A influência da distribuição vertical do aquecimento na instabilidade baroclínica

José Antonio Aravéquia
Vadlamudi B. Rao
José Paulo Bonatti
INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais

Abstract

A quasi-geostrophic model with finite differences in vertical is used to investigate the effects of latent heat of liberation parameterized with Mak's wave-CISK scheme and the dissipative terms. The inclusion of heating is essential to obtain characteristics of the most unstable wave similar to the observed disturbances. Using double maximum in the vertical distribution of heating and observed vertical profile of the zonal wind and temperature representative of summer monsoon region of India, the most unstable wavelenth and its vertical structure resemble with the observed characteristics of monsoon depression. The inclusion of the friction and Newtonian cooling some times gives the most unstable wave as Green's modes.

1- Introdução

A presença de fortes gradientes horizontais de temperatura é responsável por fenômenos de tempo em escala sinótica que têm origem no fenômeno instabilidade baroclínica. Diagnosticar e prever o comportamento da atmosfera com esta característica tem sido o tema principal de vários estudos. Vários fatores influenciam os distúrbios na atmosfera baroclínica, entre eles a variação com a latitude do parâmetro de Coriolis (Charney, 1947) e a estabilidade vertical (Eady, 1949). Green (1960) demonstrou que não existe o limite para instabilidade em ondas curtas e uma outra região instável ocorre em ondas longas, com características de estrutura e velocidade de propagação diferentes daquelas dos modos de Charney.

Além destes, há inclusão de efeitos dissipativos, os quais incluidos nas equações que descrevem a atmosfera baroclínica leva a resultados mais próximos dos observacionais. Geisler e Garcia (1977) obtiveram modos de Green na estratosfera e mesosfera onde o efeito de resfriamento Newtoniano incorporado em seu modelo não atenua a amplitude de tais modos.

O efeito do aquecimento pela liberação de calor latente também tem sido estudado. Mak (1982) ao incorporar o aquecimento relacionando-o à forçante dinâmica do distúrbio concluiu que esta pode organizar convecção sobre a escala do próprio distúrbio. Usando um perfil de escoamento da região monsônica da Índia em um modelo quase-geostrófico, Moorthi e Arakawa (1985) associaram a depressão monsônica a um modo de Green desestabilizado pelo aquecimento.

Usando um modelo quase-geostrófico em diferenças finitas na vertical, estuda-se os efeitos do perfil e intensidade do aquecimento com parametrização de Mak, como aquele desenvolvido por Bonatti e Rao (1987), incluindo os efeitos de atrito, resfriamento e fricção cúmulus.

2- Descrição do modelo

É utilizado o modelo quase-geostrófico multinível na vertical desenvolvido por Bonatti e Rao(1987) com parametrização de aquecimento cúmulus tipo Mak (1982), atrito e resfriamento Newtoniano. Incorpora-se ao modelo o efeito de fricção cúmulus. O modelo possue resolução analítica para a longitude, latitude e para o tempo. Este modelo por ser multinível na vertical permite perfís verticais realísticos de vento e temperatura, além disso, permite variar os efeitos dissipativos e de aquecimento com a vertical.

É utilizada uma extensão natural da grade vertical de Phillips (1954), a qual não produz modos espúrios. A equação da vorticidade quase-geostrófica é aplicada aos níveis ímpares e a equação da energia termodinâmica é aplicada aos níveis pares.

O aquecimento tipo Mak supõe que o aquecimento é proporcional a velocidade vertical forçada baroclínicamente no nível da base da nuvem, nível de pressão p_b. Assim, é suposto que ocorre instabilidade baroclínica seca que é modificada pelo aquecimento cúmulus. O problema é resolvido através do metodo dos modos normais, encontrando-se os auto-valores e auto-vetores para o problema, respectivamente velocidade de fase (parte real e imaginária) e amplitude da função de corrente.

Para o problema incluindo todos os termos de geração e dissipação de energia tem-se que a perturbação baroclínica instável cresce através da conversão de energia potencial disponível do estado básico e da geração pela fonte de calor para energia potencial do distúrbio e desta para energia cinética turbulenta. A variação da energia potencial disponível do distúrbio depende do transporte meridional de calor, da geração pela fonte de calor e da dissipação pelo resfriamento, enquanto que a variação de energia cinética do distúrbio depende da circulação térmica vertical e da dissipação pelo atrito e pela fricção cúmulus.

