

**Origin of Low-Frequency (Intraseasonal) Oscillations in the Tropical Atmosphere.
Part I: Basic Theory**

K.-M. LAU

Laboratory for Atmospheres, NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771

L. PENG

Universities Space Research Association, Columbia, MD 21044

(Manuscript received 12 March 1986, in final form 6 October 1986)

Thais Fujita

1. Introduction
2. Preliminaries
 - a) Observational background
 - b) Theoretical background
3. Two scenarios
 - a) Scenario I: Local Oscillating Heat Source
 - b) Scenario II: Internally Forced Heat Source
4. Model Description
 - a) Basic Formulation
 - b) Convective Heating Parameterization
5. Experiment for Scenario I
6. Experiments for Scenario II
7. Mechanism for Eastward Propagation
 - a) Analytic Solution to Switch-on Heating
 - b) Divergence field for E1 and E2
8. Mechanism for Slow Time Scales
 - a) Model Normal Modes
 - b) Normal Modes Modified by Internal Heating
9. Comparison with Traditional Wave-CISK Theory
10. Further Discussion
11. Conclusion

1. Introdução

Oscilação 40-50 dias.

- É o sinal de baixa frequência (intrasazonal) mais forte encontrado até agora.

1971-1972: Madden & Julian identificam células de circulação zonal de propagação para leste em escala global ao longo do equador

1975-1982: Oscilações nebulosas de quase-40 dias sobre as monções de verão do Leste da Ásia e Índia.

1980-1985: Descrições completas, baseadas em resultados da FGGE, autores identificaram que as oscilações de 40-50 dias são conectadas às características regionais sobre a Índia e o Sudeste da Ásia.

1985-1986: A natureza global da oscilação é revelada em estudos com séries de dados longas de vento e radiação. Inclusão:

- Oceano Índico e o oeste do Pacífico (convecção confinada)
- Características das monções
- Anomalias extratropicais do inverno
- El Niño/Oscilação Sul (devido à similaridade espacial e temporal das anomalias atmosféricas)

1987: O conhecimento observacional ultrapassou a compreensão teórica da oscilação de 40-50 dias. Apesar de existir diversas hipóteses, ainda falta uma teoria que possa explicar o fenômeno.

Baseadas em observações,
limitadas ao espaço e tempo.

1. Introdução

Oscilação 40-50 dias.

- É o sinal de baixa frequência (intrasazonal) mais forte encontrado até agora.

1971-1972: Madden & Julian identificam células de circulação zonal de propagação para leste em escala global ao longo do equador

1975-1982: Oscilações nebulosas de quase-40 dias sobre as monções de verão do Leste da Ásia e Índia.

1980-1985: Descrições completas, baseadas em resultados da FGGE, autores identificaram que as oscilações de 40-50 dias são conectadas às características regionais sobre a Índia e o Sudeste da Ásia.

1985-1986: A natureza global da oscilação é revelada em estudos com séries de dados longas de vento e radiação. Inclusão:

- Oceano Índico e o oeste do Pacífico (convecção confinada)
- Características das monções
- Anomalias extratropicais do inverno
- El Niño/Oscilação Sul (devido à similaridade espacial e temporal das anomalias atmosféricas)

1987: O conhecimento observacional ultrapassou a compreensão teórica da oscilação de 40-50 dias. Apesar de existir diversas hipóteses, ainda falta uma teoria que possa explicar o fenômeno.

Baseadas em observações, limitadas ao espaço e tempo.

Apresentação de uma teoria preliminar da origem da oscilação intrasazonal na atmosfera tropical.

3. Dois cenários

A origem da aparente propagação ao leste da fonte de aquecimento e a sua circulação associada e a forte modulação espacial da fonte do aquecimento não foram explicadas.

3. Dois cenários

A origem da aparente propagação ao leste da fonte de aquecimento e a sua circulação associada e a forte modulação espacial da fonte do aquecimento não foram explicadas.

- Proposta de dois cenários para a origem da propagação ao leste associada à oscilação dos 40-50 dias:
 - Cenário 1: Fonte de calor oscilante local.
Convecção associada à oscilação de 40-50 dias é majoritariamente confinada no oceano Índico e ao oeste do Pacífico em razão da fonte de aquecimento ser induzida pelos processos locais.
Os distúrbios das ondas transientes geradas pelo aquecimento propagarão em direção oposta à fonte sob a forma de ondas equatoriais presas.
É que por algum processo, potencialmente a ressonância com ondas Kelvin, os modos da onda induziriam uma propagação à leste.
 - Cenário 2: Fonte de calor forçada internamente

3. Dois cenários

A origem da aparente propagação ao leste da fonte de aquecimento e a sua circulação associada e a forte modulação espacial da fonte do aquecimento não foram explicadas.

- Proposta de dois cenários para a origem da propagação ao leste associada à oscilação dos 40-50 dias:
 - **Cenário 1: Fonte de calor oscilante local.**
Convecção associada à oscilação de 40-50 dias é majoritariamente confinada no oceano Índico e ao oeste do Pacífico em razão da fonte de aquecimento ser induzida pelos processos locais.
Os distúrbios das ondas transientes geradas pelo aquecimento propagarão em direção oposta à fonte sob a forma de ondas equatoriais presas.
E que por algum processo, potencialmente a ressonância com ondas Kelvin, os modos as onda induziriam uma propagação à leste.
 - **Cenário 2: Fonte de calor forçada internamente**
Uma perturbação inicial gerada perto do equador se dispersará para longe da região de origem, a leste pelas ondas Kelvin e a oeste pelas ondas Rossby. Na ausência de aquecimento interno, essas ondas se dissipam.
No entanto, a presença de um mecanismo de aquecimento interno, como instabilidade condicional do segundo tipo (CISK, *Conditional Instability of the Second Kind*), pode manter ou até amplificar esses distúrbios para longe da região de origem.
As ondas Kelvin tornam-se preferencialmente aprimoradas, e o distúrbio se propaga para o leste. (onda divergente)

3. Dois cenários

A origem da aparente propagação ao leste da fonte de aquecimento e a sua circulação associada e a forte modulação espacial da fonte do aquecimento não foram explicadas.

- Proposta de dois cenários para a origem da propagação ao leste associada à oscilação dos 40-50 dias:

- **Cenário 1: Fonte de calor oscilante local.**

Convecção associada à oscilação de 40-50 dias é majoritariamente confinada no oceano Índico e ao oeste do Pacífico em razão da fonte de aquecimento ser induzida pelos processos locais.

Os distúrbios das ondas transientes geradas pelo aquecimento propagarão em direção oposta à fonte sob a forma de ondas equatoriais presas.

E que por algum processo, potencialmente a ressonância com ondas Kelvin, os modos as onda induziriam uma propagação à leste.

- **Cenário 2: Fonte de calor forçada internamente**

Uma perturbação inicial gerada perto do equador se dispersará para longe da região de origem, a leste pelas ondas Kelvin e a oeste pelas ondas Rossby. Na ausência de aquecimento interno, essas ondas se dissipam.

No entanto, a presença de um mecanismo de aquecimento interno, como instabilidade condicional do segundo tipo (CISK, *Conditional Instability of the Second Kind*), pode manter ou até amplificar esses distúrbios para longe da região de origem.

As ondas Kelvin tornam-se preferencialmente aprimoradas, e o distúrbio se propaga para o leste. (onda divergente)

Onde as ondas Kelvin conseguem energia para manter um movimento perpétuo?

Quando o distúrbio para o leste passa sobre a água quente, espera-se que o CISK amplifique devido ao aumento da oferta de umidade da superfície do oceano. Da mesma forma, em água fria, sua amplitude diminuirá devido à redução do suprimento de umidade. Como uma possibilidade de manter o processo indefinidamente com a energia suficiente até o próximo ciclo.

Obs.: A origem da oscilação é um resultado da interação entre a dinâmica e a convecção e não requer a física complexa das monções.

Teste: excluir os efeitos das monções como os contrastes térmicos da continente-oceano, umidade do solo, etc., e se concentrar nas condições de contorno somente para o oceano.

4. Experimentos do cenário 1: Fonte de calor oscilante local

A fonte de calor oscilatório local do período de 40 dias pode surgir como resultado da interação das monções. Uma experiência é projetada para estudar a resposta transitória da atmosfera tropical a uma dada fonte de calor oscilatório.

- Lau and Chan (1985) identificaram que uma fonte de calor oscilatória surge em formas de dipolo leste-oeste com a intensidade máxima sobre a região do Pacífico no oeste da Indonésia.
- Padrão simétrico ao equador.
- Período da oscilação é de 44 dias, com início no dia 0.

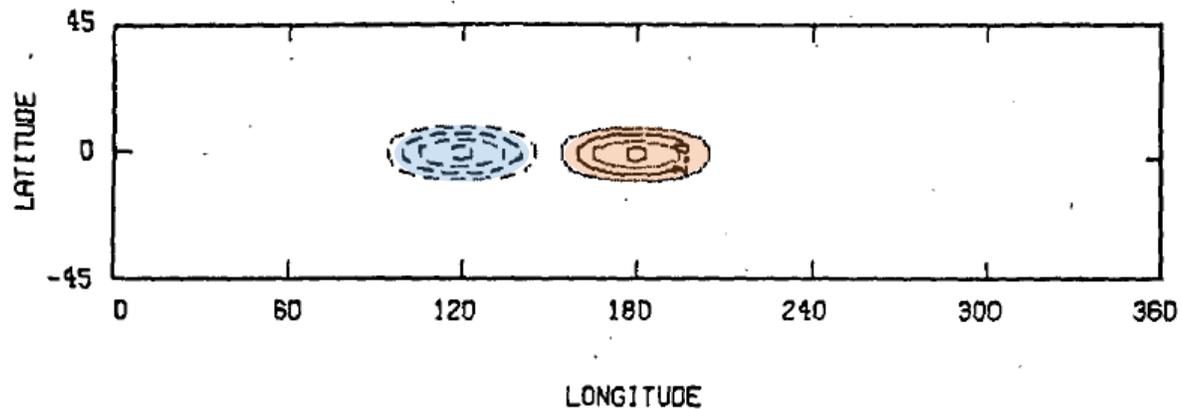


FIG. 2. Spatial structure of the oscillating dipole heat source with a 44-day period at Day 77 when positive (negative) heating is strongest over 180° (120°) longitude. Contour starts at 1°C for every 2°C.

