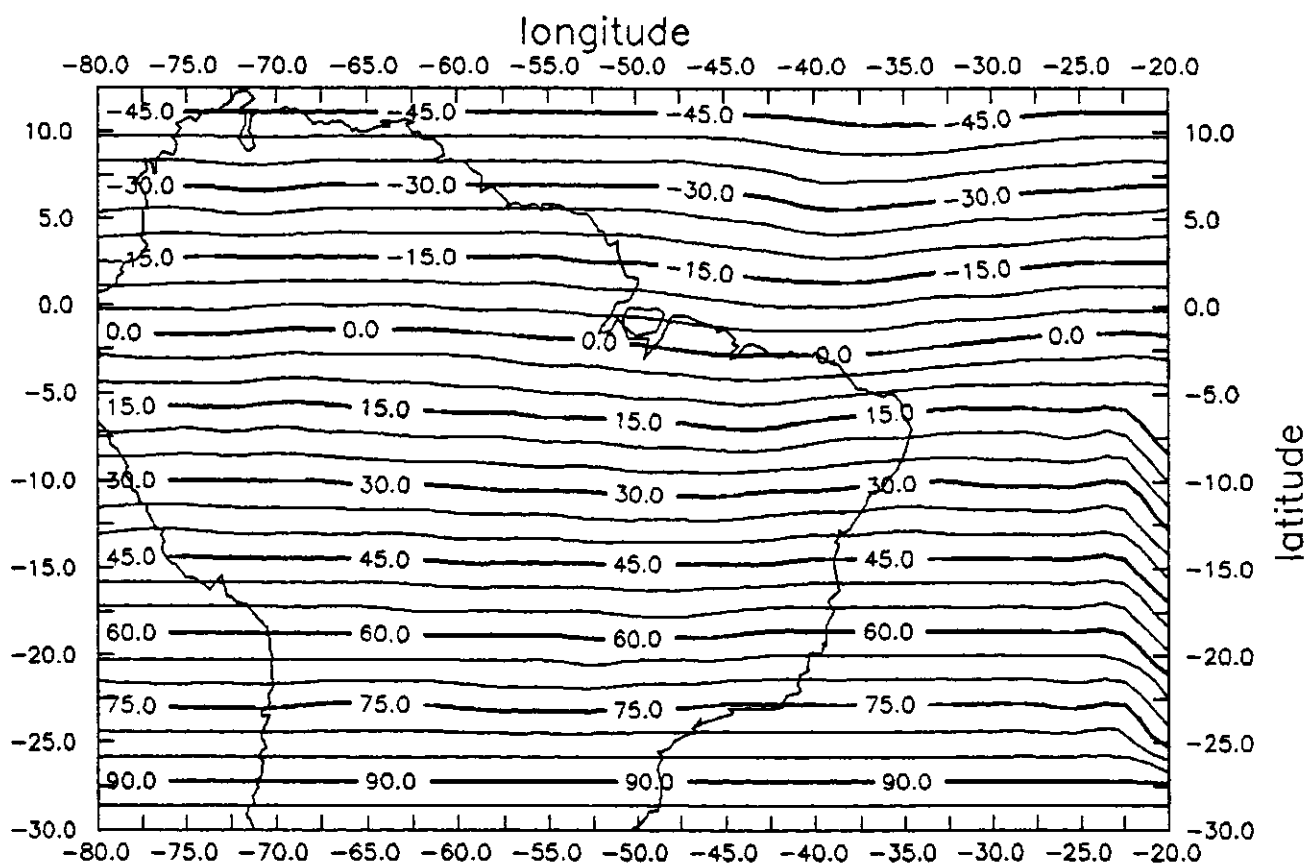


Fig.4.5 - Pentada da Função de Corrente $\times 10^6$ ($m^2 s^{-1}$) para o período de 5 a 9 de março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $5 \times 10^6 m^2 s^{-1}$

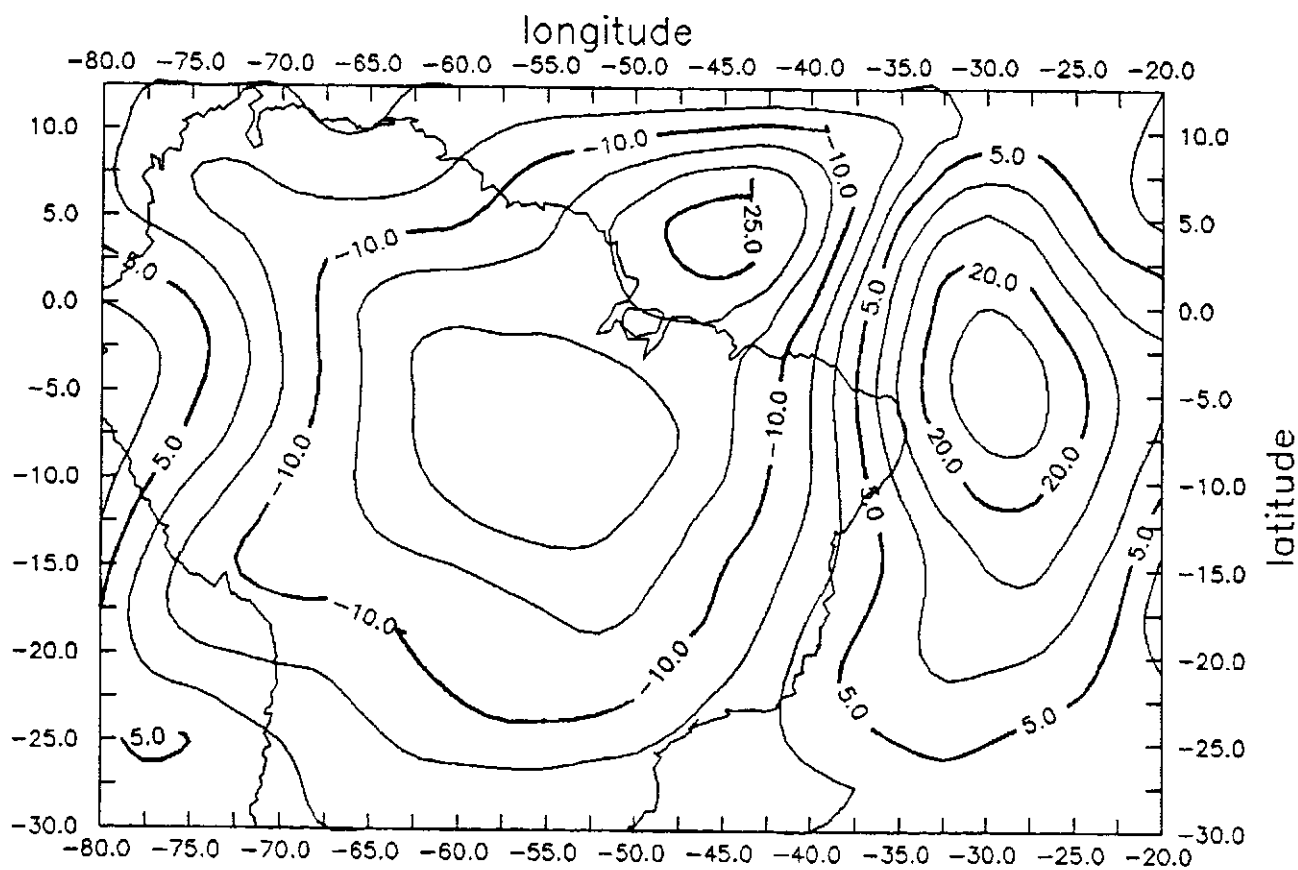


Fig.4.6 - Potencial de Velocidades $\times 10^6 \text{ (m}^2 \text{ s}^{-1})$ no dia 7 de março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $5 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

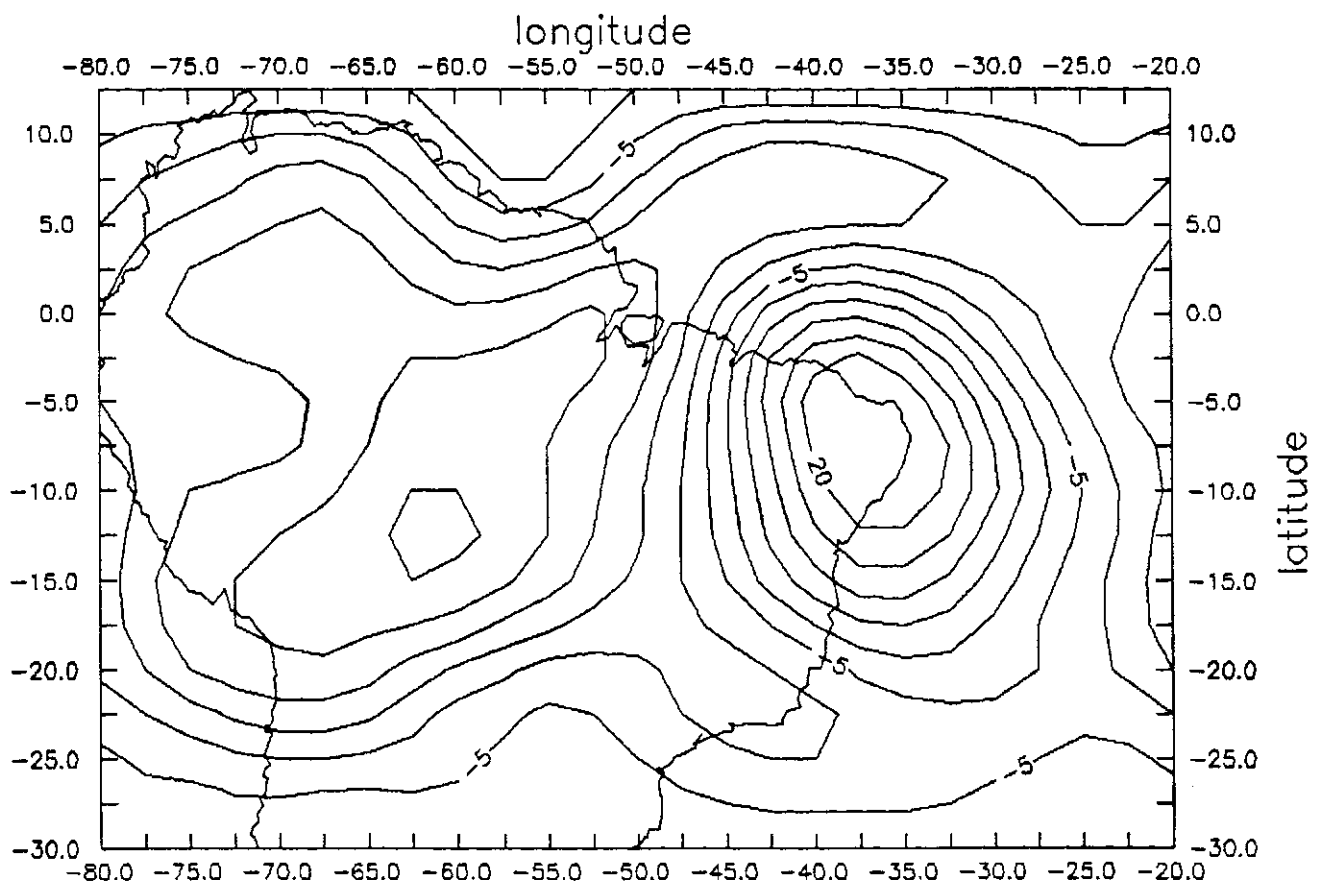


Fig.4.7 - Potencial de Velocidades $\times 10^6$ ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$) no dia 12 de março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $5 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$

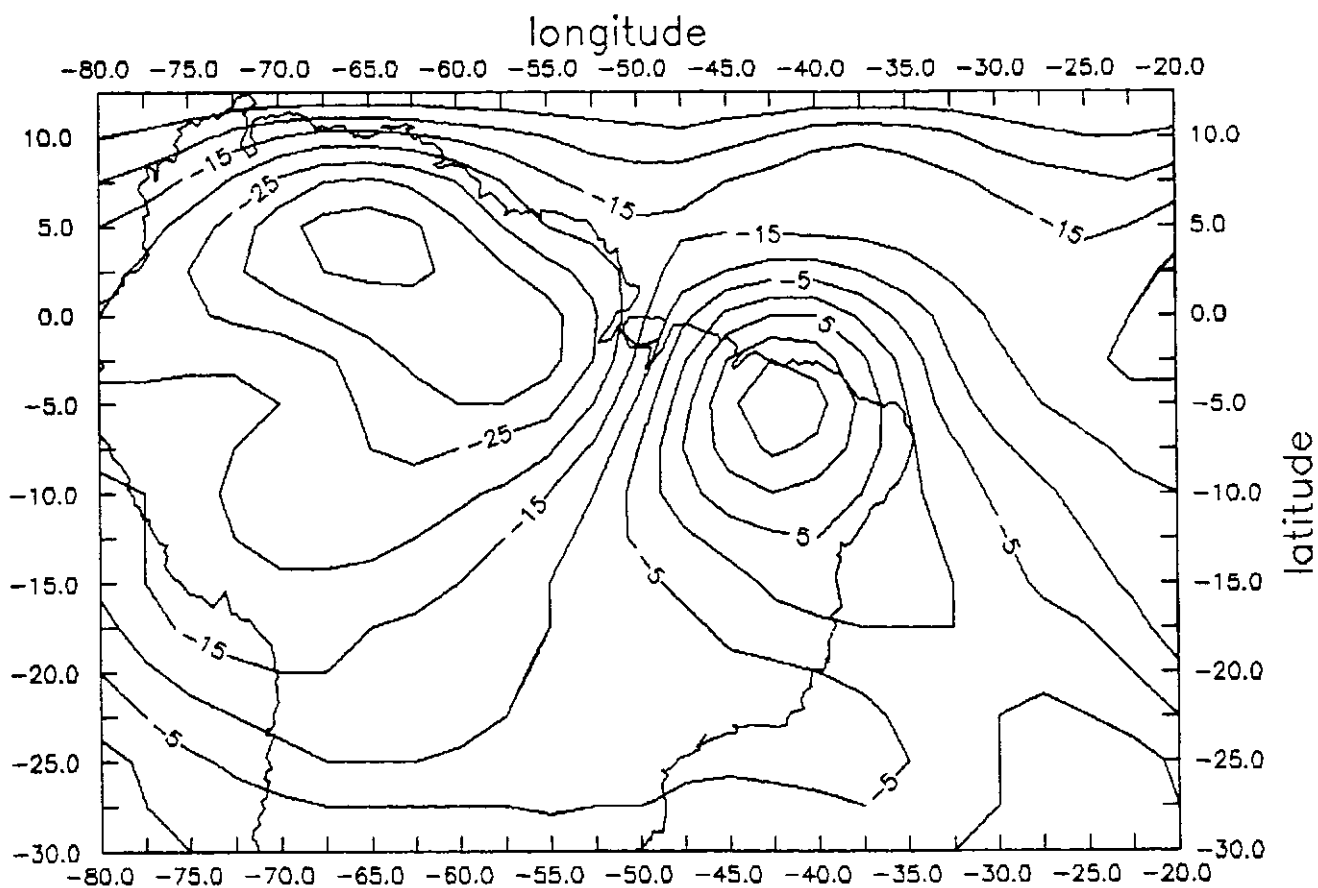


Fig.4.8 - Potencial de Velocidades $\times 10^6 \text{ (m}^2 \text{ s}^{-2}\text{)}$ no dia 13 de março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $5 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$

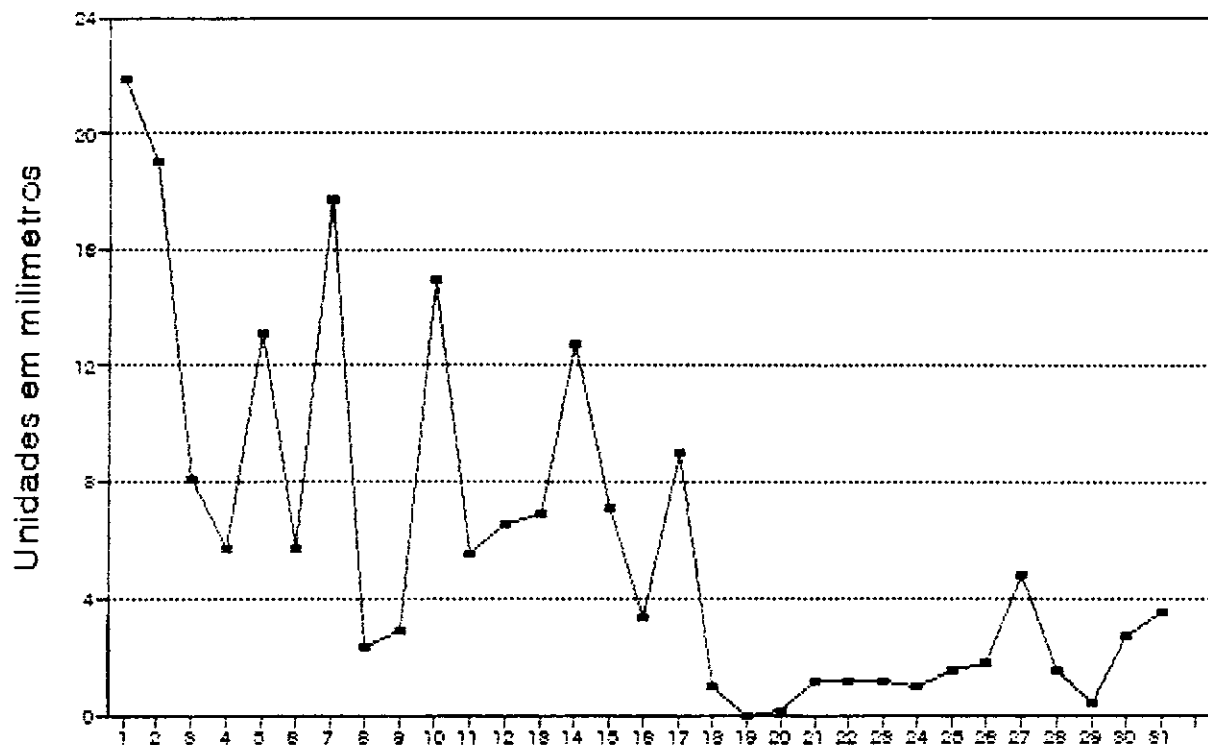


Fig.4.9 - Distribuição média diária da precipitação (mm) em 32 estações meteorológicas localizadas no norte da Região Nordeste do Brasil em março de 1978 as 12:00 UTC

4.1.2. Análise do mês de junho de 1978

Na Tabela 2 são definidos os períodos inicial e final de cada pântada. Em junho a interrupção nos dados diários ocorreu no período de 17 a 19.

TABELA 2 - Pentadas para o mês de junho de 1978

Pentada	Data Inicial	Data Final
01	02/06	06/06
02	07/06	11/06
03	12/06	16/06
04	20/06	24/06
05	25/06	29/06

O mês de junho caracteriza-se pelo domínio de um centro mínimo de potencial de velocidades (χ), indicado pelas linhas negativas, dominando as Regiões Norte e Nordeste do Brasil. O centro positivo do potencial de velocidades que atuava em março sobre a Região Nordeste não se fez presente em junho (Figuras 4.10 - 4.14).

A análise diária na troposfera superior revela ainda que o centro negativo do potencial de velocidades apresenta-se melhor distribuído zonalmente, tomando todo o setor norte da América do Sul. Um outro fato também observado, é o desprendimento do centro mínimo do potencial em duas células

entre os dias 6 e 7, 12 e 15 e entre os dias 23 e 28, com uma célula movendo-se para nordeste e outra para noroeste (Figuras 4.15 - 4.16).

A análise da função de corrente (ψ) também evidência nas cinco pântadas um fluxo totalmente zonal dominando toda a América do Sul. A Figura 4.17 mostra esse comportamento, as demais pântadas deixamos de apresentar.

O fato do padrão médio do potencial de velocidades em junho não mostrar períodos alternados de aumento e diminuição entre as Regiões Norte e Nordeste do Brasil, evidencia que entre essas duas regiões não se processa transferência de energia.

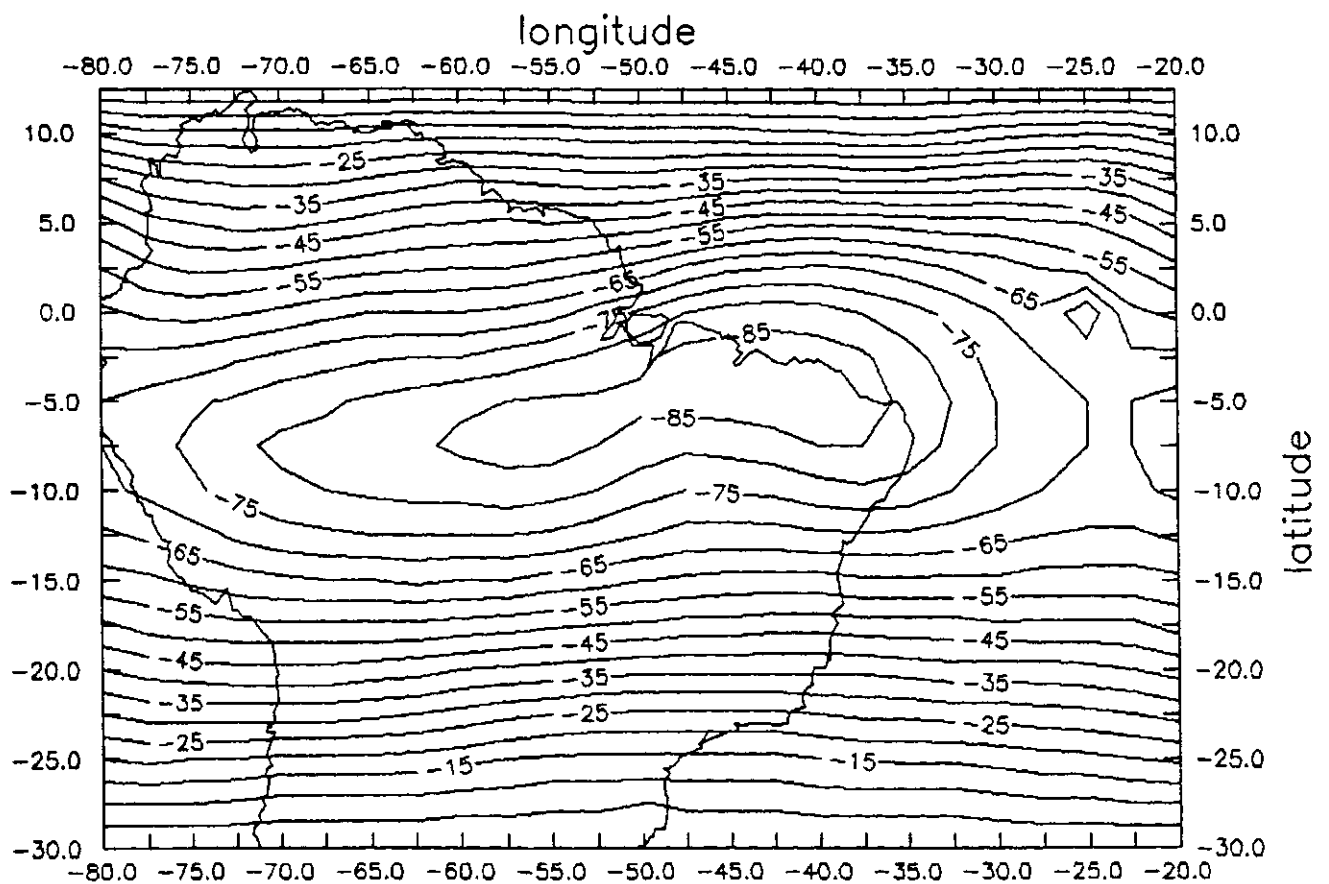


Fig.4.10 - Pentada do Potencial de Velocidades $\times 10^6$ ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$) para o período de 2 a 6 de junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de 5×10^6 $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$

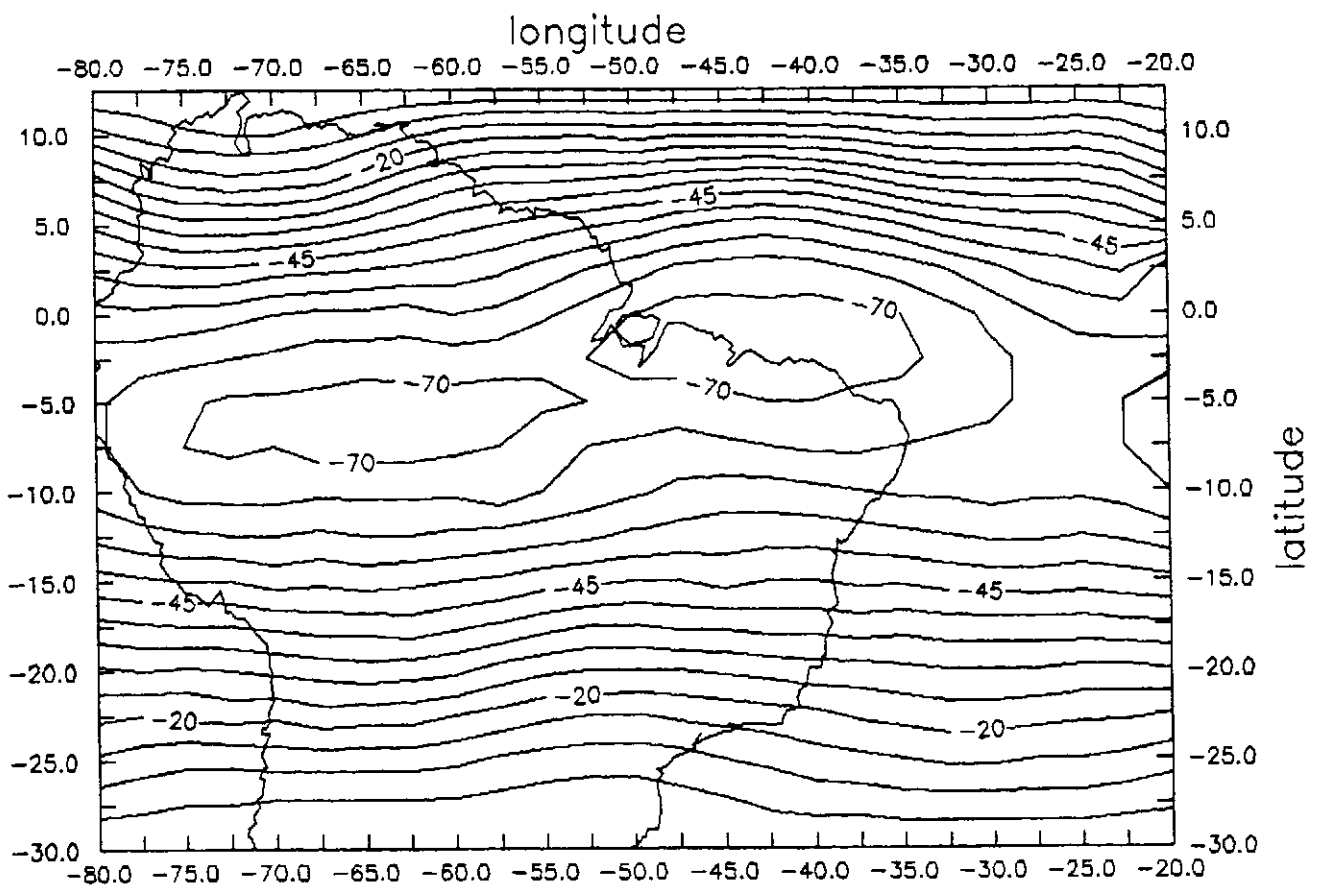


Fig.4.11 - Pentada do Potencial de Velocidades $\times 10^6$ ($m^2 s^{-1}$) para o período de 7 a 11 de junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $5 \times 10^6 m^2 s^{-1}$

