



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-970-TPT/044

ALGUNS ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS DA ATMOSFERA SOBRE NATAL

José Maria Nogueira da Costa

Tese de Mestrado em Ciência Espacial e da Atmosfera, especialidade Meteorologia
orientada pelo Dr. Yelisetty Viswanadham, aprovada em 14 de Maio de 1976.

1. Classificação <i>INPE-COM.1/TPT</i> <i>C.D.U.: 551.557.32:551.509.323.7</i>	2. Período <i>maio de 1976</i>	4. Critério de Distribuição: interna <input type="checkbox"/> externa <input checked="" type="checkbox"/>
3. Palavras Chave (selecionadas pelo autor) <i>OSCILAÇÃO NO VENTO ZONAL E NA TEMPERATURA ESTRATOSFERA</i>		7. Revisado por - <i>V.B. Rao V.B. Rao</i>
5. Relatório nº <i>INPE-970-TPT/044</i>	6. Data <i>Novembro 1976</i>	9. Autorizado por - <i>Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor
8. Título e Sub-Título <i>ALGUNS ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS DA ATMOSFERA SOBRE NATAL</i>		11. Nº de cópias - 25
10. Setor <i>CEA-SEM</i>	Código <i>413</i>	14. Nº de páginas - 60
12. Autoria <i>José Maria Nogueira da Costa</i> <i>José Maria Nogueira da Costa</i>		15. Preço
16. Sumário/Notas <p><i>Na presente tese estudamos alguns aspectos climatológicos da atmosfera sobre Natal. Usando seções transversais de tempo e altura do vento zonal e temperatura, foram encontradas interessantes relações entre o comportamento da atmosfera superior e inferior. Além disso, observou-se uma associação entre a variação de longo período da precipitação e a variação do vento zonal nos níveis superiores. A análise harmônica do vento zonal e da temperatura, com dados obtidos durante oito anos, produziu estimativas da amplitude e da fase das oscilações quase-bienal, anual e semi-anual mais confiáveis que os estudos anteriores. Estimativas estatísticas da variância de cada uma dessas oscilações permitiram concluir que a oscilação quase-bienal domina a baixa estratosfera tropical enquanto que a alta estratosfera é caracterizada por uma oscilação semi-anual dominante. Finalmente é feita uma comparação entre os aspectos teóricos e observados dessas oscilações.</i></p>		
17. Observações <i>Tese de Mestrado em Ciência Espacial e da Atmosfera, aprovada em 14 de maio de 1976. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo FNDCT (contrato FINEP - CT 271).</i>		

Aprovado pela Banca Examinadora
em cumprimento dos requisitos exigidos
para a obtenção do Título de Mestre em
Ciência Espacial e da Atmosfera.

Dr. Ralf Gielow

Ralf Gielow
Presidente da Banca

Dr. V. B. Rao

V. B. Rao
Orientador

Dr. Y. Viswanadham

Y. Viswanadham
Membro da Banca

Sr. C. M. Dixit, MSc.

C. M. Dixit
Membro da Banca

Dr. Antonio Divino Moura

Antonio Divino Moura
"ex-officio"

José Maria Nogueira da Costa

José Maria Nogueira da Costa
Candidato

São José dos Campos, 14 de maio de 1976

INDICE

ABSTRACT	v	
LISTA DE FIGURAS	vi	
LISTA DE TABELAS	vii	
CAPÍTULO I		
INTRODUÇÃO	1	
CAPÍTULO II		
ANÁLISE DOS DADOS	5	
CAPÍTULO III		
ANÁLISE DAS SECÇÕES TRANSVERSAIS DE TEMPO E ALTURA NO VENTO ZONAL E NA TEMPERATURA		9
3.1 - Vento zonal	9	
3.2 - Temperatura	14	
CAPÍTULO IV		
MÉDIAS SAZONAIS DO VENTO ZONAL E DA TEMPERATURA	19	
CAPÍTULO V		
OSCILAÇÕES NO VENTO ZONAL E NA TEMPERATURA	23	
5.1 - Oscilações no vento zonal	23	
5.1.1 - Oscilação quase-bienal	23	
5.1.2 - Oscilação Anual	27	
5.1.3 - Oscilação semi-anual	28	

5.2 - Oscilações na temperatura	30
5.2.1 - Oscilação quase-bienal	30
5.2.2 - Oscilação anual	33
5.2.3 - Oscilação semi-anual.....	33
5.3 - Variância Total observada e variância das oscilações quase -bienal, anual e semi-anual do vento zonal e da temperatu ra	34
5.4 - Comparação entre os resultados teóricos e observados das oscilações quase-bienal, anual e semi-anual no vento zo nal	37
CAPÍTULO VI	
CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES	41
AGRADECIMENTOS	43
BIBLIOGRAFIA	45
APÊNDICE A - ANÁLISE HARMÔNICA	A.1

ABSTRACT

In the present thesis we studied some climatological aspects of the atmosphere over Natal. Using time-height sections for zonal wind and temperature, interesting connections could be found in the behaviour of the upper and lower atmospheres. An association between long-term precipitation variation and the variation for the zonal wind in the upper levels was found. Harmonic analysis of the 8 years of data of zonal wind and temperature yielded reliable estimates of the amplitude and phase of the Quasi-biennial, Annual and Semiannual oscillations. Statistical estimates of variance of each of these oscillations allowed us to conclude that quasi-biennial oscillation dominates the tropical lower stratosphere whereas the upper stratosphere is characterized by a dominant semiannual oscillation. Finally a comparison is made between the theoretical and observed aspects of these oscillations.

LISTA DE FIGURAS

Figura III.1A - Variação do vento zonal médio mensal (m/s) com o tempo e altura nas estações de Natal e Ascension Island, durante o período de 1966 a 1973	10
Figura III.1B - Continuação da Figura III.1A	11
Figura III.1C - Continuação da Figura III.1B	12
Figura III.2A - Variação da temperatura média mensal (°C) com o tempo e altura nas estações de Natal e Ascension Island	15
Figura III.2B - Continuação da Figura III.2A	16
Figura III.2C - Continuação da Figura III.2B	17
Figura IV.1 - Distribuição sazonal do vento zonal médio (m/s) com altura	20
Figura IV.2 - Distribuição sazonal da temperatura média (°C) com altura	21
Figura V.1 - Variação do período da oscilação quase-bienal do vento zonal com o tempo	24
Figura V.2 - Variação das amplitudes das oscilações quase-bienal, anual e semi-anual do vento zonal	25
Figura V.3 - Variação da fase das oscilações quase-bienal, anual e semi-anual do vento zonal com altura	26
Figura V.4 - Variação das amplitudes das oscilações quase-bienal, anual e semi-anual da temperatura com a altura	31
Figura V.5 - Variação da fase das oscilações quase-bienal, anual e semi-anual da temperatura com altura	32

LISTA DE TABELAS

Tabela II.1 - Registro da quantidade de dados de vento zonal a partir da superfície até 54 Km, durante o período de 1966 a 1973	7
Tabela II.2 - Registro da quantidade de dados de temperatura a partir da superfície até 54 Km, durante o período de 1966 a 1973	8
Tabela V.1 - Percentual de variância das oscilações no vento zonal	35
Tabela V.2 - Percentual de variância das oscilações na temperatura	36
Tabela V.3 - Comparação entre os resultados teóricos e práticos das oscilações no vento zonal	39

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Somente nos últimos anos, com o crescente aumento de observações da atmosfera superior através de foguetes meteorológicos, tornaram-se possíveis os estudos sobre a circulação e propriedades físicas da estratosfera. Todavia, nas latitudes tropicais do hemisfério sul, o reduzido número de estações de foguetes e a sua pobre distribuição espacial, impediram um maior conhecimento das variações cíclicas de longo período do vento zonal e da temperatura na alta atmosfera.

Com os dados disponíveis, foram realizados alguns trabalhos (Reed, 1965; Quiroz e Miller, 1967; Angell e Korshover, 1970; Rao e outros, 1972; Groves, 1975; Belmont e outros 1974) sobre a variabilidade da estratosfera, com a determinação das amplitudes e fases harmônicas das componentes quase-bienal, anual e semi-anual do vento zonal e da temperatura. Essas determinações de variabilidade da atmosfera superior tenderão a melhorar a medida em que a rede de estações de lançamentos de foguetes for expandindo e sensores mais precisos forem sendo incorporados nos sistemas de medição. A estação de lançamentos de foguetes meteorológicos de Natal começou a operar a partir de 1966 e, atualmente, já dispõe de uma coleção de dados suficiente para se determinar a variabilidade do vento zonal e da temperatura na troposfera e na estratosfera.

Baseado em dados de foguetes meteorológicos de Ascension Island ($7^{\circ}59'S.$, $14^{\circ}28'W$) coletados durante outubro de 1962 a outubro de 1964, Reed (1965) observou pela primeira vez o comportamento da oscilação quase-bienal do vento zonal entre as camadas de 30 e 50 Km. Essa descoberta desencadeou um grande interesse pelo conhecimento das variações periódicas na estratosfera tropical, com a realização de muitas pesquisas dirigidas nesse sentido. Quiroz e Miller (1967) usando dados de Natal ($05^{\circ}55'S.$, $35^{\circ}10'W$), Ascension Island e Fort Sherman ($09^{\circ}22'N.$, $79^{\circ}54'W$) de janeiro a dezembro de 1966, estudaram as variações semi-anuais do vento zonal da estratosfera. Nesse trabalho constataram uma grande semelhança nas configurações (tempo x altura) do vento zonal para as estações de Ascension Island e Natal embora, em Ascension Island, a componente de este da variação semi-anual tenha sido observada em junho, com um mês de antecedência sobre a de Natal. Utilizando dados de Natal, janeiro de 1966 a março de 1969, Rao e outros (1972) realizaram um estudo sobre as flutuações do vento zonal estratosférico através do cálculo das amplitudes e fases harmônicas das componentes quase-bienal, anual e semi-anual.

Burlutsky (1973), pesquisando dados de sondagens de ar superior obtidos em 10 expedições no Oceano Índico entre 1967 e 1971, evidenciou uma interessante relação entre as variações da atmosfera superior e inferior, e a influência de ciclo quase-bienal do vento zonal sobre o fluxo atmosférico inferior. Matsumoto (1973), baseado em dados de ar superior e de precipitação sobre Kyushu Island, 1962-1971, mostrou que existe uma grande correlação entre a precipitação e velocidade do vento troposférico inferior.

No presente trabalho, nos propomos a realizar um estudo sobre alguns aspectos climatológicos da atmosfera sobre Natal. Utilizamos dados coletados por radiossondas e foguetes meteorológicos nas estações de Natal e Ascension Island, durante o período de 1966 a 1973.

Inicialmente, no Capítulo II, fazemos uma análise sobre a compatibilidade dos dados obtidos nas duas estações.

No Capítulo III, estudamos as variações do vento zonal e da temperatura com o tempo e altura. A análise dos "Time-height-sections" conforme já verificado por Burlutsky, fornece interessantes características sobre a interação da atmosfera superior e inferior.

Posteriormente no Capítulo IV, analisamos o comportamento das médias estacionais do vento zonal e da temperatura.

No Capítulo V, usamos a técnica de análise harmônica para estudar as características das oscilações do vento zonal e da temperatura. Como utilizamos dados de 8 anos, obtemos, sob o ponto de vista estatístico, melhores estimativas de amplitude e fase das oscilações quase-bienal, anual e semi-anual do vento zonal e da temperatura. Determinamos as variâncias das oscilações no vento zonal e na temperatura, a fim de conhecer o tipo de oscilação dominante nos diversos níveis. Finalmente comparamos as características das oscilações, propostas pelas teorias com os resultados que obtivemos.

No Capítulo IV, tecemos considerações finais e fazemos algu
mas sugestões sobre o desenvolvimento deste trabalho.

CAPÍTULO II

ANÁLISE DOS DADOS

Com o objetivo de analisar a estrutura do vento zonal e da temperatura na troposfera e na estratosfera sobre Natal, utilizamos dados do EXAMETNET Data Report Series (1966, 1967, 1968, 1972, 1973), do World Data Center A for Meteorology (1969 - 1971) e da Divisão de Meteorologia do Ministério da Aeronáutica. Essa última fonte de dados contribuiu com radiossondagens feitas sobre Natal, e sõ foi utilizada nos meses em que não se achavam disponíveis observações obtidas por foguetes nas estações de Natal e Ascension Island. A quantidade de observações da atmosfera superior de Natal, acumuladas desde o início do funcionamento da estação de foguetes meteorológicos até o ano de 1973, não preencheu satisfatoriamente as necesidades para a realização desse trabalho devido aos poucos lançamentos executados em cada mês e às vezes até a uma inexistência dos mesmos. Considerando essa escassez de dados de foguetes, tentamos obter uma amostragem estatisticamente mais representativa, usando conjuntamente os dados de Natal e os de Ascension Island correspondentes ao mesmo período. Entretanto, existe entre essas estações uma pequena diferença latitudinal (2°) e uma diferença longitudinal de 21° , mas não levamos em consideração as possíveis variações daí decorrentes, pois de acordo com Wallace (1973), as flutuações de vento zonal de baixa frequência, apresentam um alto grau de simetria zonal.