5. Experimentos do cenário 1: Fonte de calor oscilante local

A fonte de calor oscilatório local do período de 40 dias pode surgir como resultado da interação das monções. Uma experiência é projetada para estudar a resposta transitória da atmosfera tropical a uma dada fonte de calor oscilatório.

- Lau and Chan (1985) identificaram que uma fonte de calor oscilatória surge em formas de dipolo leste-oeste com a intensidade máxima sobre a região do Pacífico no oeste da Indonésia.
- Padrão simétrico ao equador.
- Período da oscilação é de 44 dias, com início no dia 0.
- Pode-se observar que a resposta mais forte está confinada à fonte da região e toda a atmosfera tropical se ajusta ao aquecimento em questão de alguns dias.
- Tanto a expansão leste quanto a oeste da região de origem podem ser discernidas, mas as amplitudes são bastante fracas.

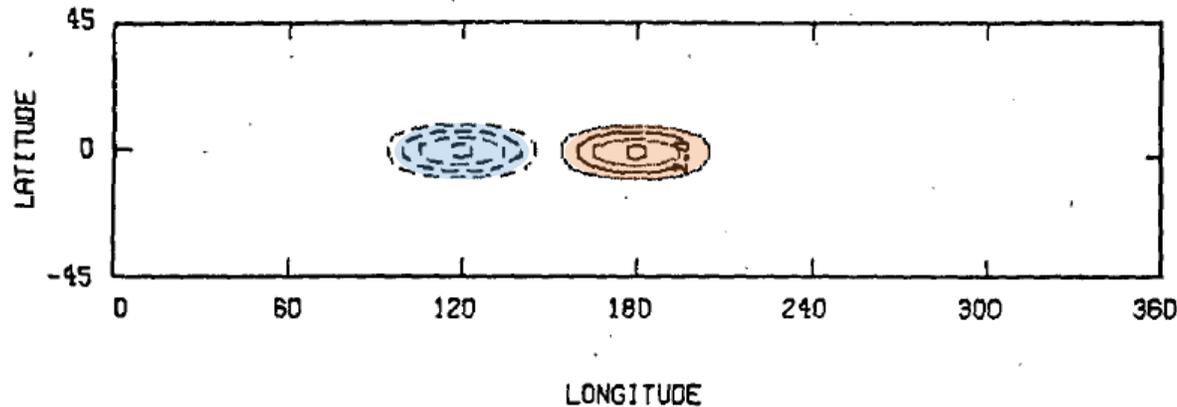


FIG. 2. Spatial structure of the oscillating dipole heat source with a 44-day period at Day 77 when positive (negative) heating is strongest over 180° (120°) longitude. Contour starts at 1°C for every 2°C.

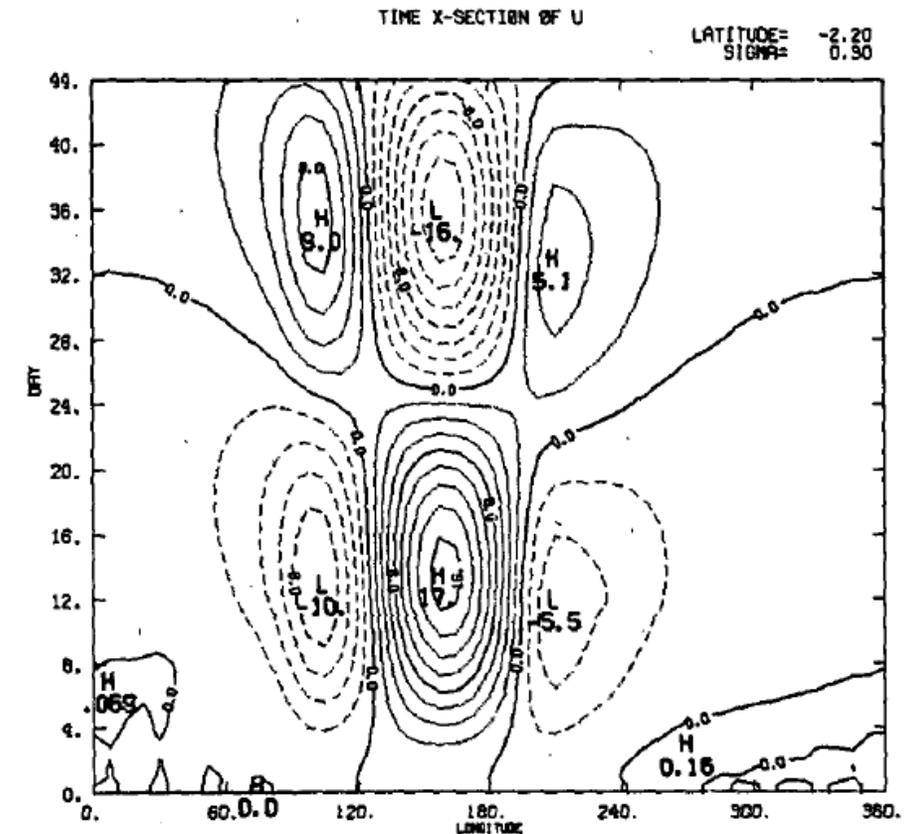


FIG. 3. Time-longitude section of 300 mb zonal wind along the equator for the oscillating dipole heat source shown in Fig. 1. Unit in $m s^{-1}$.

5. Experimentos do cenário 1: Fonte de calor oscilante local

A fonte de calor oscilatório local do período de 40 dias pode surgir como resultado da interação das monções. Uma experiência é projetada para estudar a resposta transitória da atmosfera tropical a uma dada fonte de calor oscilatório.

- Lau and Chan (1985) identificaram que uma fonte de calor oscilatória surge em formas de dipole leste-oeste com a intensidade máxima sobre a região do Pacífico no oeste da Indonésia.
- Padrão simétrico ao equador.
- Período da oscilação é de 44 dias, com início no dia 0.
- Pode-se observar que a resposta mais forte está confinada à fonte da região e toda a atmosfera tropical se ajusta ao aquecimento em questão de alguns dias.
- Tanto a expansão leste quanto a oeste da região de origem podem ser discernidas, mas as amplitudes são bastante fracas.

- A amplitude da resposta é reduzida, indicando que o distúrbio é confinado próximo ao equador.
- A extensão a leste não é aparente, e as perturbações de vento mostram uma propagação predominante das ondas de Rossby.

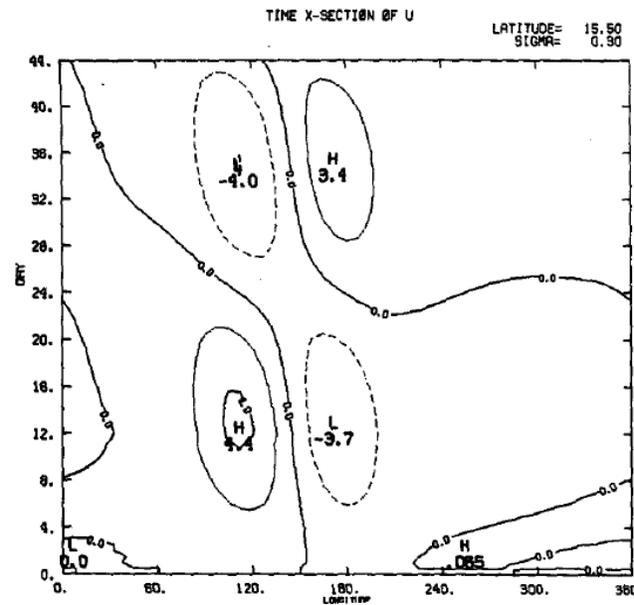


FIG. 4. As in Fig. 3 except for 300 mb zonal wind along 15°N.

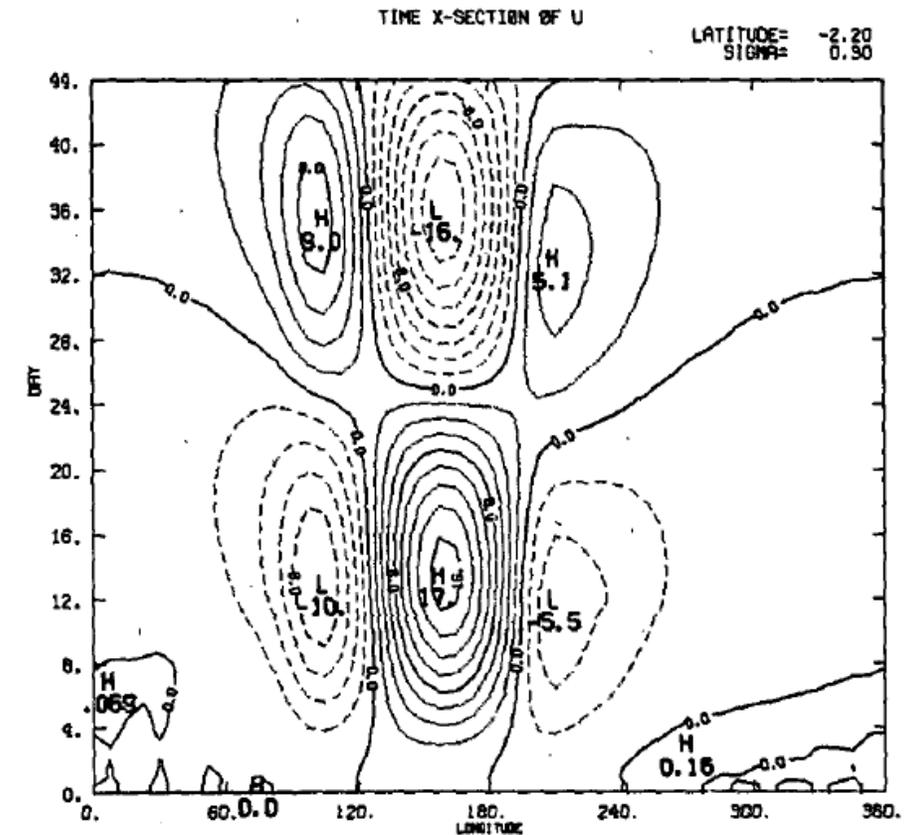


FIG. 3. Time-longitude section of 300 mb zonal wind along the equator for the oscillating dipole heat source shown in Fig. 1. Unit in $m s^{-1}$.