3-Resultados e discussões

Estudou-se a influência da intensidade e do perfil de aquecimento utilizando-se de perfis com único e duplo máximo na vertical, perfil linear de escoamento zonal e *lapse rate* constante de -6°C/km. O perfil com duplo máximo é sugerido por estudos observacionais como Verma e Sikka (1981) e Douglas (1992). Verificou-se que o aquecimento cúmulus desestabiliza modos para cisalhamento negativo e o aumento de sua intensidade estabiliza escoamentos com cisalhamento positivo. A inclusão de aquecimento com duplo máximo é mais eficiente na desestabilização de modos de Charney para cisalhamento negativo de que perfil com único máximo, que não os instabiliza.

A inclusão dos efeitos dissipativos mostrou não alterar significantemente as estruturas dos modos instáveis. O atrito e o resfriamento atenuam mais os modos de Charney, modos mais curtos, atuando de forma semelhante a um aumento na estabilidade estática. Já a fricção cúmulus favorece o crescimento destes modos.

Usa-se o perfil de escoamento zonal da região monsônica da Índia de sua estação de verão obtida da Figura 15 de Moorthi e Arakawa (1985) e de temperatura obtido da Figura 1.b de Mishra e Salvekar (1980) para estudar os modos instáveis sobre a influência de diferentes tipos de aquecimento e dos efeitos dissipativos.

A Tabela 1 de vento e temperatura mostra o resultado de 9 experimentos utilizando os perfís verticais desta região. O comprimento de onda mais instável é designado por L, a velocidade de fase é cr, a taxa de crescimento Tx, velocidade de grupo cgx e intensidade do aquecimento ε. A inclusão de efeitos dissipativos quando usado no experimento é designada por um *x* na Tabela,sendo F.C o efeito de fricção cúmulus, Atr. é o atrito e Resf. é o resfriamento Newtoniano.

Tabela 1 - Escalas teóricas para os modos instáveis encontrados com perfís de estado básico da região monsônica da Índia

Exp.	F.C.	Atr.	Resf.	L(km)	cr(m/s)	Tx(/day)	cgx(m/s)	ε (K/hPa)
1	x	x	x	2350	-1.68	0.87	2.50	0.8
2		x	x	2400	-2.53	0.96	2.11	0.8
3	x			2400	-0.76	1.2	-0.40	0.8
4				2400	-1.77	1.3	-0.38	0.8
5	x	x	x	4500	-11.2	0.82	-4.74	1.6
6		x	x	4450	-11.7	0.88	-4.16	1.6
7	x			1950	-1.84	1.1	-1.21	1.6
8				1950	-2.96	1.2	-1.29	1.6
9				2450	1.40	0.08	3.25	0.0

Na Figura 1 é apresentada uma ilustração do perfil vertical de aquecimento utilizado nos experimentos 1 até 8 da Tabela acima. O aquecimento se extende de 900 até 150 hPa para os dois perfís. Nota-se que o perfil com um máximo mais intenso em baixos níveis, experimentos 1 até 4, seleciona modos mais instáveis com comprimento de onda de aproximadamente 2400 km que são modos de Charney, os quais são mais confinados a baixos níveis que modos mais longos como os modos de Green. Estes têm grande extensão vertical e suas taxas de crescimento aumentadas quando o aquecimento tem grandes valores nos altos níveis, como no perfil (b) da Figura 1.

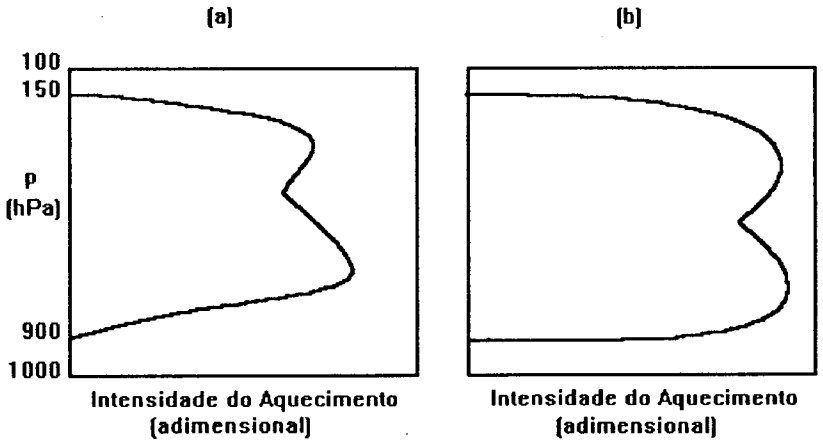

Figura 1 - Ilustração do perfil vertical do aquecimento usado com aquecimento de 0.8 K/hPa (a) e de 1.6 K/hPa (b).