As observações de vento zonal e de temperatura foram selecionadas inicialmente em níveis de 6 Km, e posteriormente foram complementadas com níveis intermediários, resultando em intervalos de 3 Km desde a superfície até 48 Km. Os totais de observações de vento zonal e de temperatura em cada mês e nível durante o período de 8 anos estão respectivamente nas tabelas II-1 e II-2. As observações feitas por radiossondas foram utilizadas desde a superfície até o nível de 24 Km e aquelas obtidas por foguetes, a partir de 27 Km até 48 Km. Esses dados oriundos de radiossondagens foram submetidos à interpolação linear por não se acharem nos níveis padronizados. Para uso geral em todo o trabalho, foram calculados os valores médios do vento zonal e da temperatura para cada mês e nível nos 8 anos de registro. A fim de conseguirmos a continuidade necessária de observações em todos os meses e níveis para o cálculo das amplitudes e fases harmônica, interpolamos lineamente alguns valores médios de vento zonal entre meses, notadamente nos níveis superiores.

Finger e Gelman (1974) realizaram um estudo de intercomparação de dados obtidos por diversos tipos de foguete-sonda, e verificaram que existem diferenças entre temperaturas e ventos medidos quase simultaneamente, gerando problemas de compatibilidade. Nas estações de foguetes meteorológicos de Natal e Ascension Island, esse fato não assume grande importância porque os sistemas de medição empregados são aproximadamente os mesmos. As observações de vento zonal e de temperatura obtidas por radiossondas e foguetes, foram utilizadas nesse trabalho sem sofrerem quaisquer correções.

REGISTRO DA QUANTIDADE DE DADOS DE VENTO ZONAL A PARTIR DA SUPERFICIE ATÉ 54 Km, DURANTE O PERÍODO

DE 1956 A 1973

TABELA 11-1.

ANOS	NÍVEIS (Km)																		
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54
1966	16	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	16	15	15	15	15	9
1967	33	33	33	33	33	33	33	33	33	20	27	16	16	16	16	16	16	10	15
1968	70	70	70	71	70	70	58	71	70	67	57	12	12	12	12	12	12	12	7
1969	143	139	143	143	143	143	143	143	143	133	123	100	99	100	99	98	96	95	91
1970	147	145	147	145	147	145	147	144	147	143	148	144	147	144	145	142	144	136	129
1971	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	123	123	123	123	123	121	119	112
1972	77	76	77	77	76	79	77	79	77	72	58	12	12	12	12	12	12	12	12
1973	53	51	53	51	53	51	53	49	51	40	33	10	13	10	12	10	12	10	10
TOTAL	661	652	661	658	660	659	659	657	658	620	583	432	437	433	434	428	428	415	385

REGISTRO DA QUANTIDADE DE QADOS DE TEMPERATURA A PARTIR DA SUPERFICIE ATE 54 Km DURANTE O PERIODO

DE 1955 A 1973

TABELA 11-2

ANOS	NIVEIS (Km)																		
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54
1966	12	9	11	12	12	12	11	11	12	7	11	8	7	7	7	4	1	3	1
1967	33	33	33	32	32	27	33	33	33	27	27	0	4	0	0	0	0	0	0
1968	70	70	69	68	69	70	69	70	69	64	64	3	6	3	2	2	0	2	1
1969	143	143	143	137	143	143	143	143	143	131	101	72	69	70	69	69	66	63	61
1970	147	145	147	145	147	145	147	145	147	137	130	124	124	122	120	120	115	116	109
1971	122	122	122	122	122	122	122	122	122	120	116	117	116	116	116	116	115	111	110
1972	76	78	77	71	77	77	77	77	76	70	66	11	11	11	11	11	11	11	10
1973	53	51	53	50	53	51	53	51	53	41	41	8	9	8	8	6	7	7	7
TOTAL	656	651	655	637	655	647	655	652	655	597	556	343	346	337	333	328	315	313	299

CAPÍTULO III

ANÁLISE DAS SECÇÕES TRANSVERSAIS DE TEMPO E ALTURA (TIME HEIGHT SECTION) NO VENTO ZONAL E NA TEMPERATURA

3.1 - VENTO ZONAL

A variação do vento zonal com o tempo e com a altura, está representada nas Figuras III-1A, III-1B e III-1C. As partes hachuradas dessas figuras, correspondem ao vento de oeste. Com o objetivo de estabelecermos a continuação entre as figuras, repetimos os últimos seis meses da Figura III-1A na Figura III-1B, e os últimos seis meses desta na Figura III-1C. As isotacas foram traçadas com um intervalo de 20 m/s, com os valores positivos indicando o vento de oeste e os valores negativos, o vento de leste.

Analisando qualitativamente as variações do vento zonal, nos diversos níveis da atmosfera, previamente selecionados, constatamos que as oscilações de período longo (aproximadamente 30 meses) são dominantes na faixa compreendida entre os níveis de 15 Km e 39 Km, enquanto nos níveis estratosféricos superiores prevalecem as oscilações de período relativamente pequeno (aproximadamente 6 meses). Essa característica periódica das oscilações do vento zonal, já foi identificada por Reed (1965) e posteriormente por Rao e outros (1972), utilizando dados acima da tropopausa de Ascension Island e de Natal respectivamente.

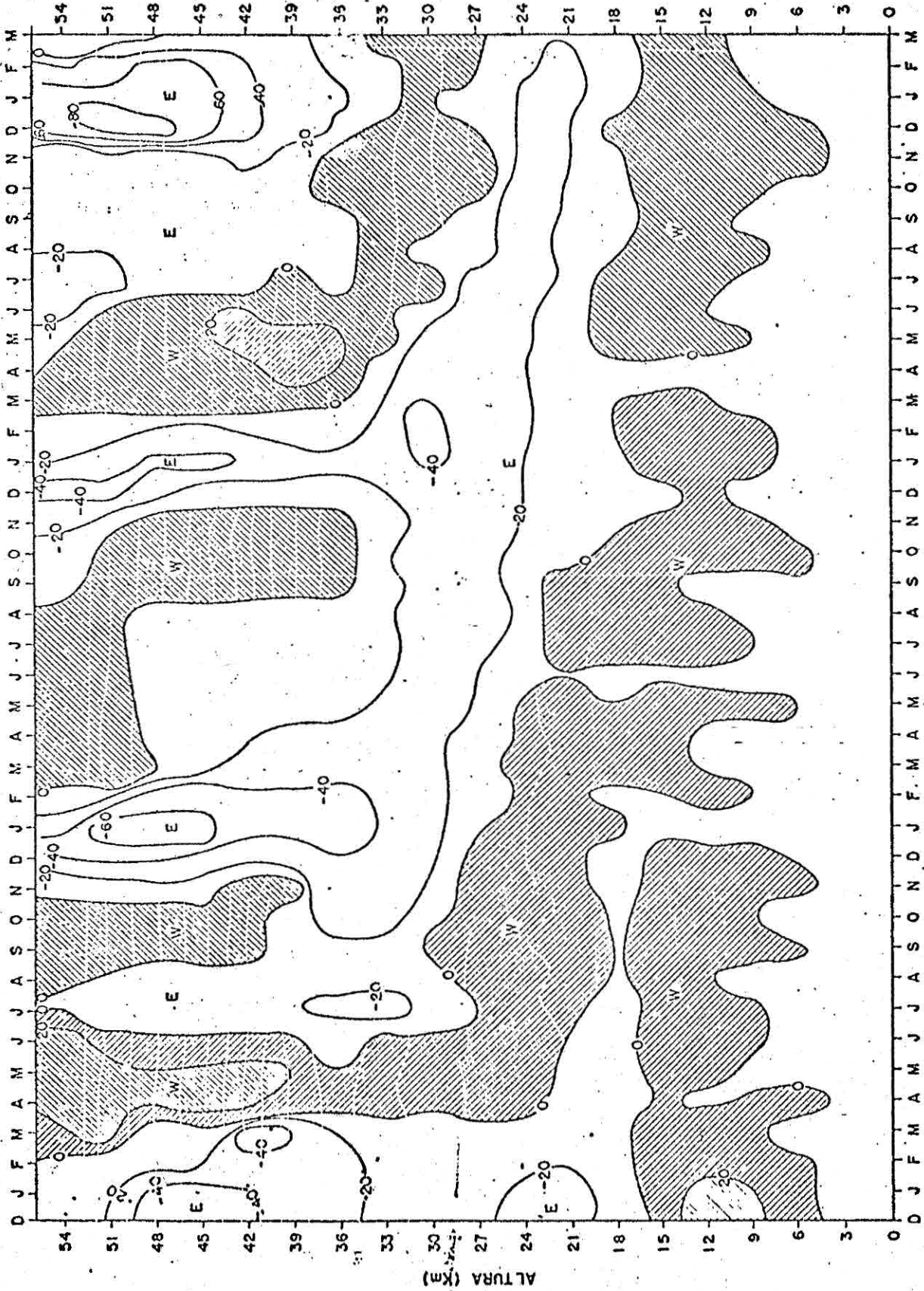


FIG. III-1A - VARIACÃO DO VENTO ZONAL MÉDIO MENSAL (m/s) COM O TEMPO E ALTURA, NAS ESTAÇÕES DE NATAL E ASCENSIÓN ISLAND, DURANTE O PERÍODO DE 1966 A 1973.

1966 1967 1968

TEMPO (MÊS)