5. Experimentos do cenário 1: Fonte de calor oscilante local

A fonte de calor oscilatório local do período de 40 dias pode surgir como resultado da interação das monções. Uma experiência é projetada para estudar a resposta transitória da atmosfera tropical a uma dada fonte de calor oscilatório.

- Lau and Chan (1985) identificaram que uma fonte de calor oscilatória surge em formas de dipole leste-oeste com a intensidade máxima sobre a região do Pacífico no oeste da Indonésia.
- Padrão simétrico ao equador.
- Período da oscilação é de 44 dias, com início no dia 0.
- Pode-se observar que a resposta mais forte está confinada à fonte da região e toda a atmosfera tropical se ajusta ao aquecimento em questão de alguns dias.
- Tanto a expansão leste quanto a oeste da região de origem podem ser discernidas, mas as amplitudes são bastante fracas.
- Os resultados indicam que na ausência de um fluxo básico, toda a atmosfera tropical oscila de forma coerente com a fonte de aquecimento.
- Discordância: o modelo indica expansão tanto para leste quanto oeste da perturbação dos ventos, porém, o que se vê na realidade é a propagação para leste.
- Outro ponto fraco do cenário é assumir que a forçante é estacionária, excluindo os efeitos dinâmicos associados com uma fonte de aquecimento móvel.

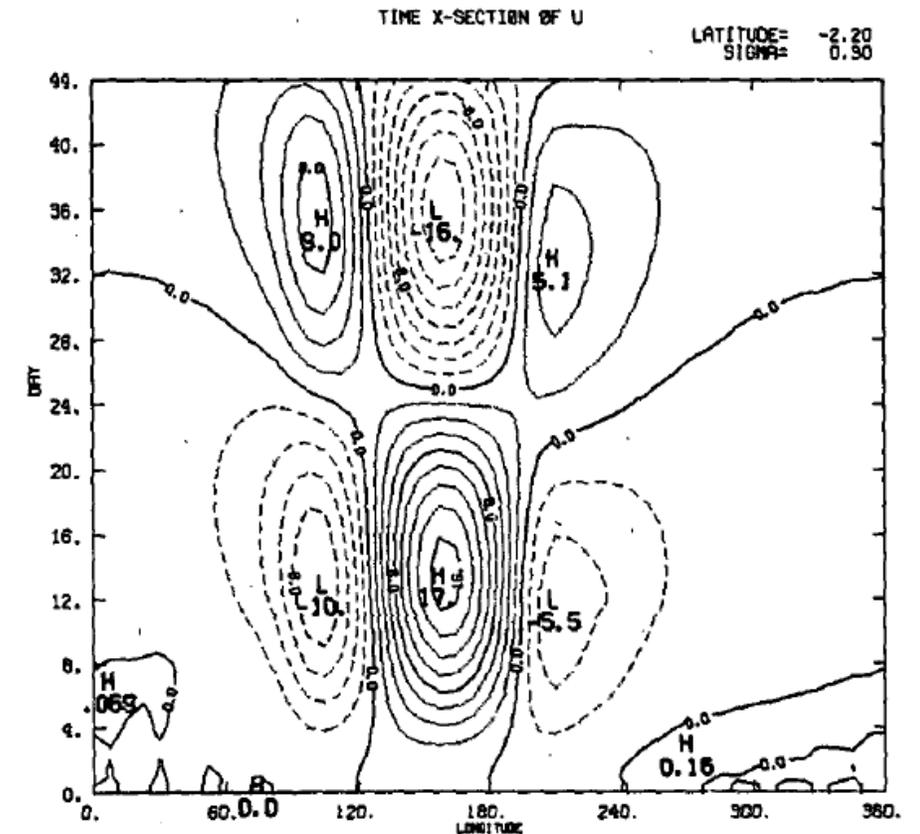


FIG. 3. Time-longitude section of 300 mb zonal wind along the equator for the oscillating dipole heat source shown in Fig. 1. Unit in $m s^{-1}$.

6. Experimentos do cenário 2: Fonte de calor forçada internamente

Três experimentos são projetados para esse cenário.

- E1: é uma simulação de controle na qual a atmosfera é permitida relaxar, sem aquecimento interno de uma condição inicial específica.
- E2: é permitido relaxamento da mesma condição inicial, mas com aquecimento interno tipo CISK.
- E3: esses mesmos procedimentos são repetidos, incluindo aquecimento interno e um efeito na distribuição leste-oeste da SST.

6. Experimentos do cenário 2: Fonte de calor forçada internamente

Três experimentos são projetados para esse cenário.

- E1: é uma simulação de controle na qual a atmosfera é permitida relaxar, sem aquecimento interno de uma condição inicial específica.
 - E2: é permitido relaxamento da mesma condição inicial, mas com aquecimento interno tipo CISK.
 - E3: esses mesmos procedimentos são repetidos, incluindo aquecimento interno e um efeito na distribuição leste-oeste da SST.
-
- O processo de relaxamento se inicia pela remoção da fonte de aquecimento externa no Dia 0.
 - A dispersão e deterioração do pacote inicial de ondas para longe da região de origem é claramente vista.
 - Na ausência de qualquer aquecimento interno, os distúrbios são amortecidos e reduzidos a uma amplitude insignificante em cerca de 10 dias.

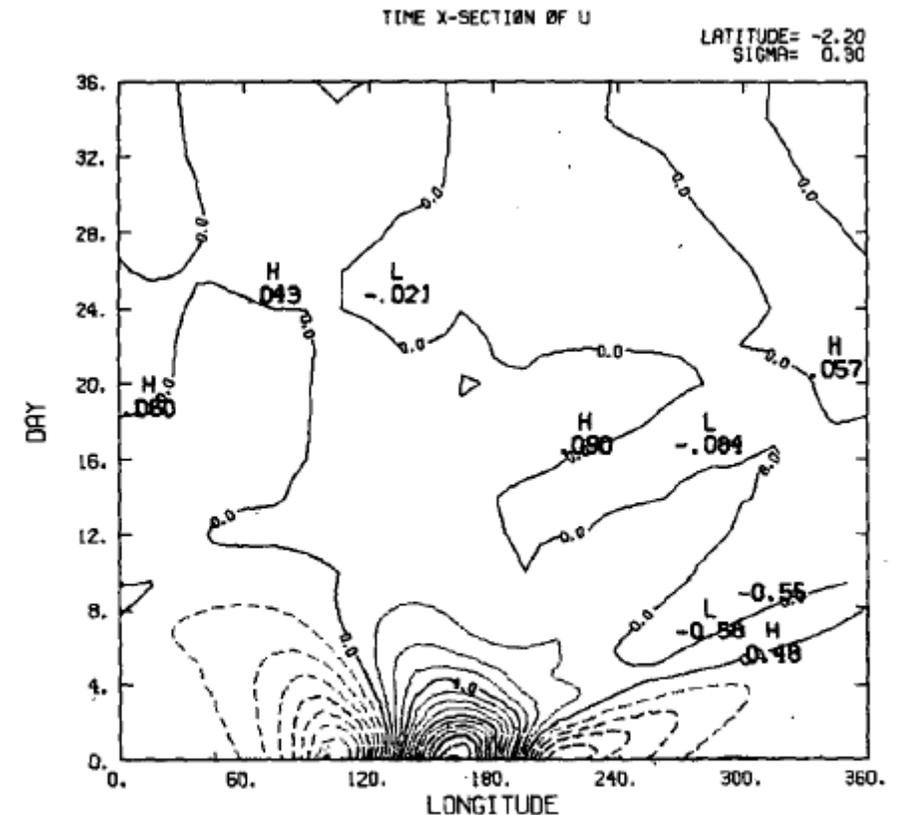


FIG. 7. Time-longitude section of 300 mb zonal wind (m s^{-1}) along the equator for the first 36 days for free dispersion (E1).

6. Experimentos do cenário 2: Fonte de calor forçada internamente

Três experimentos são projetados para esse cenário.

- E1: é uma simulação de controle na qual a atmosfera é permitida relaxar, sem aquecimento interno de uma condição inicial específica.
 - E2: é permitido relaxamento da mesma condição inicial, mas com aquecimento interno tipo CISK.
 - E3: esses mesmos procedimentos são repetidos, incluindo aquecimento interno e um efeito na distribuição leste-oeste da SST.
-
- O processo de relaxamento se inicia pela remoção da fonte de aquecimento externa no Dia 0.