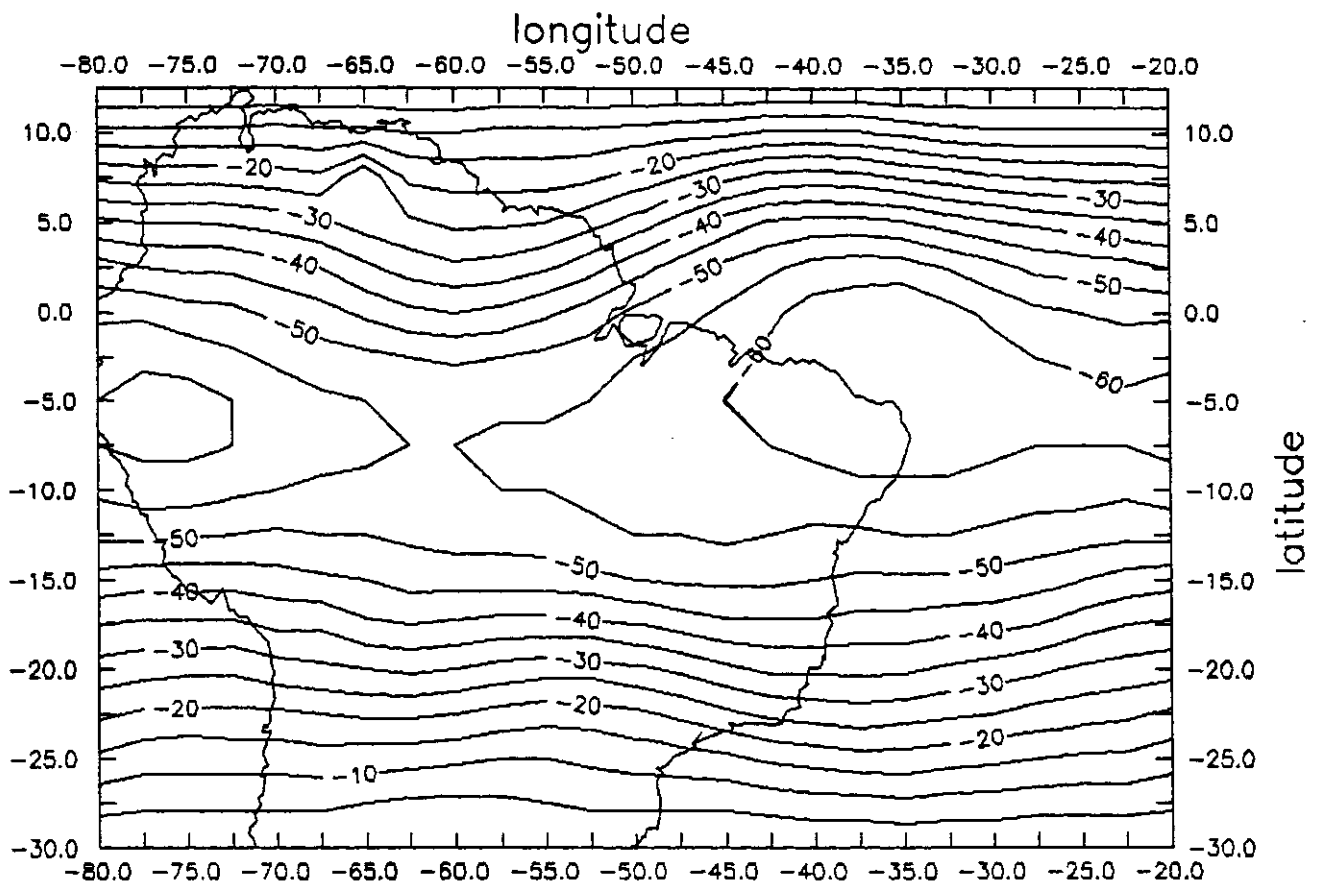


Fig.4.12 - Pentada do Potencial de Velocidades $\times 10^6$ ($m^2 s^{-1}$) para o período de 12 a 16 de junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $5 \times 10^6 m^2 s^{-1}$

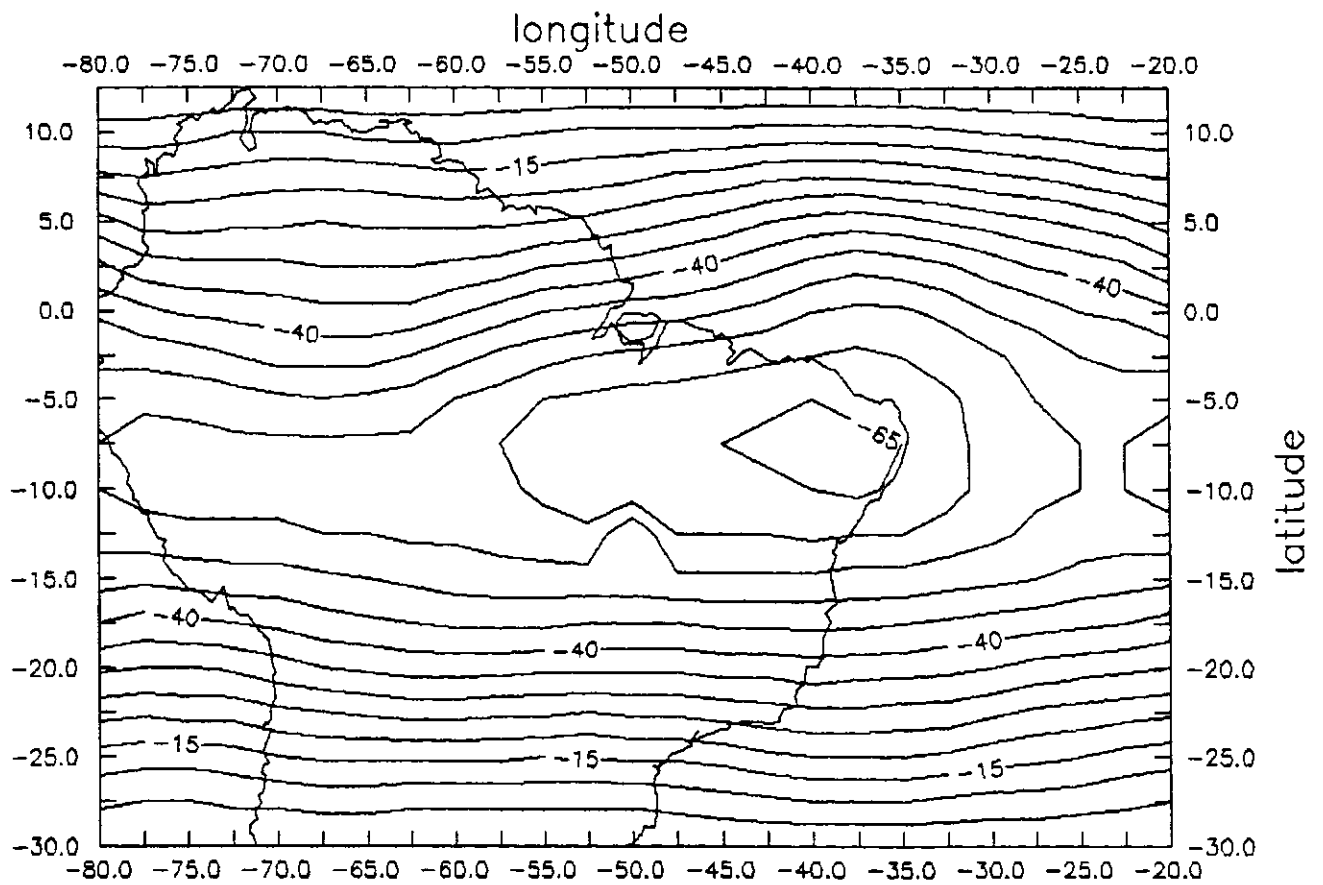


Fig.4.13 - Pentada do Potencial de Velocidades $\times 10^6$ ($m^2 s^{-1}$) para o período de 20 a 24 de junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $5 \times 10^6 m^2 s^{-1}$

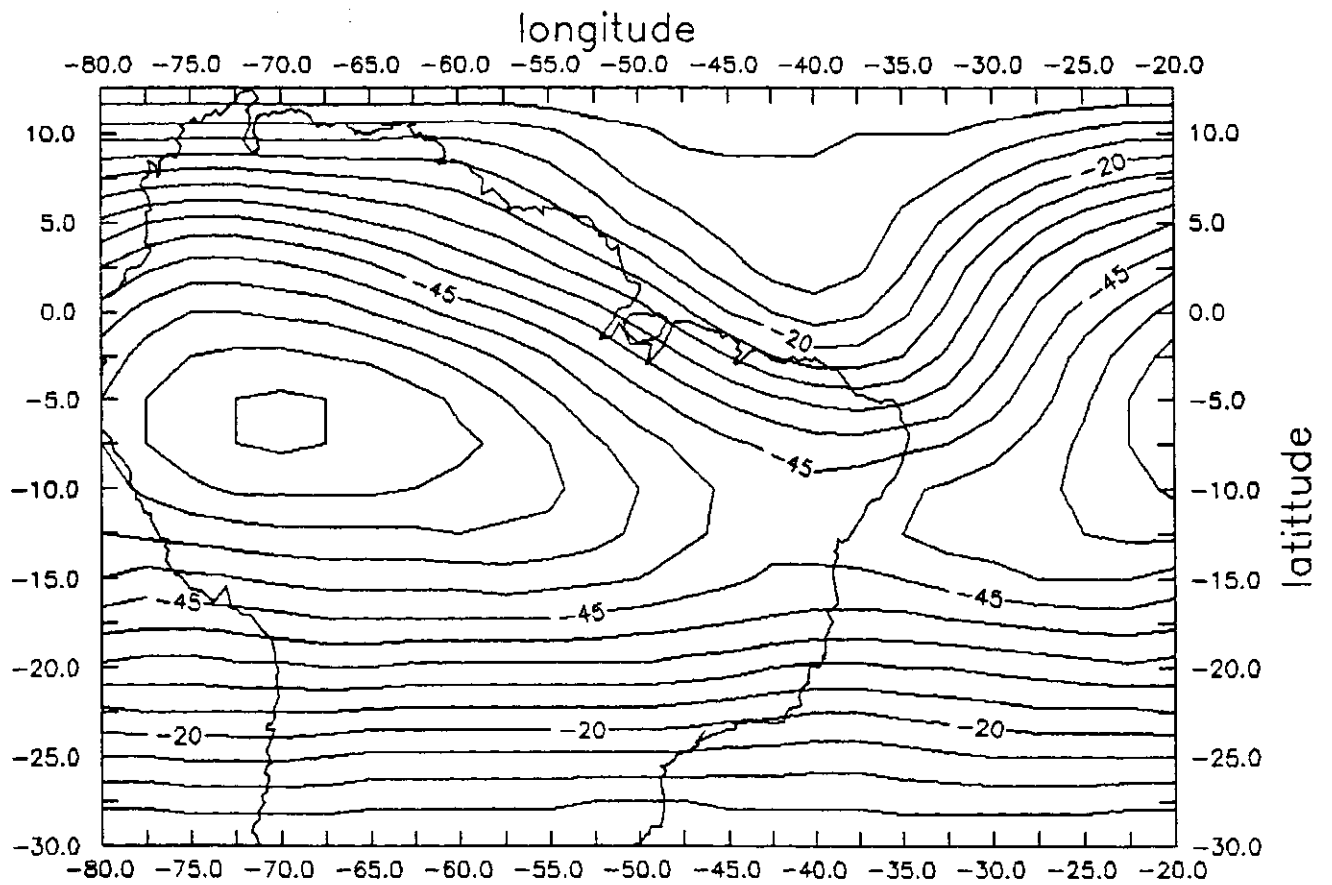


Fig.4.14 - Pentada do Potencial de Velocidades $\times 10^6$ ($m^2 s^{-1}$) para o período de 25 a 29 de junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $5 \times 10^6 m^2 s^{-1}$

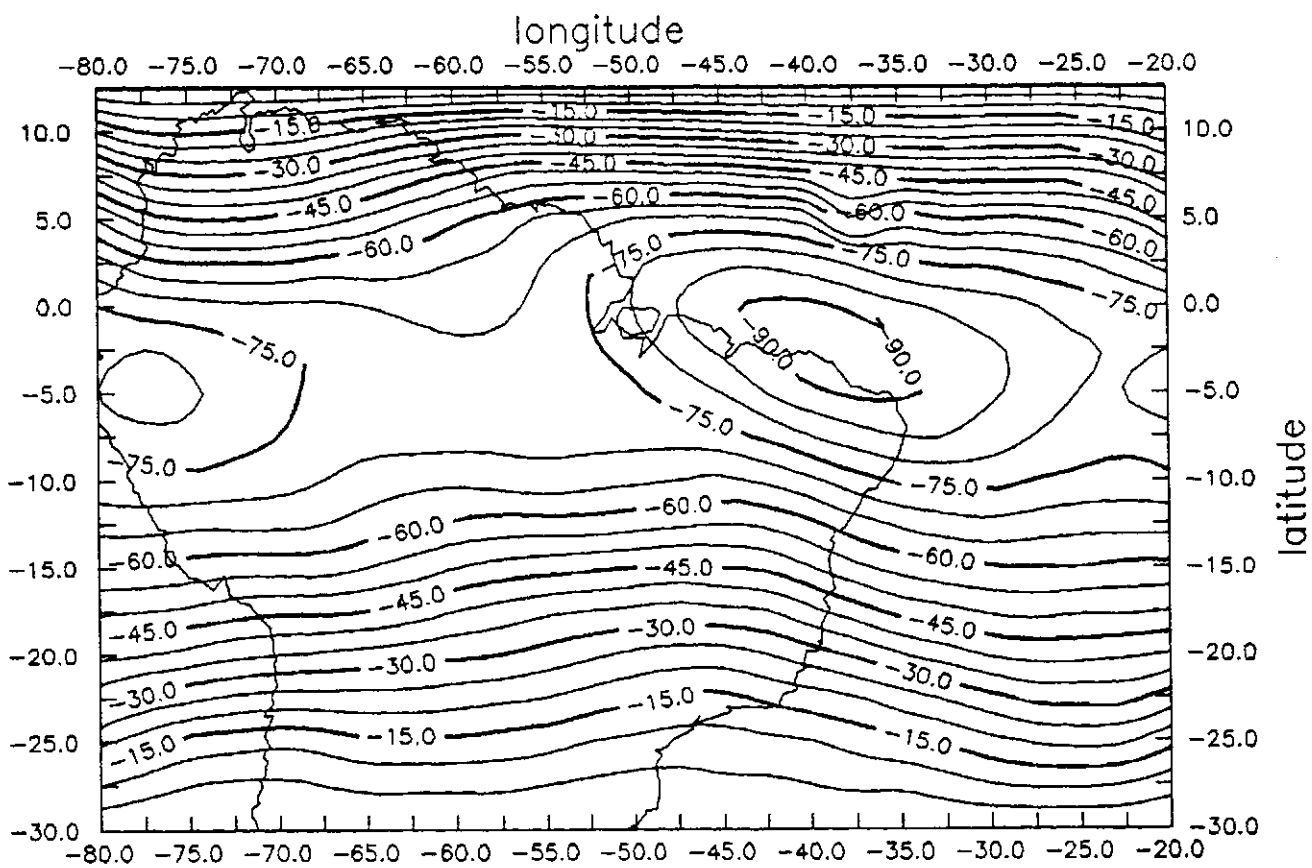


Fig.4.15 - Potencial de Velocidades $\times 10^6 (m^2 s^{-1})$ no dia 6 de junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $5 \times 10^6 m^2 s^{-1}$

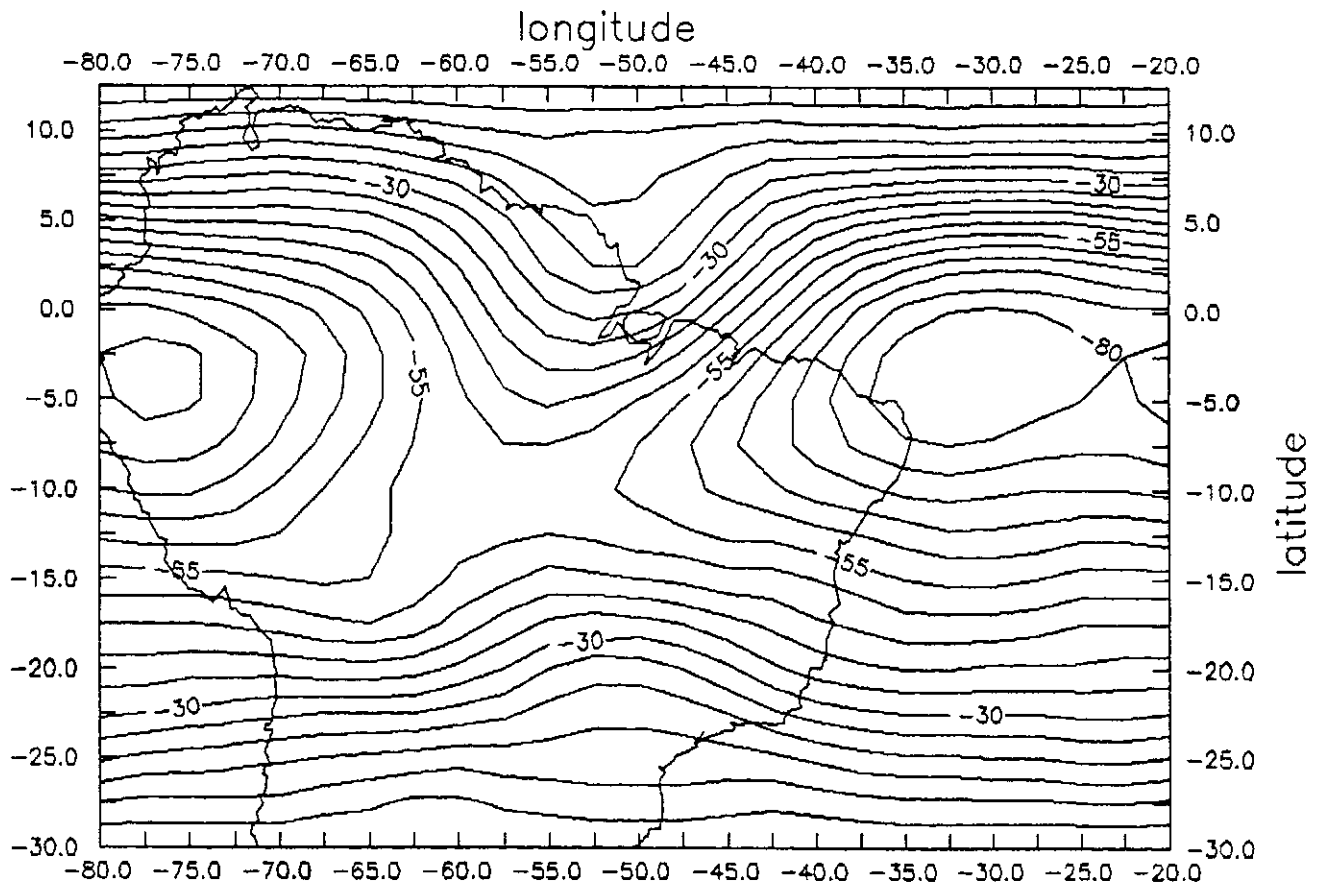


Fig.4.16 - Potencial de Velocidades $\times 10^6$ ($m^2 s^{-1}$) no dia 14 de junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $5 \times 10^6 m^2 s^{-1}$

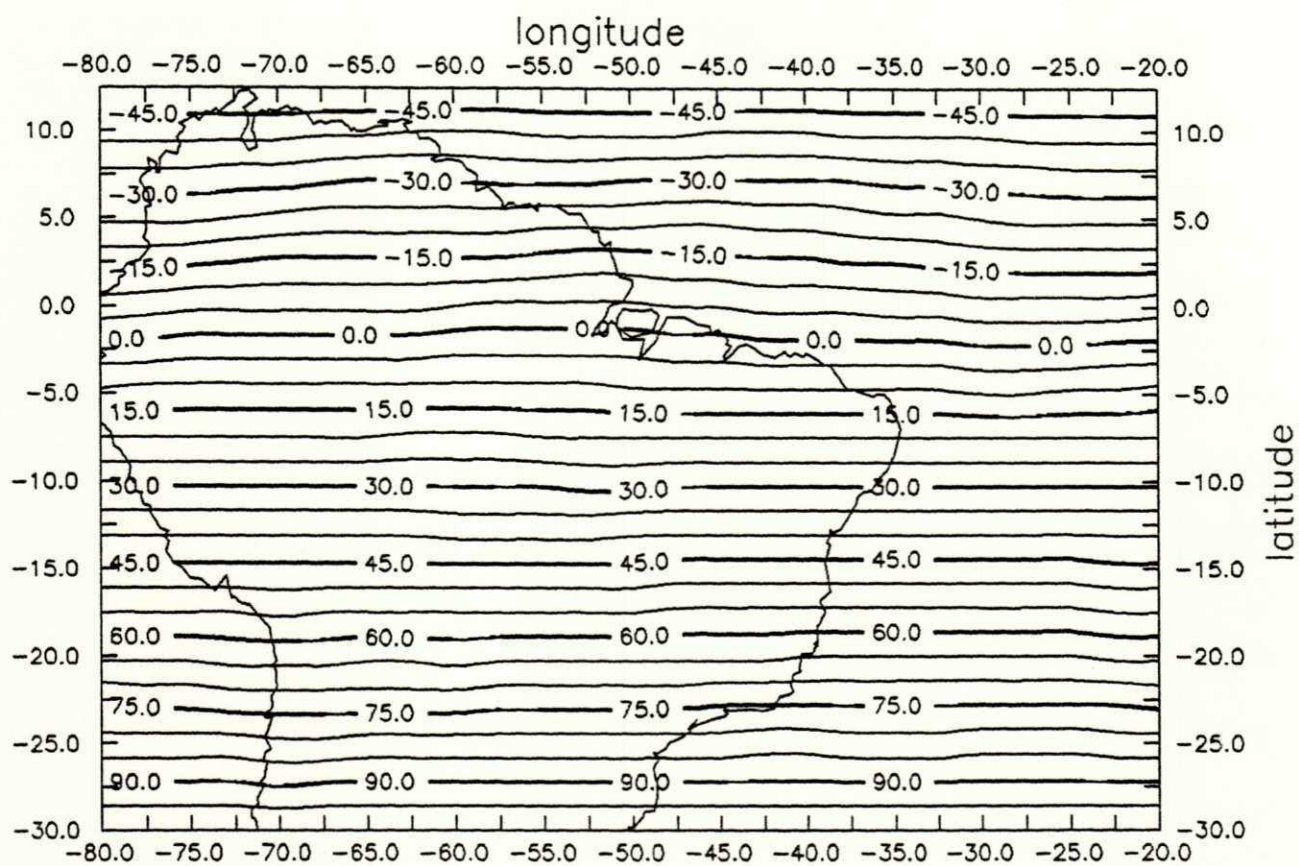


Fig.4.17 - Pentada da Função de Corrente $\times 10^6$ ($m^2 s^{-1}$) para o período de 2 a 6 de junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $5 \times 10^6 m^2 s^{-1}$

4.2. DIVISÃO DA ENERGIA CINÉTICA

No item anterior destaca-se algumas características do potencial de velocidades (χ) sobre a América do Sul. Neste item será analisada a evolução temporal da energia cinética em quatro áreas distintas:

- a - Setor Norte da América do Sul (Fig. 4.18a)
- b - Setor Sul da América do Sul (Fig. 4.18b)
- c - Região Norte do Brasil (Fig. 4.19a)
- d - Região Nordeste do Brasil (Fig. 4.19b)

A Figura 4.18a mostra a delimitação do setor Norte da América do Sul e a Fig. 4.18b a delimitação do setor Sul. Os cálculos das médias sobre os setores norte e sul da América do Sul foram feitos para 8 X 23 pontos de grade (8 pontos de grade ao longo dos eixos das latitudes e 23 pontos de grade ao longo dos eixos das longitudes). A delimitação das Regiões Norte e Nordeste do Brasil é apresentada nas Figuras 4.19a-b.

4.2.1. Energia Cinética sobre o setor norte da América do Sul

O espaço coberto pela análise sobre o setor norte cobre uma grade que vai de 77.5°W a 22.5°W e de 10°N a 7.5°S. A análise foi realizada basicamente em dois níveis, 300 e 850 hPa.