Em seu estudo Douglas (1992) observou que depressões monsônicas no verão de 1979 tiveram deslocamento para oeste com velocidade de no máximo 3 m/s, e o campo de temperatura do distúrbio com inclinação para oeste acima de 850 hPa, com dois máximos, um entre 850 e 700 hPa e outro entre 500 e 300 hPa. Dos resultados obtidos o modo

que tem velocidade de propagação mais próxima de -3m/s é aquele obtido no experimento 8, com comprimento de onda de 1950 km. A Figura 2 apresenta o campo de secção vertical do desvio de temperatura para este experimento. Nota-se que este modo possui inclinação de fase para oeste com a altura na camada de 800 a 450 hPa, onde ocorre o máximo principal desta estrutura, muito semelhante aos campos apresentados por Douglas (1992).

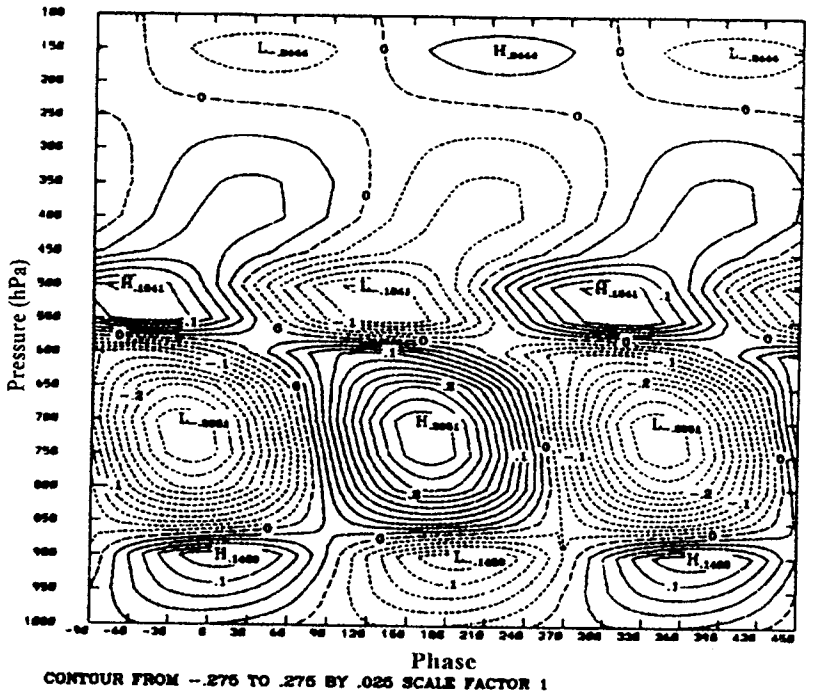

Figura 2 - Estrutura vertical do desvio de temperatura em K para o experimento 8.

Este modo apresenta uma grande extensão vertical que deve ser forçada pelo aquecimento cúmulus que atua desde 900 até 150 hPa. Por apresentar características de escala de comprimento de onda, velocidade de propagação e estrutura vertical semelhante as observações, associa-se este modo às depressões monsônicas que ocorrem na estação de verão da Índia.

4- Referências bibliográficas

Bonatti, J.P. and Rao, V.B. Moist baroclinic instability in development of North Pacific and South American intermediate-scale disturbances. Journal of Atmospheric Sciences, 44(18):2657-2667, Sept. 1987.

Charney, J.G. The dynamics of long waves in a baroclinic westerly current. Journal of Meteorology, 4(5):135-162, Oct. 1947.

Douglas, M.W. Structure ond dynamics of two monsoon depressions. Part I: Observed structure. Monthly Weather Review, 120:1524-1547, Aug. 1992.

Eady, E.T. Long waves and cyclonics waves. Tellus, 1(3):33-52, Aug. 1949.

Geisler, J.E. and Garcia, R.R. Baroclinic instability at long wavelengths on a β-plane. Journal of Atmospheric Science, 34(2):311-321, Feb. 1977.

Green, J.S.A. A problem in baroclinic stability. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 86(368):237-251, Apr. 1960.

Mak, M. On moist quasi-geostrophic baroclinic instability. Journal of Atmospheric Science, 39(9):2028-2037, Sept. 1982.

Mishra, S.K., Salvekar, P.S. Role of baroclinic instability in the development of monsoon disturbances. Journal of Atmospheric Science, 37:383-394, Feb. 1980.

Moorthi, S. and Arakawa, A. Baroclinic instability with cumulus heating. Journal of Atmospheric Science, 42(19):2007-2031, Oct. 1985.

Phillips, N.A. Energy transformation and meridional circulations associated with simple baroclinic waves in a two-layer quasi-geostrofic model. Tellus, 6:273-286, 1954.