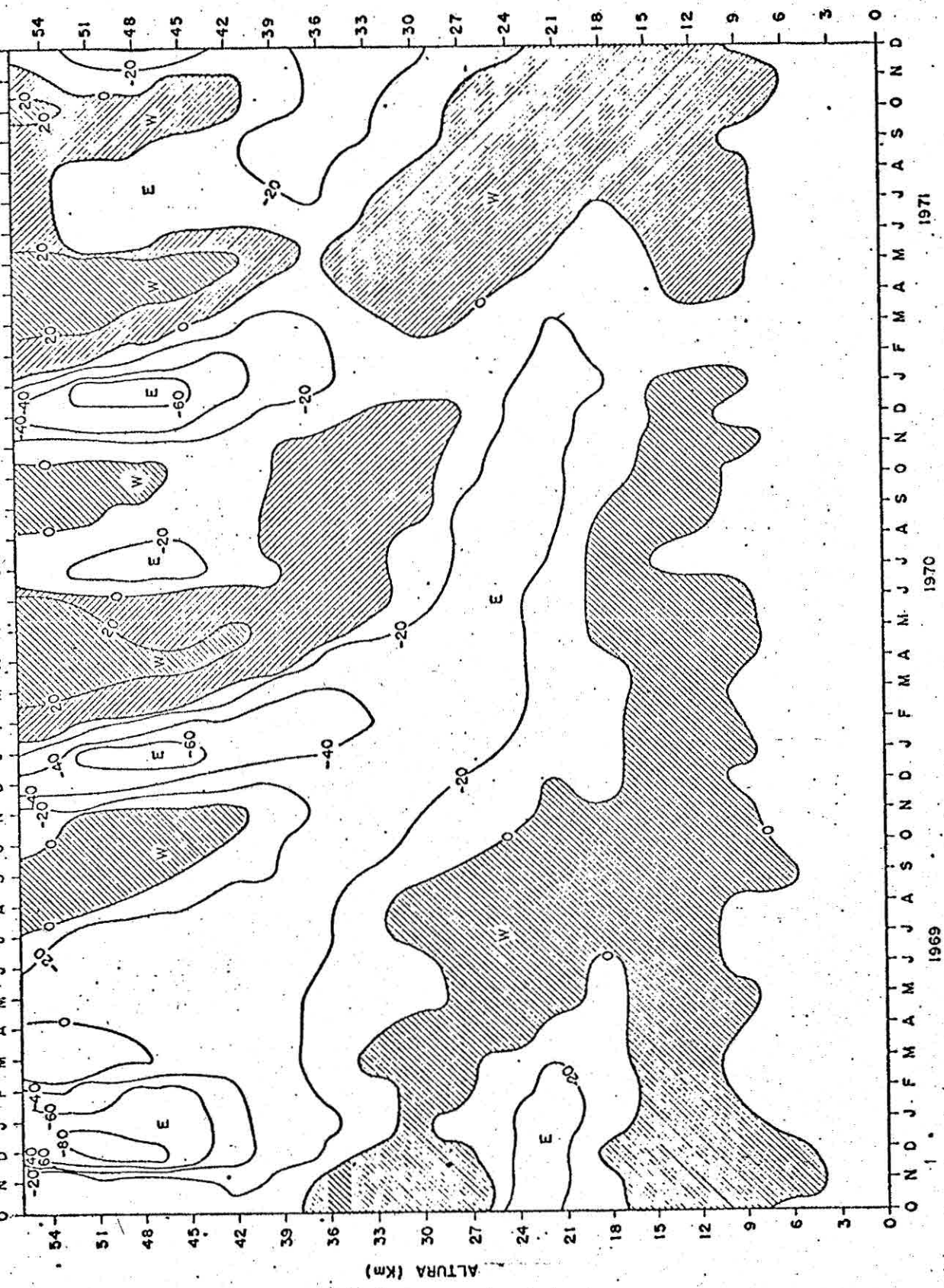


FIG. III - 18 - CONTINUAÇÃO DA FIGURA III - 1A

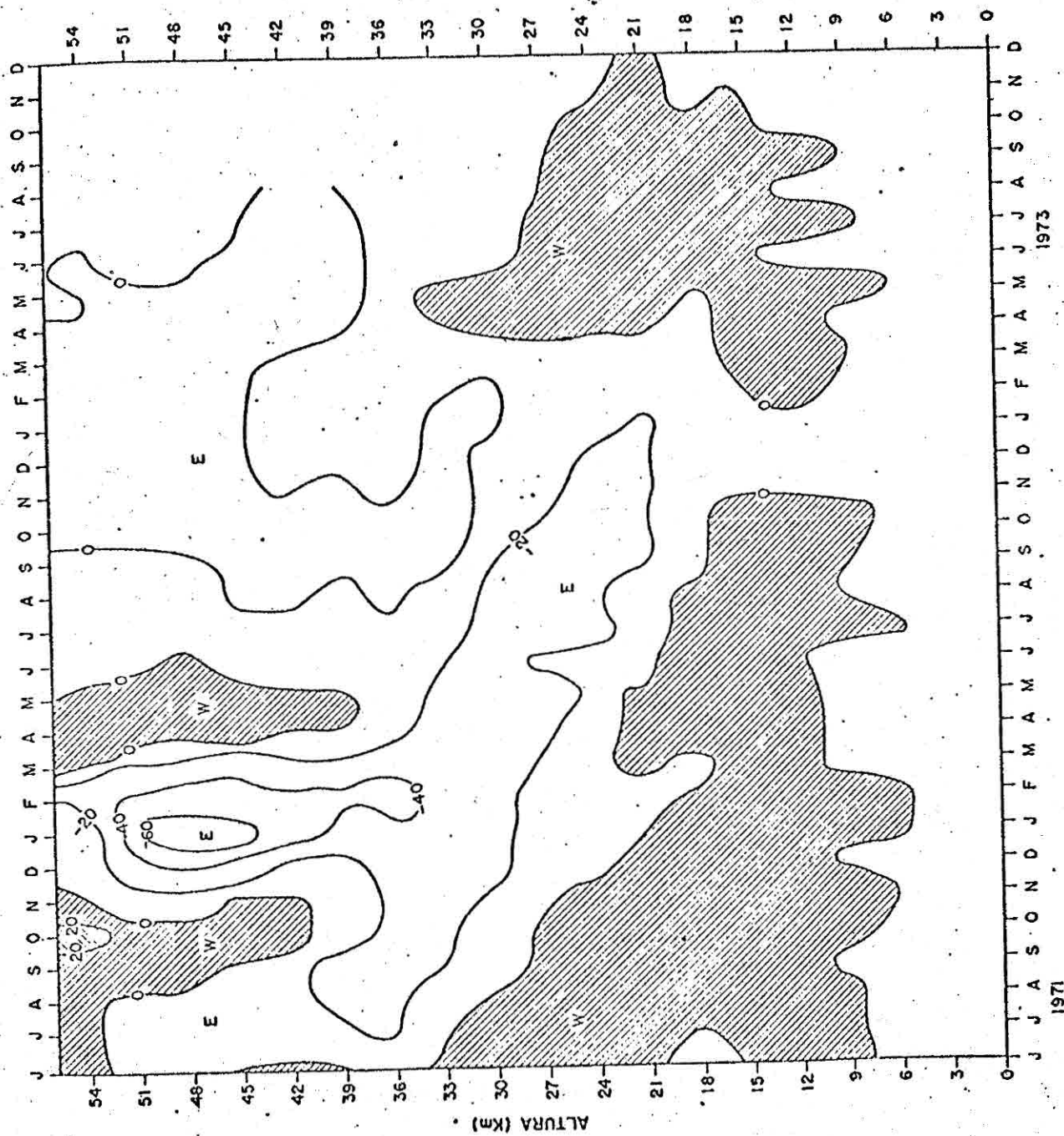


FIG. III-1C - CONTINUAÇÃO DA FIGURA III-1B

TEMPO (MÊS)

1971

1973

Na troposfera superior (9-15 Km), observamos durante todo o período em estudo, uma dominância do vento de oeste. A camada compreendida pelos níveis de 9 Km e 3 Km, corresponde a uma zona de transição entre vento de oeste evidenciado acima e o vento de este, sempre observado abaixo de 3 Km. Na estratosfera superior (24-50 Km), os ventos de este são mais fortes do que os ventos de oeste, e as velocidades máximas ocorrem em torno do nível de 50 Km.

Segundo Wallace (1973), a mudança de circulação na baixa estratosfera, origina-se na estratosfera superior. Baseado nessa característica, Lindzen e Holton (1968) formularam uma teoria sobre a oscilação quase-bienal do vento zonal. Nas Figuras III-1A, III-1B e III-1C evidenciamos que a mudança na direção dos ventos verifica-se nos altos níveis estratosféricos e se prolonga até a camada compreendida pelos níveis de 6 e 9 Km. Durante a fase de este da oscilação quase-bienal, observamos uma interessante penetração dos ventos de este na camada de ventos de oeste entre os níveis de 12 e 15 Km. Como a alteração na direção do vento nos baixos níveis, está associada à ocorrência de precipitação, essa característica reveste-se de grande importância para o clima da região. No nível de 200 mb (aproximadamente 12 Km), normalmente existe um centro de alta pressão sub-tropical situado ao norte da estação de Natal. Um deslocamento da célula de alta pressão para o sul da estação, pode causar a descontinuidade no regime de ventos de oeste, permitindo a penetração dos ventos de este nessa camada. Se há uma propagação da perturbação de baixa na baixa troposfera com alta pressão na camada de 200 mb, citado anteriormente, temos condições favoráveis à

ocorrência de precipitação. A existência desse tipo de perturbação nos baixos níveis já foi identificada, Yamazaki (1972) e Ramos (1974). Através desse mecanismo a oscilação quase-bienal do vento zonal pode causar uma variação nas características climatológicas dos baixos níveis. Recentemente vários autores tentaram associar a ocorrência da oscilação quase-bienal do vento zonal e da temperatura com o clima na superfície. Baseado nessa associação, foi sugerido na conferência do GARP 1974, uma intensificação nos estudos sobre o comportamento dessa oscilação. Burlutsky (1973) evidenciou uma associação entre a oscilação quase-bienal e a circulação geral dos baixos níveis, no sudeste asiático. Hoshiai, Iwashima e Yamamoto (1974), verificaram uma relação estatisticamente significativa entre a oscilação quase-bienal e as amplitudes de ondas ultra-longas no nível de 500 mb nas latitudes médias.

3.2 - TEMPERATURA

As figuras III-2A, III-2B e III-2C ilustram a variação da temperatura com o tempo (1966-1973) e altura (0-51 Km), na estação de Natal. As isotermas foram traçadas com um intervalo de 10°C, e variaram de 20° até 70°C. A escassez de dados de temperatura, principalmente nos níveis superiores da estratosfera, impediu que realizássemos uma análise da variação da temperatura desde a alta estratosfera até a superfície.

Na troposfera, o campo de temperatura caracteriza-se por uma grande estabilidade, enquanto nas camadas inferiores e superiores da estratosfera, observamos com periodicidade em torno de 30 meses e 6 meses respec

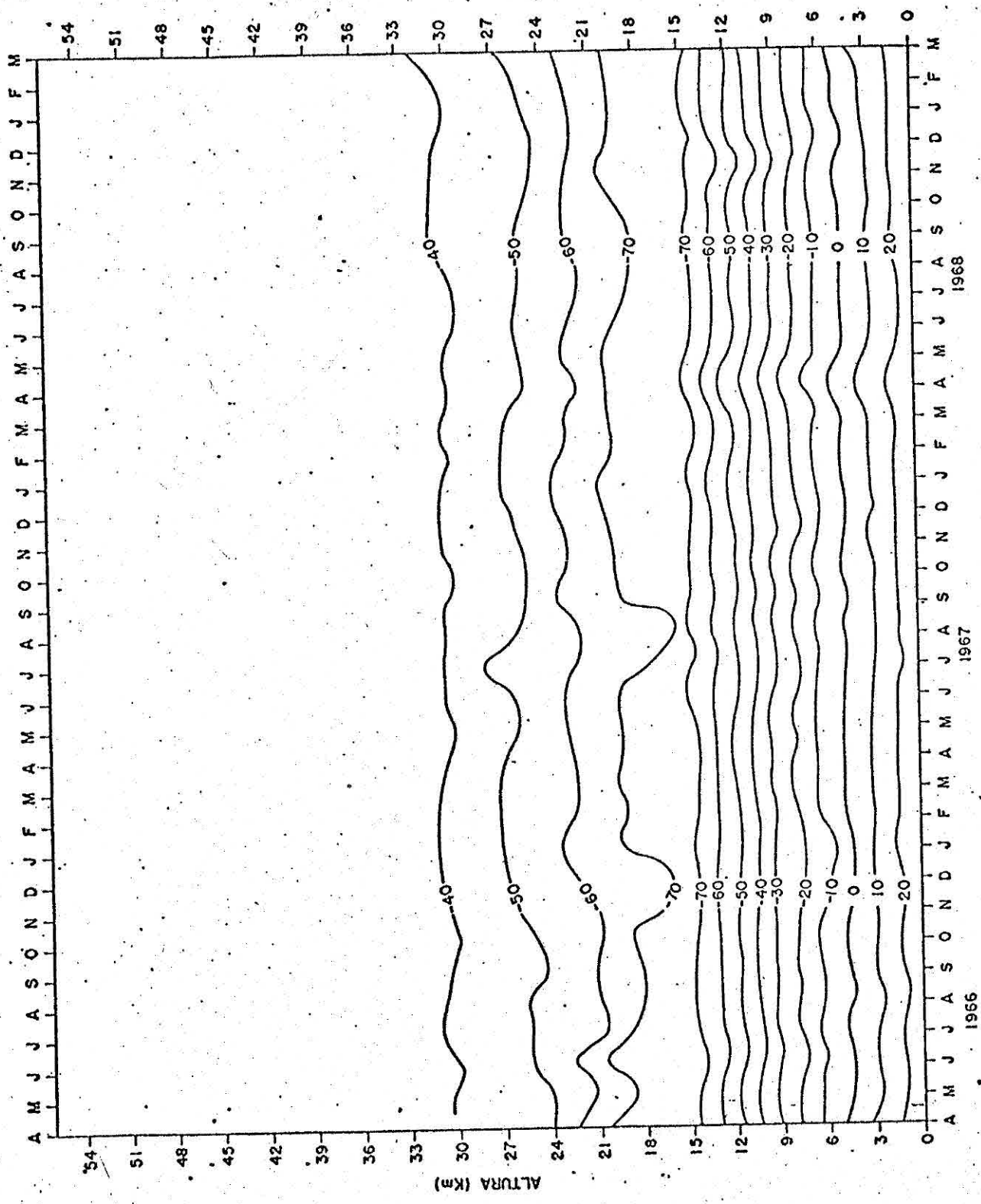


FIG. III-2A - VARIACÃO DA TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (°C) COM O TEMPO E ALTURA, NAS ESTACÕES DE NATAL E ASCENSON ISLAND, DESDE ABRIL DE 1966 A DEZEMBRO DE 1973.