A evolução temporal da energia cinética média nos meses de

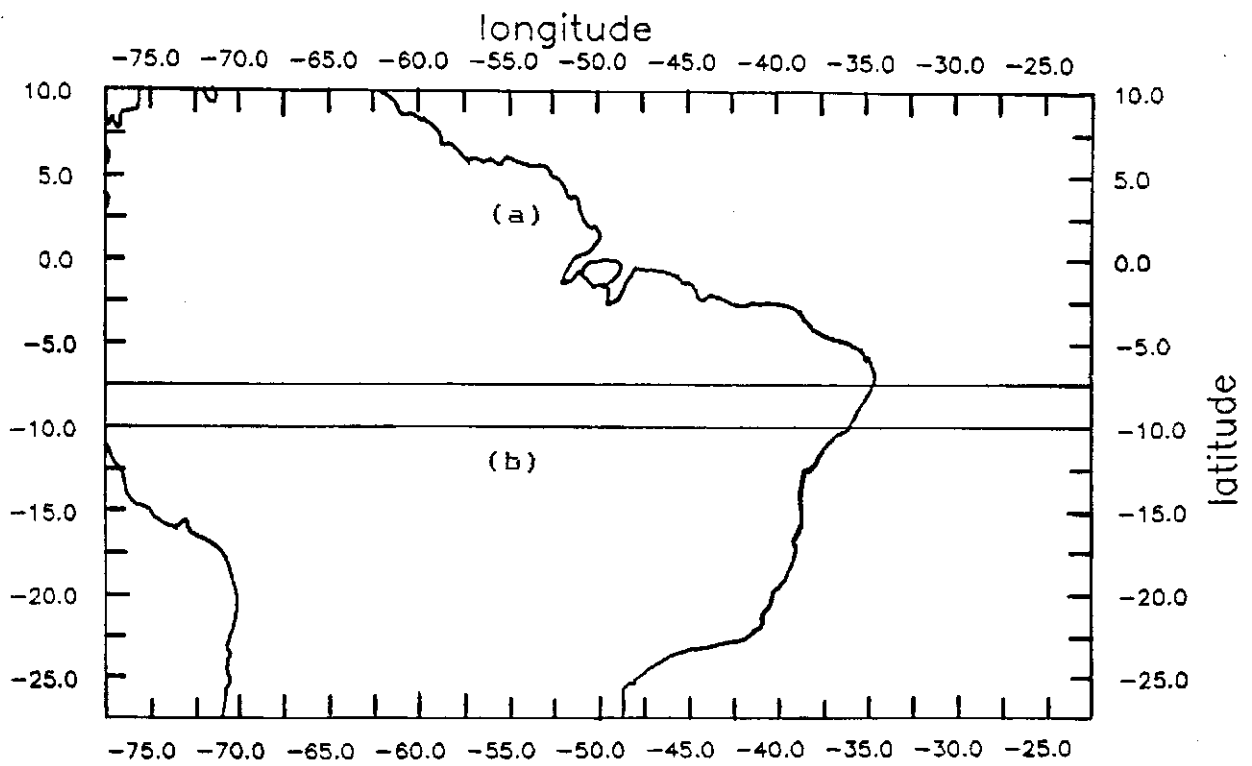


Fig.4.18 - Area delimitando o setor norte (a) e o setor sul (b) da América do Sul

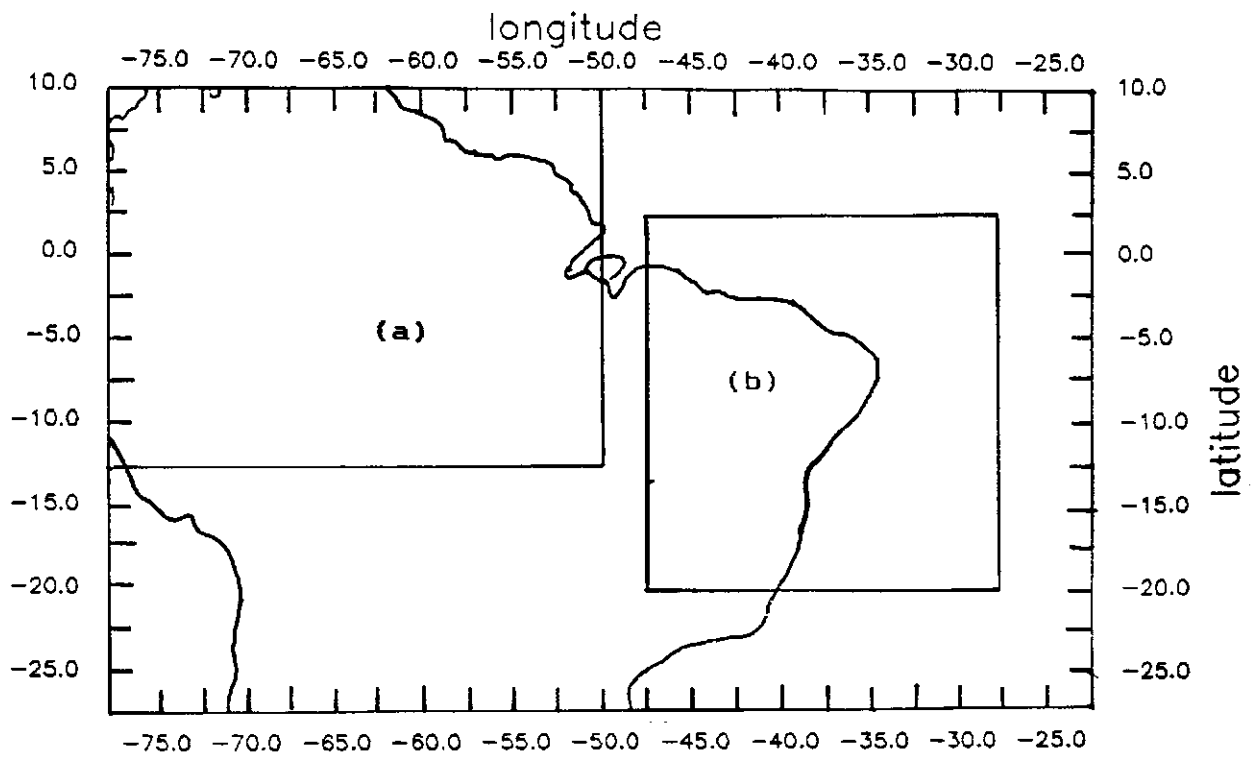


Fig.4.19 - Area delimitando a Região Norte (a) e a Região Nordeste (b) do Brasil

março e junho de 1978 ilustradas nas figuras 4.20 - 4.23 revelam que a componente rotacional da energia cinética não sofre grandes variações nos dois períodos estudados, situando-se em torno de $150 \text{ m}^2 \times \text{s}^{-2}$. Esse fato evidencia que as condições da atmosfera tropical superior no setor norte da América do Sul não apresenta variabilidade substancial na energia cinética da componente rotacional. A análise revela que a componente divergente na troposfera superior é mais representativa que a componente rotacional nos dois períodos estudados.

A maior variabilidade observada no mês de março (Figuras 4.20 e 4.21) na componente divergente evidencia a atuação de vários sistemas sinóticos sobre o setor norte da América do Sul. Esse fato, pode ser comprovado pelos dez picos mais pronunciados observados na energia cinética da componente divergente.

A evolução temporal média em junho (Figuras 4.22 - 4.23) revela também dez valores máximos na energia cinética da componente divergente, com picos mais significativos na primeira metade do mês. Comparando as figuras 4.20 e 4.21 com 4.22 e 4.23, nota-se claramente que a energia cinética da componente divergente é mais significativa no mês de junho. Essa grande diferença pode estar associada aos altos valores dessa componente nos pontos de grade na faixa de latitude de 10°N como também associada à forte atividade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e à formação de furacões no Hemisfério Norte.

Fica evidente nos dois períodos estudados o aumento da energia cinética no nível de 300 hPa, comparada com os padrões da

energia observada em 850 hPa. Na troposfera superior a razão K_{χ} / K_{ψ} foi de 0.42 em março (Fig. 4.20) e de 1.2 em junho (Fig. 4.22), na baixa troposfera essa relação diminui consideravelmente, ficando em 0.04 em março (Fig. 4.21) e em 0.08 em junho (Fig. 4.23).

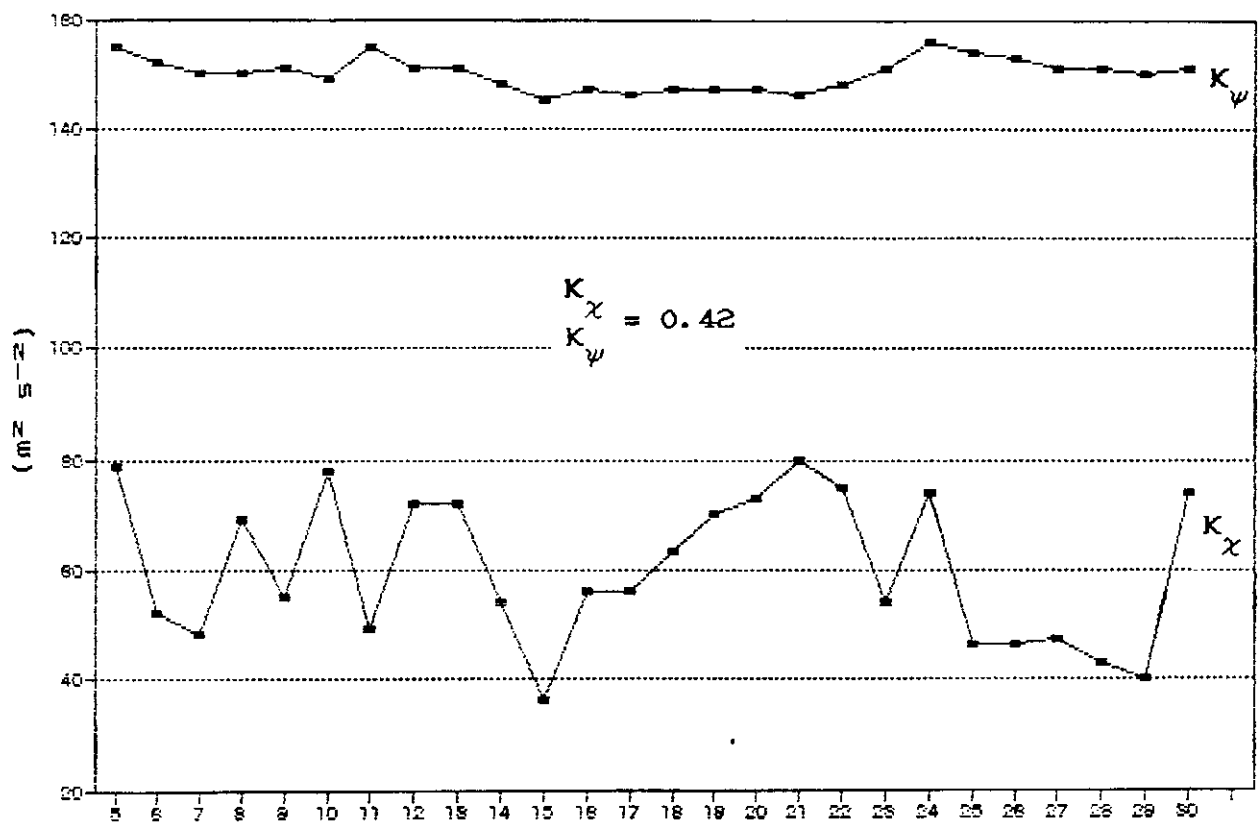


Fig.4.20 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$) para março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC sobre o setor norte da América do Sul

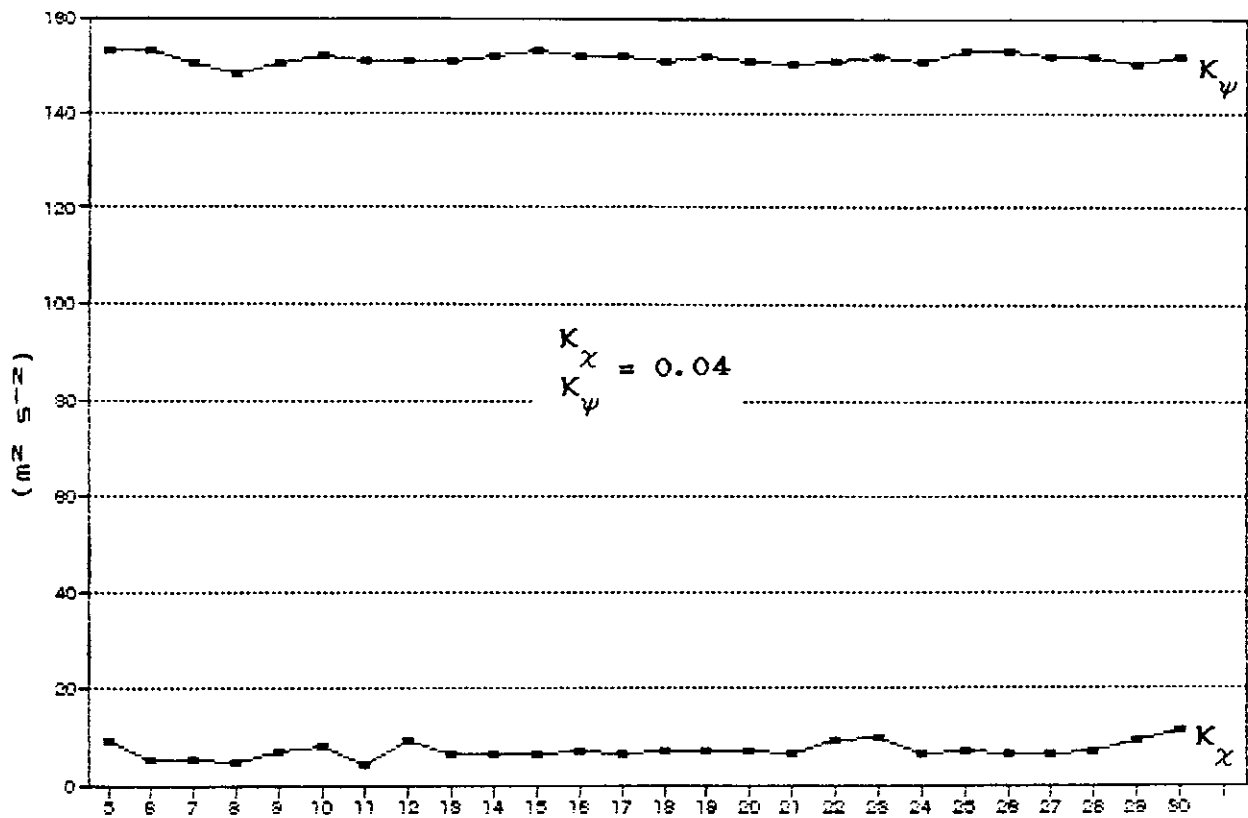


Fig.4.21 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$) para março de 1978 em 850 hPa as 00:00 UTC sobre o setor norte da América do Sul

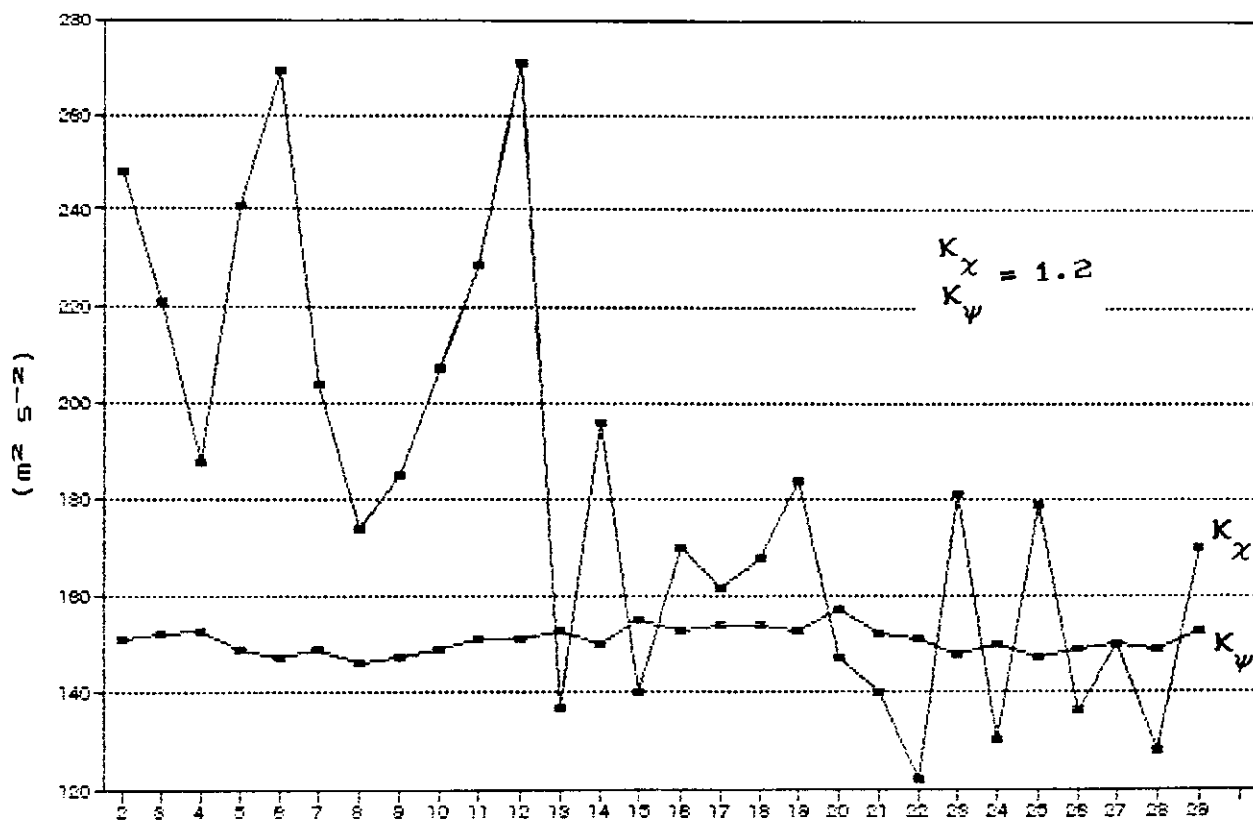


Fig.4.22 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente ($m^2 s^{-2}$) em junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC sobre o setor norte da América do Sul

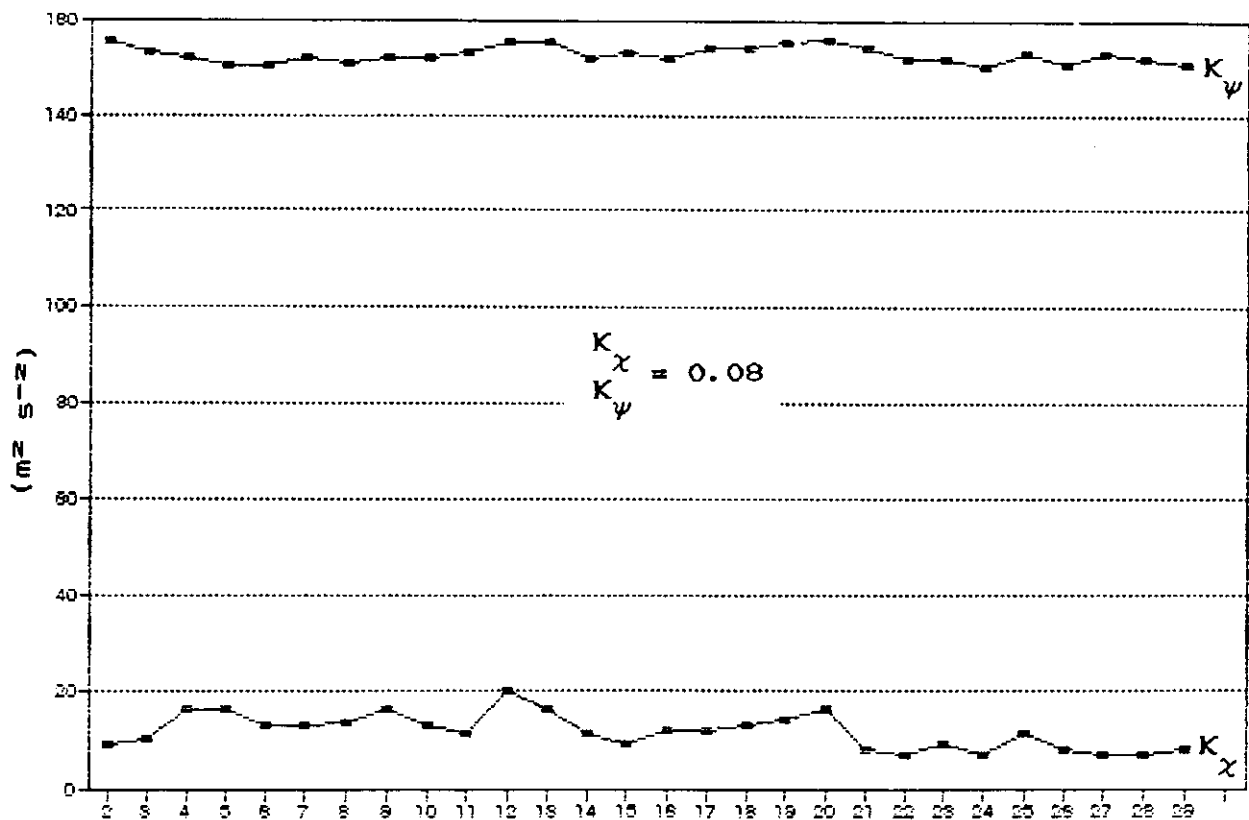


Fig.4.23 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$) em junho de 1978 em 850 hPa as 00:00 UTC sobre o setor norte da América do Sul

4.2.2. Energia Cinética sobre o setor sul da América do Sul

O espaço coberto pela análise sobre o setor sul cobre uma grade que vai de 77.5°W a 22.5°W e de 10°S a 27.5°S.

A evolução temporal média da energia cinética sobre o setor sul da América do Sul ilustrada nas figuras 4.24 - 4.27 revelam a pouca variabilidade da energia cinética da componente rotacional (K_{ψ}) nos dois períodos estudados. A componente divergente apresenta resultado semelhante ao que ocorre no setor norte. Os dez picos pronunciados na componente divergente evidenciam também a incursão de vários sistemas sinóticos sobre o setor sul da América do Sul.

Em 850 hPa fica evidente também a baixa representatividade da energia cinética da componente divergente sobre o setor sul da América do Sul. A razão K_{χ} / K_{ψ} em 300 hPa foi de 0.29 em março (Fig. 4.24) e de 0.94 em junho (Fig.4.26), em 850 hPa esses valores assumem 0.04 em março e 0.06 em junho (Figuras 4.25 e 4.27).