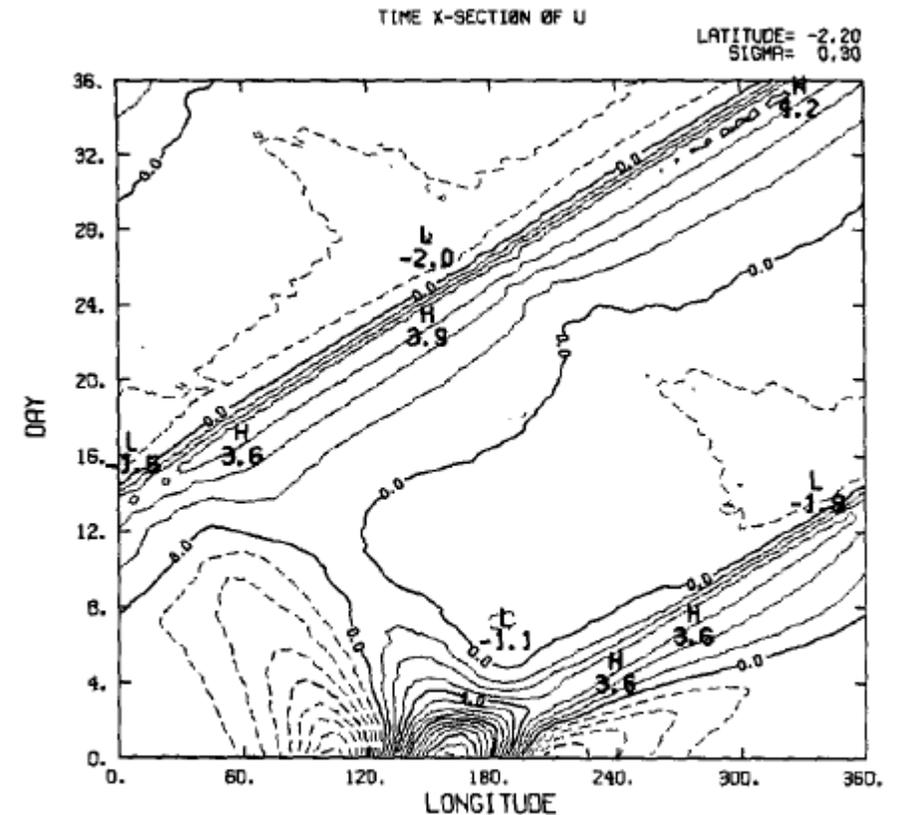


FIG. 8. As in Fig. 7 except with CISK-like internal heating (E2). The same initial conditions are used as in E1.

6. Experimentos do cenário 2: Fonte de calor forçada internamente

Três experimentos são projetados para esse cenário.

- E1: é uma simulação de controle na qual a atmosfera é permitida relaxar, sem aquecimento interno de uma condição inicial específica.
- E2: é permitido relaxamento da mesma condição inicial, mas com aquecimento interno tipo CISK.
- E3: esses mesmos procedimentos são repetidos, incluindo aquecimento interno e um efeito na distribuição leste-oeste da SST.

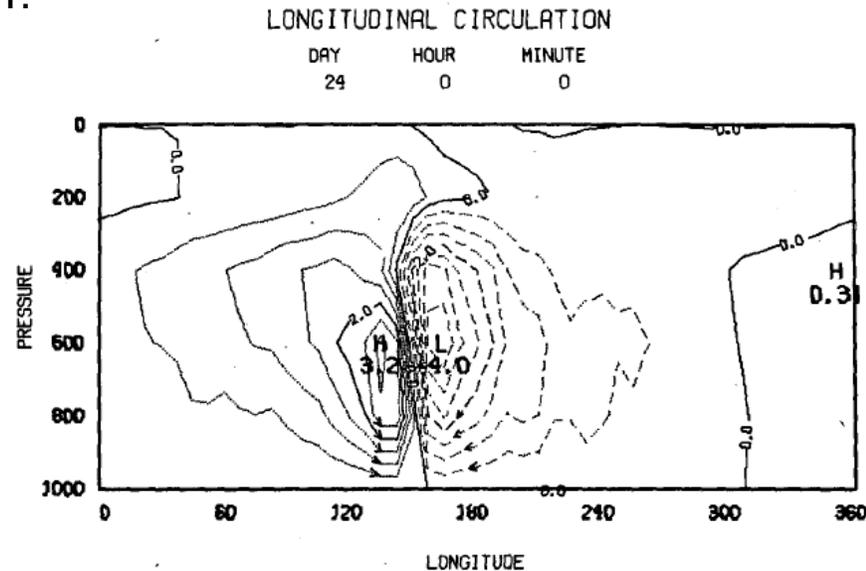


FIG. 10. As in Fig. 6 except for zonal mass circulation along the equator for E2 at Day 24.

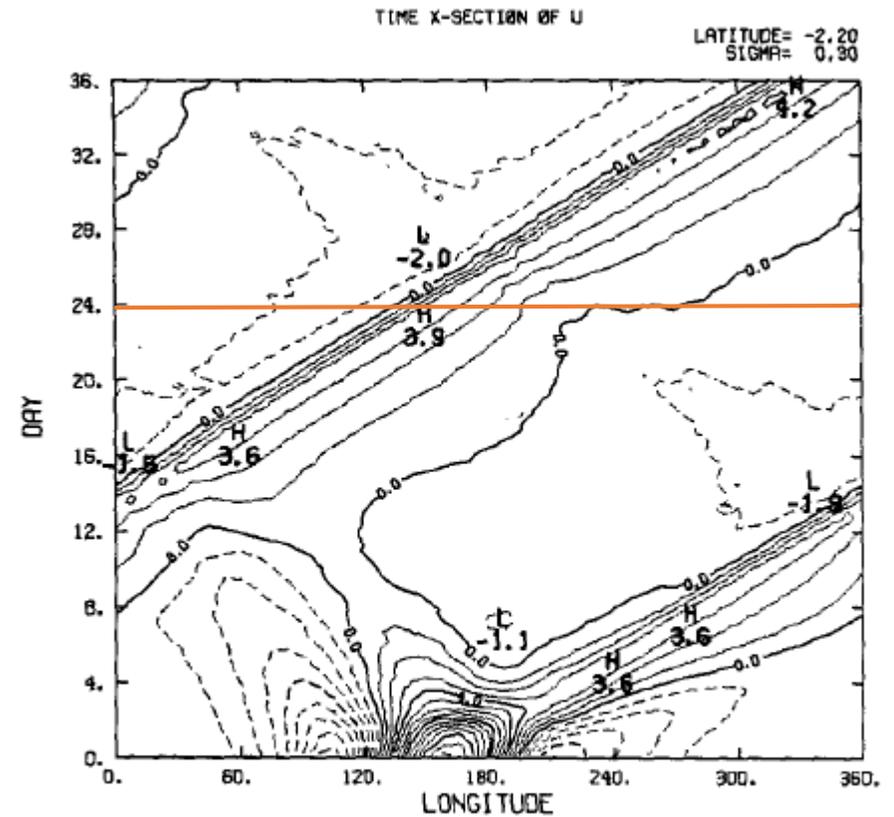


FIG. 8. As in Fig. 7 except with CISK-like internal heating (E2). The same initial conditions are used as in E1.

Escala horizontal e vertical da circulação impulsionada pela fonte de calor:

- A “updraught” convectiva no centro do aquecimento é substancial até cerca de 300 mb.
- Este ramo leste parece ser mais forte que o ramo oeste.

Essas assimetrias leste-oeste na circulação vertical são mantidas ao longo de sua jornada ao redor do globo.

6. Experimentos do cenário 2: Fonte de calor forçada internamente

Três experimentos são projetados para esse cenário.

- E1: é uma simulação de controle na qual a atmosfera é permitida relaxar, sem aquecimento interno de uma condição inicial específica.
- E2: é permitido relaxamento da mesma condição inicial, mas com aquecimento interno tipo CISK.
- E3: esses mesmos procedimentos são repetidos, incluindo aquecimento interno e um efeito na distribuição leste-oeste da SST.

- uma distribuição de número de onda-1 na temperatura média de 900mb é sobreposta à temperatura média global para imitar o efeito da variação leste-oeste do SST no aquecimento por convecção. Com amplitude de 8°C com o máximo em 270° e mínimo em 90° .

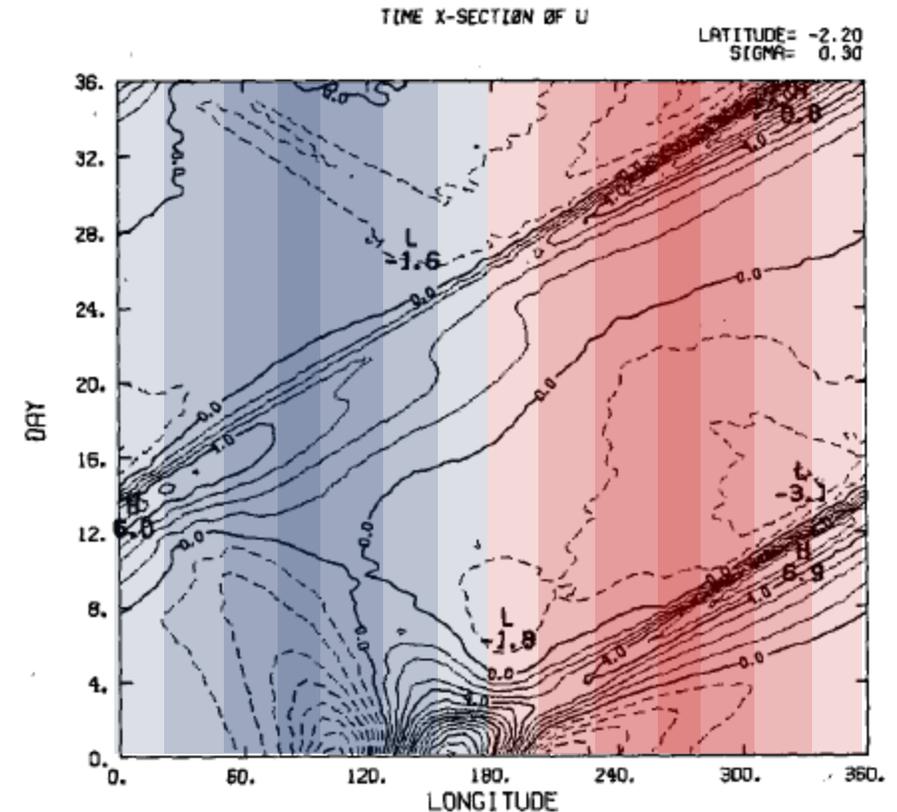


FIG. 11. Time-longitude section along the equator of 300 mb zonal wind (m s^{-1}) for E3, i.e., CISK-like internal heating with wavenumber-1 sea surface temperature distribution.

6. Experimentos do cenário 2: Fonte de calor forçada internamente

Três experimentos são projetados para esse cenário.