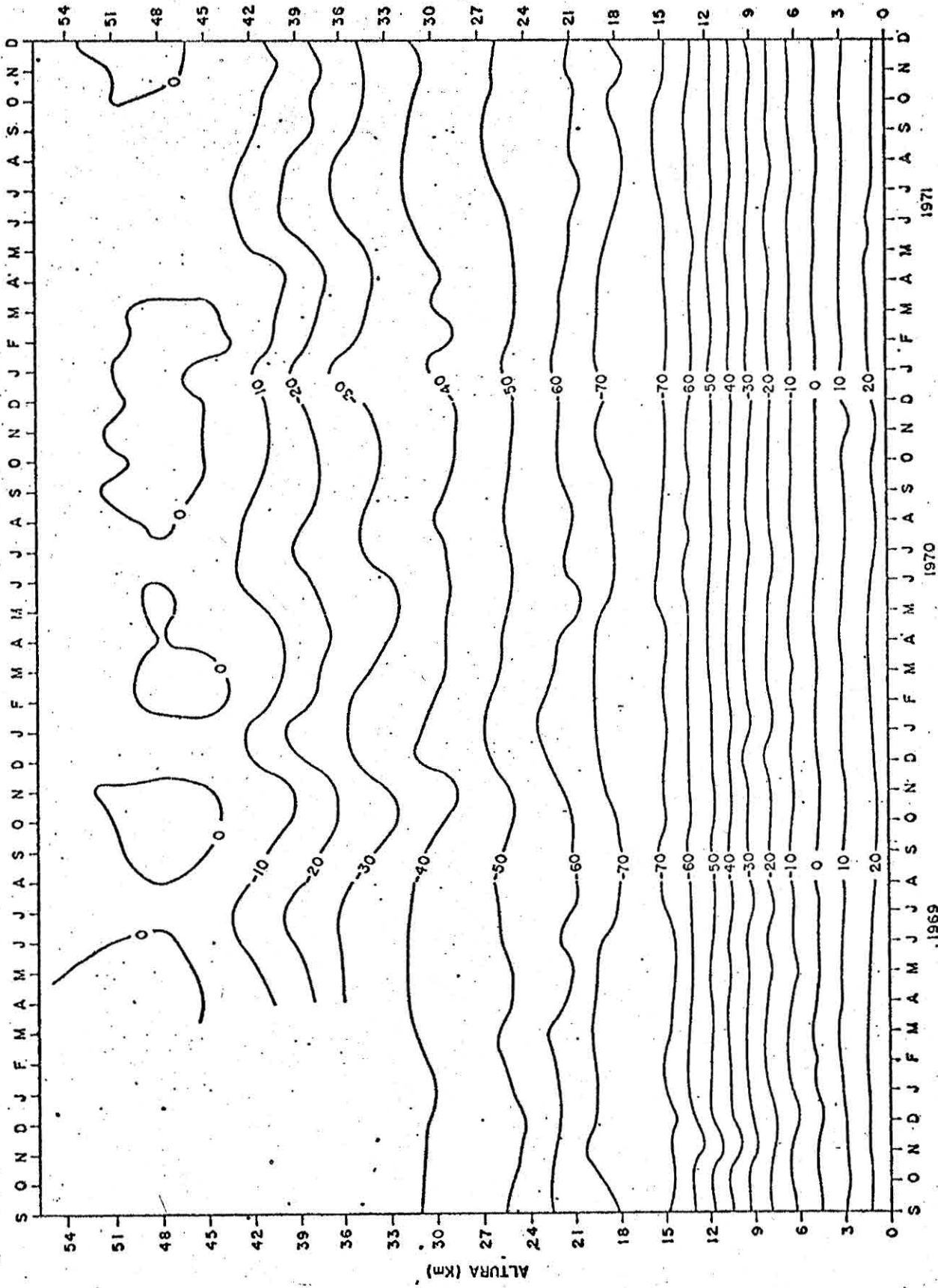


FIG. III-2B - CONTINUAÇÃO DA FIG. III-2A

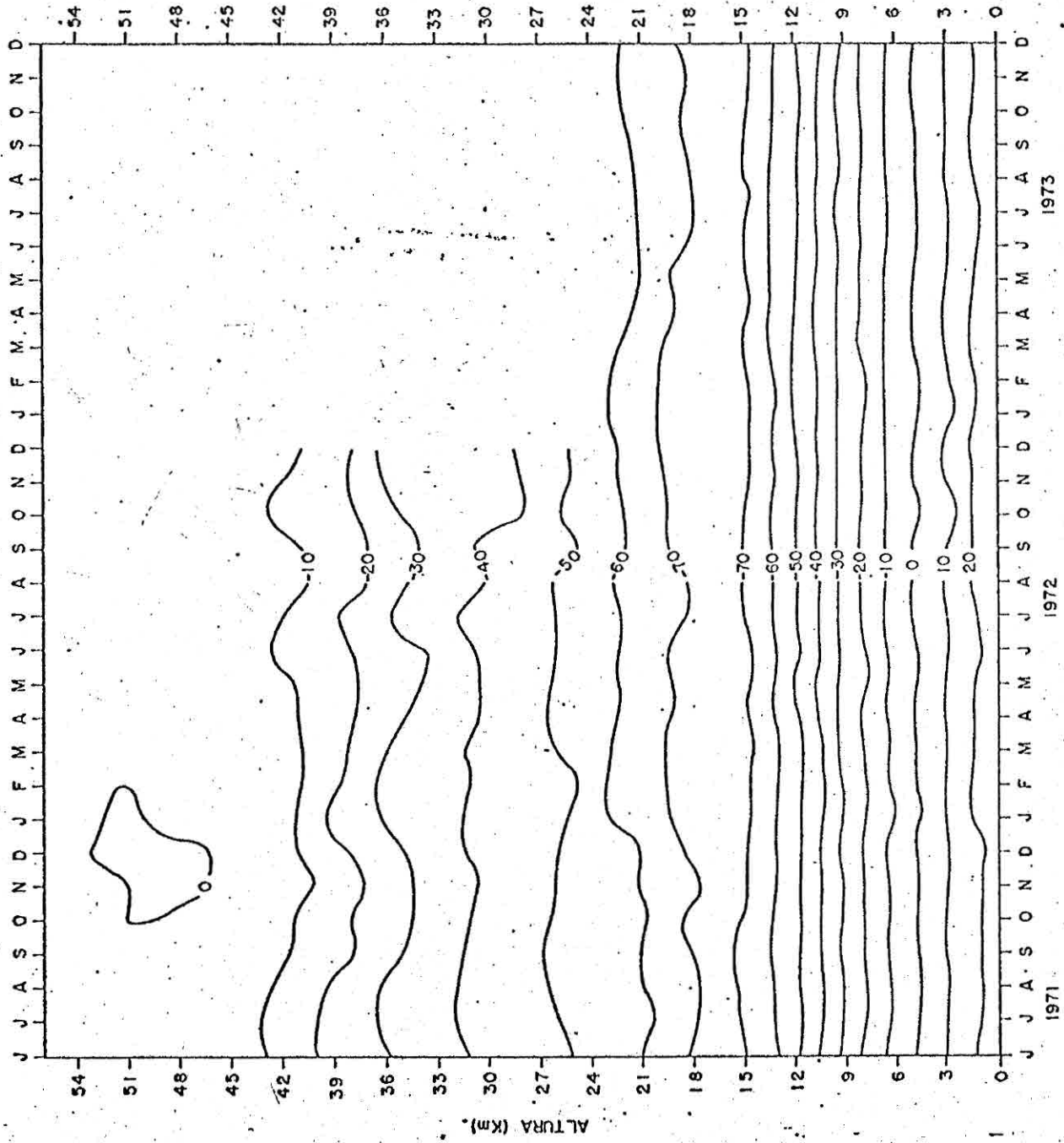


FIG. III-2C-CONTINUAÇÃO DA FIG. III-2B

tivamente. Estas observações sugerem a predominância da oscilação quase-bienal da temperatura na baixa estratosfera e da componente semi-anual na alta estratosfera.

As variações de temperatura na baixa estratosfera de Natal, apresentaram-se menores do que as verificadas por Burlutsky no Oceano Índico. Desta maneira, tornou-se difícil perceber a associação entre a mudança de circulação do vento zonal e a temperatura, conforme foi evidenciado por Burlutsky (1973). Todavia, constatamos que na baixa estratosfera, a mudança de vento de oeste para vento de este está relacionada com um resfriamento, ao passo que a variação de este para oeste está associada com um aquecimento. Situação inversa foi observada na alta estratosfera, onde a circulação de oeste do vento zonal está relacionada com altas temperaturas, enquanto a circulação de este caracteriza-se por baixas temperaturas.

CAPÍTULO IV

MÉDIAS SAZONAIS DO VENTO ZONAL E DA TEMPERATURA

Para analisarmos o comportamento estacional do vento zonal e da temperatura, consideramos as 4 estações: verão (dezembro - fevereiro), outono (março - maio), inverno (junho - agosto) e primavera (setembro - novembro).

A Figura IV-1 representa os perfis do vento zonal de cada estação e da média anual. Os ventos de este, são predominantes durante todo o período, na camada compreendida pela superfície e o nível de 9 Km. O valor máximo de velocidade do vento observado nessa faixa foi de 6 m/s. De 9 Km a 18 Km prevalecem os ventos de oeste, cujo máximo de velocidade é de 10 m/s. A partir de 18 Km até 40 Km, dominam os ventos de este. No verão, os ventos de este são muito fortes nos altos níveis estratosféricos, chegando a um máximo de 50 m/s nas proximidades do nível de 45 Km. No outono, acima de 40 Km, existem ventos de oeste que aumentam de intensidade com a altura, e apresentam um máximo de velocidade de 20 m/s em torno do nível de 51 Km. Na primavera também prevalecem os ventos de oeste acima de 40 Km, embora com intensidade inferior à verificada no outono. Constatamos portanto, uma rápida mudança entre os ventos de este do verão e os ventos de oeste do outono, acima de 40 Km. Na média anual, os ventos de este predominam nos níveis superiores a 18 Km, não apresentando grande variação na vertical e o máximo de velocidade não ultrapassa 15 m/s.

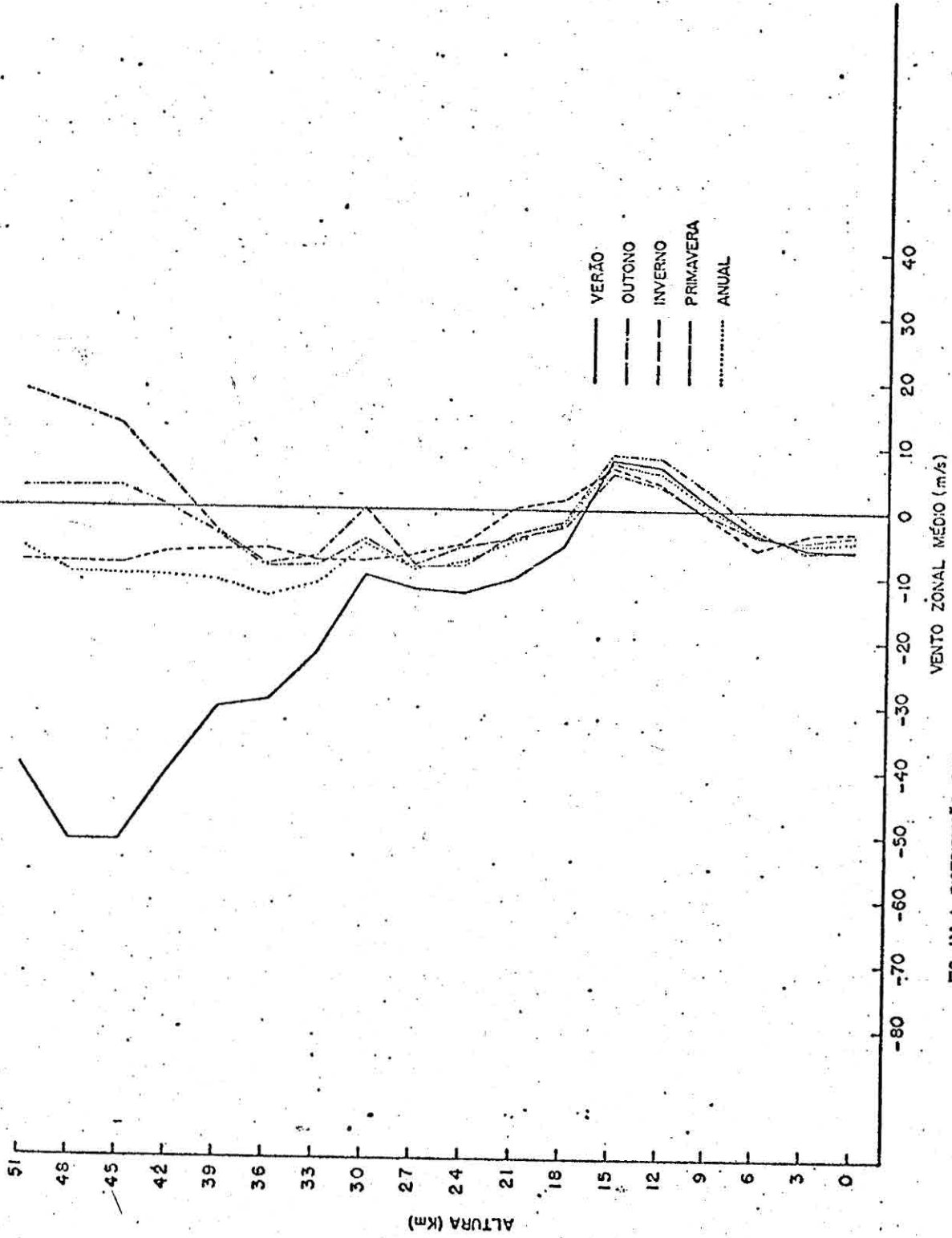


FIG. IV -1- DISTRIBUIÇÃO ESTACIONAL DO VENTO ZONAL MÉDIO (m/s) COM ALTURA. OS VALORES NEGATIVOS DE VENTO ZONAL INDICAM OS VENTOS DE ESTE.

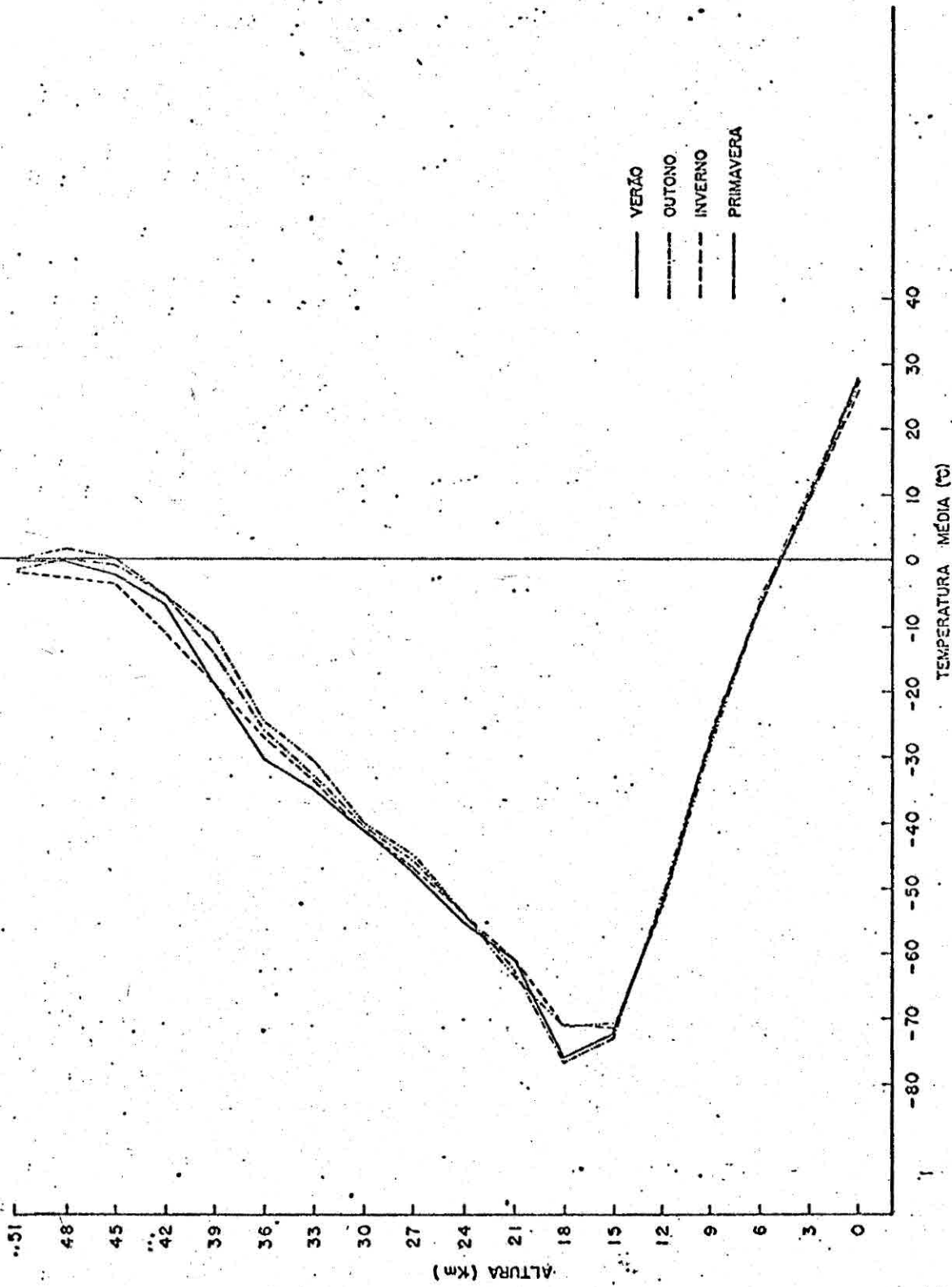


FIG. IV - 2 - DISTRIBUIÇÃO ESTACIONAL DA TEMPERATURA MÉDIA (°C) COM ALTURA.

