

O CONTROLE EXERCIDO PELA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA NA GERAÇÃO DE ENERGIA POTENCIAL DISPONÍVEL PARA A CONVECÇÃO: RESULTADOS PRELIMINARES NA AMAZÔNIA

Cláudio Moisés Santos e Silva¹, Ralf Gielow, Roberto Fernando da Fonseca Lyra

RESUMO: Para analisar a teoria de Quase Equilíbrio (QE) Convectivo, proposta por Arakawa e Schubert em 1974, utilizaram-se dados coletados por radiossondagens em um sítio de pastagem no Sudoeste da Amazônia durante a campanha WETAMC/TRMM-LBA, realizada no período chuvoso de 1999. O estudo enfocou períodos com diferentes regimes de ventos em baixos níveis (de Leste e de Oeste). Durante o regime de Leste a produção de Energia Potencial Disponível para a Convecção (CAPE) foi mais intensa nas horas que antecederam as 14:00 HLHL, sendo essa energia consumida pela convecção. No regime de Oeste a convecção foi suprimida, havendo formação de nebulosidade estratiforme. Conforme conclusões de Zhang (2002; 2003a, b); e Donner e Phillips (2003), a teoria de QE não é apropriada para amostragens de dados com períodos menores que um dia. Sendo assim, prováveis melhorias nas parametrizações de convecção que utilizam a teoria de Arakawa e Schubert devem ser cogitadas.

ABSTRACT: Radiosonde data collected during the WETAMC/TRMM-LBA field campaign effected during the rainy season of 1999 in a pasture ecosystem in Rondônia, SW Amazon, were used to analyse the Quase-Equilibrium (QE) theory proposed by Arakawa and Schubert in 1974. This study covered periods with both Easterly or Westerly low level wind regimes. During the Easterlies regimes the production of Convective Available Potential Energy (CAPE) was more intense during the period which antecedes 14:00 LT, and this energy was used for the convection. In Westerlies regimes the convection was suppressed, thus resulting the formation of stratiform nebulosity. As concluded by Zhang, in 2002; in 2003a, b; and Donner and Phillips in 2003, the QE theory is not appropriate for data samplings of periods smaller than one day. Thus, improvements of the convection parameterizations that use the Arakawa and Schubert theory should be considered.

Palavras Chaves: Convecção, CAPE, Amazônia.

¹ - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. Dos Astronautas, 1758 – São José dos Campos (SP) – (55) 12 3945 6184
claudiom@cptec.inpe.br

- Excluído: D
- Excluído: por meio de radiossondagens no
- Excluído: durante a campanha WETAMC/TRMM-LBA foram utilizados para analisar a teoria de Quase Equilíbrio (QE) Convectivo proposta por Arakawa e Schubert (1974) em um ... [1]
- Excluído: período
- Excluído: o período
- Excluído: hl
- Excluído: Durante
- Excluído:
- Excluído: ido por
- Excluído: (
- Excluído: ,
- Excluído: Zhang,
- Formatado
- Excluído: Zhang, 2003b;
- Excluído: ,
- Excluído: hábil
- Excluído: de
- Excluído: são
- Excluído:
- Excluído: Dados coletad ... [2]
- Excluído:
- Excluído: foram utilizad ... [3]
- Excluído: e
- Excluído: (
- Excluído:)
- Excluído: em um ecossis ... [4]
- Excluído: O estudo enfoc ... [5]
- Excluído: Durante o perí ... [6]
- Excluído: Durante o regi ... [7]
- Excluído: Conforme con ... [8]
- Excluído: Zhang,
- Excluído: ;
- Excluído: Zhang, 2003
- Excluído: e
- Excluído: ,
- Excluído:)
- Excluído: a teoria de
- Excluído: não é hábil par ... [9]
- Excluído: Sendo assim ... [10]
- Excluído: e
- Excluído: são cogitadas.

INTRODUÇÃO

Arakawa e Schubert (1974) introduziram o conceito de quase equilíbrio (QE) entre a convecção e as forçantes de larga escala, referida como AS74. Segundo o QE, estatisticamente, a convecção é controlada pelos processos de larga escala. Uma forma de se quantificar esse “feedback” é por meio da Energia Potencial Disponível para a Convecção (CAPE), pois sob condição de QE o CAPE produzido por distúrbios de escala sinótica é consumido na formação de nuvens e precipitação, mas não necessariamente. Existem várias parametrizações físicas de convecção em modelos de tempo e de clima que utilizam esse conceito.