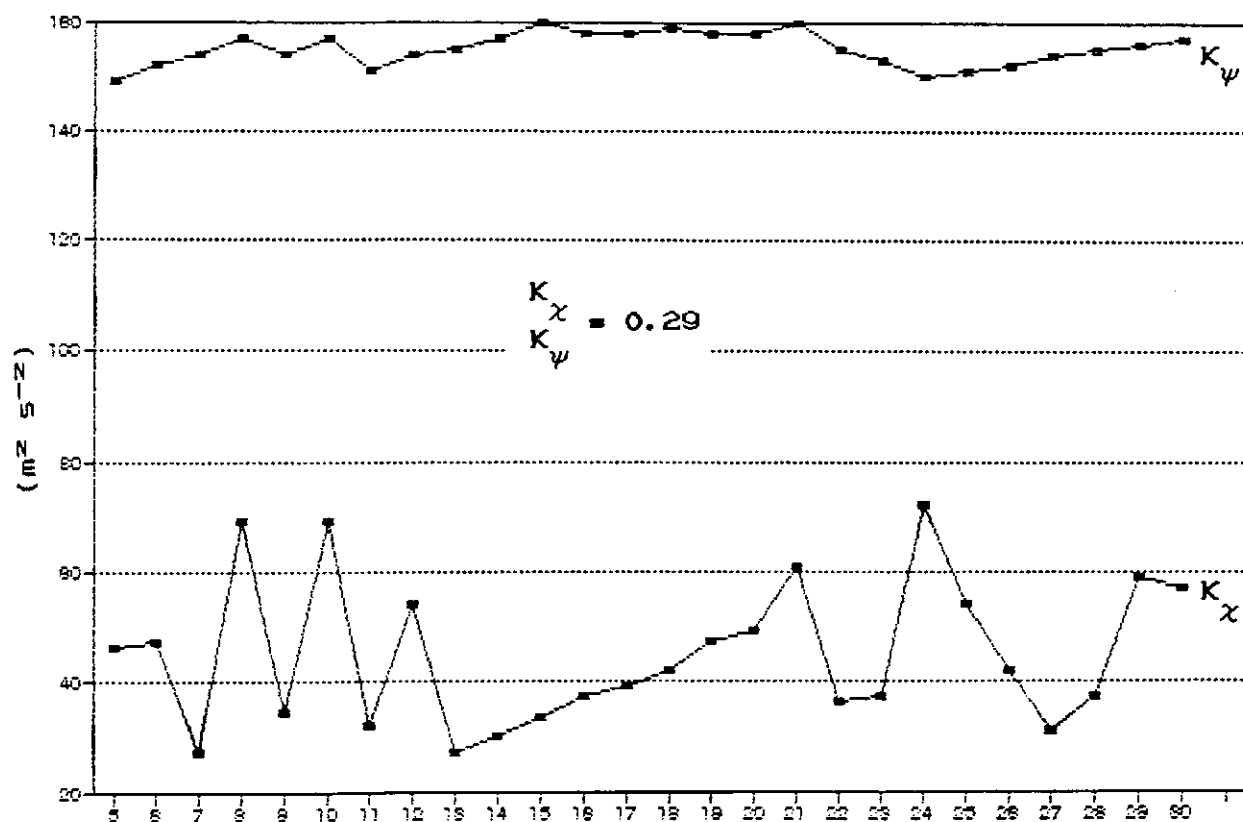


Fig.4.24 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$) em março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC sobre o setor sul da América do Sul

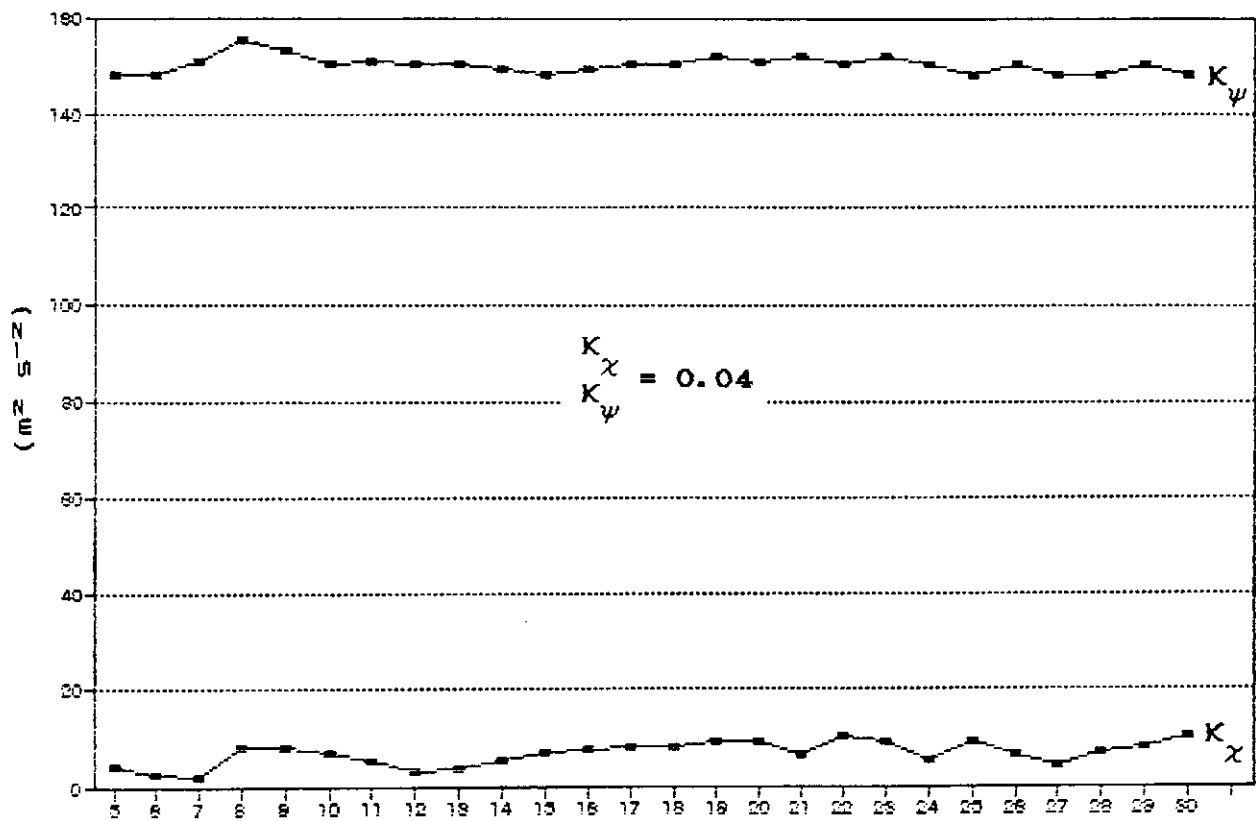


Fig.4.25 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente ($m^2 s^{-2}$) em março de 1978 em 850 hPa as 00:00 UTC sobre o setor sul da América do Sul

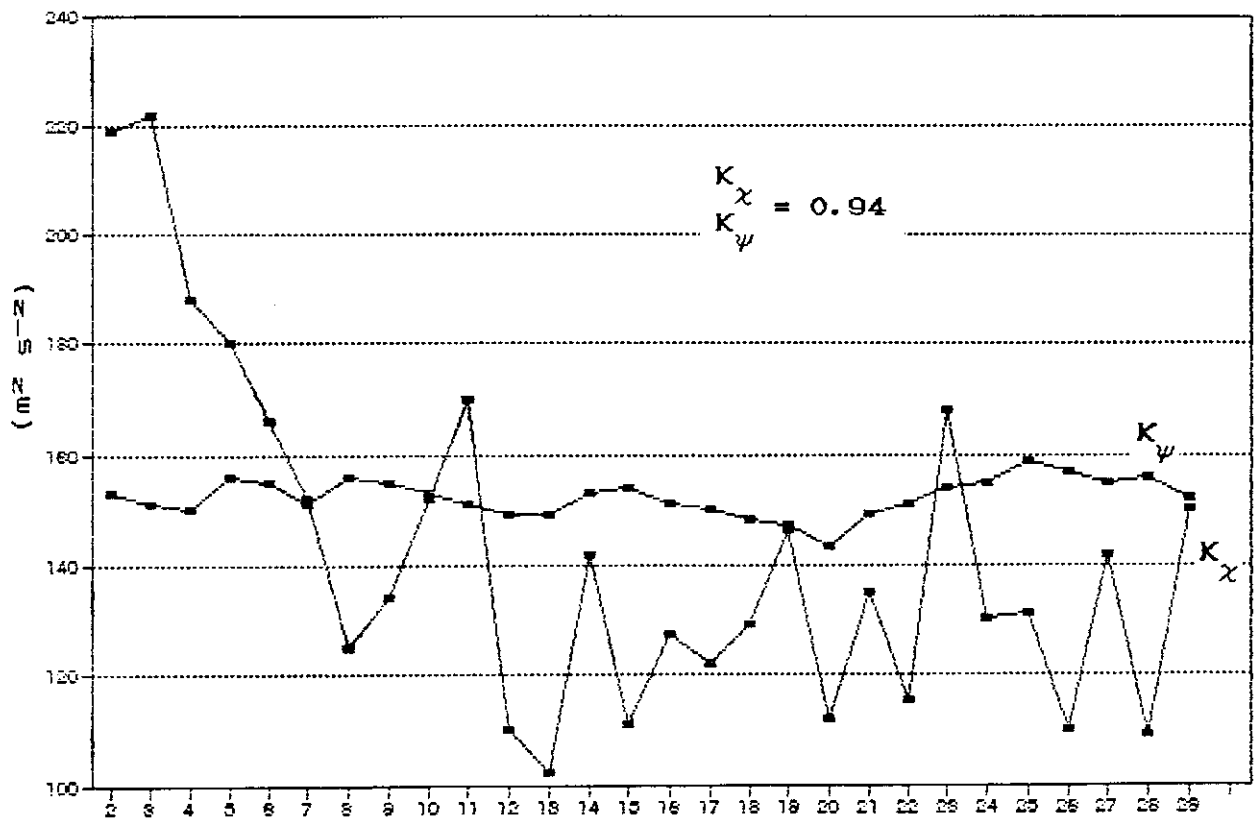


Fig.4.26 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente ($m^2 s^{-2}$) em junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC sobre o setor sul da América do Sul

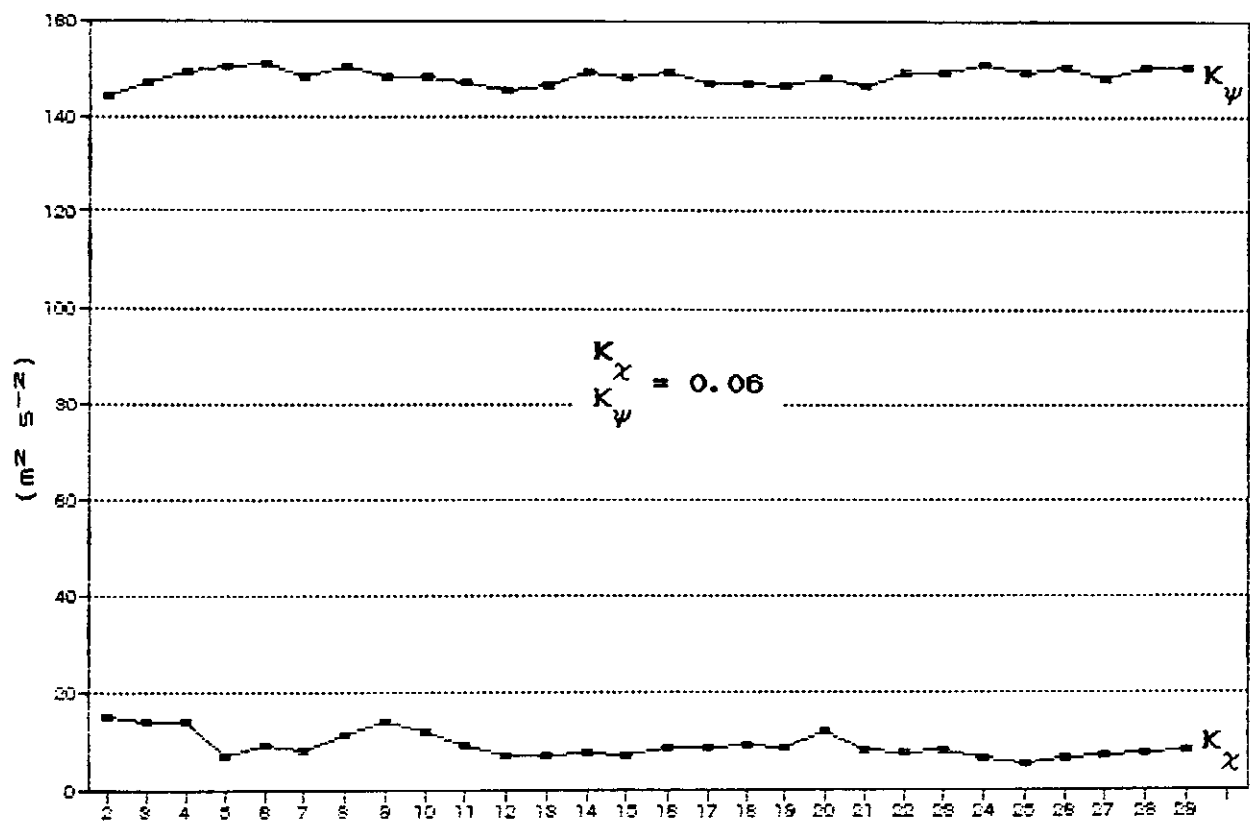


Fig.4.27 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$) em junho de 1978 em 850 hPa as 00:00 UTC sobre o setor sul da América do Sul

4.2.3. Energia Cinética sobre a Região Norte do Brasil

Os cálculos das médias sobre a Região Norte foram feitos para 12 x 10 pontos de grade, cobrindo uma grade que vai de 77.5°W a 50°W e de 10°N a 12.5°S com espaçamento de 2.5 graus de latitude e longitude. O nível analisado foi o de 300 hPa.

A evolução temporal média da energia cinética nos meses de março e junho de 1978 ilustradas nas figuras 4.28 e 4.29 revelam que a energia cinética da componente rotacional não sofre grandes variações diárias nos dois períodos estudados, situando-se em torno de 150 m² x s⁻². É a componente divergente que apresenta maior variabilidade. Em média, a magnitude da energia cinética da componente divergente em março aumenta de 35 m² x s⁻² na primeira metade do mês para 85 m² x s⁻² na segunda metade do mês (Fig. 4.28). Em junho, a energia cinética da componente divergente é mais significativa que em março. Durante esse mês a razão entre a componente divergente e a componente rotacional da energia cinética (K_{χ} / K_{ψ}) sobre a Região Norte foi de 1.07 (Fig. 4.29), em março essa taxa foi de 0.4 (Fig. 4.28).

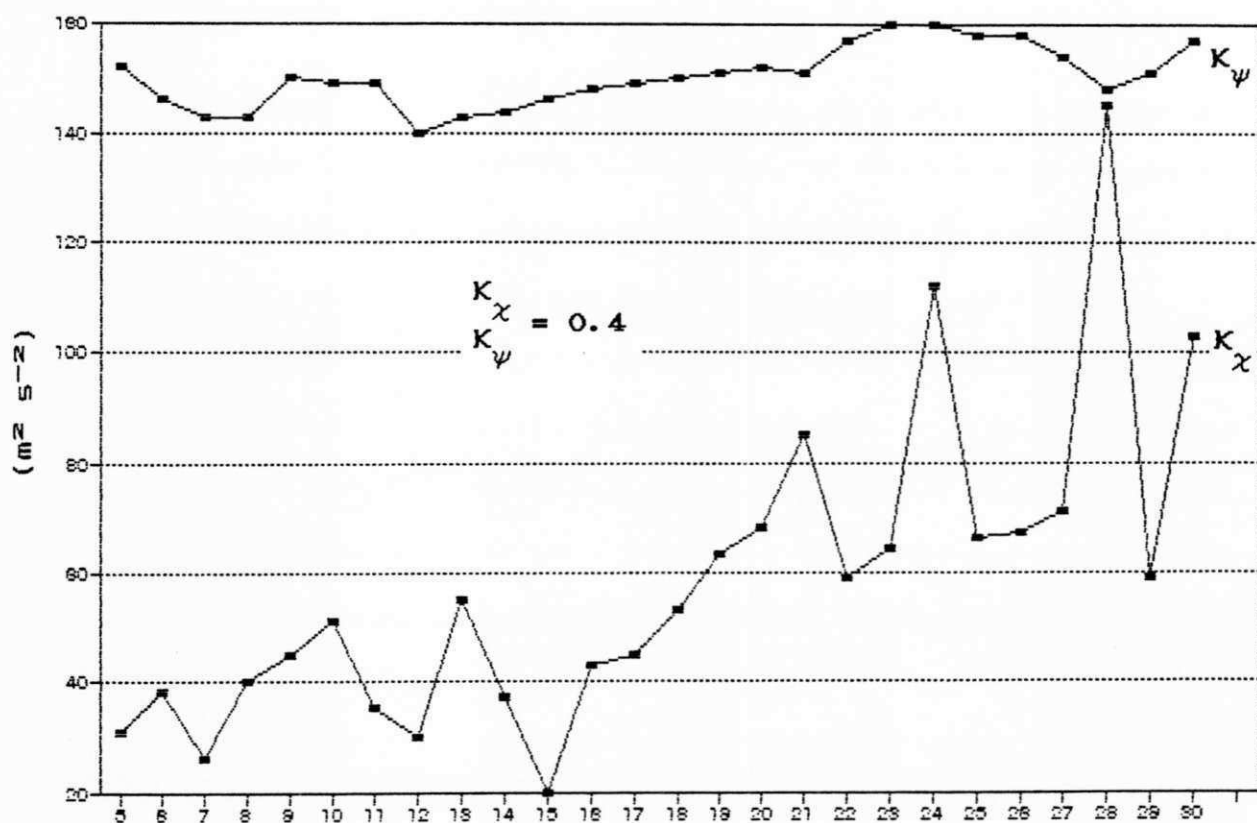


Fig.4.28 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$) em março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC sobre a Região Norte do Brasil

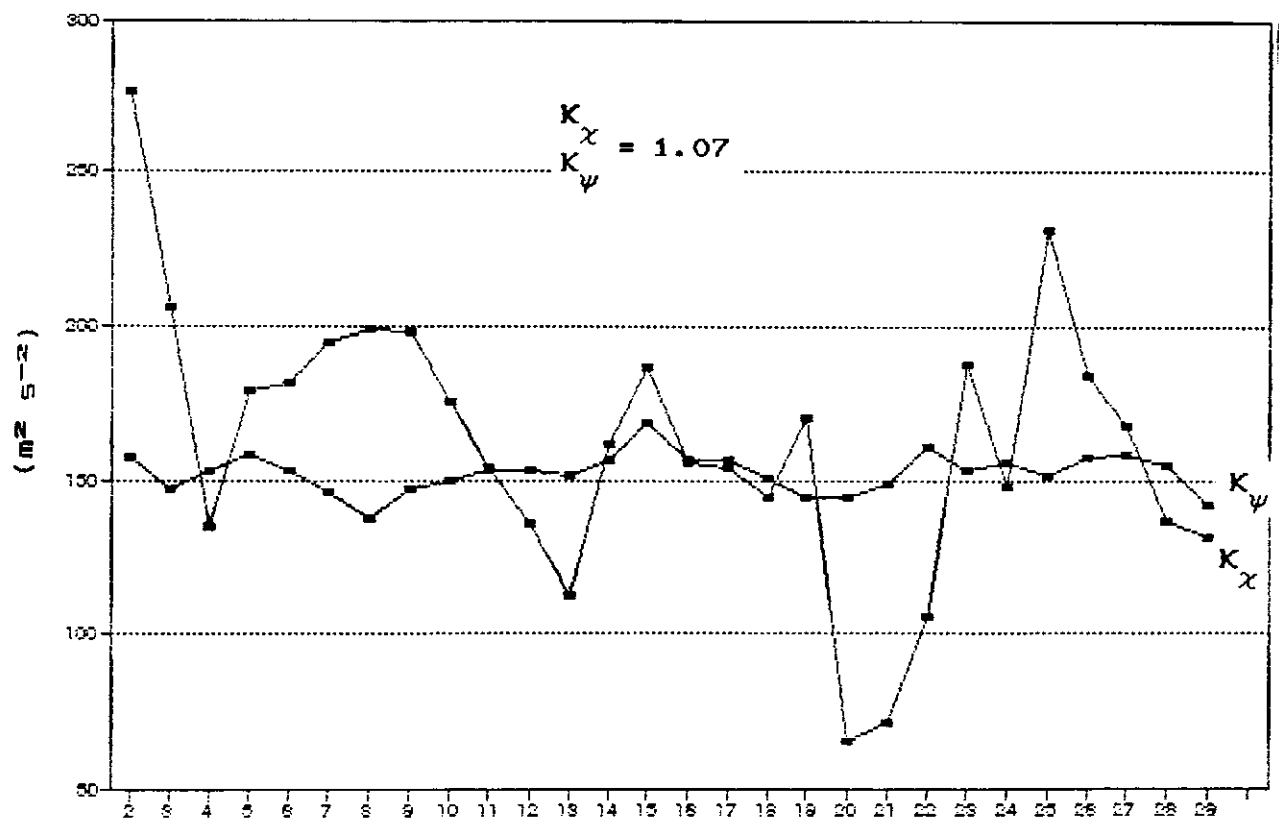


Fig.4.29 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$) em junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC sobre a Região Norte do Brasil

4.2.4. Energia Cinética sobre a Região Nordeste do Brasil

Os cálculos das médias sobre a Região Nordeste foram feitos para 9 x 10 pontos de grade, cobrindo uma grade que vai de 47.5°W a 27.5°W e de 2.5°N a 20°S com espaçamento de 2.5 graus de latitude e longitude. O nível analisado foi o de 300 hPa.

Durante os meses de março e junho, a energia cinética da componente divergente apresenta maior variabilidade que a componente rotacional (Figuras 4.30 e 4.31). A componente rotacional apresenta baixa variabilidade diária, porém, mais representativa que sobre a Região Norte, principalmente em março. Esse aumento sobre a Região Nordeste pode estar associado à incursão de sistemas frontais vindos do sul do continente, possibilitando um caráter rotacional na atmosfera sobre a Região Nordeste no seu setor sul. Em junho, a razão entre a componente divergente e a componente rotacional da energia cinética é mais significativa, com valor de 0.78, contra 0.44 em março.

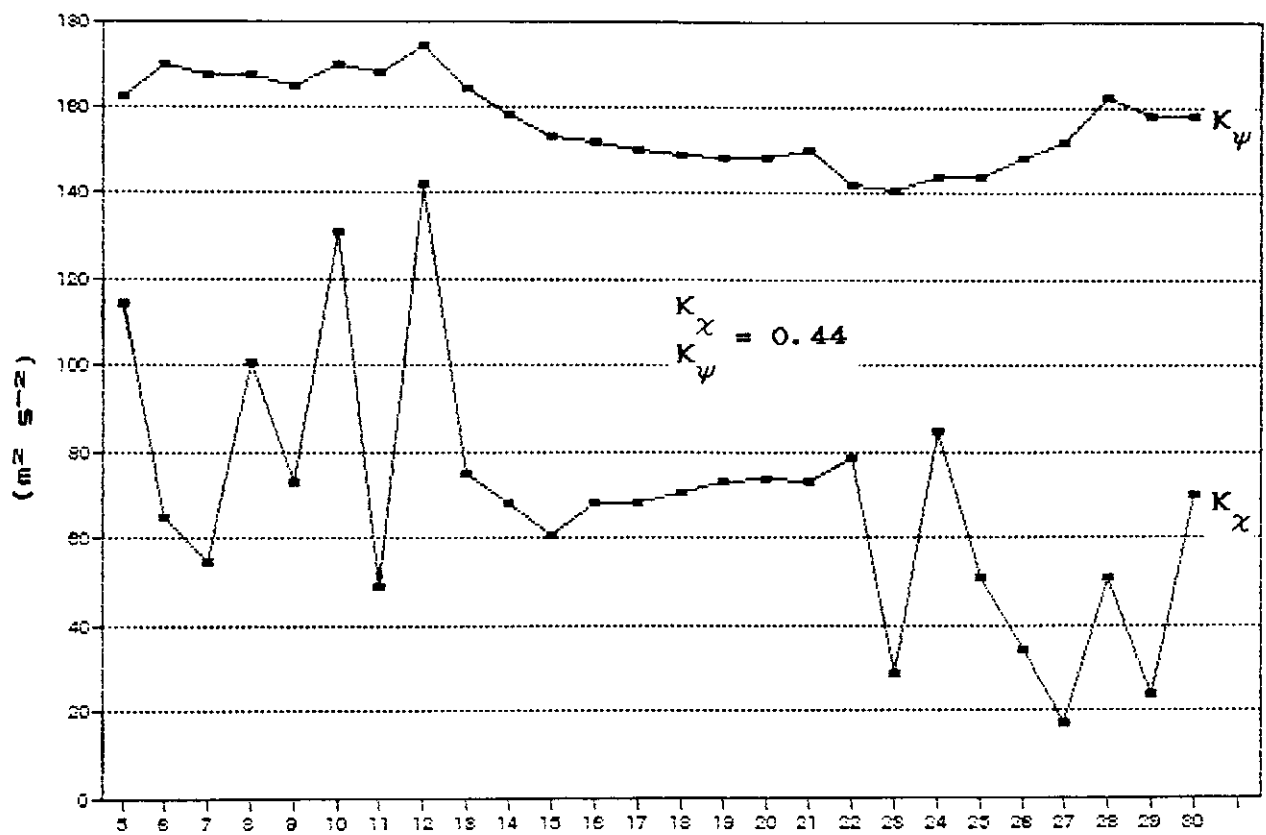


Fig.4.30 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$) em março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC sobre a Região Nordeste do Brasil

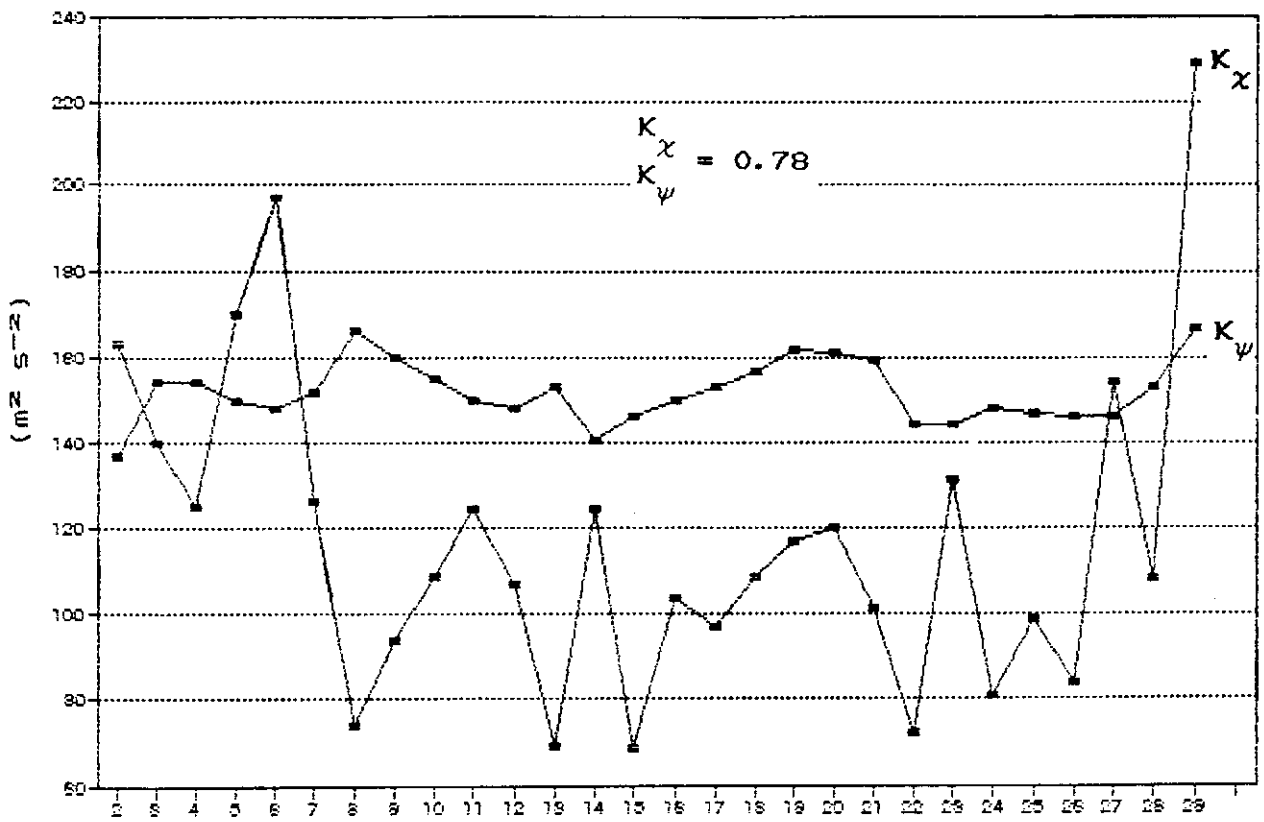


Fig.4.31 - Variação temporal da Energia Cinética das Componentes Rotacional e Divergente ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$) em junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC sobre a Região Nordeste do Brasil

A energia ganha pela componente divergente da energia cinética nas quatro áreas estudadas deve ser transferida rapidamente para a componente rotacional, pois a parte divergente permanece baixa durante todo período. Por outro lado, em alguns dias de junho a componente divergente da energia cinética apresenta-se mais representativa que a energia da componente rotacional, significando uma transferência de energia do modo rotacional para o modo divergente. A transferência de energia da componente rotacional para a divergente ou da divergente para a rotacional ocorre através do processo de interação. Essas interações são apresentadas no próximo item.