- E1: é uma simulação de controle na qual a atmosfera é permitida relaxar, sem aquecimento interno de uma condição inicial específica.
 - E2: é permitido relaxamento da mesma condição inicial, mas com aquecimento interno tipo CISK.
 - E3: esses mesmos procedimentos são repetidos, incluindo aquecimento interno e um efeito na distribuição leste-oeste da SST.
-
- uma distribuição de número de onda-1 na temperatura média de 900mb é sobreposta à temperatura média global para imitar o efeito da variação leste-oeste do SST no aquecimento por convecção. Com amplitude de 8°C com o máximo em 270° e mínimo em 90° .
 - a amplitude da perturbação de propagação leste-oeste é fortemente modulada pelo efeito SST.
 - no setor quente, a resposta induzida pelo CISK é mais pronunciada.

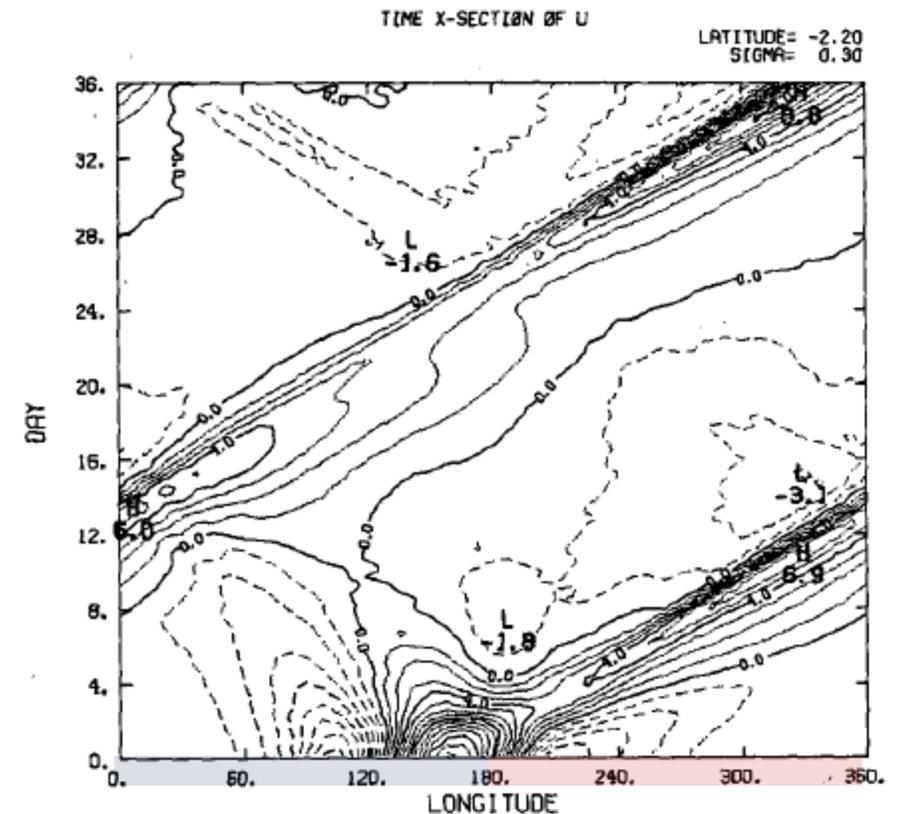


FIG. 11. Time-longitude section along the equator of 300 mb zonal wind (m s^{-1}) for E3, i.e., CISK-like internal heating with wavenumber-1 sea surface temperature distribution.

6. Experimentos do cenário 2: Fonte de calor forçada internamente

Três experimentos são projetados para esse cenário.

- E1: é uma simulação de controle na qual a atmosfera é permitida relaxar, sem aquecimento interno de uma condição inicial específica.
- E2: é permitido relaxamento da mesma condição inicial, mas com aquecimento interno tipo CISK.
- E3: esses mesmos procedimentos são repetidos, incluindo aquecimento interno e um efeito na distribuição leste-oeste da SST.

- uma distribuição de número de onda-1 na temperatura média de 900mb é sobreposta à temperatura média global para imitar o efeito da variação leste-oeste do SST no aquecimento por convecção. Com amplitude se 8°C com o máximo em 270° e mínimo em 90° .
- a amplitude da perturbação de propagação leste-oeste é fortemente modulada pelo efeito SST.
- no setor quente, a resposta induzida pelo CISK é mais pronunciada.
- Há um atraso de cerca de 3-4 dias entre a passagem do ramo crescente da perturbação sobre a água mais quente. Sobre o setor frio, uma redução correspondente também é observada.

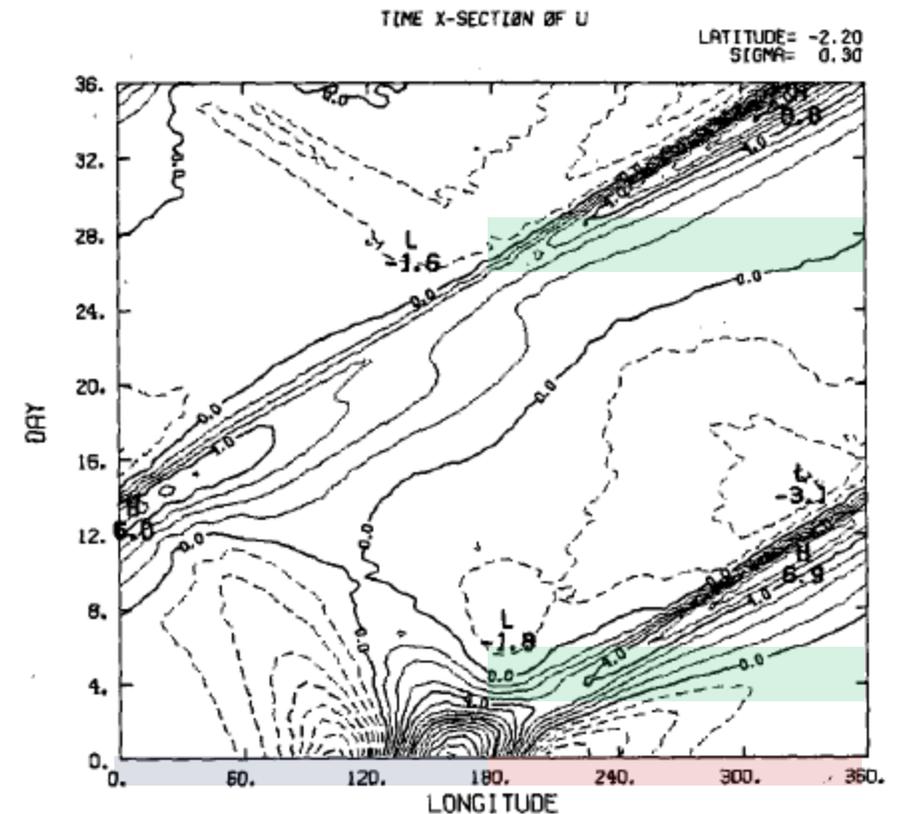


FIG. 11. Time-longitude section along the equator of 300 mb zonal wind (m s^{-1}) for E3, i.e., CISK-like internal heating with wavenumber-1 sea surface temperature distribution.

6. Experimentos do cenário 2: Fonte de calor forçada internamente

Três experimentos são projetados para esse cenário.

- E1: é uma simulação de controle na qual a atmosfera é permitida relaxar, sem aquecimento interno de uma condição inicial específica.
- E2: é permitido relaxamento da mesma condição inicial, mas com aquecimento interno tipo CISK.
- E3: esses mesmos procedimentos são repetidos, incluindo aquecimento interno e um efeito na distribuição leste-oeste da SST.

No dia 12, a subida vertical sobre a região de forte convecção perto da borda leste do setor quente é muito concentrada e intensa.

- inclinação vertical da fase no centro da perturbação é para o oeste (parece ser um recurso consistente para todos os distúrbios de propagação para o modelo do leste nas experiências).

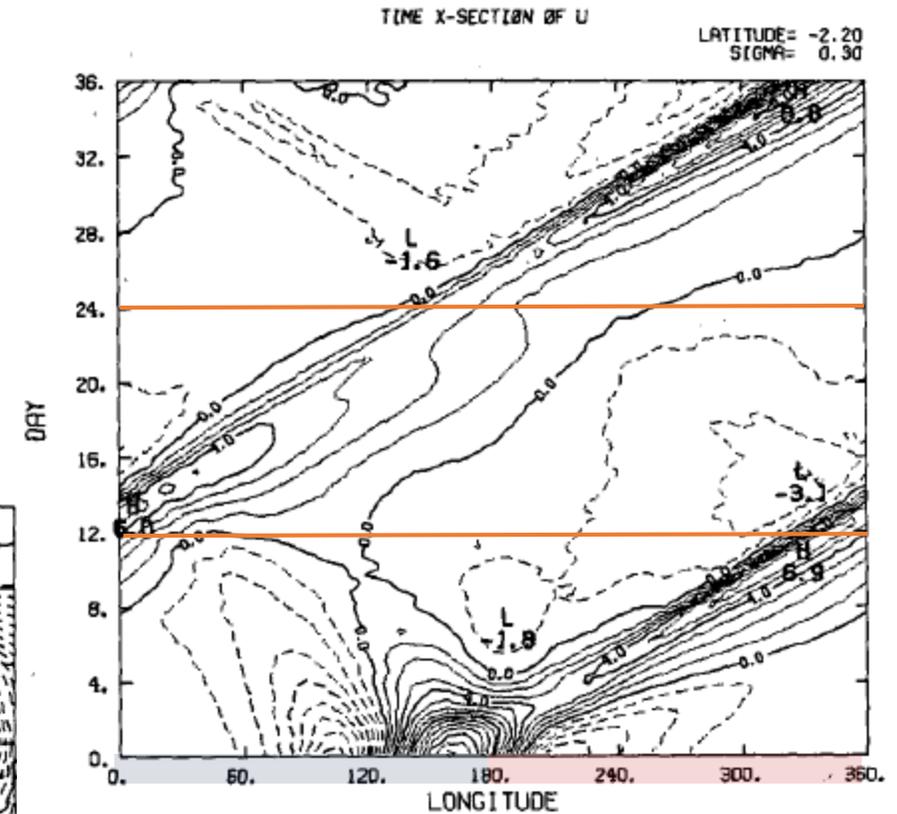
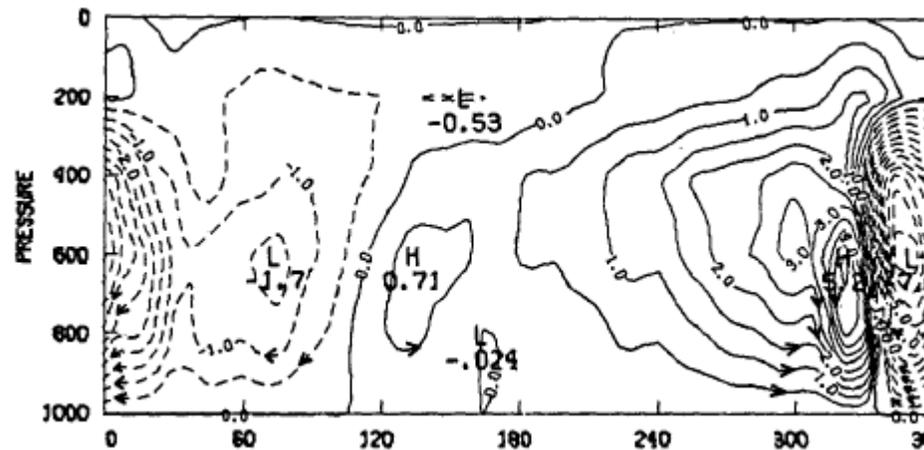