A temperatura na troposfera, exibe um alto grau de estabilidade, conforme já foi constatado anteriormente, não se verificando grandes variações entre as estações do ano, Figura IV-2. Acima do nível de 25 Km, a temperatura na primavera foi sempre maior do que em qualquer outra estação do ano, e a variação estacional atingiu um máximo de 5°C em torno do nível de 51 Km.

CAPÍTULO V

OSCILAÇÕES NO VENTO ZONAL E NA TEMPERATURA

5.1 - OSCILAÇÕES NO VENTO ZONAL

5.1.1 - OSCILAÇÃO QUASE-BIENAL

Apesar de extensivamente observada, ainda não existe uma teoria que explique todas as características dessa oscilação, justificando-se um estudo continuado de seu comportamento. Segundo Belmont e outros (1974), a oscilação quase-bienal não é propriamente uma onda periódica, e como sua amplitude e fase variam constantemente, os resultados dependem muito mais do registro de dados disponíveis do que nas outras oscilações.

Na Figura V-1, os círculos maiores indicam os períodos da oscilação quase-bienal do vento zonal equatorial, obtidos através de dados de balões no nível de 30 mb, nas estações de Canton Island (3°S), maio de 1964 a agosto de 1967, e Gan (0°41'S), setembro de 1967 a outubro de 1970 (Ebdon, 1971). Baseado nessas observações, verificamos que os períodos dessa oscilação, a partir de 1965 até 1970, variaram de 20 a 36 meses. Groves (1973) utilizando dados de 13 estações de foguetes meteorológicos, constatou que o período da oscilação quase-bienal do vento zonal (pontos pretos na Figura V-1), de 1962 a 1969, apresentou uma variação de cerca de 32 ± 3 meses.

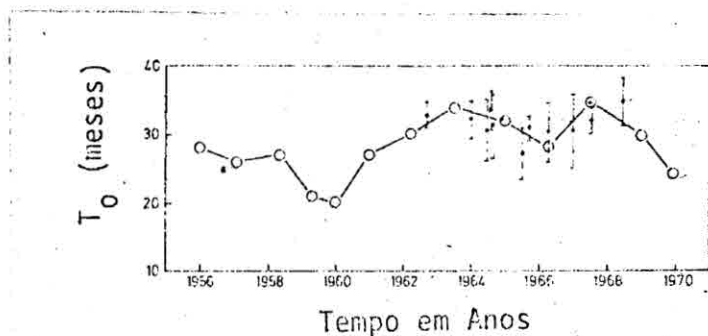


Fig. V-1 - Variação de período da oscilação quase-bienal do vento zonal com o tempo., Groves (1973).

Baseado nas Figuras III-1A, III-1B e III-1C, tentamos calcular a variação periódica da oscilação quase-bienal do vento zonal entre os níveis de 21 Km e 30 Km, onde foi constatada a ocorrência dessa oscilação com amplitude mais relevante. Obtivemos uma variação entre 24 e 39 meses, concordando aproximadamente com os resultados alcançados por Belmont e outros (1974) e Groves (1973). A amplitude e fase dessa oscilação foram determinadas para os diversos níveis mediante a aplicação da análise harmônica. Adotamos nesse trabalho, um período de 30 meses para a oscilação quase-bienal do vento zonal, fundamentados nas Figuras III-1A, III-1B e III-1C, bem como nos trabalhos de Ebdon (1971) e Groves (1973). A análise harmônica da componente quase-bienal foi realizada com 90 valores médios mensais de vento zonal para cada nível, a partir de janeiro de 1966 até junho de 1973.

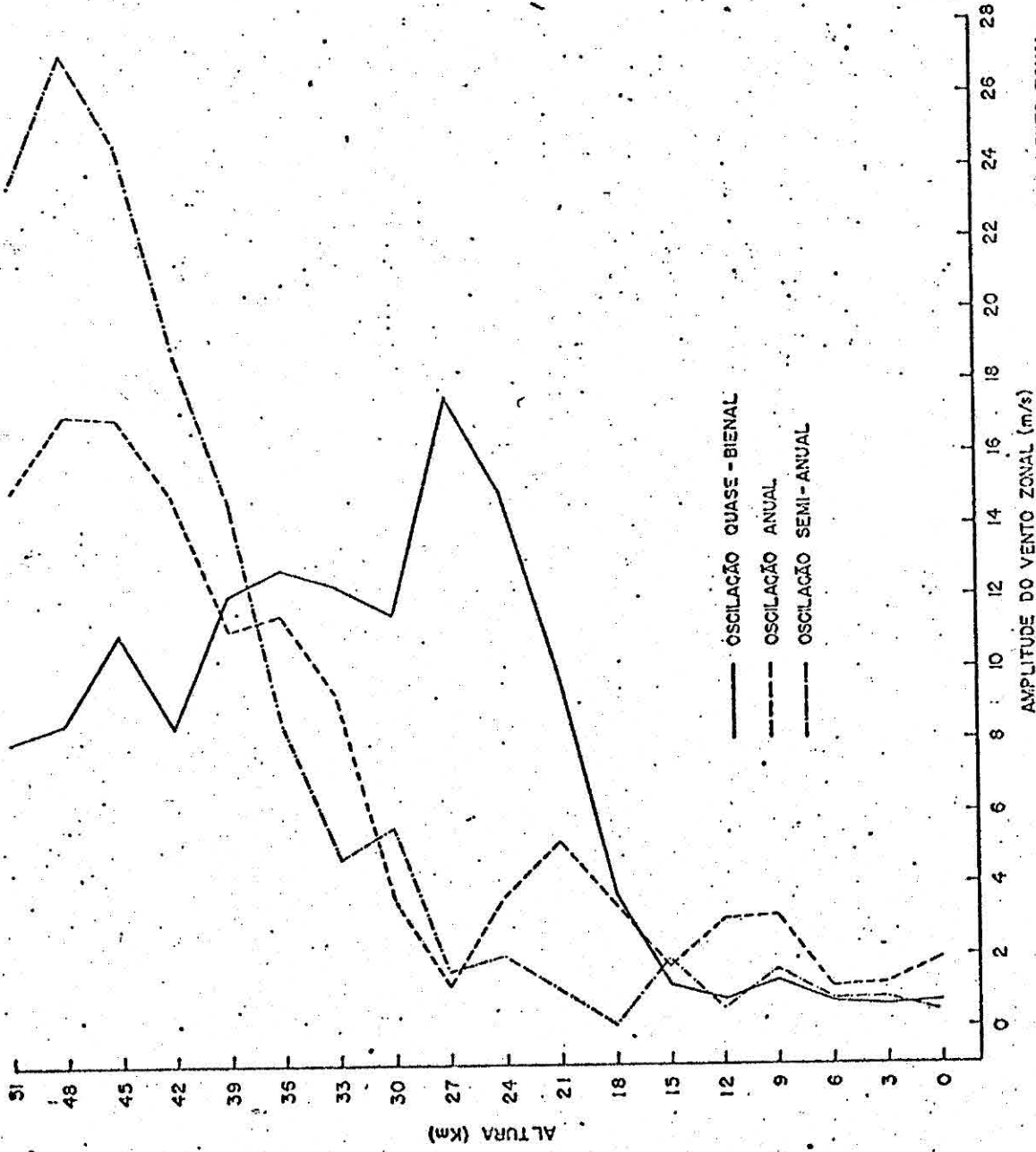


FIG. V-2 - VARIACÃO DAS AMPLITUDES DAS OSCILAÇÕES QUASE-BIENAL, ANUAL E SEMI-ANUAL DO VENTO ZONAL COM ALTURA.

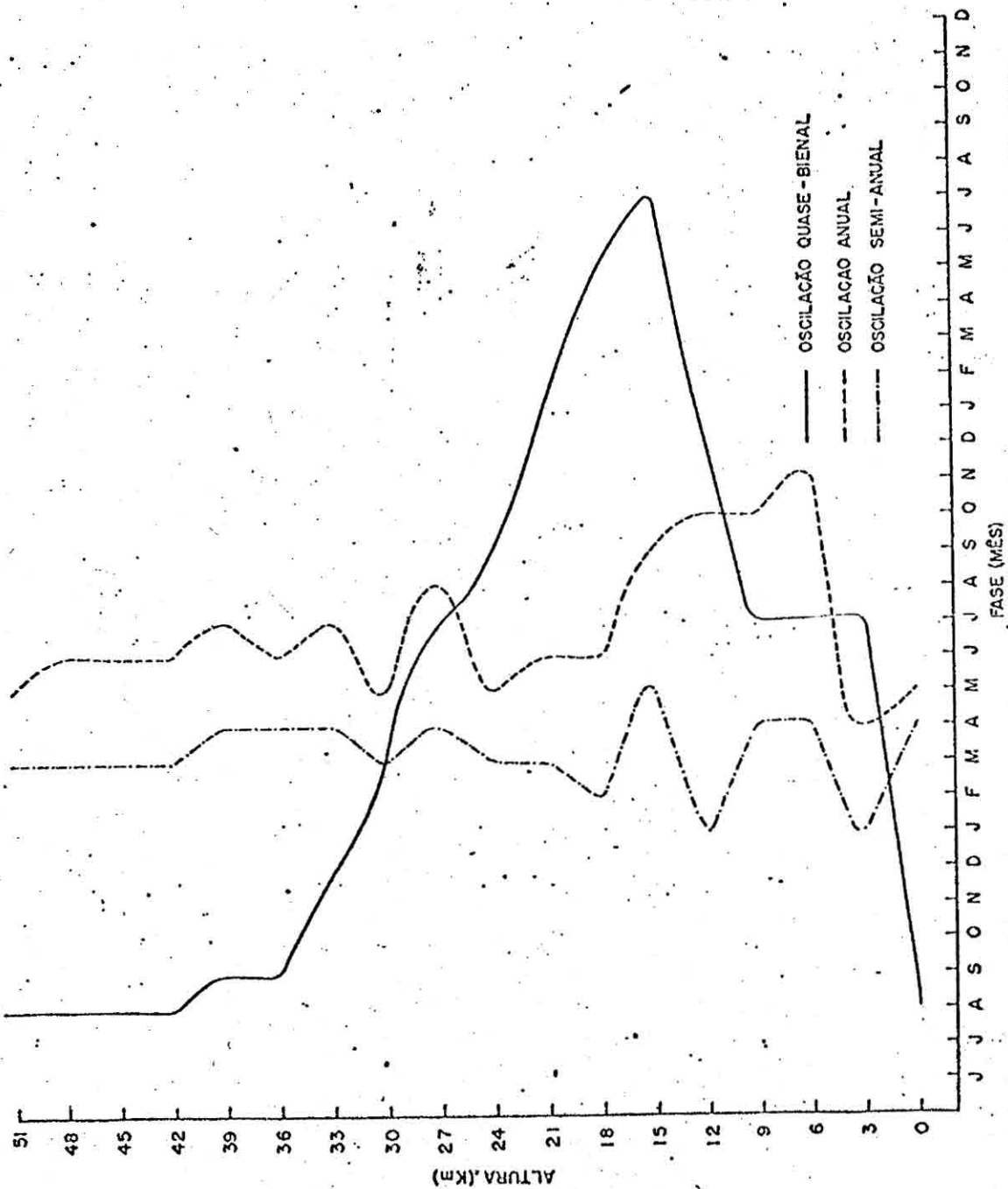


FIG. V-3 - VARIACÃO DA FASE DAS OSCILAÇÕES QUASE - BIENAL , ANUAL E SEMI-ANUAL DO VENTO ZONAL COM ALTURA.

Na Figura V-2, a linha contínua representa a variação de amplitude da oscilação quase-bienal do vento zonal com a altura. Na troposfera, a amplitude é sempre inferior a 2 m/s. A partir do nível de 15 Km, a amplitude dessa oscilação cresce gradativamente até atingir um máximo de aproximadamente 18 m/s na camada de 27 Km. Rao e outros (1972), encontraram para essa oscilação, um máximo de 21 m/s no nível de 26 Km. Acima de 27 Km, a amplitude decresce gradualmente, embora conserve um valor ainda significativo ao nível de 51 Km.