4.3. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO TERMO DE INTERAÇÃO

As figuras 4.32 - 4.40 mostram a distribuição espacial do termo de interação sobre a América do Sul em 300 hPa às 00:00 UTC nos dois períodos estudados. O intervalo de contorno utilizado foi o de $15 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times \text{s}^{-3}$.

O padrão médio do termo de interação revela características distintas entre os setores norte e sul da América do Sul, principalmente em junho (Figs. 4.36 - 4.40). Enquanto no setor norte predomina a transferência de energia da componente divergente para a componente rotacional ($f \nabla\psi \cdot \nabla\chi < 0$), no setor sul, a transferência se processa com mais frequência da componente rotacional para a divergente ($f \nabla\psi \cdot \nabla\chi > 0$).

Análises diárias revelam ainda que em março, a região

de transferência de energia da componente divergente para a

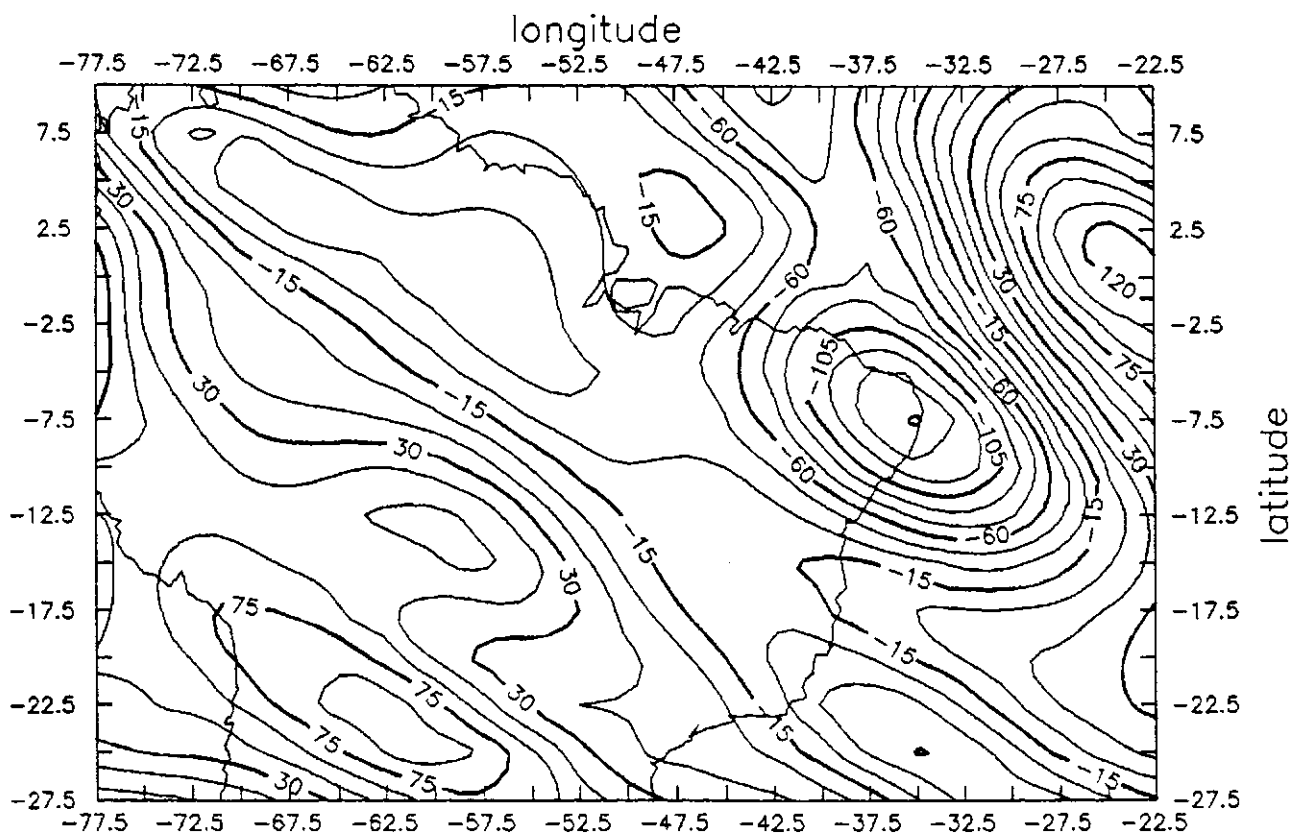


Fig.4.32 Pentada do Termo de Interação $PSI.QUI \times 10^{-6} (m^2 s^{-3})$ para o período de 5 a 9 de março de 1978 em 300 hPa sobre a América do Sul as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $15 \times 10^{-6} m^2 s^{-3}$

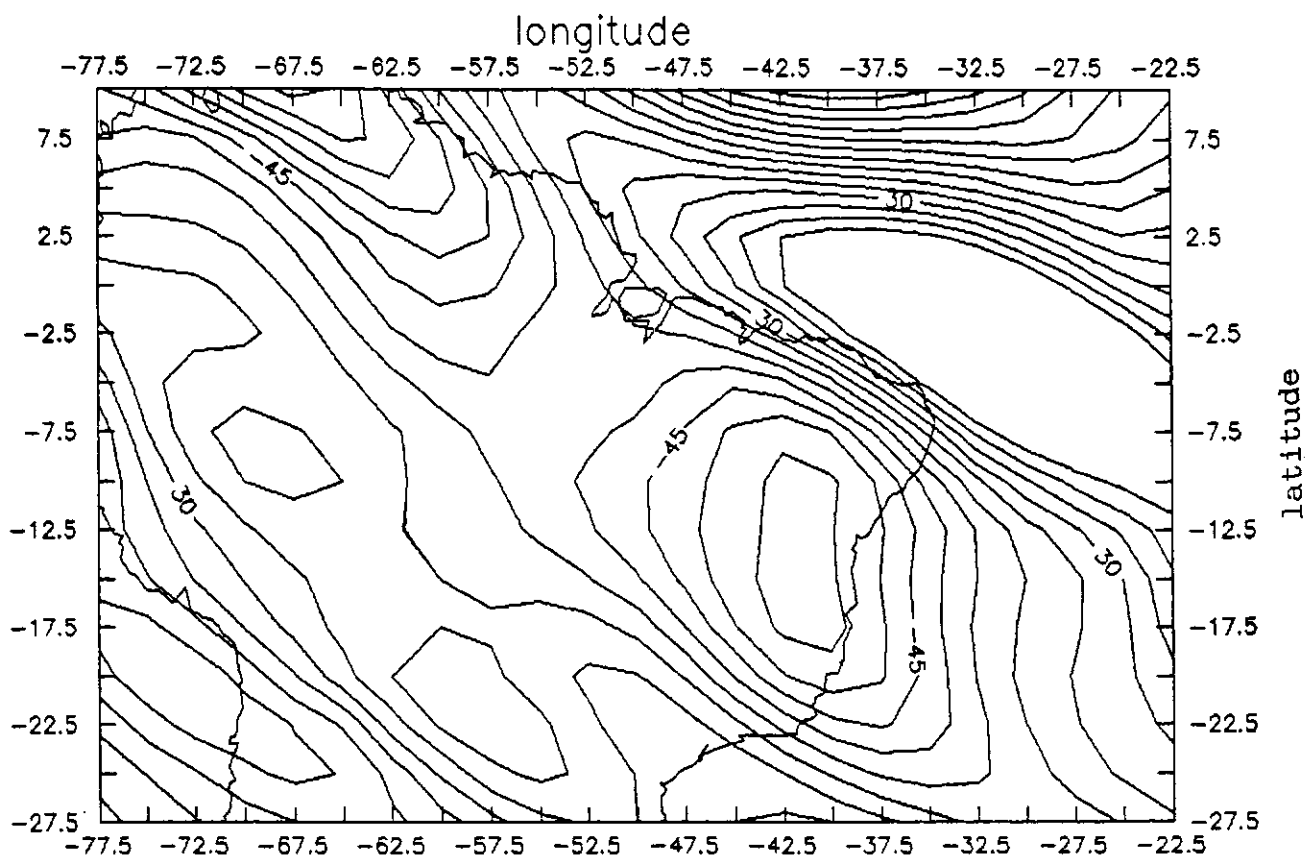


Fig.4.33 - Pentada do Termo de Interação $PSI.QUI \times 10^{-6} (m^2 s^{-3})$ para o período de 10 a 14 de março de 1978 em 300 hPa sobre a América do Sul as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $15 \times 10^{-6} m^2 s^{-3}$

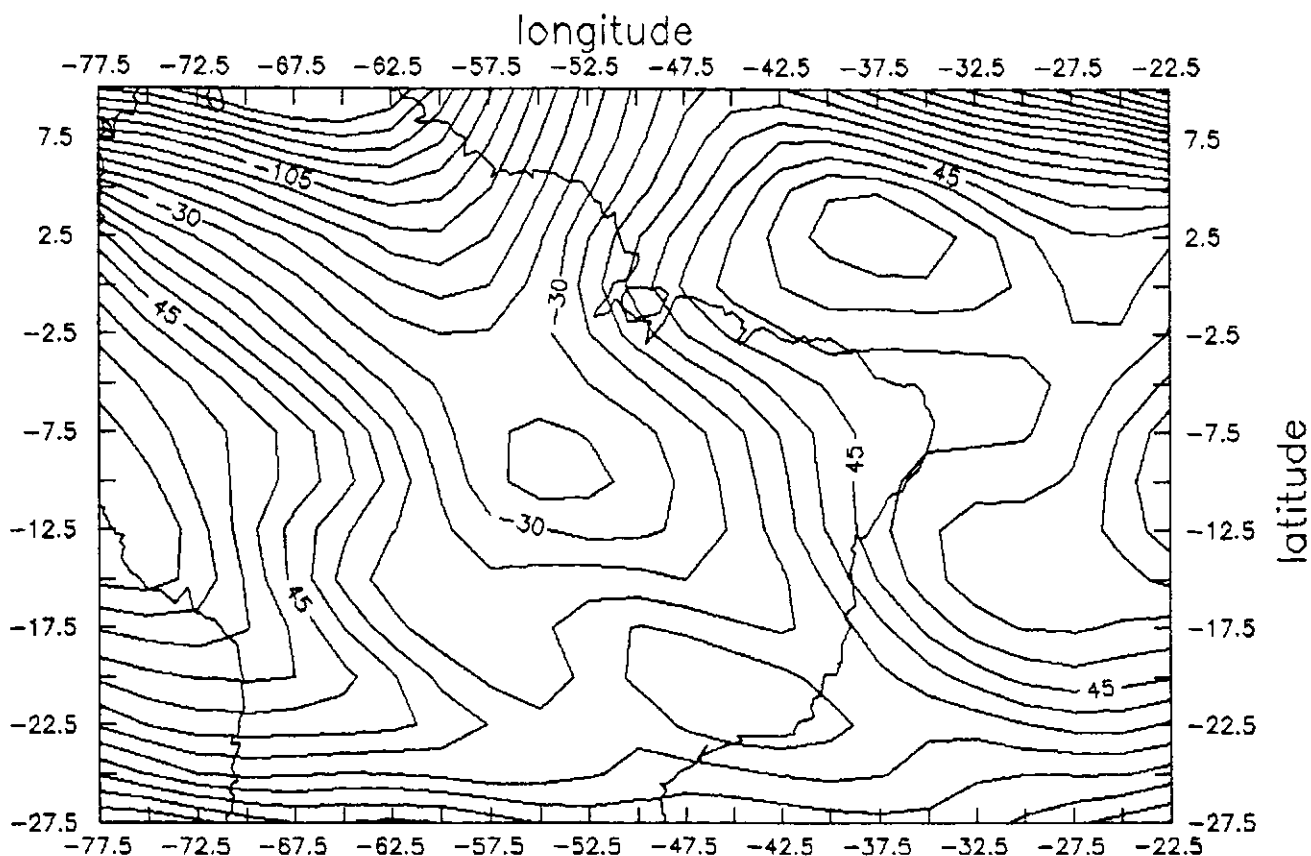


Fig.4.34 - Pentada do Termo de Interação $\text{PSI.QUI} \times 10^{-6} \text{ (m}^2 \text{ s}^{-3}\text{)}$ para o período de 21 a 25 de março de 1978 em 300 hPa sobre a América do Sul as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $15 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$

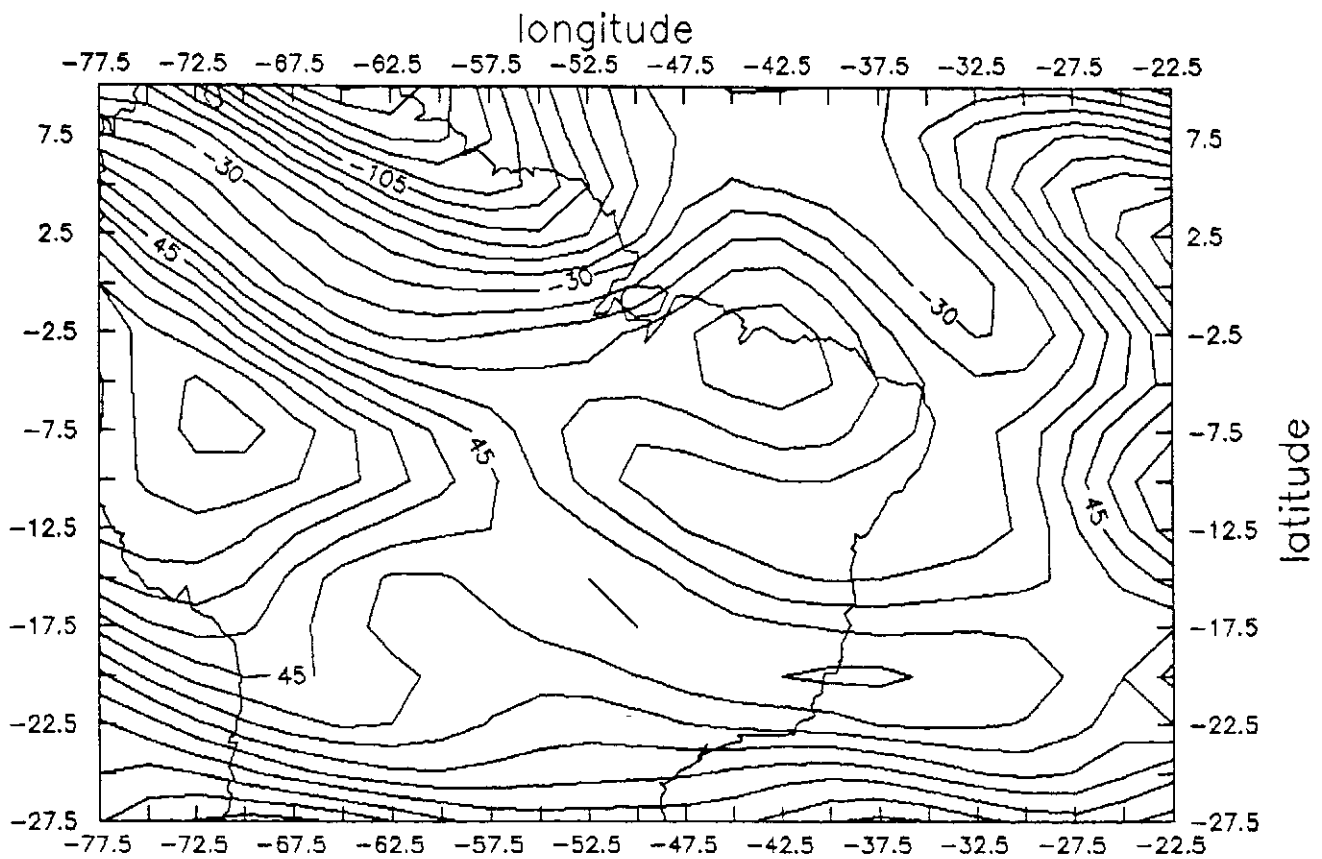


Fig.4.35 - Pentada do Termo de Interação $\text{PSI.QUI} \times 10^{-6} \text{ (m}^2 \text{ s}^{-3}\text{)}$ para o período de 26 a 30 de março de 1978 em 300 hPa sobre a América do Sul as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $15 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$

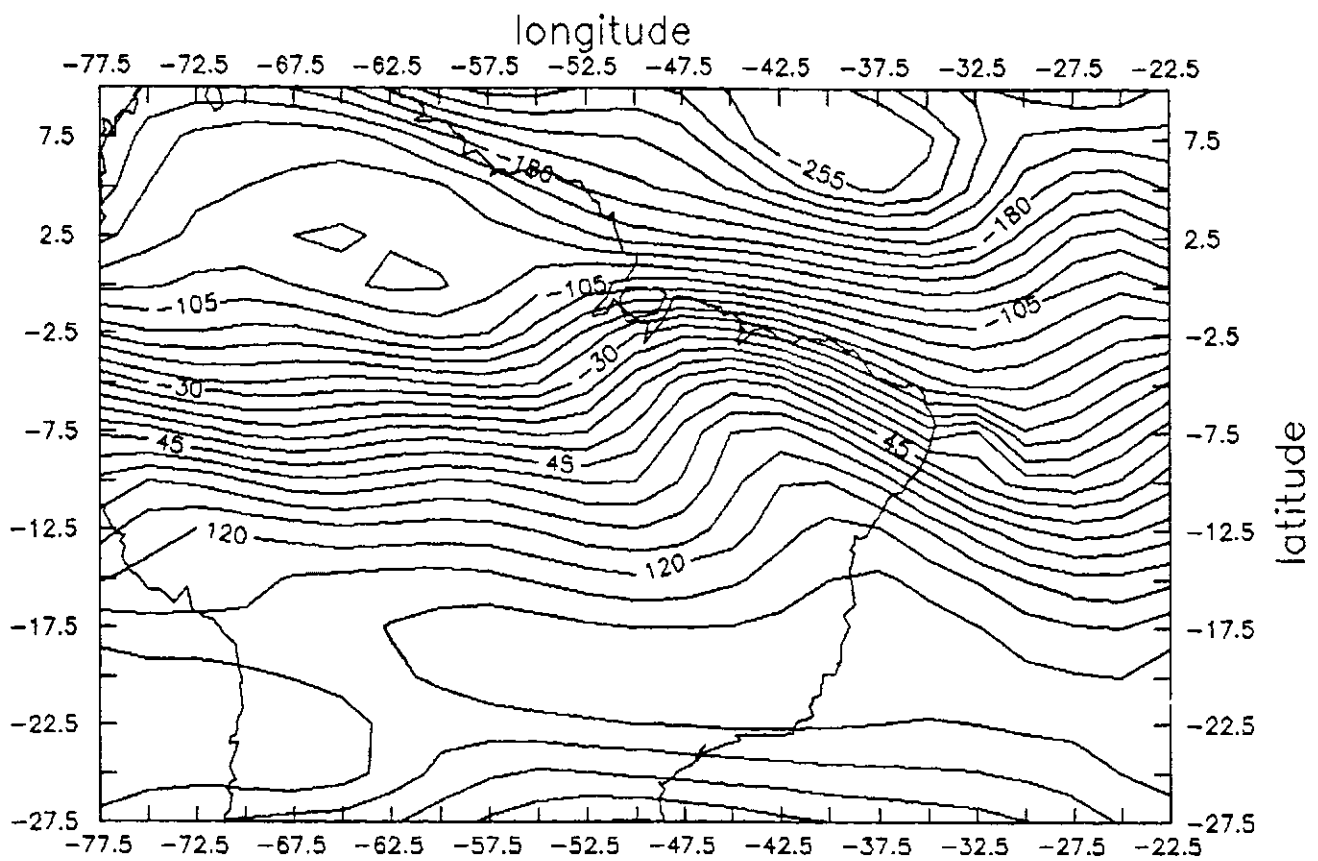


Fig.4.36 - Pentada do Termo de Interação $\text{PSI.QUI} \times 10 \text{ E-6} (\text{m}^2 \text{ s}^{-3})$ para o período de 2 a 6 de junho de 1978 em 300 hPa sobre a América do Sul as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $15 \times 10 \text{ E-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$

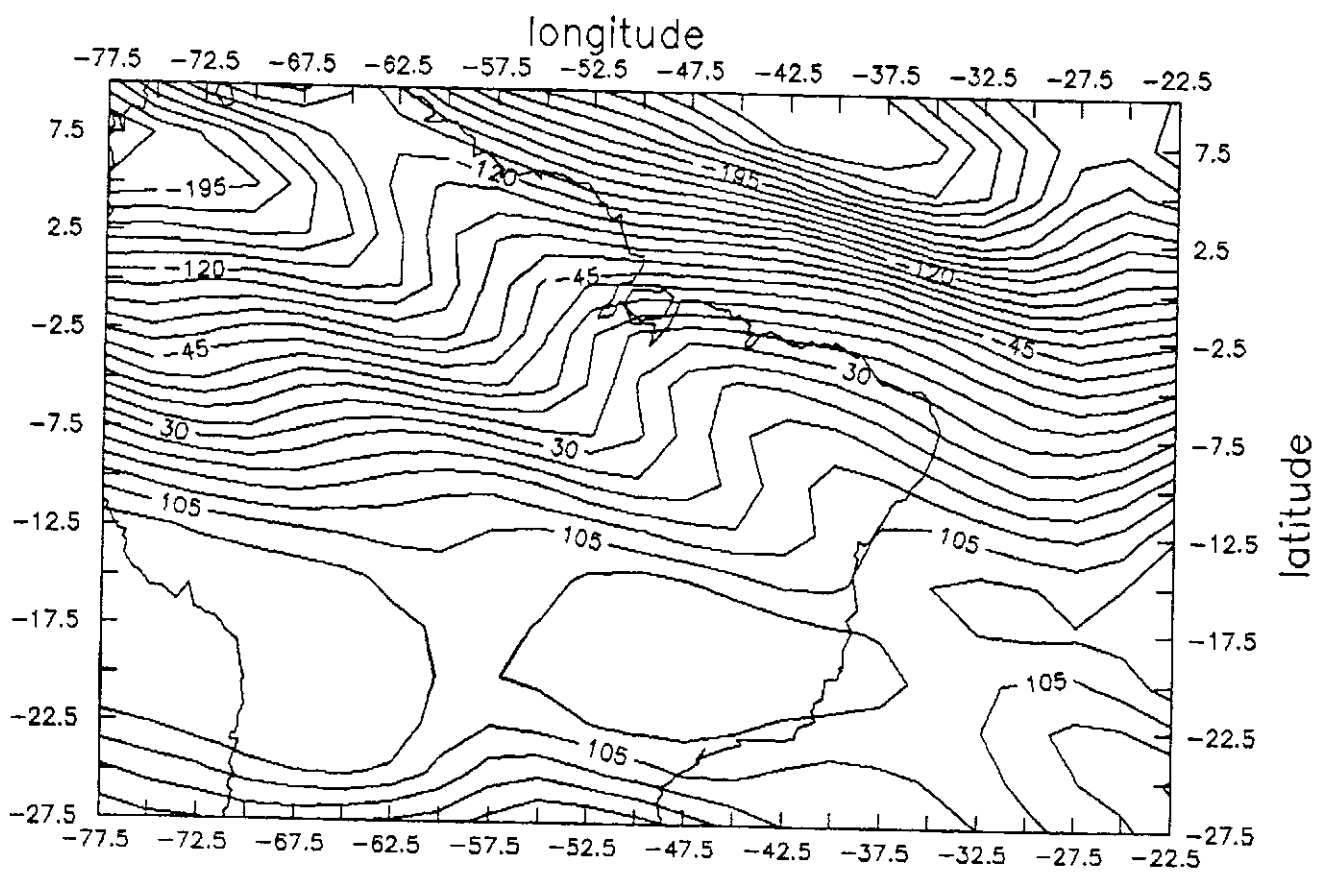


Fig.4.37 - Pentada do Termo de Interação $\text{PSI.QUI} \times 10 \text{ E-6} (\text{m}^2 \text{ s}^{-3})$ para o período de 7 a 11 de junho de 1978 em 300 hPa sobre a América do Sul as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $15 \times 10 \text{ E-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$