FIG. 11. Time-longitude section along the equator of 300 mb zonal wind (m s^{-1}) for E3, i.e., CISK-like internal heating with wavenumber-1 sea surface temperature distribution.

6. Experimentos do cenário 2: Fonte de calor forçada internamente

Três experimentos são projetados para esse cenário.

- E1: é uma simulação de controle na qual a atmosfera é permitida relaxar, sem aquecimento interno de uma condição inicial específica.
- E2: é permitido relaxamento da mesma condição inicial, mas com aquecimento interno tipo CISK.
- E3: esses mesmos procedimentos são repetidos, incluindo aquecimento interno e um efeito na distribuição leste-oeste da SST.

No dia 24, o ramo crescente da onda encontra-se na extremidade do setor frio.

- Como resultado da redução da umidade disponível no oceano frio, a intensidade da perturbação é substancialmente reduzida. No entanto, a estrutura espacial da circulação zonal é semelhante à do dia 12, exceto por um ligeiro aumento na inclinação vertical para o oeste.

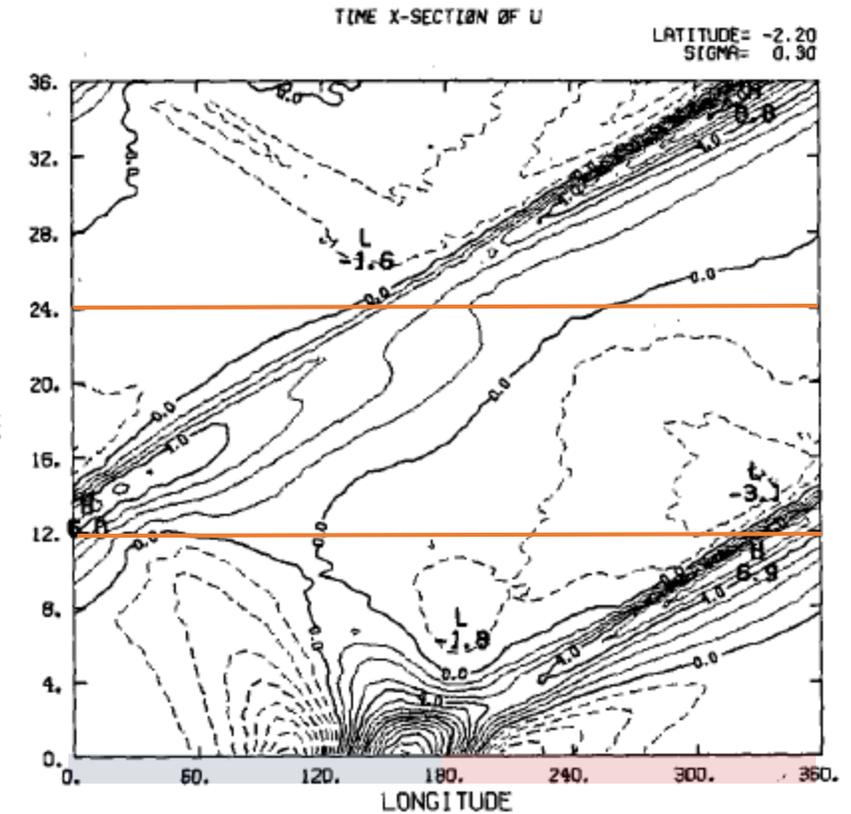
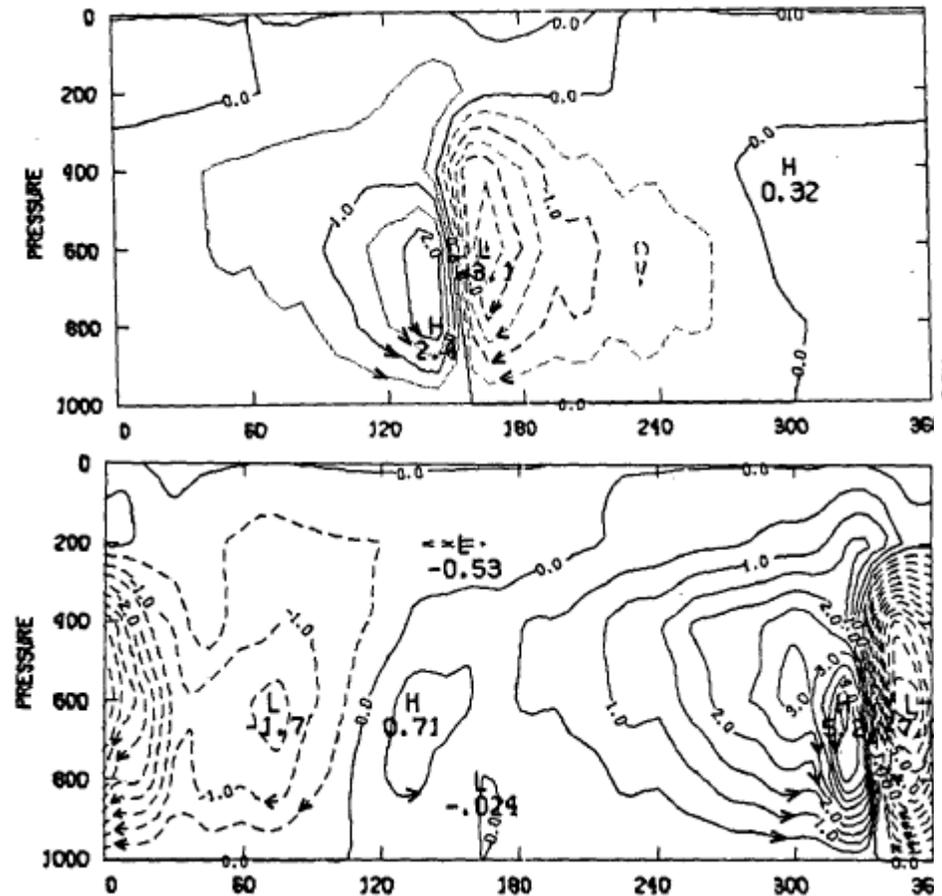


FIG. 11. Time-longitude section along the equator of 300 mb zonal wind (m s^{-1}) for E3, i.e., CISK-like internal heating with wavenumber-1 sea surface temperature distribution.

6. Experimentos do cenário 2: Fonte de calor forçada internamente

Três experimentos são projetados para esse cenário.

- E1: é uma simulação de controle na qual a atmosfera é permitida relaxar, sem aquecimento interno de uma condição inicial específica.
- E2: é permitido relaxamento da mesma condição inicial, mas com aquecimento interno tipo CISK.
- E3: esses mesmos procedimentos são repetidos, incluindo aquecimento interno e um efeito na distribuição leste-oeste da SST.

Em resumo, a propagação para o leste parece ser bem simulada pelos efeitos do CISK na dispersão das ondas perto do equador. A modulação da intensidade da perturbação pelos efeitos SST idealizados parece ter capturado algumas características da modulação de amplitude observada.

O principal problema é a fase acelerada da propagação, enquanto a velocidade de fase observada da oscilação de baixa frequência mais dominante está na faixa de 5 a 10 m/s, os distúrbios do modelo se propagam com velocidade cerca de um fator dois mais rápido.

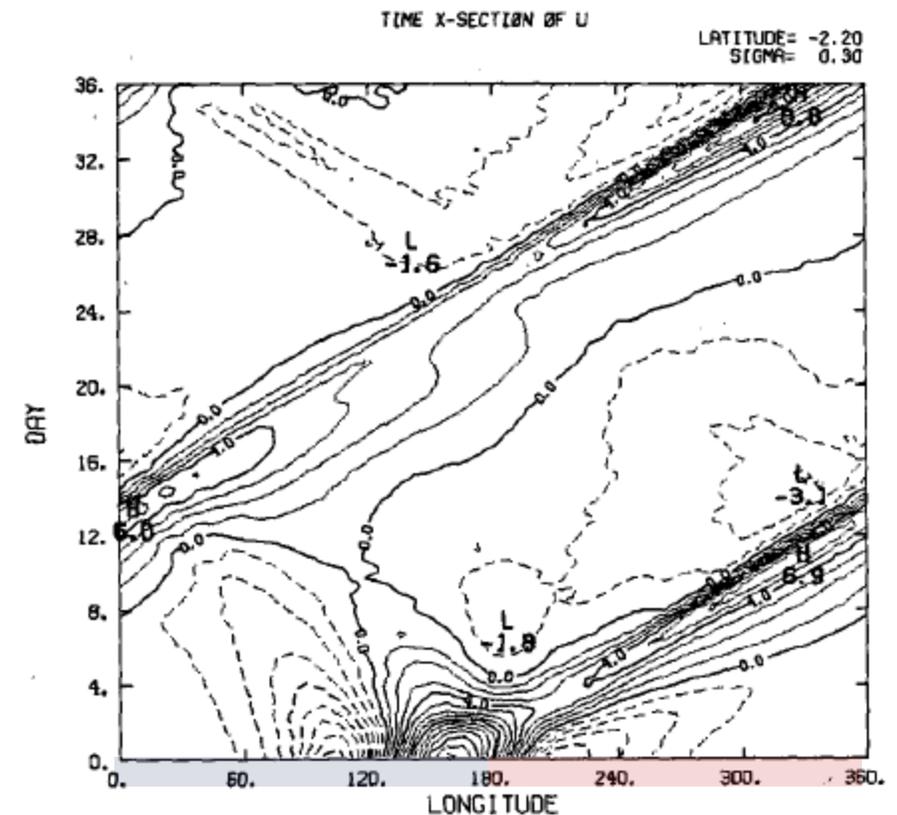


FIG. 11. Time-longitude section along the equator of 300 mb zonal wind (m s^{-1}) for E3, i.e., CISK-like internal heating with wavenumber-1 sea surface temperature distribution.