Na Figura V-3, a variação da fase da oscilação quase-bienal do vento zonal com a altura é indicada pela linha contínua. Nos níveis inferiores a 15 Km a amplitude é muito pequena e, apesar dos seus valores não serem muitos confiáveis, visualizamos uma indicação de que essa oscilação propaga-se de baixo para cima. Entre os níveis de 36 Km e 15 Km, há uma propagação para baixo de aproximadamente 1 Km/mês (21 Km/22 meses). Rao e outros (1972), encontraram que a propagação da fase da oscilação quase-bienal do vento zonal a uma taxa de aproximadamente 1 Km/mês (14 Km/16 meses) verifica-se até a camada de 34 Km. Acima de 36 Km, verificamos que não existe grande variação da fase com a altura.

5.1.2 - OSCILAÇÃO ANUAL

Muitas pesquisas já foram desenvolvidas sobre essa oscilação, contribuindo para que tivéssemos atualmente um razoável conhecimento de suas características. Angell e Korshover (1970) aplicaram a análise har

mônica em dados de seis estações de foguetes meteorológicos, constatando que a amplitude máxima do vento zonal ocorre na atmosfera superior (acima de 60 Km) nas latitudes médias, embora essa oscilação tenha sido detectada nas latitudes baixas com uma amplitude ainda considerável. Usando dados correspondentes a um período de 8 anos, determinamos a amplitude e fase da oscilação anual do vento zonal para diversos níveis. Na Figura V-2, a linha tracejada indica a variação da amplitude dessa oscilação com a altura. O valor máximo da amplitude observado abaixo de 27 Km, foi de 5 m/s no nível de 21 Km. Acima de 27 Km, essa amplitude cresce gradualmente até atingir um máximo de 17 m/s na camada de 48 Km.

A variação da fase da oscilação anual do vento zonal com a altura, está representada na Figura V-3 pela linha tracejada. Essa variação processa-se de uma forma muito irregular.

5.1.3 - OSCILAÇÃO SEMI-ANUAL

A ocorrência da oscilação semi-anual do vento zonal na atmosfera superior, foi muito controvertida durante algum tempo, devido a escassez de dados dessa região. Atualmente já existe uma razoável quantidade de observações da estratosfera que permite, através de análises, verificar que a oscilação semi-anual do vento zonal apresenta um máximo próximo ao equador no hemisfério sul a uma altura aproximada de 50 Km, e um outro nas Latitudes médias (Belmont e Dartt, 1973).

Na Figura V-2, a linha tracejada e pontilhada representa a variação da amplitude da oscilação semi-anual do vento zonal com a altura. A partir da superfície até 27 Km, o máximo de amplitude observado para essa oscilação foi de 2 m/s mas, acima de 27 Km, a amplitude cresce gradualmente, alcançando um valor de 27 m/s no nível de 48 Km. Fazendo uma síntese das flutuações periódicas do vento zonal analisadas anteriormente, podemos afirmar que na baixa estratosfera há um predomínio da oscilação quase-bienal, enquanto na alta estratosfera constatamos a dominância das oscilações anual e semi-anual, notadamente dessa última.

Na Figura V-3, a variação da fase da oscilação semi-anual do vento zonal com a altura, está indicada pela linha tracejada e pontilhada. Essa variação é muito regular acima de 18 Km mas, abaixo desse nível seu comportamento é bastante irregular.

Recentemente Belmont e outros (1974), tentaram associar a amplitude da componente semi-anual do vento zonal com o campo magnético terrestre, no hemisfério sul. Nas latitudes tropicais, a maior precipitação de partículas ocorre na região onde o campo magnético é relativamente mais fraco, segundo Trivedi e outros (1973). Como a precipitação de partículas está relacionada com a atividade solar, podemos sugerir uma hipótese de haver alguma ligação entre a oscilação semi-anual do vento zonal e a atividade solar.

Durante o período em estudo, a atividade solar foi menor no

ano de 1966, e a partir daí cresceu gradativamente até atingir um máximo nos anos de 1970 e 1971. Na camada compreendida pelos níveis de 42 e 48 Km, onde é dominante a oscilação semi-anual do vento zonal, constatamos um aumento gradual da amplitude a partir de 1966 até alcançar um máximo em 1971, justificando a suposição formulada anteriormente.

5.2 - OSCILAÇÕES NA TEMPERATURA

5.2.1 - OSCILAÇÃO QUASE-BIENAL

Os dados de temperatura obtidos pelos foguetes meteorológicos, apresentam erros em suas medições, havendo a necessidade de aplicarmos fatores de correção, os quais ainda não foram precisamente determinados para os diversos tipos de sensores em uso. Entretanto para uma estação, cada fonte de erro mantêm-se razoavelmente constante de uma sondagem para outra, com exceção dos efeitos de radiação solar (Ezemenari, 1972). Portanto, examinando as variações periódicas através da análise harmônica, onde são usados somente variações relativas à média, deveremos encontrar resultados bastante confiáveis.

Para a obtenção da amplitude e fase da oscilação quase-bienal na temperatura, adotamos um período de 30 meses, assim como fizemos com o vento zonal. A variação da amplitude da oscilação quase-bienal da temperatura com o tempo e altura, está representada na Figura V-4 pela linha contínua. Os valores de amplitude abaixo da camada de 15 Km, são insignificantes, porém acima dessa camada, verificamos uma tendência crescente até atingir um

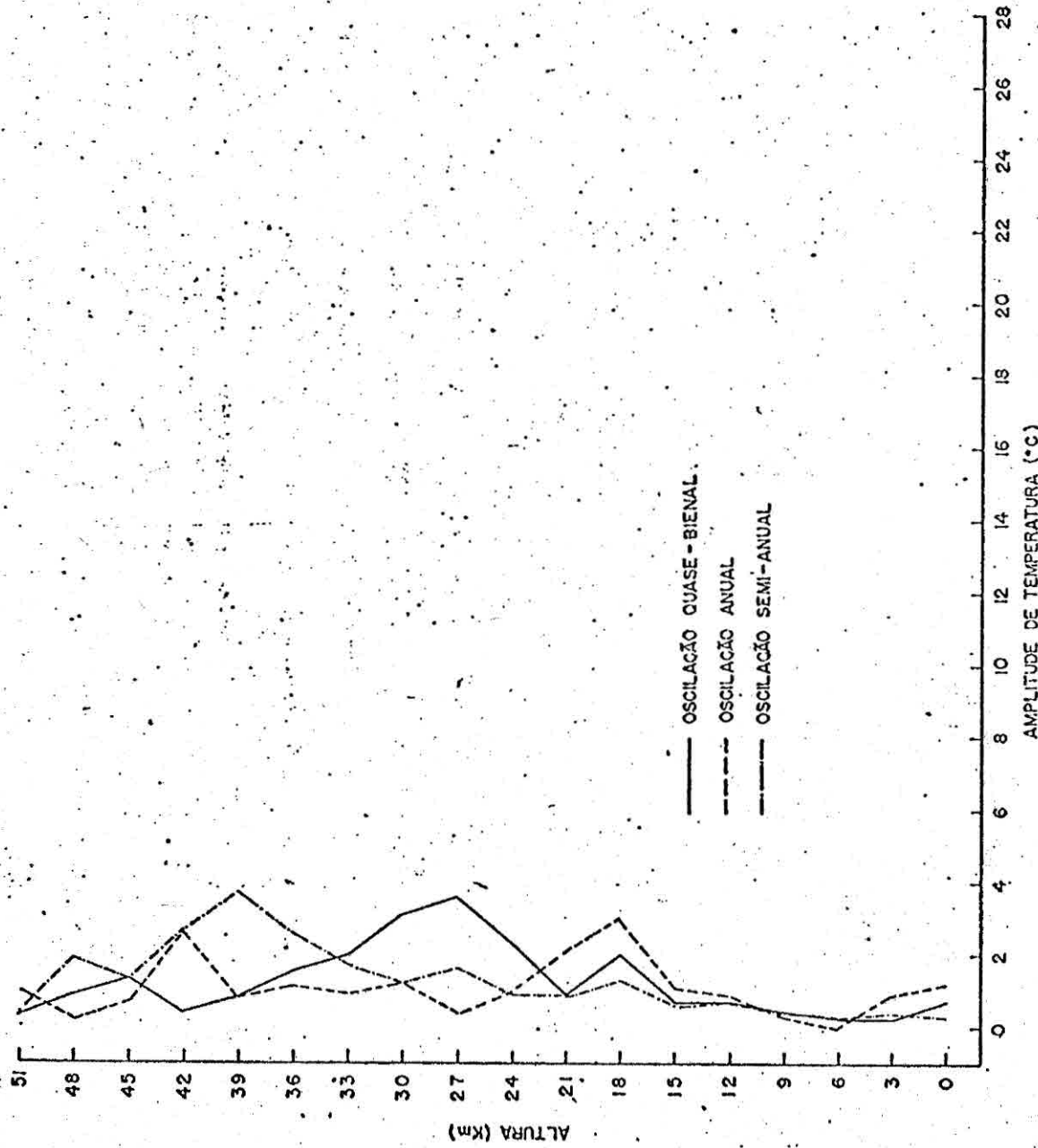


FIG. V-4 - VARIACÃO DAS AMPLITUDES DAS OSCILAÇÕES QUASE-BIENAL, ANUAL E SEMI-ANUAL DA TEMPERATURA COM ALTURA.

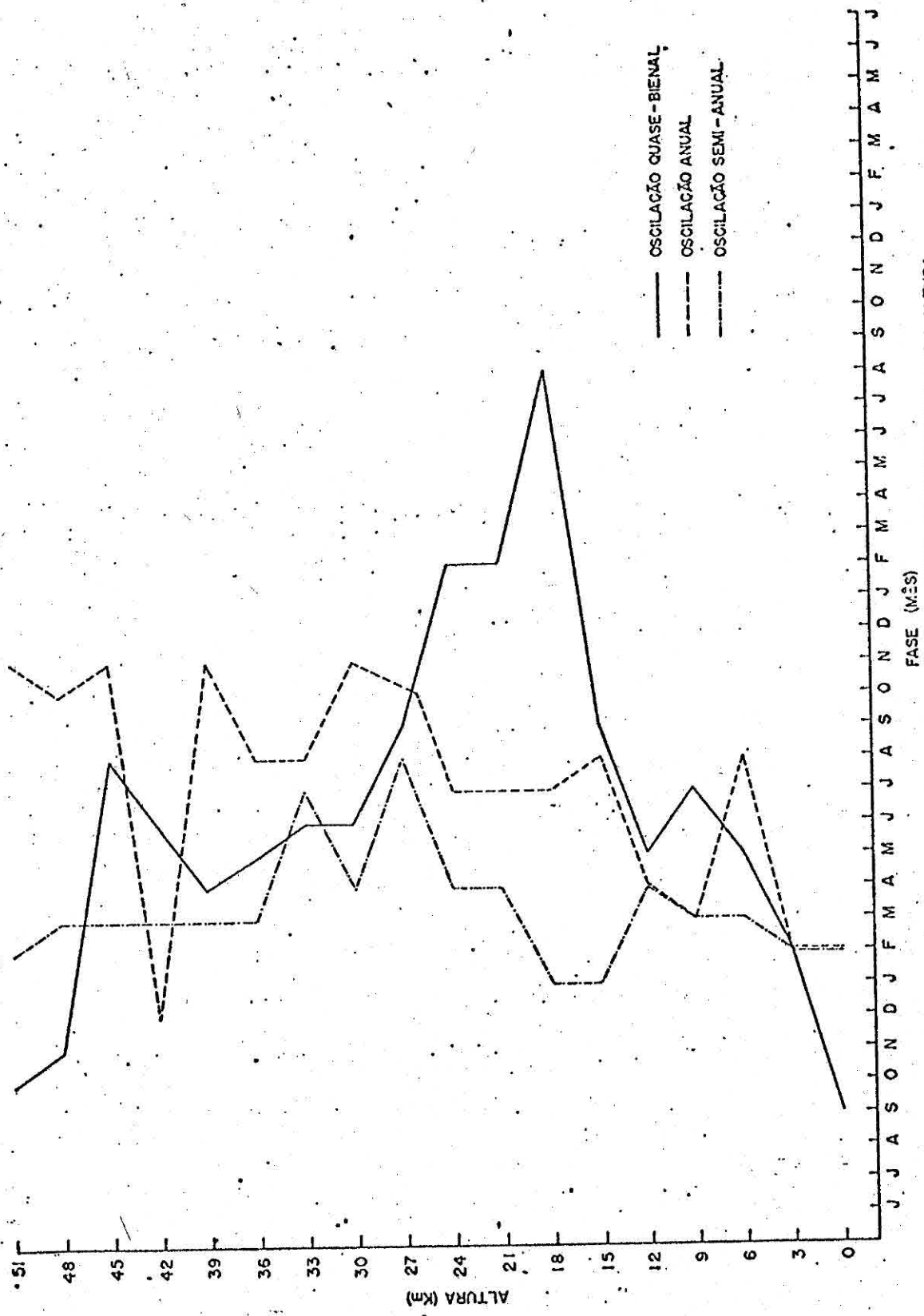


FIG. V-5 - VARIACÃO DA FASE DAS OSCILAÇÕES QUASE-BIENAL, ANUAL E SEMI-ANUAL DA TEMPERATURA COM ALTURA.

máximo de aproximadamente 4°C no nível de 27 Km. Acima de 27 Km, a amplitude de decresce lentamente com a altura. Nastron e Belmont (1975) determinaram amplitude e fase dessa oscilação nas estações de Fort Sherman (9°N , 80°W) e Kwajalein (8°N , 167°W) encontrando um máximo de amplitude de 2°C em torno da camada de 30 Km. Na Figura V-5, a variação de fase da oscilação quase-bienal na temperatura com o tempo e altura, é dada pela linha contínua. Acima de 20 km, onde a amplitude é considerável, observamos uma propagação de fase descendente, apesar de sua variação apresentar-se muito irregular. Essa propagação para baixo está em concordância com os resultados obtidos por Nastron e Belmont (1975).