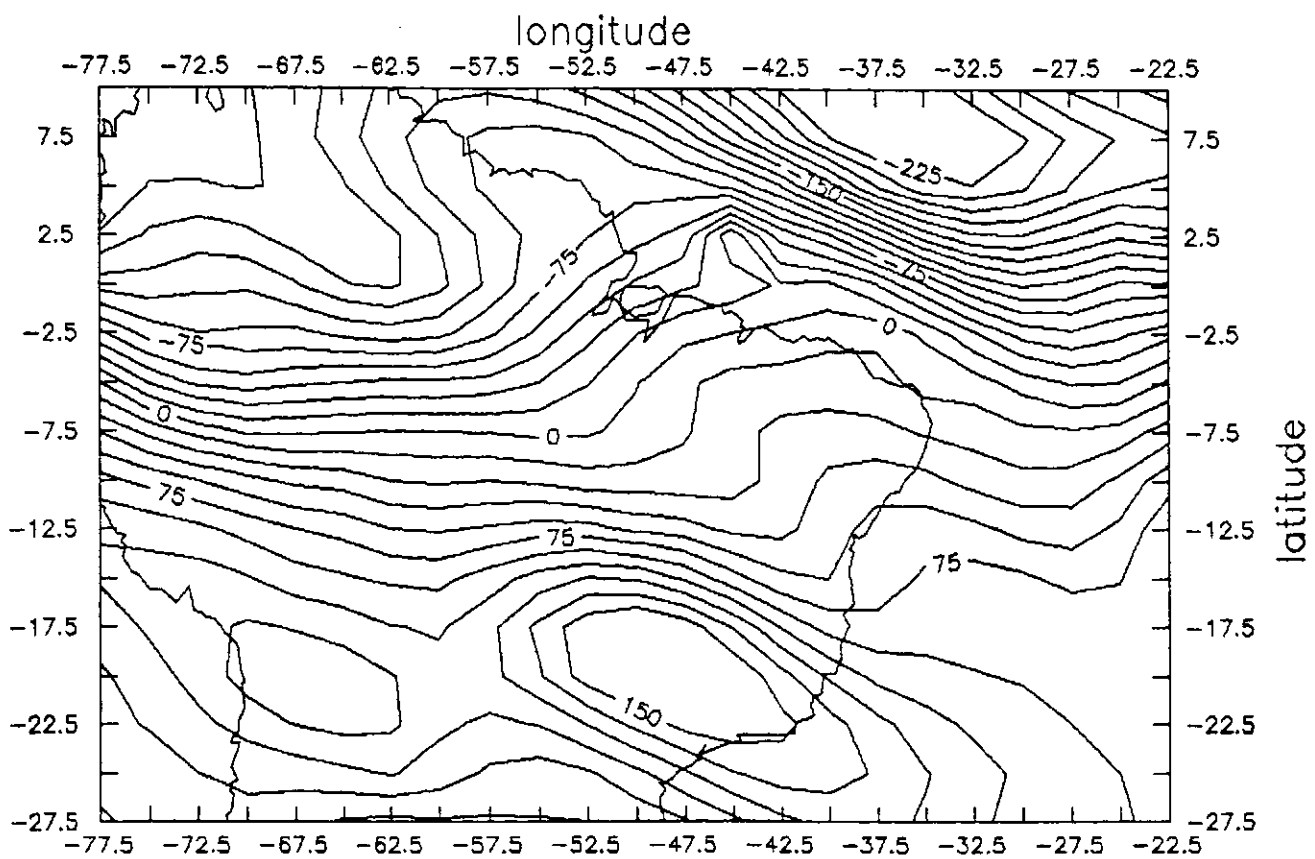


Fig.4.38 - Pentada do Termo de Interação $PSI.QUI \times 10 E^{-6} (m^2 s^{-3})$ para o período de 12 a 16 de junho de 1978 em 300 hPa sobre a América do Sul as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $15 \times 10 E^{-6} m^2 s^{-3}$

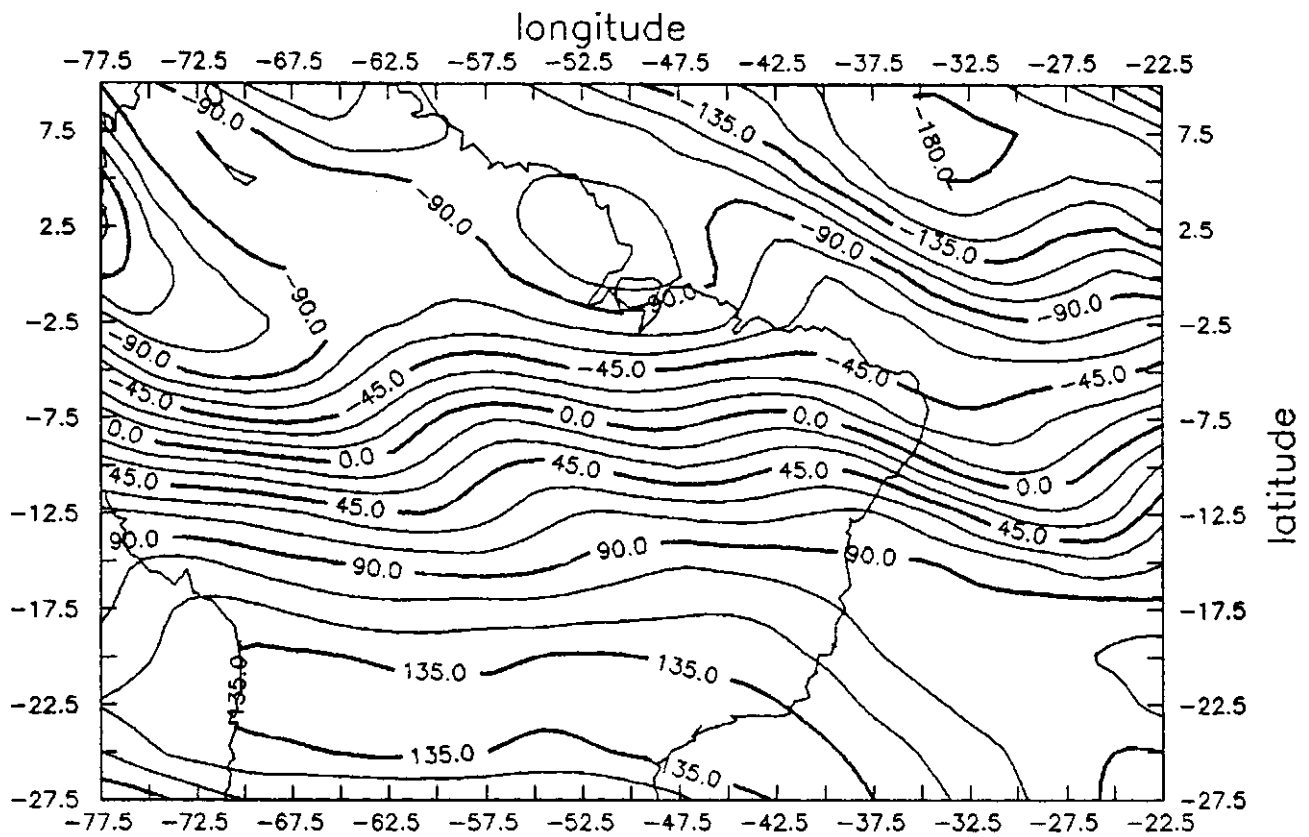


Fig.4.39 - Pentada do Termo de Interação $PSI.QUI \times 10^{-6} \text{ (m}^2 \text{ s}^{-3}\text{)}$ para o período de 20 a 24 de junho de 1978 em 300 hPa sobre a América do Sul as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $15 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$

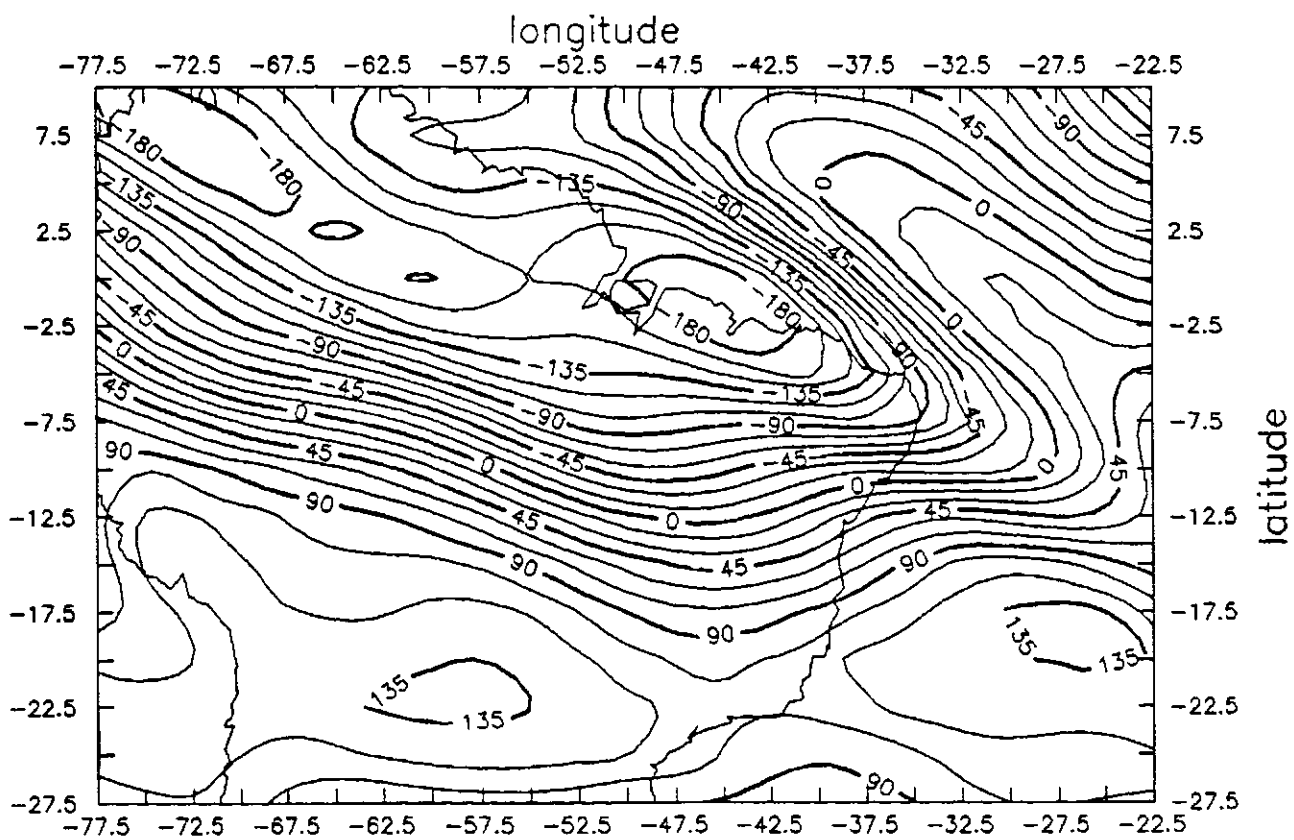


Fig.4.40 - Pentada do Termo de Interação PSI.QUI $\times 10 E-6(m^2 s^{-3})$ para o período de 25 a 29 de junho de 1978 em 300 hPa sobre a América do Sul as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $15 \times 10 E-6 m^2 s^{-3}$

rotacional ($f \nabla \psi \cdot \nabla \chi < 0$) adquire uma orientação noroeste-sudeste, com atividade máxima entre os dias 21 e 23 (Fig. 4.41). É razoável relacionar essa inclinação, à penetração de distúrbios transientes (frente fria) no sudeste do Brasil. Esses sistemas frontais podem em qualquer época do ano penetrar na Amazônia, organizando convecção e influenciando a precipitação sobre a Amazônia KOUSKY(1979). A observação diária em junho não evidencia a presença desse eixo atuando sobre a América do Sul. Neste período verificou-se uma intensificação na transferência de energia da componente rotacional para a componente divergente ($f \nabla \psi \cdot \nabla \chi > 0$) entre os dias 12 e 14 e entre 19 e 22 sobre o setor norte da América do Sul (Figs. 4.42-4.44). A propagação para norte do máximo de transferência de energia da componente rotacional para a componente divergente ($f \nabla \psi \cdot \nabla \chi > 0$) observada nesses dias de junho, pode estar associada a penetração de sistemas frontais sobre a Região Sudeste do Brasil e sua interação com a convecção continental sobre a Região Amazônica.

Características distintas também podem ser observadas entre as Regiões Norte e Nordeste do Brasil. A análise diária mais atenta revela que na Região Norte é mais frequente a transferência de energia da componente divergente para a rotacional ($f \nabla \psi \cdot \nabla \chi < 0$), uma possível explicação para esse fato é a forte atividade convectiva na Região Amazônica. Sobre a Região Nordeste a transferência de energia é de forma alternada, ora da componente divergente para a rotacional, ora da componente ro-

tacional para a divergente.

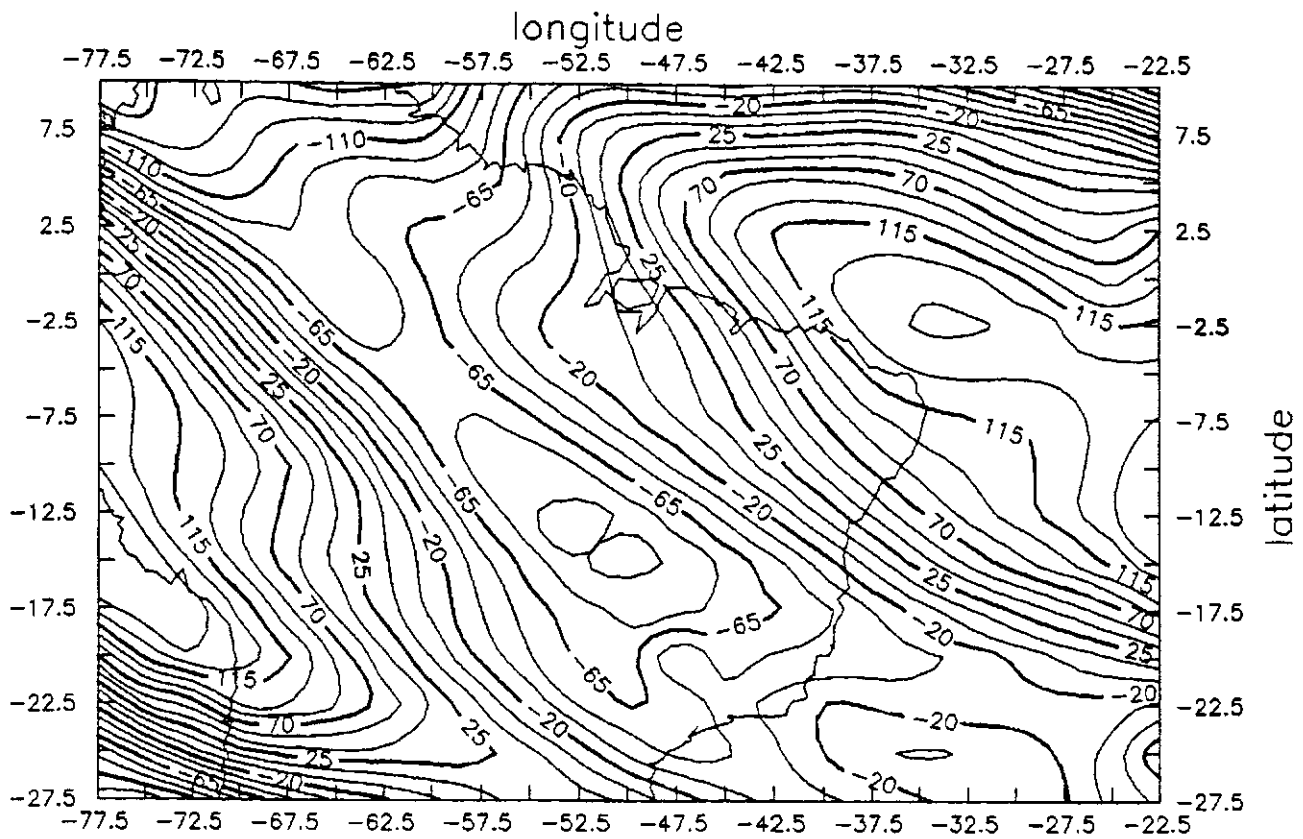


Fig.4.41 - Termo de Interação PSI.QUI $\times 10 E^{-6}$ ($m^2 s^{-3}$) no dia 21 de março de 1978 em 300 hPa sobre a América do Sul as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $15 \times 10 E^{-6} m^2 s^{-3}$

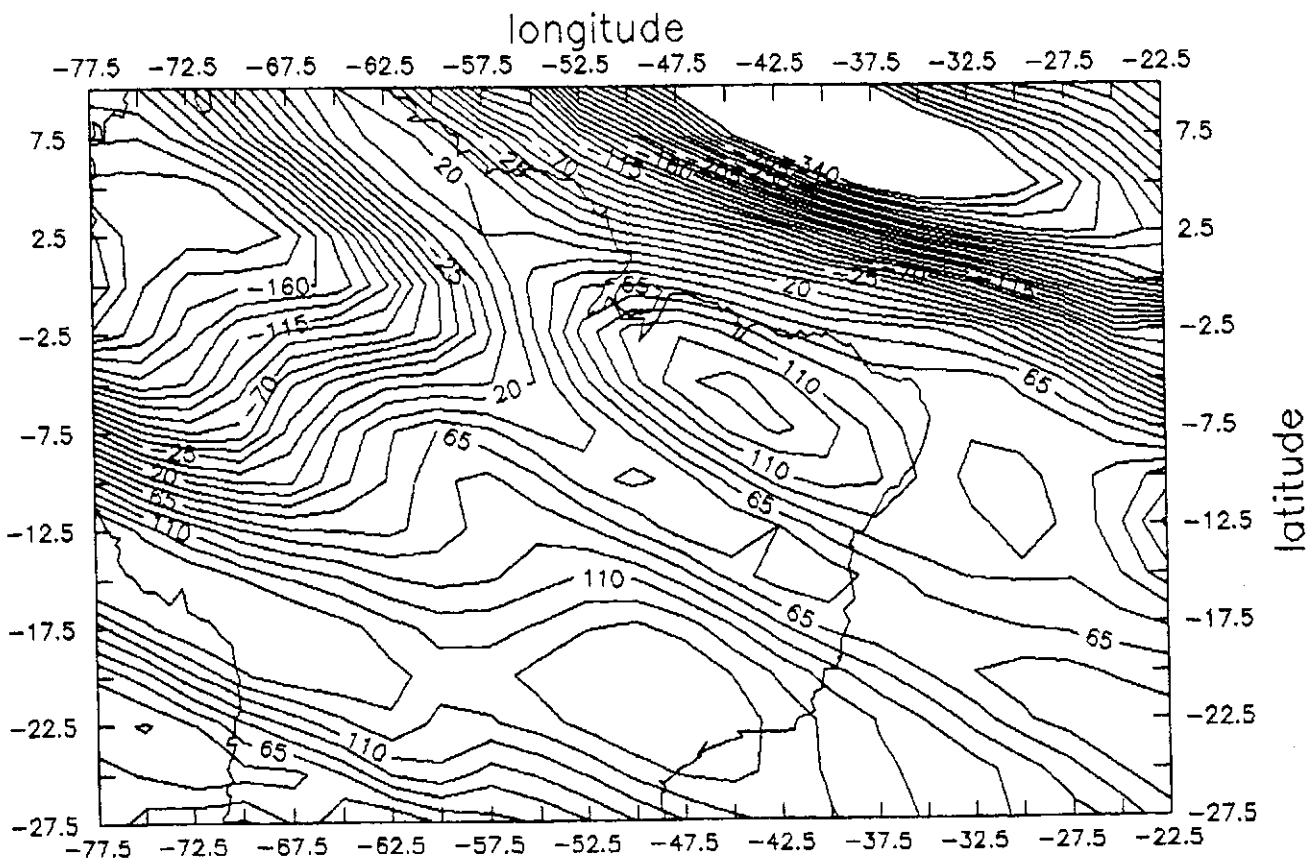


Fig.4.42 - Termo de Interação $\text{PSI.QUI} \times 10 \text{ E-6} \text{ (m}^2 \text{ s}^{-3}\text{)}$ no dia 12 de junho de 1978 em 300 hPa sobre a América do Sul as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $15 \times 10 \text{ E-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$

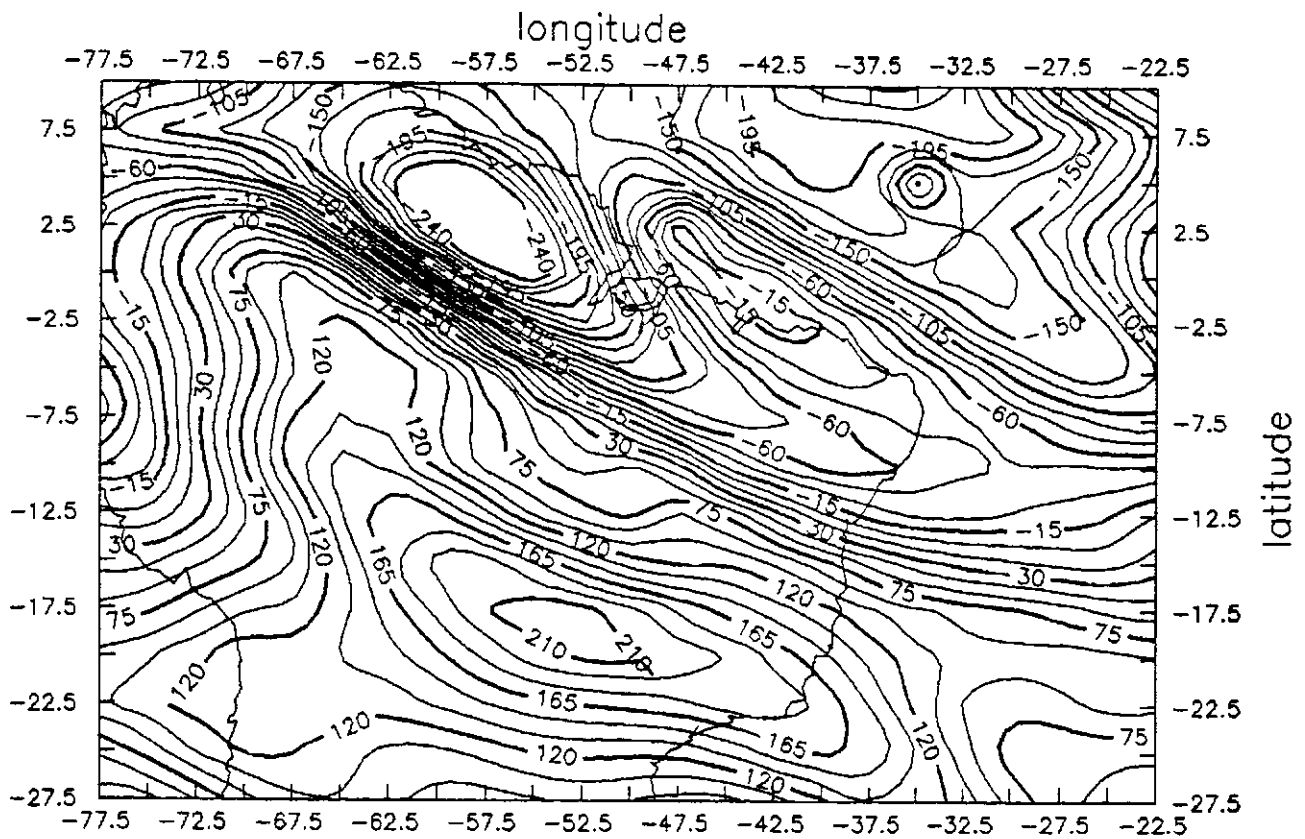


Fig.4.43 - Termo de Interação PSI.QUI $\times 10 E^{-6}$ ($m^2 s^{-3}$) no dia 19 de junho de 1978 em 300 hPa sobre a América do Sul as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $15 \times 10 E^{-6} m^2 s^{-3}$

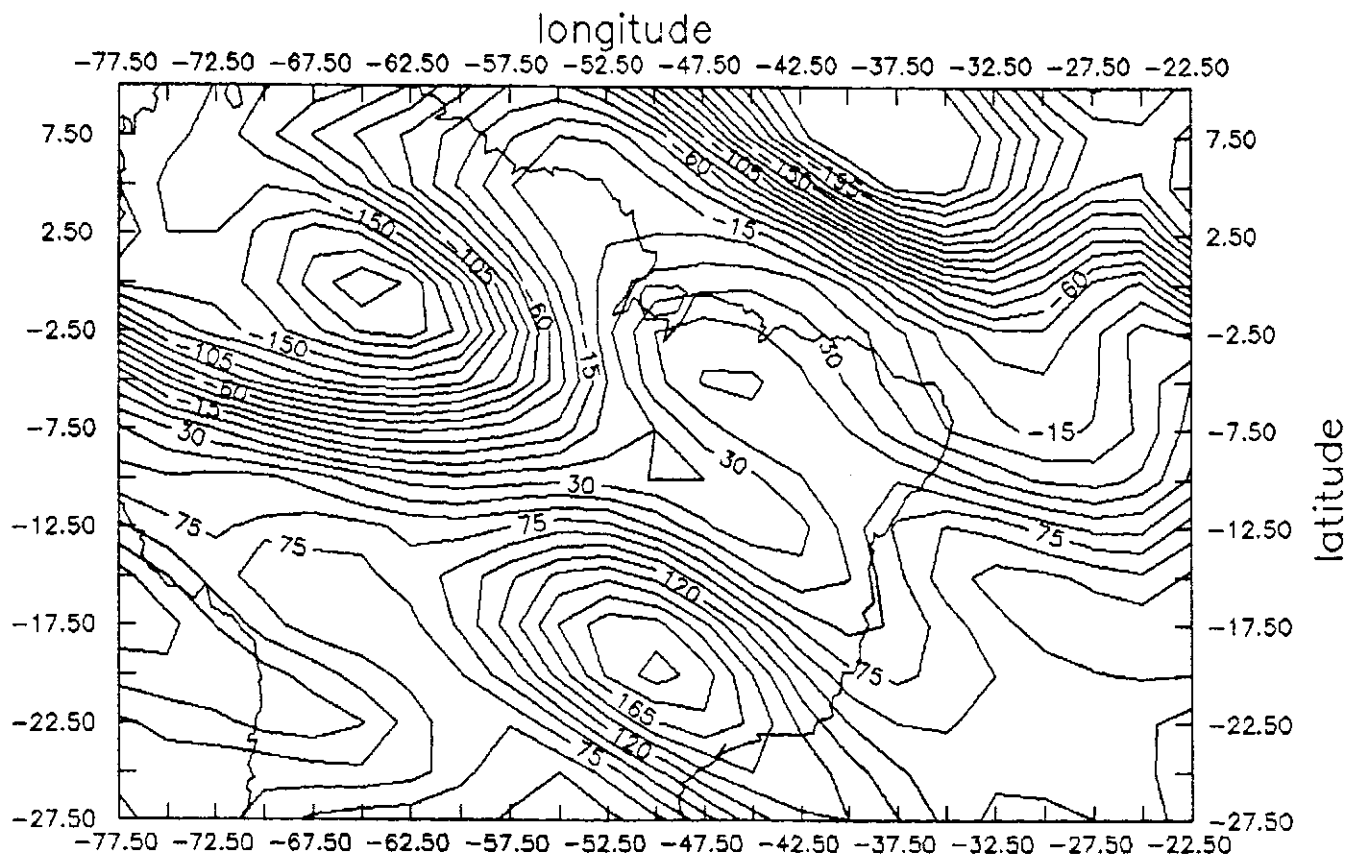


Fig.4.44 - Termo de Interação PSI.QUI $\times 10 E^{-6}$ ($m^2 s^{-3}$) no dia 21 de junho de 1978 em 300 hPa sobre a América do Sul as 00:00 UTC. O intervalo de análise é de $15 \times 10 E^{-6} m^2 s^{-3}$

4.3.1. Evolução Temporal do Termo de Interação

Dentro do domínio dos setores norte e sul da América do Sul, esse termo foi analisado em 300 hPa e 850 hPa às 00:00 UTC.