7. Mecanismos da propagação à leste

Observou-se que a resposta da onda de Rossby é suprimida em comparação com a resposta em estado estacionário. Como a onda Kelvin é composta exclusivamente por vento divergente, é possível que a convergência de baixo nível associada seja maior que uma onda de Rossby, que é amplamente rotacional.

A divergência devido à onda simétrica de Rossby tem máximos fracos afastados do equador e amplitude muito pequena ao longo do equador. Portanto, se o distúrbio inicial estiver localizado próximo ao equador, a divergência devido à onda Kelvin predominará.

Na presença das ondas CISK, os efeitos acima se combinam dando aprimoramento seletivo da onda Kelvin. Como a fonte de calor se move para o mar junto com a convergência da onda Kelvin, ela excita continuamente as novas frentes da onda Kelvin a leste.

7. Mecanismos da propagação à leste

Observou-se que a resposta da onda de Rossby é suprimida em comparação com a resposta em estado estacionário. Como a onda Kelvin é composta exclusivamente por vento divergente, é possível que a convergência de baixo nível associada seja maior que uma onda de Rossby, que é amplamente rotacional.

A divergência devido à onda simétrica de Rossby tem máximos fracos afastados do equador e amplitude muito pequena ao longo do equador. Portanto, se o distúrbio inicial estiver localizado próximo ao equador, a divergência devido à onda Kelvin predominará.

Na presença das ondas CISK, os efeitos acima se combinam dando aprimoramento seletivo da onda Kelvin. Como a fonte de calor se move para o mar junto com a convergência da onda Kelvin, ela excita continuamente as novas frentes da onda Kelvin a leste.

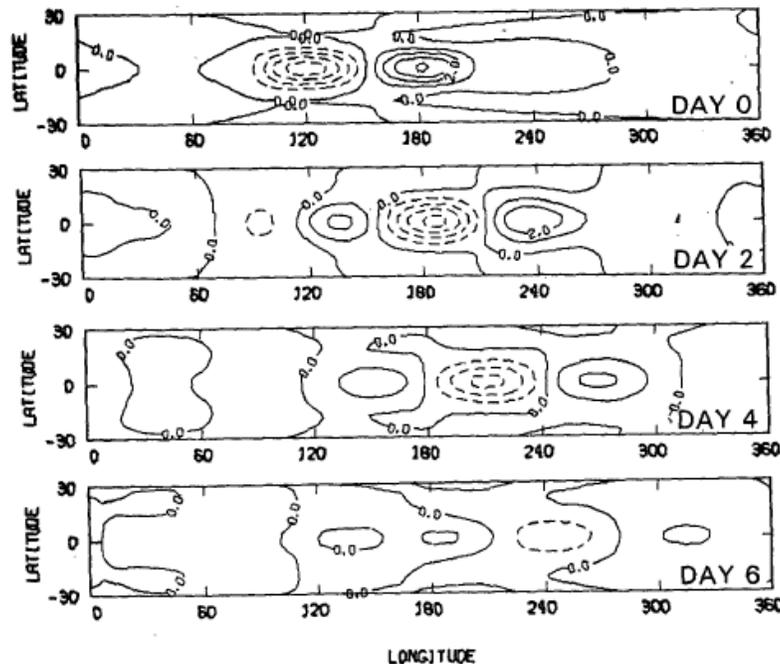


FIG. 16. Instantaneous low-level convergence at Day 0 through Day 6 at 2-day intervals for E1. Contour interval is $2.5 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$.

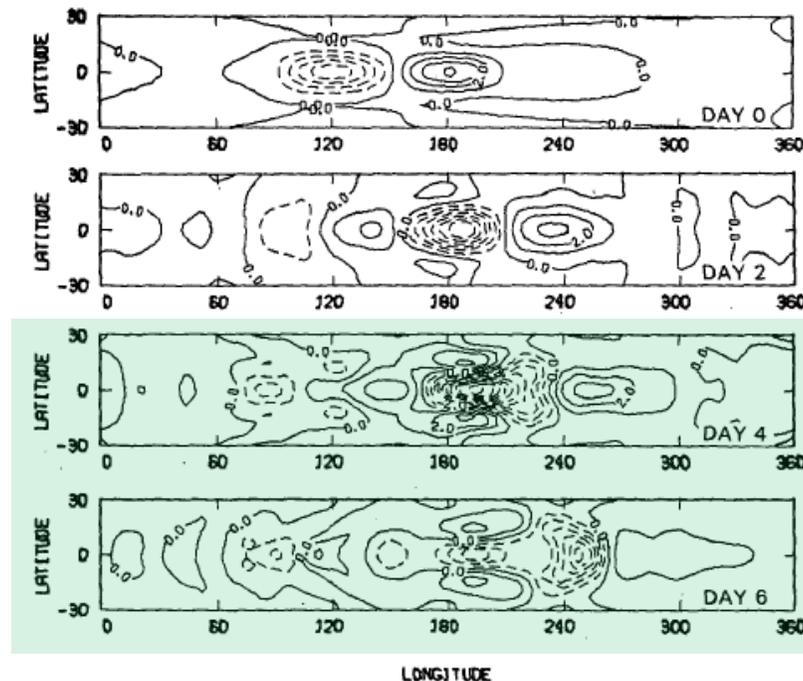


FIG. 17. As in Fig. 15 except for E2.

Dia 2, já é possível identificar os efeitos do CISK, que fica mais evidente no Dia 4.

Durante o equilíbrio entre os dias 2 e 6, a velocidade de propagação para o leste é reduzida.

No dia 6, o ajuste está essencialmente completo e um novo padrão de convergência de baixo nível emerge para o leste, enquanto a divergência para o oeste é muito reduzida.

8. Mecanismos para escalas de tempo lenta

Os principais problemas com os resultados em E2 e E3 é que o distúrbio do modelo se propaga cerca de duas vezes o observado.

Embora se observe que, devido à falta de um processo úmido realístico, é improvável que a velocidade de fase observada seja simulada usando a forma atual do modelo. Mas é instrutivo ver por que e como a perturbação interativa do modelo seleciona sua estrutura preferida e velocidade de propagação:

- É possível gerar velocidades de fase muito lentas, desde que o aquecimento tenha um componente grande em níveis baixos.
- Na atmosfera real, esse aquecimento pode advir da evaporação da superfície ou dos efeitos da camada de limite.

9. Comparação com a teoria tradicional das ondas CISK

Pode-se observar que o distúrbio inicial é dominado por ondas de escala planetária (número de onda 1 a 4), com maiores amplitudes nos números de onda 2 e 3.

Como resultado do aquecimento CISK somente positivo, há uma redistribuição notável de energia no domínio do número de onda, com forte redução nos números de onda 2 a 3 até o Dia 12 e um aumento de amplitudes em outros números de onda que não estão presentes no inicial perturbação.

POSITIVE-ONLY HEATING

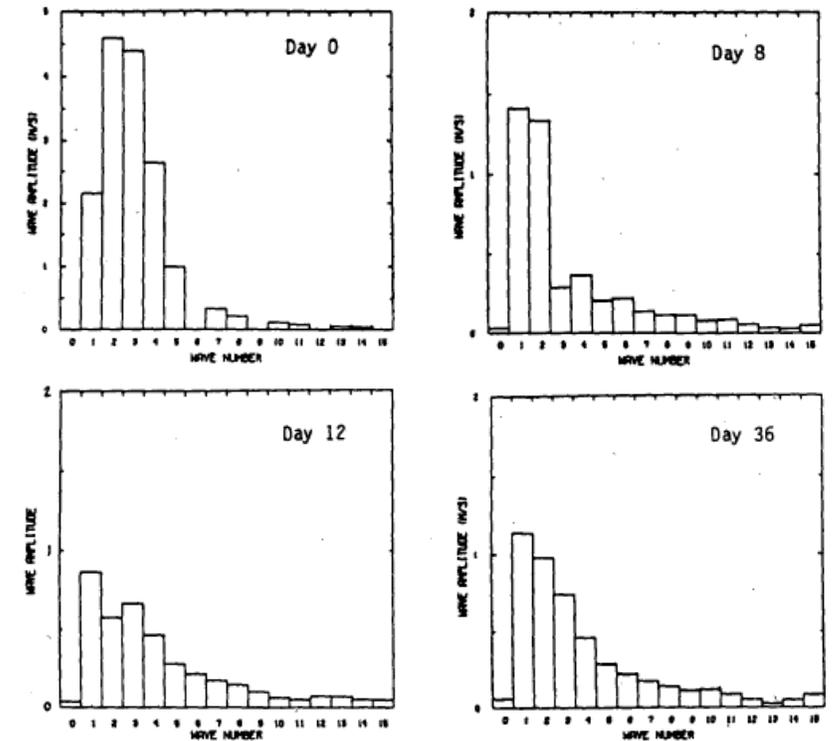


FIG. 22. Amplitude of zonal wind response as a function of wave-number for E2 at different simulated days after relaxation. Units in m s^{-1} .