5.2.2 - OSCILAÇÃO ANUAL

A amplitude da oscilação anual está indicada na Figura V-4 pela linha tracejada. Constatamos a ocorrência de um máximo de 3°C em torno do nível de 18 Km. A variação de fase apresenta-se muito irregular, dispensando maiores considerações a respeito.

5.2.3 - OSCILAÇÃO SEMI-ANUAL

A linha tracejada e pontilhada na Figura V-4, identifica a variação da oscilação semi-anual na temperatura com o tempo e altura. O máximo na amplitude ocorre a 40 Km com um valor de 4°C aproximadamente. Nastron e Belmont (1975) encontraram para essa oscilação, um máximo de 3°C na amplitude no nível de 40 Km. Como observamos nas oscilações anteriores, a variação de fase dessa oscilação também apresentou-se muito irregular.

5.3 - VARIÂNCIA TOTAL OBSERVADA E VARIÂNCIA DAS OSCILAÇÕES QUASE-BIENAL;
ANUAL E SEMI-ANUAL DO VENTO ZONAL E DA TEMPERATURA

O tipo de oscilação, dominante nos diversos níveis, pode ser evidenciado pela determinação da variância de cada oscilação e da variância total observada para cada nível. A participação de ocorrência das oscilações nos vários níveis, foi calculada em percentual da variação observada. As tabelas números V-1 e V-2, mostram os resultados desse cálculo. A última coluna dessa tabela indica a soma da variância dessas três oscilações e, verificamos que seu valor sempre é inferior a 100%. Este fato é uma indicação de que a soma em percentagem das variâncias dessas oscilações, não explica completamente a variância total observada, o que revela a existência de outros tipos de variações não considerados. Os resultados apresentados nessa tabela concordam de um modo geral com aquela já obtidos anteriormente. Com relação à oscilação quase-bienal, constatamos sua predominância na baixa estratosfera e um percentual de variância total máximo de aproximadamente 63%, no nível de 27 Km. Sobre a dominância da oscilação anual, verificamos que as variâncias são maiores na baixa troposfera e alta estratosfera. Os valores máximos na baixa troposfera, já eram esperados e relacionam-se com os ciclos estacionais. A predominância da oscilação semi-anual foi observada na alta estratosfera, em torno do nível de 48 Km, apresentando um percentual de variância de aproximadamente 58%.

As variância das oscilações quase-bienal, anual e semi-anual na temperatura, apresentaram-se inferiores as observadas para o vento zonal

TABELA V-1
VENTO ZONAL
% DE VARIÂNCIA

NÍVEL (km)	OSC. QUASE- BIENAL (%)	OSC. ANUAL (%)	OSC. SEMI- ANUAL (%)	SOMA DA VA RIÂNCIA DAS OSCILAÇÕES (%)
0	5,77	31,13	2,54	39,44
3	0,37	23,70	4,63	28,70
6	6,29	3,30	1,86	11,45
9	5,57	12,56	2,84	20,97
12	12,46	10,24	0,19	22,89
15	8,35	3,71	3,71	15,77
18	21,51	23,66	2,17	47,34
21	41,36	9,30	0,38	51,12
24	67,81	2,00	0,69	70,30
27	68,34	3,34	1,20	72,88
30	20,95	0,54	4,99	26,48
33	31,54	23,11	4,85	59,50
36	31,30	24,22	15,30	70,82
39	14,41	18,28	42,43	75,12
42	6,25	29,85	43,76	79,86
45	1,65	26,20	55,56	83,41
48	1,52	23,03	57,97	82,52

TABELA V-2
TEMPERATURA
% DE VARIÂNCIA

NÍVEL (Km)	OSC. QUASE- BIENAL (%)	OSC. ANUAL (%)	OSC. SEMI- ANUAL (%)	SOMA DA VA RIÂNCIA DAS OSCILAÇÕES (%)
0	0,17	17,67	1,50	18,34
3	1,96	21,74	3,48	27,18
6	6,15	0,38	9,62	16,15
9	4,00	9,00	9,00	22,00
12	3,83	10,64	3,83	18,30
15	4,86	8,65	1,22	14,73
18	7,05	34,57	9,21	50,83
21	5,16	32,26	3,95	41,37
24	20,85	10,64	10,64	42,13
27	26,67	3,27	21,60	51,54
30	38,90	4,71	3,60	47,21
33	7,58	6,37	27,84	41,79
36	3,82	7,48	36,68	47,98
39	2,62	0,37	62,34	65,33
42	0,17	30,89	35,64	66,70
45	1,19	6,04	24,18	31,41

nos mesmos níveis. A oscilação quase-bienal manifestou-se mais significativa na baixa estratosfera com uma participação de aproximadamente 39% da variância observada, na camada de 30 Km. A oscilação anual na temperatura apresenta um máximo na baixa troposfera e outro na alta estratosfera. Finalmente, a oscilação semi-anual destaca-se apenas nas camadas média e alta da estratosfera. O máximo de amplitude observado para essa oscilação verificou-se no nível de 39 Km.

Baseado nesses resultados, podemos concluir que a oscilação quase-bienal no vento zonal e na temperatura predomina na baixa estratosfera, enquanto a oscilação semi-anual domina na alta estratosfera. A oscilação anual apesar de apresentar dois máximos, é relativamente mais importante na baixa troposfera devido às variações estacionais no tempo.

5.4 - COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS TEÓRICOS E OBSERVADOS DAS OSCILAÇÕES QUASE-BIENAL, ANUAL E SEMI-ANUAL NO VENTO ZONAL

Neste capítulo, fizemos um estudo comparativo entre as características observadas e as previstas pelas teorias das oscilações. Como as teorias atualmente existentes referem-se principalmente ao vento zonal, desenvolvemos nosso estudo somente com esse parâmetro.

Lindzen e Holton (1968) e Holton e Lindzen (1972) apresentam uma teoria sobre a oscilação quase-bienal baseando-se na interação do vento zonal estratosférico com as ondas equatoriais que se propagam para ci

ma da troposfera. A respeito da oscilação anual, Leovy (1964) apresentou uma teoria associando a resposta da atmosfera com mudanças estacionais na distribuição latitudinal da absorção de energia solar na camada de ozônio. Meyer (1970) formulou uma teoria sobre a origem da oscilação semi-anual, fundamentando-se num modelo diagnóstico. Neste modelo ele propõe a ocorrência da divergência do fluxo da quantidade de movimento variando semi-anualmente devido a marés diurnas, dirigindo a oscilação semi-anual no vento zonal. Na tabela número V-3 estão resumidas algumas características dessas oscilações apresentadas pelas teorias e as verificadas com nossas observações.

A dominância da oscilação quase-bienal na baixa estratosfera e a propagação de fase descendente são explicados pela teoria de Holton e Lindzen. A variação de período para essa oscilação de 24 a 39 meses (determinado analiticamente com nossas observações) ainda não foi explicada pela teoria.

Vários estudos desenvolvidos nas latitudes médias constataram o domínio da oscilação anual no vento zonal na mesosfera. Esta característica é explicada pela teoria de Leovy (1964). Como nosso estudo foi realizado na região equatorial, a amplitude dessa oscilação apresenta valores consideráveis somente na alta estratosfera.

A teoria de Meyer conforme já mencionamos anteriormente, baseia-se no mecanismo causador de marés diurnas. Para determinar a in

TABELA V-3

COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS TEÓRICOS E OBSERVADOS DAS OSCILAÇÕES DO VENTO ZONAL.

CARACTERÍSTICAS	OSCILAÇÃO QUASE-BIENAL		OSCILAÇÃO ANUAL		OSCILAÇÃO SEMI-ANUAL	
	OBSERVADA	TEÓRICA	OBSERVADA	TEÓRICA	OBSERVADA	TEÓRICA
AMPLITUDE	Dominante na baixa estratosfera	Explicado (Holton & Lindzen)	Máximo na alta estratosfera	Máximo na mesosfera das latitudes médias; é muito pequena perto do equador (Leovy)	Máximo na alta estratosfera	Máximo na mesosfera (Meyer)
FASE	Propagação para baixo (1 Km/mês)	Explicado (Holton & Lindzen)	Irregular	-	Irregular	Propagação para baixo na alta estratosfera
VARIAÇÃO DO PERÍODO	24 - 39 meses	Não foi explicado	-	-	-	-

fluência desse efeito de marés diurnas na oscilação semi-anual, ele utilizou a teoria de Lindzen (1967). Entretanto como os dados de foguetes não permitem a determinação desse efeito de marés diurnas, não podemos testar a teoria deixando assim como um problema aberto.

CAPÍTULO VI

CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

Na presente tese foram estudados alguns aspectos climatológicos da atmosfera sobre Natal, usando 8 anos de dados do vento zonal e da temperatura. Esta amostra de dados permitiu uma determinação bem confiável da amplitude e fase das oscilações quase-bienal, anual e semi-anual sobre Natal.

As secções transversais de tempo e altura do vento zonal e da temperatura, a partir da superfície até a atmosfera superior, permitiram que se estabelecesse uma conexão entre o comportamento da atmosfera alta e baixa. É conhecido que a oscilação quase-bienal é muito regular na baixa atmosfera tropical e, portanto se alguma relação for encontrada entre a oscilação quase-bienal e as variações na atmosfera inferior, poderá resultar de grande importância prática. Baseado nesse pressuposto foi realizada uma cuidadosa análise das secções transversais de tempo e altura. Foi encontrado que durante a fase de este da oscilação quase-bienal, os ventos de este penetram na camada de ventos de oeste. Sugere-se que esta penetração está associada com condições favoráveis para o desenvolvimento do tempo e eventualmente com precipitação.

No presente estudo, não foi possível verificar a associação entre a precipitação e a penetração de ventos de este, mencionada acima, devido à falta de dados de precipitação disponíveis, na época em que foi realizado. Sugere-se que tal associação possa ser testada em estudos futuros.

Usando 8 anos de dados, analisamos o comportamento da variação sazonal no capítulo IV. Espera-se que essa análise proporcione úteis detalhes climatológicos da atmosfera sobre Natal.

No capítulo V, foram estudadas as características das oscilações no vento zonal e na temperatura. Para a oscilação quase-bienal, foi adotado um período de 30 meses. Esta oscilação apresentou uma amplitude máxima de 18 m/s em torno do nível de 27 Km. Posteriormente foi observado claramente na baixa estratosfera a conhecida propagação descendente de 1Km/mês. As componentes anual e semi-anual apresentaram um máximo de 17 e 27 m/s respectivamente no nível de 48 Km. Os máximos de amplitude na temperatura foram de 4°C para a oscilação quase-bienal no nível de 27 Km, 3°C na camada de 18 Km para a oscilação e 4°C no nível de 40 Km para a oscilação semi-anual.

Finalmente foi feita uma comparação entre os aspectos teóricos existentes das três oscilações e os aspectos observados. Pode-se afirmar que as teorias existentes não explicam todas as características observadas principalmente no caso das oscilações quase-bienal e semi-anual.

AGRADECIMENTOS

Aos Drs. Fernando de Mendonça e Luiz Gylvan Meira Filho, pelo apoio concedido na realização deste trabalho.

Ao Dr. Vadlamudi Brahamananda Rao, pela orientação e permanente interesse demonstrado no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Dr. Antônio Divino Moura e ao Professor Chandrakanta M_oreshwara Dixit, pelas valiosas críticas e sugestões; ao Dr. Yelisetty Viswanadham e Srt^a Marlene Elías, por importantes discussões; ao Eng^o Mecânico Severino Luiz Guimarães Dutra e ao Físicos Yoshihiro Yamazaki e Kioshi Hada, pelo auxílio prestado no parte computacional.