Nos dois períodos estudados, o setor norte da América do Sul caracteriza-se melhor na transferência de energia da componente divergente para a rotacional, isso é verificado em 300 hPa e 850 hPa (Figuras 4.45 - 4.48). Esse fato sugere a característica divergente da atmosfera superior no setor norte da América do Sul.

Dentro do domínio do setor sul, a evolução temporal média do termo de interação revela que a componente rotacional da energia cinética transfere energia para a componente divergente. Esse comportamento contrário ao do setor norte da América do Sul pode ser um indicativo que o setor sul está transferindo energia para o setor norte da América do Sul, por intermédio de uma célula de circulação direta tipo Célula de HADLEY, quase que instantaneamente. Isso fica bem evidente quando se observa nas figuras 4.45 - 4.48 que em média, o pico de transferência de energia da componente rotacional para a divergente no setor sul, coincide com o pico de energia da componente divergente para a rotacional no setor norte da América do Sul. Esse fato é observado nos dois períodos estudados.

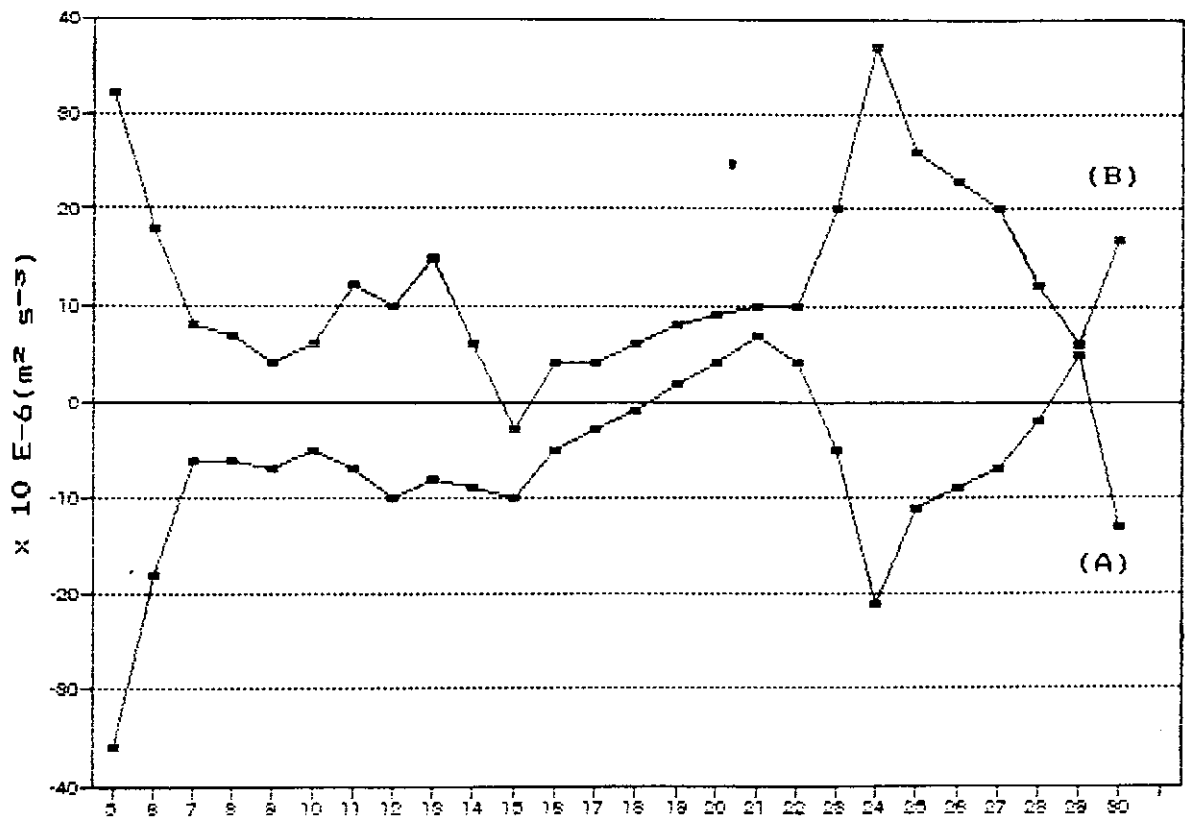


Fig.4.45 - Variação temporal do Termo de Interação PSI.QUI $\times 10^{-6} (m^2 s^{-3})$ no setor norte (A) e no setor sul (B) da América do Sul em março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC

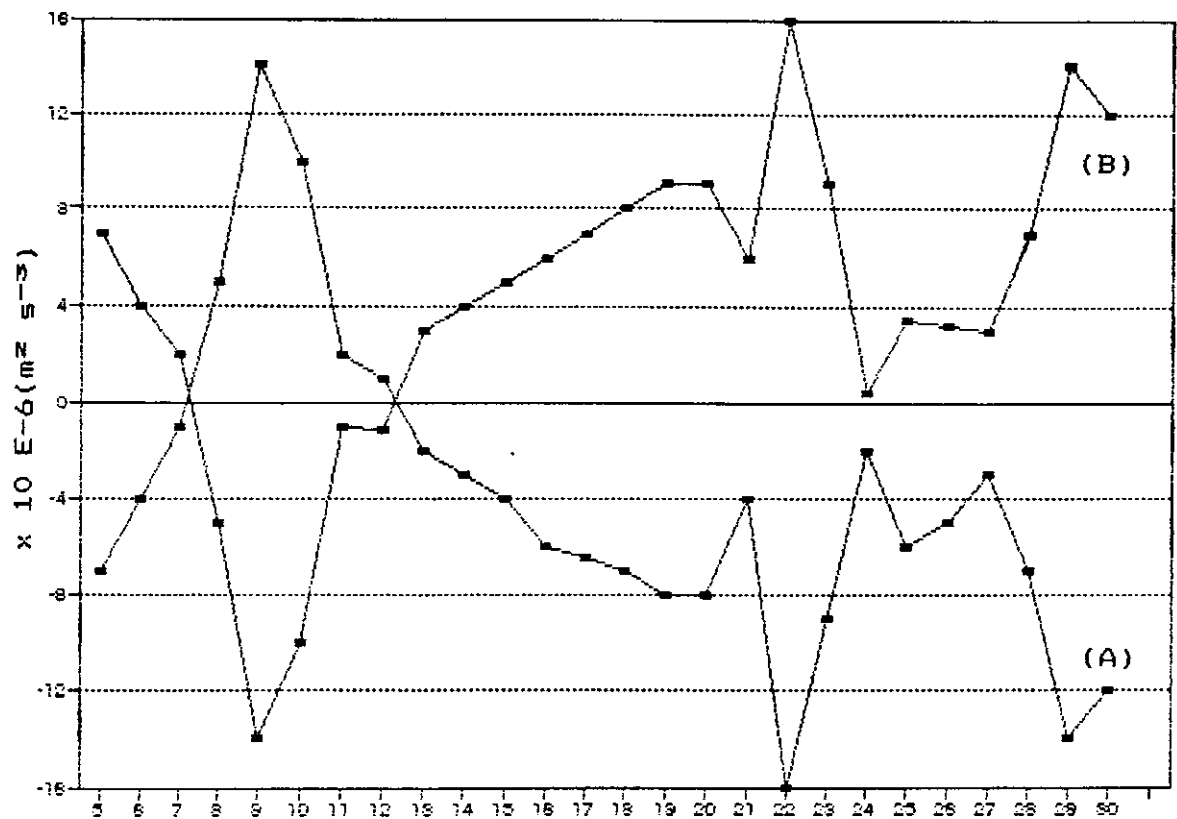


Fig.4.46 - Variação temporal do Termo de Interação PSI.QUI $\times 10^{-6} (m^2 s^{-3})$ no setor norte (A) e no setor sul (B) da América do Sul em março de 1978 em 850 hPa as 00:00 UTC

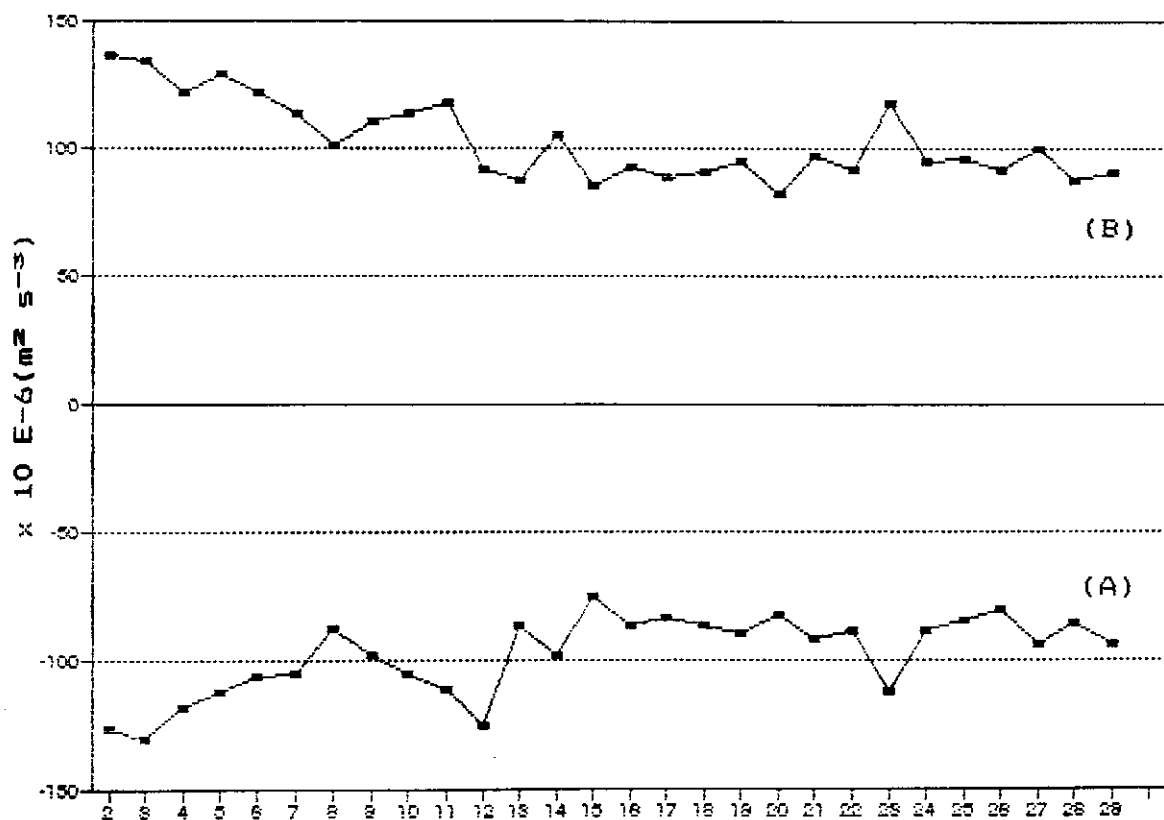


Fig.4.47 - Variação temporal do Termo de Interação PSI.QUI $\times 10 E-6(m^2 s^{-3})$ no setor norte (A) e no setor sul (B) da América do Sul em junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC



Fig.4.48 - Variação temporal do Termo de Interação PSI.QUI $\times 10^{-6} \text{ (m}^2 \text{ s}^{-3})$ no setor norte (A) e no setor sul (B) da América do Sul em junho de 1978 em 850 hPa as 00:00 UTC

Em março, a observação diária da distribuição espacial do termo de interação sobre a Região Norte revela que a parte norte da Amazônia, experimenta transferência de energia da componente divergente para a componente rotacional, enquanto que durante todo o período, no sudoeste da Amazônia se observa transferência de energia da componente rotacional para a componente divergente. Por outro lado, também ocorrem características distintas no modo de transferência de energia entre o norte e o sul da Região Nordeste. Esse comportamento mostrou a necessidade do cálculo da evolução temporal do termo de interação PSI.QUI sobre as Regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Dentro do domínio da Região Norte, a característica marcante é a transferência de energia cinética da componente divergente para a componente rotacional ($f \nabla\psi \cdot \nabla\chi < 0$) (Figs. 4.49 - 4.50). Em março, o período de intensificação da transferência de energia do modo divergente para o modo rotacional entre 21 e 25, coincide com o período que a região de transferência de energia adquire uma orientação noroeste-sudeste (Fig. 4.41). Em junho, a Região Norte só experimenta a transferência de energia cinética do modo divergente para o modo rotacional.

As Figuras 4.51 e 4.52 mostram a distribuição média temporal da precipitação diária em 31 estações localizadas sobre a Região Norte durante os meses de março e junho. Observa-se que a precipitação foi bem distribuída ao longo dos dois meses

estudados.

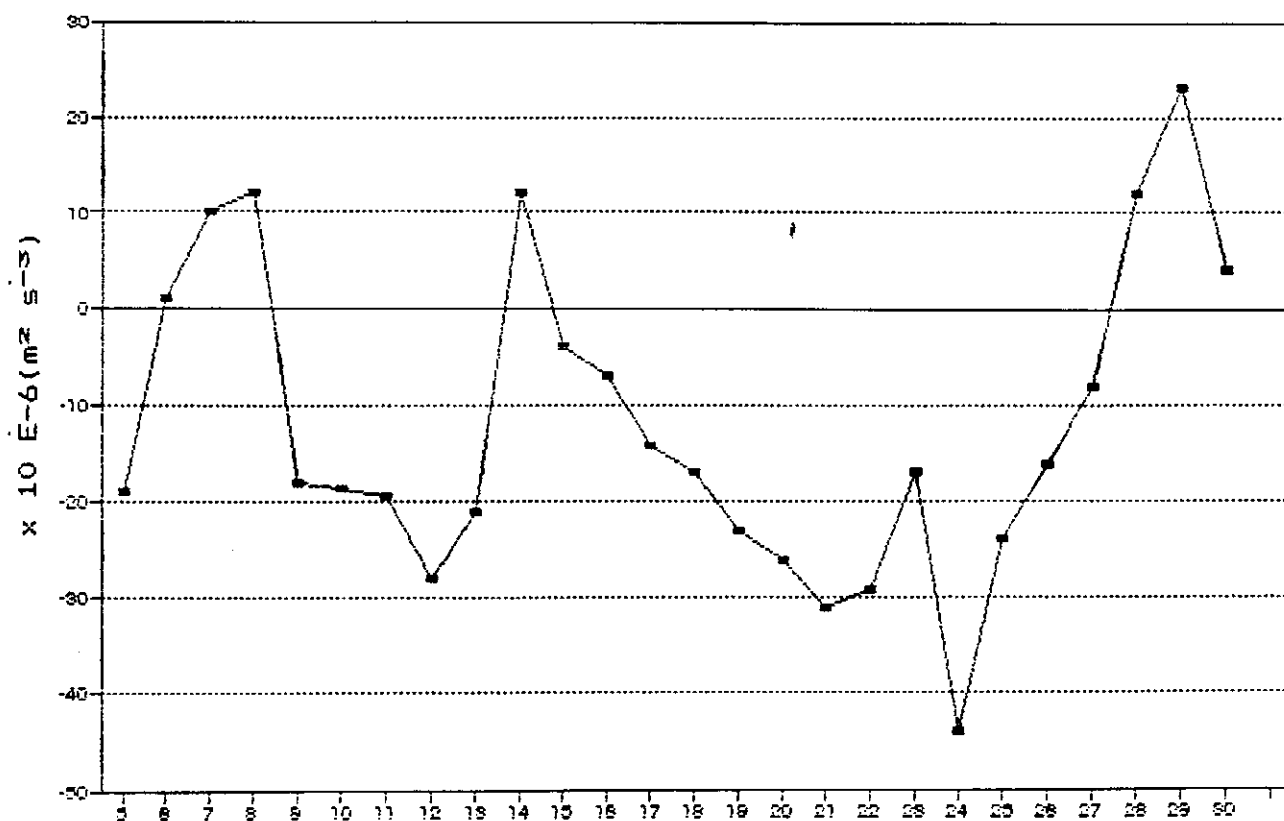


Fig.4.49 - Variação temporal do Termo de Interação PSI.GUI $\times 10 \text{ E-6} (\text{m}^2 \text{ s}^{-3})$ na Região Norte do Brasil em março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC

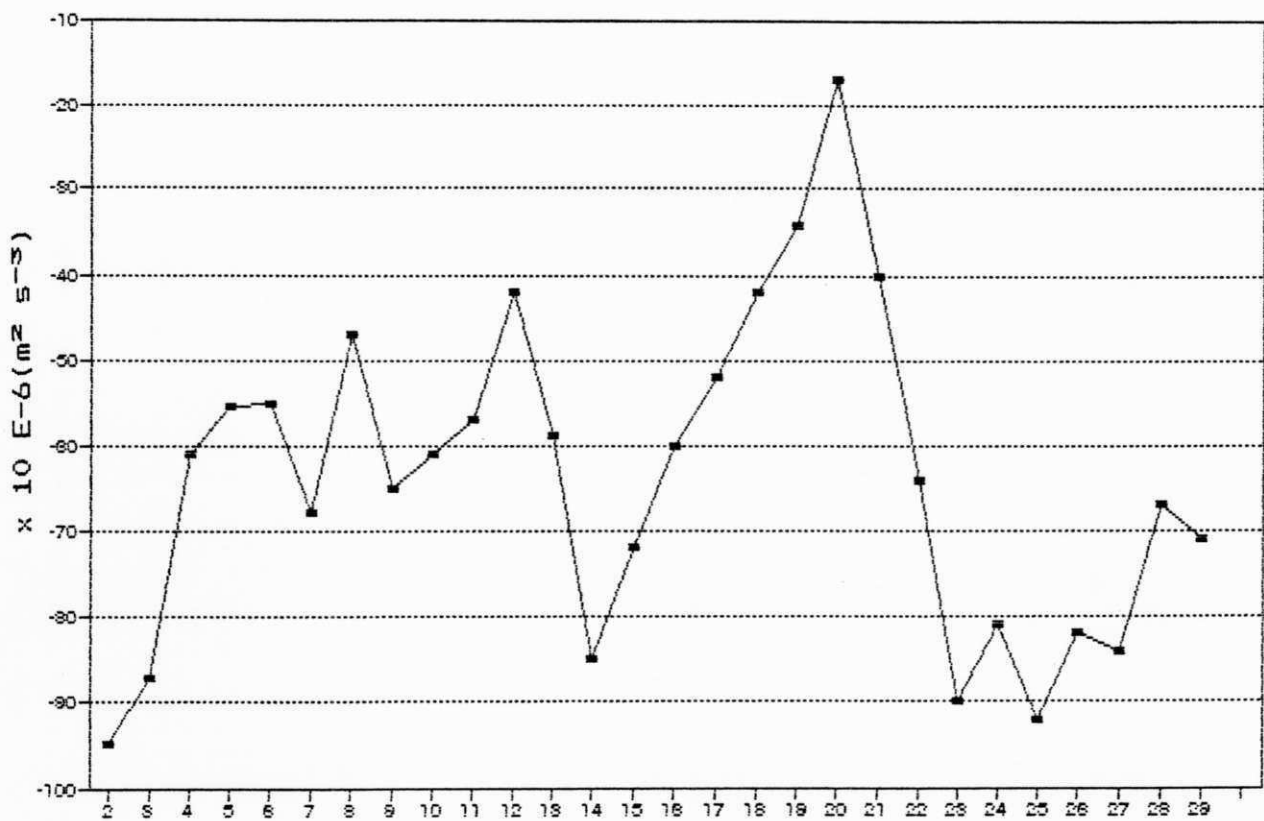


Fig.4.50 - Variação temporal do Termo de Interação PSI.QUI $\times 10 E-6(m^2 s^{-3})$ na Região Norte do Brasil em junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC

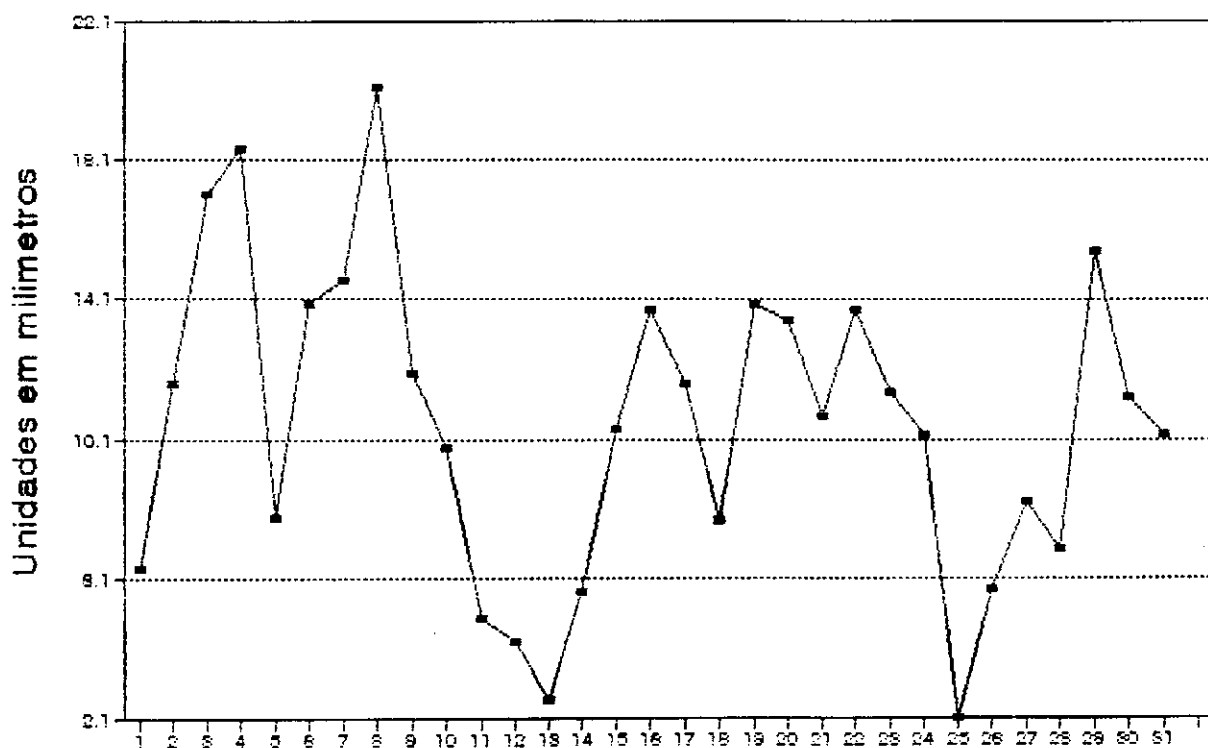


Fig.4.51 - Distribuição média diária da precipitação em 31 estações meteorológicas localizadas na Região Norte do Brasil em março de 1978. O Apêndice A fornece informações sobre as estações meteorológicas da Região Norte do Brasil

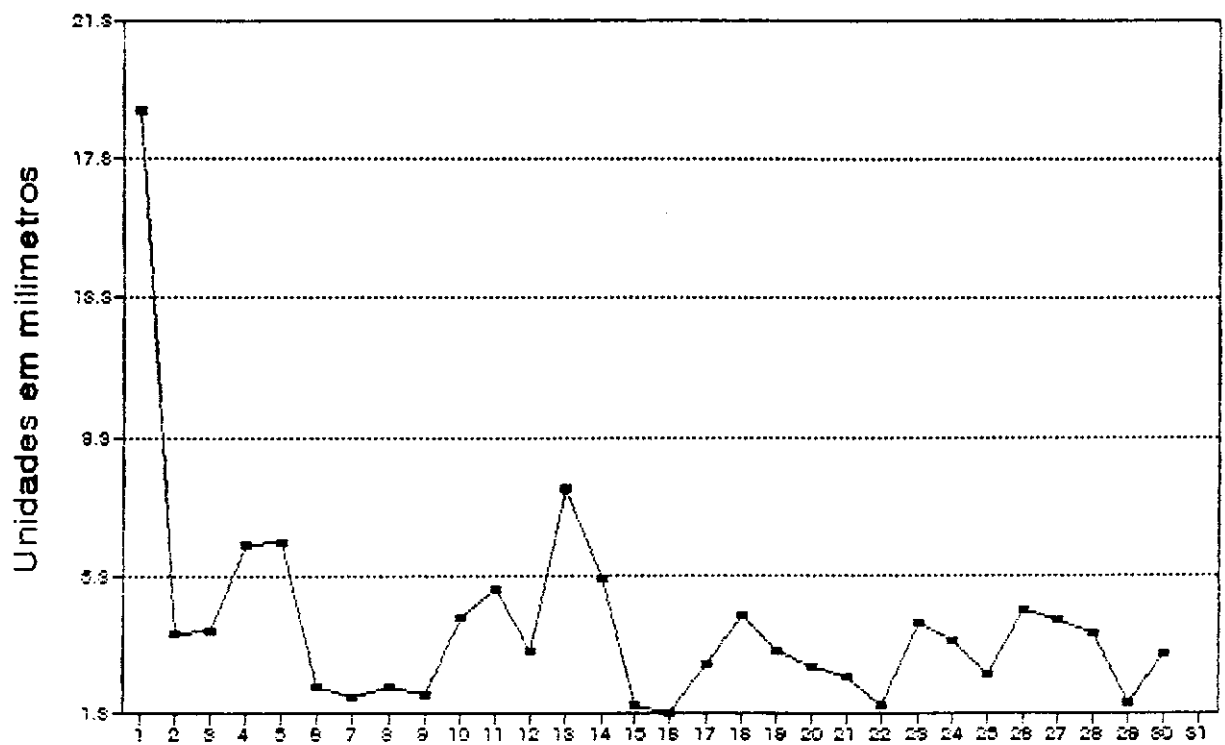
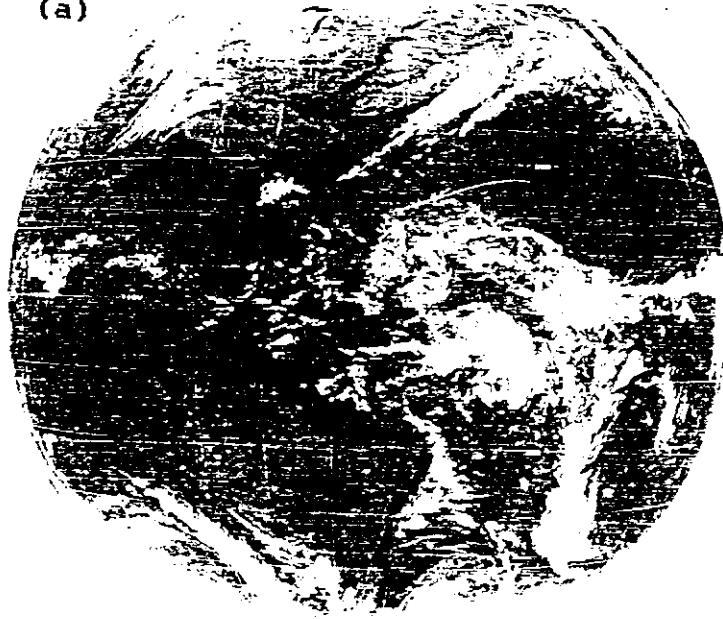


Fig.4.52 - Distribuição média diária da precipitação em 31 estações meteorológicas localizadas na Região Norte do Brasil em junho de 1978.
O Apêndice B fornece informações sobre as estações meteorológicas da Região Nordeste do Brasil

Indícios da existência de transferência de energia entre as Regiões Norte e Nordeste do Brasil durante o mês de março de 1978 pode ser observado através das imagens de satélites dos dias 05 e 06 (Fig. 4.53). Na imagem de satélite do dia 05 (Fig. 4.53a), nota-se intensa atividade convectiva atuando sobre a porção oriental da Amazônia e atividade convectiva diminuída sobre a porção ocidental da Região Nordeste. No dia 06 a atividade convectiva desaparece sobre a Região Amazônica e apresenta-se muito intensa e organizada sobre a Região Nordeste (Fig. 4.53b).