9. Comparação com a teoria tradicional das ondas CISK

Pode-se observar que o distúrbio inicial é dominado por ondas de escala planetária (número de onda 1 a 4), com maiores amplitudes nos números de onda 2 e 3.

Como resultado do aquecimento CISK somente positivo, há uma redistribuição notável de energia no domínio do número de onda, com forte redução nos números de onda 2 a 3 até o Dia 12 e um aumento de amplitudes em outros números de onda que não estão presentes no inicial perturbação.

No dia 12, a energia na menor onda (número de onda 14) presente na condição inicial aumentou em 10x a magnitude das ondas da escala planetária como resultado do rápido início da instabilidade do CISK. Esse resultado é esperado da teoria tradicional de ondas-CISK, que prevê que a taxa de crescimento é maior para as menores escalas.

POSITIVE-ONLY HEATING

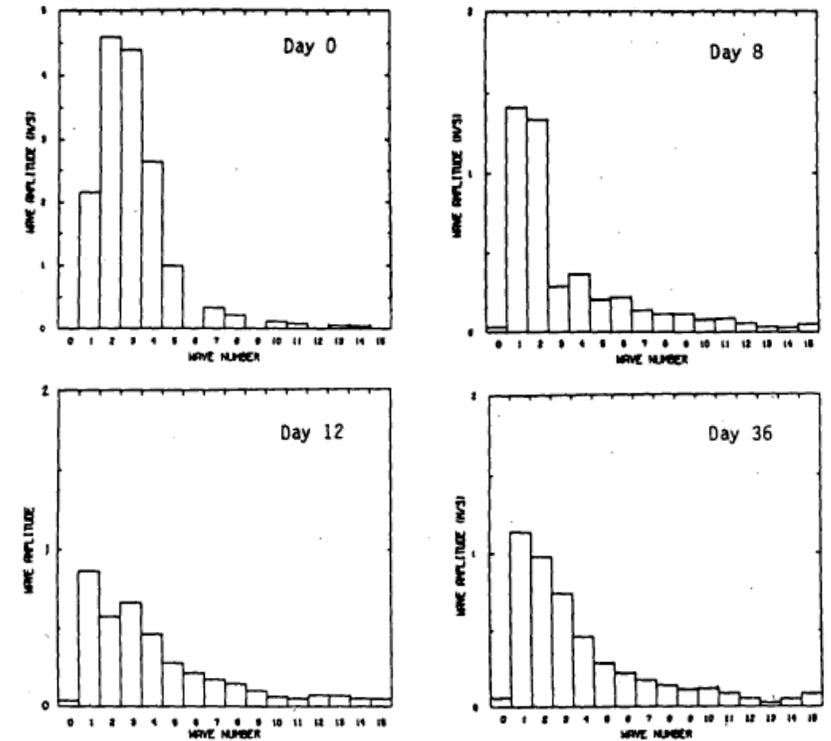


FIG. 22. Amplitude of zonal wind response as a function of wave-number for E2 at different simulated days after relaxation. Units in $m s^{-1}$.

WAVELIKE HEATING

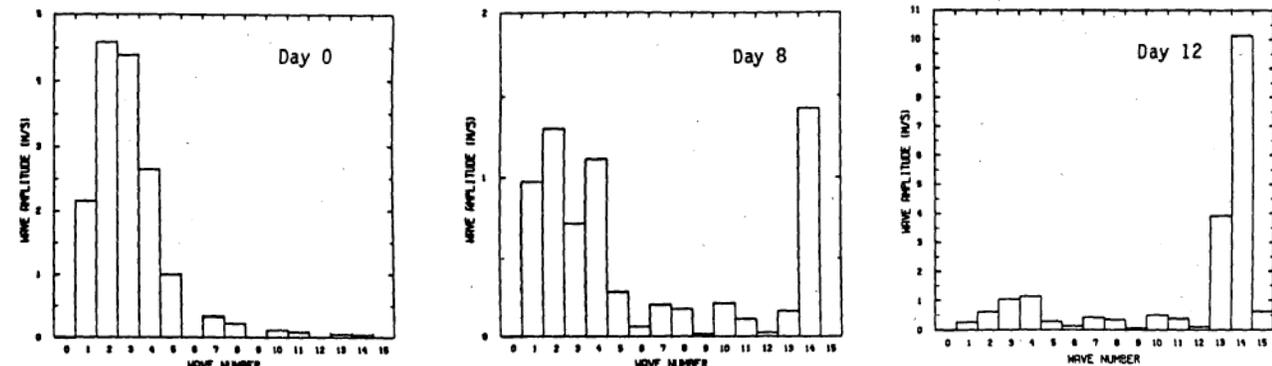


FIG. 23. As in Fig. 22, for an identical experiment, but with wavelike heating.

9. Comparação com a teoria tradicional das ondas CISK

Pode-se observar que o distúrbio inicial é dominado por ondas de escala planetária (número de onda 1 a 4), com maiores amplitudes nos números de onda 2 e 3.

Como resultado do aquecimento CISK somente positivo, há uma redistribuição notável de energia no domínio do número de onda, com forte redução nos números de onda 2 a 3 até o Dia 12 e um aumento de amplitudes em outros números de onda que não estão presentes no inicial perturbação.

Inibe o crescimento de ondas de pequena escala por reduzir de forma eficiente a forçante dessas ondas e deixando que seja feita a transferência de energia.

POSITIVE-ONLY HEATING

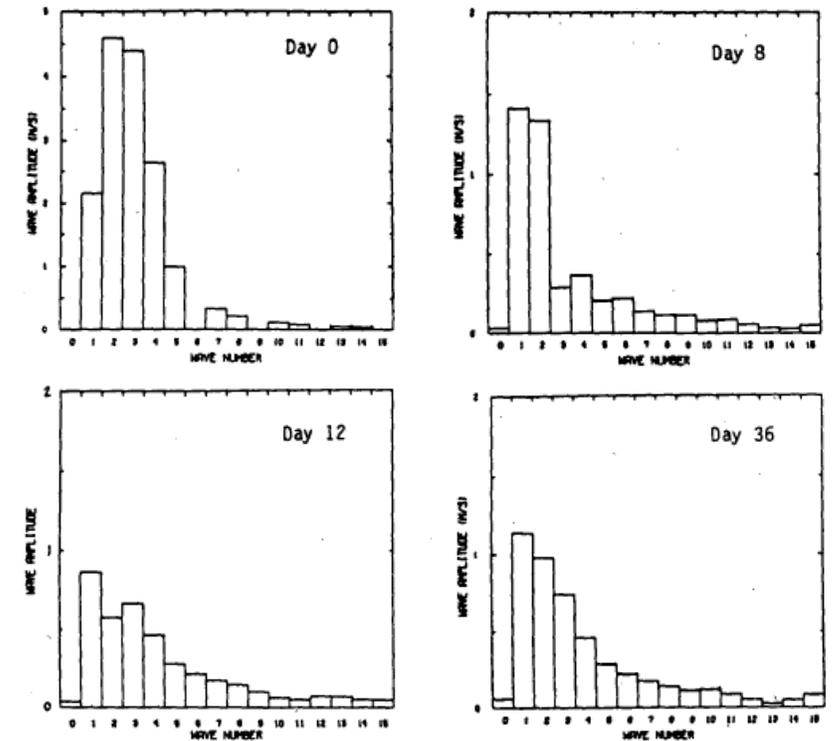


FIG. 22. Amplitude of zonal wind response as a function of wave-number for E2 at different simulated days after relaxation. Units in $m s^{-1}$.

No dia 12, a energia na menor onda (número de onda 14) presente na condição inicial aumentou em 10x a magnitude das ondas da escala planetária como resultado do rápido início da instabilidade do CISK. Esse resultado é esperado da teoria tradicional de ondas-CISK, que prevê que a taxa de crescimento é maior para as menores escalas.

WAVELIKE HEATING

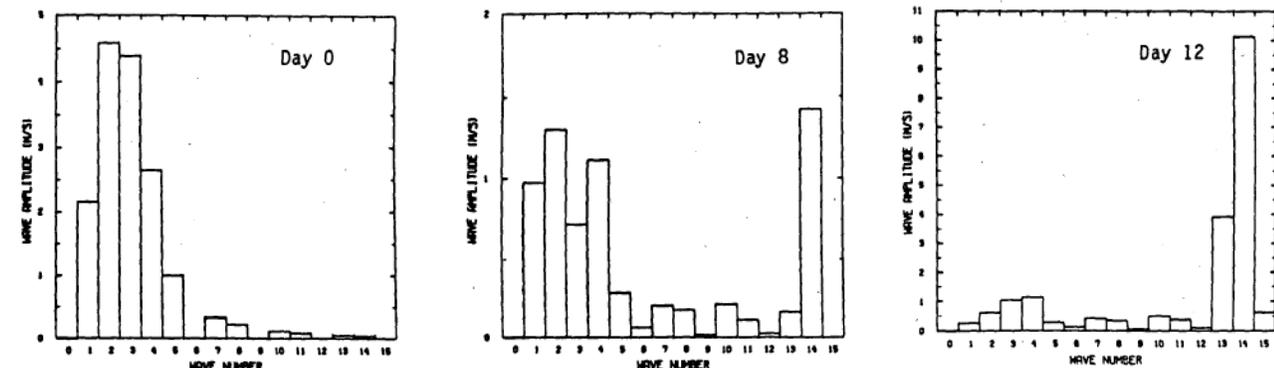


FIG. 23. As in Fig. 22, for an identical experiment, but with wavelike heating.

10. Discussão

O aparente sucesso na simulação da propagação para o leste da oscilação de baixa frequência não exclui necessariamente a relevância do Cenário I em uma descrição regional da oscilação.

Assim, a descrição de uma fonte de calor oscilante estacionária pode não ser totalmente inapropriada nessas regiões. É provável que a dinâmica das monções, incluindo as interações entre a umidade do solo e a radiação das nuvens, possa desempenhar um papel importante na definição das características regionais.