Finalmente, meus agradecimentos a todos aqueles que direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- ANGEL, J.K.; KORSHOVER, J. - "Quasi-biennial, annual and semi-annual zonal wind and temperature harmonic amplitudes and phase in the stratosphere and low mesosphere of the Northern hemisphere". *J. Geophys. Res.*, 75: 543-550, 1970.
- BELMONT, A.D.; DARTT, D.G. - "Semiannual variation in zonal wind from 20 to 65 km at 80°N - 10°S". *J. Geophys. Res.*, 78: 6373-6376, 1973.
- BELMONT, A.D.; DARTT, D.G.; NASTROM, G.D. - "Periodic variations in stratospheric zonal wind from 20 to 65 km at 80°N at 70°S". *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 100: 203-211, 1974.
- BELMONT, A.D.; NASTROM, G.D.; MAYR, H.G. - "Significance of Semiannual Waves in the mesospheric zonal wind and evidence of influence by the Geomagnetic field". *J. Geophys. Res.*, 79: 5049-5052, 1974.
- BURLUTSKY, R. - "A summary of findings of USSR oceanographic and meteorological expeditions in the Indian Ocean, 1967-1971". *JOC-VIII*, annex G, appendix IV, 1-9, 1973.
- EBDON, R.A. - "Possible effects of volcanic dust on stratospheric temperatures and winds". *Weather*, 22: 245-249, 1971.
- EZMENARI, F.R. - "On the magnitudes and uncertainties of corrections to Arcasonde - 1A temperatures". *J. Appl. Met.*, 11: 704-721, 1972.
- FINGER, F.C.; GELMAN, M.E. - "Some results of the WMO (CIMO) rocketsonde intercomparisons Phase II" *XVII COSPAR*, São Paulo, 1974.
- GROVES, G.V. - "Zonal wind Quasi-biennial oscillations at 25-60 Km altitude, 1962-69". *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 99: 73-81, 1973.
- HOLTON, J.R.; LINDZEN, R.S. - "An updated theory for the Quasi-biennial cycle of the tropical stratosphere". *J. Atmos. Sci.*, 29: 1076-1080, 1972.
- HOSHIAI, M.T.; IWASHIMA, T.; YAMAMOTO, R. - "Quasi-biennial oscillation of ultra long waves at 500 mb during the years 1948 - 1968". *J. Met. Soc. of Japan*, 52: 283-288, 1974.

- LEOVY, C. - "Simple models of thermally driven mesospheric circulation". *J. Atmos. Sci.*, 21: 327-341, 1964.
- LINDZEN, R.S. - "Thermally driven diurnal tide in the atmosphere". *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 93: 18-42, 1967.
- LINDZEN, R.S.; HOLTON, J.R. - "A theory of the Quasi-biennial oscillation". *J. Atmos. Sci.*, 25: 1095-1107, 1968.
- MATSUMOTO, S. - "Lower troposphere wind speed and precipitation activity". *J. Met. Soc. of Japan*, 51: 101-107, 1973.
- MEYER, W.D. - "A diagnostic numerical study of the Semiannual variation of the zonal wind in the tropical stratosphere and mesosphere". *J. Atmos. Sci.*, 27: 820-830, 1970.
- NASTROM, G.D.; BELMONT, A.D. - *Periodic variations in Stratospheric temperature from 20-65 Km at 80°N to 30°S*. NASA CR. 137478, 1975.
- QUIROZ, R.S.; MILLER, A.J. - "Note on the Semiannual wind variations in the equatorial stratosphere". *Monthly Wea. Rev.*, 95: 635-641, 1964.
- RAMOS, R.P.L. - *Precipitation characteristics in the Northeast Brazil dry region*. Atmospheric Science Paper No. 224, Colo. State Univ., Ft. Collins, Colorado, 56 p, 1974.
- RAO, V.B.; SATYAMURTY, P.; RAO, T.V.R.; MOURA, A.D. - *Fluctuations in stratospheric zonal winds over Natal, Brazil*. INPE-218, RI/019, 1972.
- REED, R.J. - "The Quasi-biennial oscillation of the atmosphere between 30 and 50 Km over Ascension Island". *J. Atmos. Sci.*, 22: 331-333, 1965.
- WHITTAKER, E.; ROBINSON, G. - *The calculus of observations* - Dover Publications, Inc. - New York-397p, 1967.
- TRIVEDI, N.B.; MARTIN, I.M.; COSTA, J.M. - "Particle precipitation in Brazilian geomagnetic anomaly during magnetic storms". *Plan. Space. Sci.*, 21: 1699-1704, 1973.
- WALLAGE, J.M. - "General circulation of the tropical lower stratosphere". *Rev. Geophys. and Sp. Sci.*, 11: 191-222, 1973.

YAMAZAKI, Y. - "Estudos teóricos e sinóticos dos distúrbios tropicais".
INPE - LAPE - 624, 1972.

APÊNDICE A

ANÁLISE HARMÔNICA

A aplicação da análise harmônica às funções escalares (vento zonal e temperatura), permitirá expressar suas variações em valores médios e componentes harmônicos. Se essas funções $F(t)$ fossem integráveis no intervalo $(0 < t < T)$, poderiam ser representadas em séries de Fourier segundo a forma abaixo:

$$F(t) = \langle F \rangle \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos nt + B_n \sin nt) \quad (\text{A.1})$$

onde "n" é o número de harmônicos, "T" é o intervalo de tempo e $\langle F \rangle$, A_n e B_n são os coeficientes de Fourier, calculados de acordo com as seguintes fórmulas:

$$\langle F \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T F(t) dt \quad (\text{A.2})$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \cos ntdt \quad (\text{A.3})$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \sin ntdt \quad (\text{A.4})$$

Como no presente trabalho dispomos de um conjunto de dados discretos, com um número limitado de observações, as equações (A.2) - (A.4), serão expressas segundo a forma de diferenças finitas:

$$F = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M F(t_k) \quad (\text{A.5})$$

$$A(n) = \frac{2}{M} \sum_{k=1}^M F(t_k) \cos \frac{2\pi n}{M} t_k \quad (\text{A.6})$$

$$B(n) = \frac{2}{M} \sum_{k=1}^M F(t_k) \text{sen} \frac{2\pi n}{M} t_k \quad (\text{A.7})$$

sendo "M" o total de médias mensais. As equações (A.5), (A.6) e (A.7) não são aproximações, mas expressões exatas para o caso onde "M" é igual ao número mínimo exigido de observações. Essa análise ainda pode ser estendida visando a obtenção de fórmulas mais genéricas que se apliquem para os casos em que o número de dados disponíveis seja maior ou igual ao número exigido. Esse procedimento segundo Whittaker e Robinson (1967) permite-nos fazer o melhor uso possível desses dados. Os escalares (vento zonal e temperatura) seriam então expressos da seguinte forma:

$$F(t) = \langle F \rangle + A_1 \cos t + A_2 \cos 2t + \dots + A_n \cos nt + \\ + B_1 \text{sen} nt + B_2 \text{sen} 2t + \dots + B_n \text{sen} nt \quad (\text{A.8})$$

onde $\langle F \rangle$, A_1 , A_2 , ..., A_n , B_1 , B_2 , ..., B_n são coeficientes de Fourier. A expressão (A.8) fornece então a melhor representação possível de uma função $F(t)$, quando $F(t)$ assume os valores F_0, F_1, \dots, F_{M-1} e "t" toma respectivamente os valores de $0, \frac{2\pi}{M}, \dots, \frac{2(M-1)\pi}{M}$. Aplicando (A.8) para "M" observações, obteremos um conjunto de "M" equações, sendo $M > 2n + 1$.

Essas equações irão superdeterminar as variáveis, e neste caso escreveremos as $(2n + 1)$ equações usando a condição de que o erro quadrático médio, dado pela fórmula seguinte:

$$E = \sum_M (F_M(t))^2$$

seja mínimo com relação à escolha dos coeficientes em (A.8). Portanto, as equações que satisfazem essa condição são:

$$\frac{\partial E}{\partial \langle F \rangle} = 0, \quad \frac{\partial E}{\partial A_n} = 0, \quad \frac{\partial E}{\partial B_M} = 0 \quad (A.10)$$

onde $M = 1, 2, \dots, n$. A partir de (A.10) obtemos as seguintes equações:

$$F_0 = \langle F \rangle + A_1 + \dots + A_n$$

$$F_1 = \langle F \rangle + A_1 \cos \frac{2\pi}{M} + A_2 \cos \frac{2 \cdot 2\pi}{M} + \dots + A_n \cos \frac{n \cdot 2\pi}{M} + \\ + B_1 \sin \frac{2\pi}{M} + B_2 \sin \frac{2 \cdot 2\pi}{M} + \dots + B_n \sin \frac{n \cdot 2\pi}{M}$$

$$F_2 = \langle F \rangle + A_1 \cos \frac{2 \cdot 2\pi}{M} + A_2 \cos \frac{4 \cdot 2\pi}{M} + \dots + A_n \cos \frac{2n \cdot 2\pi}{M} + \\ + B_1 \sin \frac{2 \cdot 2\pi}{M} + B_2 \sin \frac{4 \cdot 2\pi}{M} + \dots + B_n \sin \frac{2n \cdot 2\pi}{M}$$

.....

$$F_{M-1} = \langle F \rangle + A_1 \cos \frac{(M-1)2\pi}{M} + \dots + A_n \cos \frac{n(M-1)2\pi}{M} + \\ + B_1 \sin \frac{(M-1)2\pi}{M} + \dots + B_n \sin \frac{n(M-1)2\pi}{M}$$

A equação normal para $\langle F \rangle$ é dado por:

$$\begin{aligned}
 F_0 + F_1 + F_2 + \dots + F_{M-1} = & M \langle F \rangle + A_1 \left(1 + \cos \frac{2\pi}{M} + \dots + \cos \frac{(M-1)2\pi}{M} \right) \\
 & + A_2 \left(1 + \cos \frac{2 \cdot 2\pi}{M} + \dots + \cos \frac{2(M-1)2\pi}{M} \right) \\
 & + \dots \\
 & + A_n \left(1 + \cos \frac{n \cdot 2\pi}{M} + \dots + \cos \frac{n(M-1)2\pi}{M} \right) \\
 & + B_1 \left(\sin \frac{2\pi}{M} + \sin \frac{2 \cdot 2\pi}{M} + \dots + \sin \frac{(M-1)2\pi}{M} \right) \\
 & + \dots \\
 & + B_n \left(\sin \frac{n \cdot 2\pi}{M} + \dots + \sin \frac{n(M-1)2\pi}{M} \right)
 \end{aligned}$$

Como $1 + \cos \frac{2K\pi}{M} + \cos \frac{4K\pi}{M} + \dots + \cos \frac{2(M-1)K\pi}{M} = 0$ e

$$\left(\sin \frac{2K\pi}{M} + \sin \frac{4K\pi}{M} + \dots + \sin \frac{2(M-1)K\pi}{M} \right) = 0$$

onde "K" é um inteiro maior que zero e menor que "n". Assim, a equação normal para $\langle F \rangle$ é:

$$F_0 + F_1 + F_2 + \dots + F_{M-1} = M \langle F \rangle$$

$$\therefore \langle F \rangle = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} F(t_k) \tag{A.11}$$

A equação normal para A_1 obtém-se de uma forma semelhante, ou seja:

$$\begin{aligned}
 & F_0 + F_1 \cos \frac{2 \pi}{M} + F_2 \cos \frac{2 \cdot 2 \pi}{M} + \dots + F_{M-1} \cos \frac{(M-1)2 \pi}{M} = \\
 & = \langle F \rangle \left(1 + \cos \frac{2 \pi}{M} + \dots + \cos \frac{(M-1)2 \pi}{M} \right) + \\
 & + A_1 \left(1 + \cos^2 \frac{2 \pi}{M} + \dots + \cos^2 \frac{(M-1)2 \pi}{M} \right) + \\
 & + A_2 \left(1 + \cos \frac{2 \pi}{M} \cos \frac{2 \cdot 2 \pi}{M} + \cos \frac{2 \cdot 2 \pi}{M} \cos \frac{4 \cdot 2 \pi}{M} + \dots + \cos \frac{(M-1)2 \pi}{M} \cos \frac{(M-1)2 \pi}{M} \right) \\
 & + \dots \\
 & + B_1 \left(\cos \frac{2 \pi}{M} \operatorname{sen} \frac{2 \pi}{M} + \dots + \cos \frac{(M-1)2 \pi}{M} \operatorname{sen} \frac{(M-1)2 \pi}{M} \right) \\
 & + \dots
 \end{aligned}$$

Mas, baseado nas seguintes fórmulas trigonométricas, teremos:

$$1 + \cos^2 \frac{2 \pi}{M} + \cos^2 \frac{4 \pi}{M} + \dots + \cos^2 \frac{2(M-1) \pi}{M} = \frac{1}{2} \pi M$$

$$1 + \cos \frac{2 \pi}{M} \cos \frac{2 \cdot 2 \pi}{M} + \cos \frac{2 \cdot 2 \pi}{M} \cos \frac{4 \cdot 2 \pi}{M} + \dots + \cos \frac{2(M-1) \pi}{M} \cos \frac{4(M-1) \pi}{M} = 0$$

$$\cos \frac{2 \pi}{M} \operatorname{sen} \frac{2 \pi}{M} + \dots + \cos \frac{2(M-1) \pi}{M} \operatorname{sen} \frac{2(M-1) \pi}{M} = 0$$

$$\therefore F_0 + F_1 \cos \frac{2 \pi}{M} + F_2 \cos \frac{2 \cdot 2 \pi}{M} + \dots + F_{M-1} \cos \frac{(M-1)2 \pi}{M} =$$

Procedendo da mesma maneira podemos obter as equações normais para os outros coeficientes e assim, podemos generalizar para o seguinte conjunto de valores: $\langle F \rangle$, A_1 , ..., A_n , B_1 , ..., B_n :

$$\langle F \rangle = \frac{1}{M} \sum_{K=0}^{M-1} F(t_K)$$

$$A_1 = \frac{2}{M} \sum_{K=0}^{M-1} F(t_K) \cos \frac{2K \pi}{M}$$

.....

$$A_n = \frac{2}{M} \sum_{K=0}^{M-1} F(t_K) \cos \frac{2K n \pi}{M}$$

$$B_1 = \frac{2}{M} \sum_{K=0}^{M-1} F(t_K) \operatorname{sen} \frac{2K \pi}{M}$$

.....

$$B_n = \frac{2}{M} \sum_{K=0}^{M-1} F(t_K) \operatorname{sen} \frac{2Kn \pi}{M}$$