Na Região Nordeste observa-se melhor os dois modos de transferência de energia (Fig. 4.54 - 4.55), com predominância na transferência de energia do modo divergente para o rotacional ($f \nabla \psi \cdot \nabla \chi < 0$). O período entre 5 e 13 de março, onde se observa o modo de transferência de energia da componente divergente para o rotacional mais representativo, coincide com o período de maiores alturas diárias de precipitação na parte norte da Região Nordeste (Figura 4.9). O aumento da precipitação nesse período esteve associado a atuação de um vórtice ciclônico (Fig. 4.56).

(a)



(b)

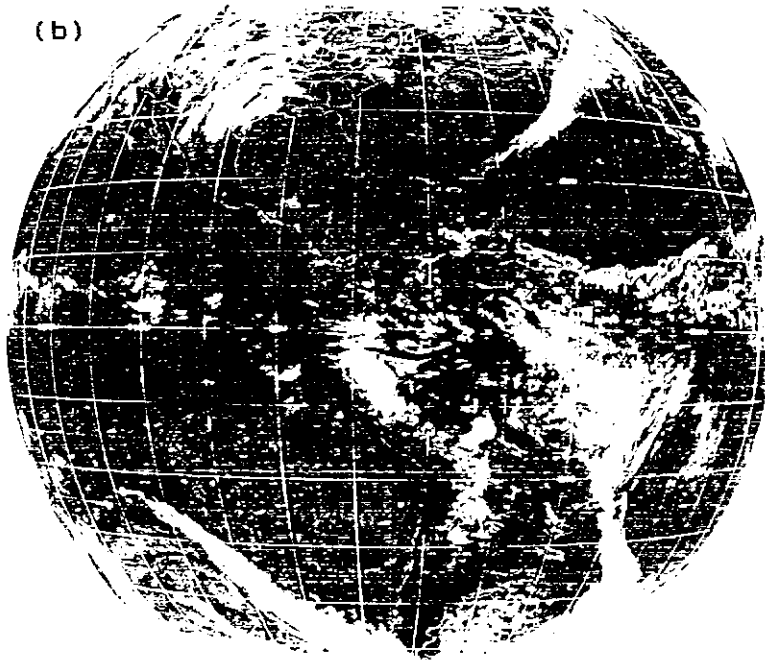


Fig.4.53 - Imagens do satélite GOES na banda do infravermelho para o dia:
(a) 05/03/1978 (b) 06/03/1978

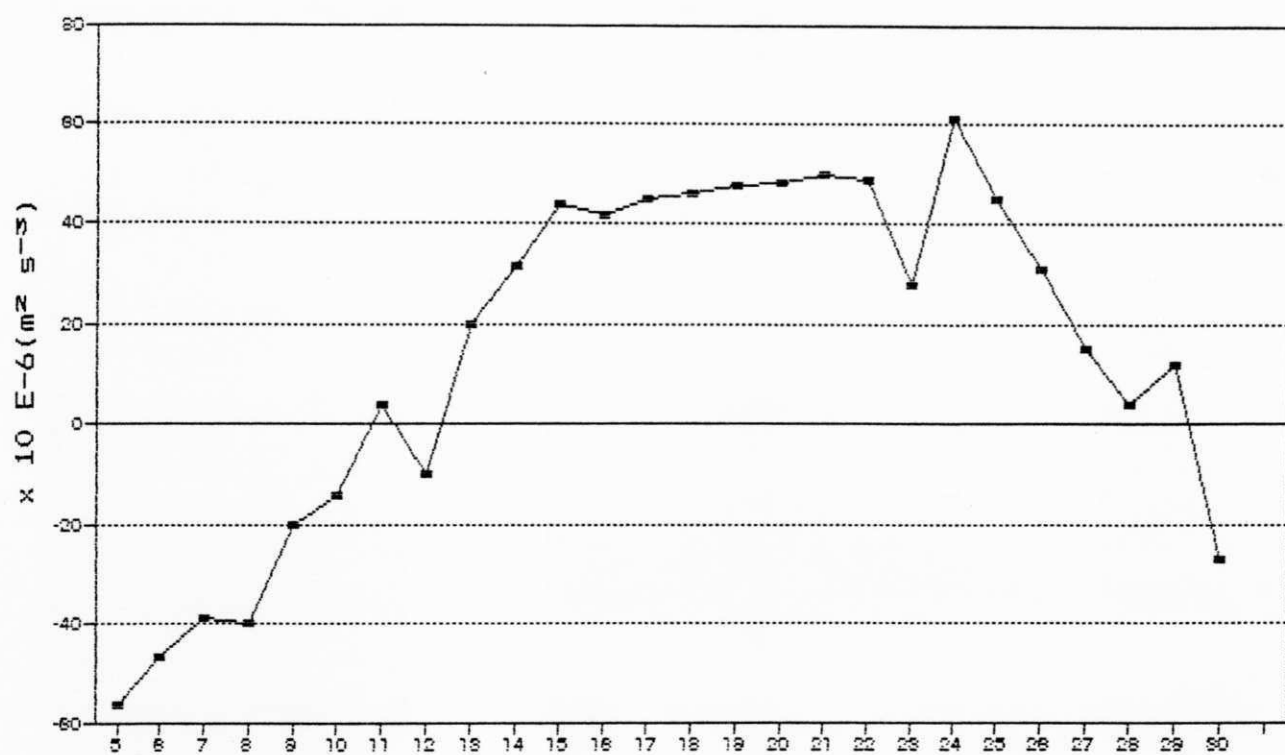


Fig.4.54 - Variação temporal do Termo de Interação PSI.QUI x 10 E-6(m² s⁻³) na Região Nordeste do Brasil em março de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC



Fig.4.55 - Variação temporal do Termo de Interação PSI.QUI $\times 10^{-6}(\text{m}^2 \text{ s}^{-3})$ na Região Nordeste do Brasil em junho de 1978 em 300 hPa as 00:00 UTC

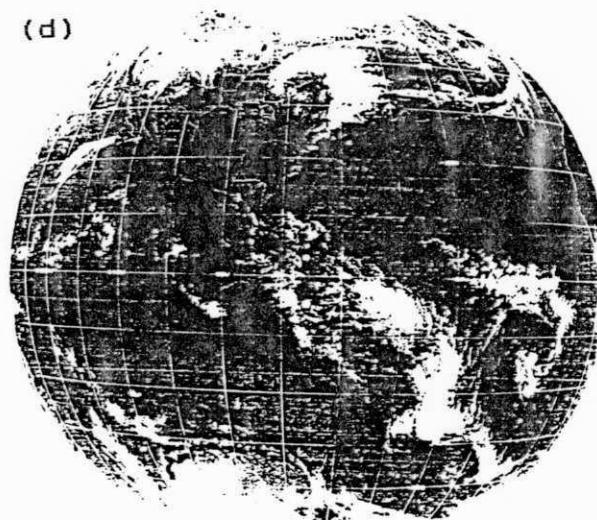
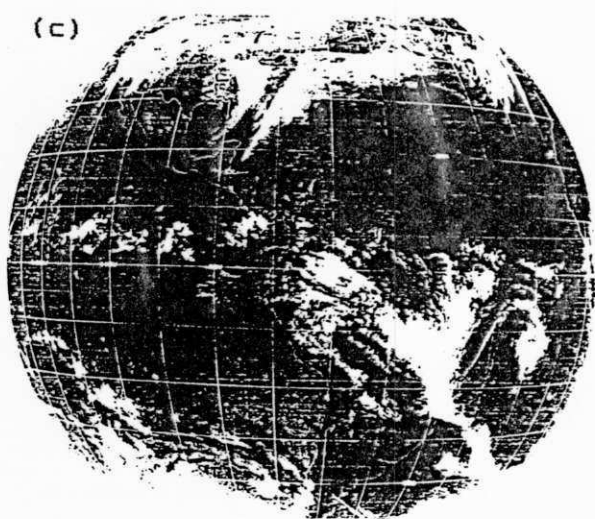
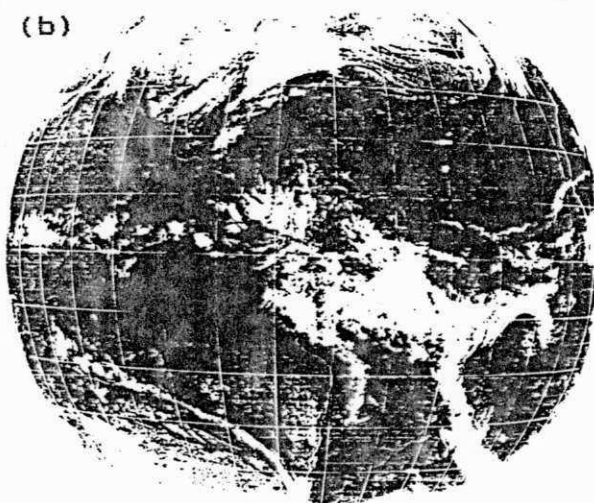
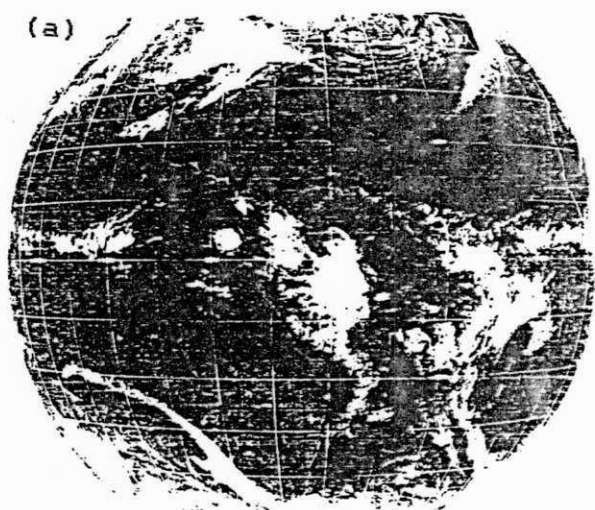


Fig.4.56 - Imagens do satélite GOES na banda do infravermelho para o dia:
(a) 07/03/1978 (b) 08/03/1978
(c) 09/03/1978 (d) 10/03/1978

CAPITULO 5

CONCLUSOES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados chegou-se às seguintes conclusões:

O mês de março de 1978 caracterizou-se pela presença de duas regiões distintas sob o ponto de vista energético sobre o setor Tropical da América do Sul. Uma região produtora (fonte) de energia sobre a Região Norte do Brasil e uma região com sumidouro de energia sobre a Região Nordeste e Oceano Atlântico Sul. Períodos alternados de aumento e diminuição no campo médio de () no mês de março entre essas duas regiões, evidencia a existência de uma circulação direta entre esses dois setores da América do Sul. Esse tipo de circulação não foi observado em junho.

As análises do termo de interação revelam características distintas entre o setor norte e o setor sul da América do Sul e entre as Regiões Norte e Nordeste do Brasil. No setor norte da América do Sul predomina a transferência de energia da componente divergente para a componente rotacional, no setor sul, a transferência se processa com mais frequência da componente rotacional para a divergente. Sobre a Região Norte do Brasil, é mais frequente a transferência de energia da componente divergente para a rotacional, enquanto sobre a Região Nordeste a transferência de energia é de forma alternada, da componente divergente para a rotacional ao norte da região, e da componente

rotacional para a divergente ao sul da região.

Uma característica importante da energia cinética é que a sua componente rotacional não sofre grandes variações na troposfera superior nos setores norte e sul da América do Sul. A maior variabilidade é observada na componente divergente, sendo o mês de junho mais significativo que março. Em 850 hPa, a baixa representatividade da energia cinética é verificada nos dois setores. Sobre as Regiões Norte e Nordeste, a componente divergente apresenta também maior variabilidade nos dois períodos estudados.

Nesse trabalho foi examinado o primeiro termo da interação, mas segundo KRISHNAMURTI e RAMANATHAN (1982) o segundo termo da equação da energia cinética também é importante no processo de transferência de energia entre as duas componentes.

Assim, recomenda-se, o cálculo dos demais termos da equação da energia cinética proposta por KRISHNAMURTI et al., (1982).

Pode-se recomendar também:

- Estudar os efeitos do balanço de energia cinética em grande escala. Assim, sugere-se estender as análises e incluir as Regiões do Pacífico e o Continente Africano, tentando-se verificar por exemplo, a influência dos termos da equação do balanço de energia cinética na manutenção da Oscilação de 30-60 Dias.
- Examinar esse balanço de energia cinética para períodos

pré-estabelecidos de modo a se obter informações sobre o estabelecimento das circulações de verão e inverno sobre a América do Sul.

- Fazer os mesmos cálculos para meses contrastantes em termos de precipitação total mensal (exemplo: março chuvoso, março seco).

- Talvez também seja conveniente aumentar a área da grade deslocando a fronteira norte. Isso poderia minimizar a possível contribuição, sobre a área de interesse, dos termos de fluxo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CASARIN, D.P.,(1983): Um Estudo Observacional sobre os Sistemas de Bloqueio no Hemisfério Sul - Tese de Mestrado, INPE-2638-TDL/114.
- GAN, M.A ., (1982) : Um Estudo Observacional sobre as Baixas Frias da Alta Troposfera nas Latitudes Subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil. Dissertação De Mestrado. Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, (INPE - 2685 - PRE/051).
- GILL, A.E.,(1980):Some simple solutions for heat-induced Tropical Circulation. Q. J. R. Meteor. Soc. 106, 447-462.
- GRIMM, A. M.; SILVA DIAS. P. L.,(1990): Determinação da Componente Divergente do Vento em 200 hPa : Comparação entre métodos diferentes. VI CBMet: Anais Vol.1 : 622-632.
- HASTENRATH, S.L.,(1966a) : The flux of Atmospheric water over the Caribbean Sea and Gulf of Mexico. J. Appl. Meteor. 5(6): 778-788.
- HASTENRATH, S.L.,(1966b) : On General Circulation and Energy budget in the área of the Central American Sea. J. Atmos. Sci. 694-711.
- HANTEL, M.; PEYINGHAUS, W.,(1976): Vertical Heat Flux Components in the Northern Atmosphere - Mon. Wea. Rev. 104(2):168-179.

- HENDON, H.H.,(1986) : Stream Function and Velocity Potencial Representation of Equatorially trapped waves. J. Atmos. Sci. 43():3038-3042.
- HOLLAND, J.Z.; RASMUSSEN, E.N.,(1973):Measurements of Atmospheric Mass Energy and Momentum budget over a 500 Km Equare Tropical Ocean. Mon. Wea. Rev. 101(1):44-45.
- HOSKINS, B.J.; KAROLY, D.J.,(1981): The Steady Linear Response of a Spherical Atmosphere to Thermal and Orographic Forcing. J. Atmos. Sci., 38: 1179 - 1196.
- JULIAN, P.R.,(1984): Objective Analysis in the tropics: a proposed scheme. Monthly Weather Review, 112 : 1752-1767.
- JULIAN, P.R.; CHERVIN, R.M.,(1978): A Study of the Southern Oscillation and Walker Circulation Phenomena. Mon. Wea. Rev. 106: 1433-1451.
- KAYANO, M.T.; RAO, V.B.; MOURA, A.D.,(1988):Tropical Circulations and the Associated Rainfall Anomalies During Two Contrating Years., Journal of Climatology. Vol 8., 477-488.
- KESHAVAMURTY, R.N.; AWADE, S.T.,(1968): On the Maintenance of the Mean Zonal Motion in the Indian Summer Monsoon. Mon. Wea. Rev 96(1):23-31.
- KESHAVAMURTY, R.N.; AWADE, S.T.,(1970): On the Maintenance of the Monsoon Trough Over North India-Mon. Wea. Rev. 98(4):315-320

- KESHAVAMURTY, R.N.,(1982) : Response of the Atmosphere to Sea Surface Temperature Anomalies Over the Equatorial Pacific and the Teleconnections of the Southern Oscillation. J. Atmos. Sci., 39: 1241-1259.
- KOUSKY, V.E.; GAN, M.A.,(1981) : Upper Tropospheric Cyclonic Vortices in the Tropical South Atlantic. Tellus, 3, p 538-551
- KOUSKY, V.E.; FERREIRA, M. E., (1982) : Meteorologia Sinótica Parte 1. INPE - 2605-MD.
- KOUSKY, V. E., (1979) : Frontal influences on Northeast Brasil. Mon. Wea. Rev. 107, 1140-1153.
- KRISHNAMURTI, T.N.; LOW-NOW, S.,(1986): On the relationship between the outgoing long wave radiation and the divergent circulation. Journal of the Meteorological Society of Japan, 64 : 709-719.
- KRISHNAMURTI, T.N.; RAMANATHAN, Y.,(1982) : Sensitivity of the Monsoon Onset to Differential Heating - J. Atmos. Sci. 39(): 1290-1306.
- KUNG, E. C.; TSUI, T. L.,(1975): Subsynoptic-Scale Kinetic Energy Balance in the Storm Area. J. Atmos. Sci., 32, 723-740.
- MARQUES, V.S.,(1981) : Estudos da Energética e do Fluxo de Vapor D'água na Atmosfera sobre o Nordeste Brasileiro - Tese de Doutorado, INPE - 2288 - TDL/068.

- MARQUES, R. F. C.; RAO, V. B.,(1992): Energética e Eficiência das Ondas Baroclínicas no Hemisfério Sul., VII CBMet. Anais, Vol.1 : 90 -94.
- MOHANTY, U.C.; DUKE, S.K.; SINHA, P.C.,(1982) : On the Role of Large Scale Energetics in the Onset and Maintenance of Summer Monsoon - I: Heat Buddget. Mausan. 33(2):139-152.
- MOHANTY, U.C.; DUKE, S.K.; SINHA, P.C.,(1982) : On the Role of Large Scale Energetics in the Onset and Maintenance of Summer Monsoon - II: Moisture Budget. Mausan. 33(3):285-294.
- NOBRE, P.,(1984) : Fontes de Calor nos Trópicos e Escoamentos Anômalos de Larga Escala Associados com Anomalias de Precipitação no Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado - INPE,3211-TDL/175.
- PITCHER, E.J.; GEISLER, J.E.,(1988): On the Representation of the 40-50 day Oscillation in Terms of Stream Function and Velocity Potential. J. Atmos. Sci., in Press.
- RATISBONA, L.R.,(1942) : The Climate of Brazil. in: SCHWERDTFEGGER, W. ed: Climates of Central and South America. Amsterdam, Elsevier, Cap. 5. 219-293, (Word Survey of Climatology, 12).
- SAKAMOTO, M. S.,(1992) : Balanco de Energia Cinética Associado a uma Frente Estacionária no Verão de 1989. USP / Instituto Astronômico e Geofísico, 139p.

- SARDESMUKH, P.D.; HOSKINS, B.J.,(1987) : On the Derivation of the Divergent Flow from the Rotational Flow: the x problem. - G.J.R. Meteor. Soc. 1139 (): 339-360.
- SERRA, A., (1941) : The General Circulation over South America. Bulletim America Meteorologycal Society. Vol. 22 : 173-179.
- SILVA DIAS, P.L.,(1985) : A Preliminary Study of the Observed Vertical Mode Structure of the Summer Circulation over Tropical South America. Tellus. 37A, 185-195.
- SILVA DIAS, P.L.; BONATTI, J.P.; KOUSKY, V.E.,(1987) : Diurnally Forced Tropical Tropospheric Circulation over South America. Mon. Wea. Rev. Vol 115, 1465-1478
- SHUKLA, J.; SAHA, K.R.,(1974) : Computation of Non-Divergent Stream Function and Irrotational Velocity Potential from the Observed Winds. Mon. Wea. Rev. 102():419-425.
- STEPHENS, J.J.; JOHNSON, K.W.,(1978) : Rotational and Divergent Wind Potentials. Mon. Wea. Rev. 106():1452-1457.
- TSUI, T.L.; KUNG, E.C.,(1977): Subsynoptic-Scale energy transformations in various storn situation. J. Atmos.Sci., 34, 98-110.

APENDICE A

ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DA REGIÃO NORTE DO BRASIL

Nº	SINOTICO	ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	LATITUDE (0°)S	LONGITUDE (0°)W	ALTITUDE (M)
01	82410	Benjamin Constant	04:23	70:02	65
02	82418	Carauari	04:57	66:54	66
03	82425	Coari	04:55	63:05	46
04	82326	Codajás	03:50	62:05	48
05	82704	Cruzeiro do Sul	07:38	72:40	170
06	82610	Eirunepé	06:40	69:52	104
07	82212	Fonte Boa	02:32	66:10	56
08	82067	Iauarete	00:37	69:12	120
09	82336	Itacoatiara	03:08	58:26	40
10	82723	Lábrea	07:15	64:50	60
11	82331	Manaus	03:08	60:01	72
12	82533	Manicoré	05:49	61:18	50
13	82240	Parintins	02:38	56:44	29
14	82915	Rio Branco	09:58	67:48	160
15	82108	St ^a . Izabel	00:25	65:00	45
16	82106	S. Gabriel	00:08	67:05	90
17	82807	Tarauacá	08:10	70:48	190
18	82317	Tefé	03:22	64:42	47
19	82353	Altamira	03:12	51:12	74
20	82191	Belém	01:27	48:28	10
21	82246	Belterra	02:38	54:57	176
22	82188	Breves	01:40	50:29	15
23	82765	Carolina	07:20	47:28	193
24	82476	Caxias	04:52	43:21	103
25	82861	Conceição do Araguaia	08:15	49:17	157
26	82445	Itaituba	04:16	55:35	45
27	82098	Macapá	00:02	50:03	14
28	82178	Obidos	01:55	55:31	37
29	82668	São Felix do Xingú	06:38	51:59	150
30	82194	Tracuateua	01:05	46:54	36
31	82361	Tucuruí	03:43	49:43	40

APENDICE B

ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

Nº	SINOTICO	ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	LATITUDE (0°)S	LONGITUDE (0°)W	ALTITUDE (M)
01	82294	Acaraú	02:53	40:08	17
02	82590	Apodí	05:39	37:48	65
03	82890	Arco Verde	08:25	37:05	681
04	82784	Barbalha	07:19	39:18	409
05	82886	Cabrobó	08:31	39:20	342
06	82795	Campina Grande	07:13	35:53	548
07	82596	Ceará Mirim	05:39	35:25	61
08	82583	Cratêus	05:10	40:40	297
09	82693	Cruzeta	06:26	36:35	225
10	82691	Florânia	06:07	36:49	324
11	82887	Floresta	08:36	38:34	310
12	82678	Floriano	06:46	43:01	127
13	82397	Fortaleza	03:46	38:36	26
14	82893	Garanhuns	08:53	36:31	823
15	82487	Guaramiranga	04:17	39:00	871
16	82493	Jaguaruana	04:47	37:46	12
17	82798	João Pessoa	07:06	34:52	7
18	82594	Macau	05:07	36:38	6
19	82588	Morada Nova	06:05	38:23	44
20	82591	Mossoró	05:11	37:20	18
21	82753	Ouricuri	07:54	40:03	459
22	82287	Parnaíba	02:55	41:36	22
23	82791	Patos	07:01	37:16	249
24	82892	Pesqueira	08:24	36:46	639
25	82780	Picos	07:04	41:29	208
26	82480	Piripiri	04:16	41:47	161
27	82586	Quixeramobim	05:12	39:18	212
28	82689	São Gonçalo	06:45	38:13	233
29	82392	Sobral	03:42	40:21	83
30	82797	Surubim	07:50	35:43	418
31	82578	Teresina	05:05	42:49	74
32	83789	Triunfo	07:51	38:08	1020