Excluído: (AS74)

Excluído:

Excluído: (metodologia)

Excluído:)

Excluído: (

Excluído:)

Em estudos numéricos e observacionais a suposição de QE foi verificada e tida como boa aproximação das condições atmosféricas especialmente em regiões tropicais como mostram Xu e Arakawa (1992); também em latitudes médias, conforme Grell et al. (1991), houve concordância entre dados observados e a teoria de QE. No entanto, recentes pesquisas, principalmente as de Zhang (2002; 2003a,b) e Donner e Phillips (2003) mostraram que tanto em regiões tropicais quanto em latitudes médias o CAPE é fortemente controlado pelas propriedades da Camada Limite Atmosférica (CLA). De posse disto estes autores propuseram algumas modificações na metodologia de AS74 para o problema de parametrização de convecção e essas variantes do QE se mostraram satisfatórias quando implementadas a modelos numéricos de previsão.

Excluído: em

Excluído: ,

Excluído: como no estudo de

Excluído: (

Excluído: ,

Excluído: ,

Excluído: Zhang, 2003a;
Zhang, 2003b

Excluído: ,

Tendo em vista que é possível quantificar as contribuições relativas da Atmosfera Livre e da CLA na geração de CAPE a partir de dados obtidos por meio de radiossondagens, o presente estudo visa uma verificação de validade da suposição de QE para um sítio de pastagem na Amazônia, a Fazenda Nossa Senhora - FNS, durante a estação chuvosa de 1999. As análises foram feitas para períodos de diferentes regimes de vento em baixos níveis.

Excluído: (

Excluído:)

METODOLOGIA

Os dados utilizados foram coletados através de radiossondagens realizadas na Fazenda Nossa Senhora (10°45'S, 62° 21'W), Ouro Preto do Oeste, RO durante a “Wet Season Atmospheric Mesoscale Campaign” (WETAMC), componente do Experimento de Larga Escala na Biosfera-Atmosfera da Amazônia (LBA) e a “Tropical Rainfall Measuring Mission” (TRMM). Esses experimentos ocorreram durante a estação chuvosa (janeiro e fevereiro) da região Sudoeste da Amazônia no ano de 1999; detalhes do experimento são encontrados em Silva Dias et al. (2002). Os perfis de temperatura, umidade, pressão, vento e variáveis derivadas foram amostrados em intervalos de três horas no período e 9 de janeiro a 28 de fevereiro, e uma interpolação linear foi realizada padronizando as radiossondagens a uma resolução vertical de 10 hPa.

Excluído: o

Excluído: o

Excluído: ,

De acordo com Rickenbach et al. (2002), no Estado de Rondônia a precipitação é modulada por regimes de vento em baixos níveis. Nos regimes de Leste não se verifica a formação de ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) e a precipitação observada é predominantemente convectiva; nos regimes de Oeste há ocorrência de ZCAS e a precipitação é estratiforme. Conforme estes autores, durante o WETAMC/TRMM-LBA ocorreram três períodos de Leste e três de Oeste, sendo que neste trabalho foram utilizados o E2 (sem ZCAS) de 11/01 a 14/01 e W2 de 29/01 a 08/01. Para cada regime de vento foram feitas médias em cada horário de lançamento das radiossondas.

Para analisar a variação de CAPE utilizou-se o método da parcela, segundo o qual a Energia Potencial Disponível para a Convecção pode ser determinada pela integral da flutuabilidade de uma parcela de ar que se desloca do nível de referência, P_b , ao nível de equilíbrio (flutuabilidade neutra), P_t , ou seja:

$$A \equiv CAPE = \int_{P_t}^{P_b} R_d (T_{vp} - T_{ve}) d \ln p \quad (1)$$

sendo T_{vp} e T_{ve} a temperatura virtual da parcela e do ambiente, respectivamente; R_d é a constante dos gases para o ar seco. Ao derivar (1) no tempo podemos quantificar as variações de CAPE em termos da temperatura virtual da parcela e do ambiente,

$$\frac{\partial CAPE}{\partial t} = \frac{\partial CAPE_{T_v}}{\partial t} + \frac{\partial CAPE_{T_{vp}}}{\partial t} \quad (2)$$

Segundo Emanuel (1994) é possível determinar essas contribuições relativas através de

$$\frac{\partial CAPE_{T_v}}{\partial t} = -R_d \int_{P_t}^{P_b} \frac{\partial \overline{T_v}}{\partial t} d \ln p \quad (3)$$

para a contribuição do ambiente de larga escala, e

$$\frac{\partial CAPE_{T_{vp}}}{\partial t} = R_d \int_{P_t}^{P_b} \frac{\partial T_{vp}}{\partial t} d \ln p = (T_{vb} - T_{vt}) \frac{C_p}{\theta_{eb}} \frac{\partial \theta_{eb}}{\partial t} \quad (4)$$

referente à contribuição das variações de propriedades da CLA. As temperaturas T_{vb} e T_{vt} , são medidas no nível de origem da parcela e no NE, θ_{eb} é a temperatura potencial equivalente no nível de origem e

C_p é a **calor específico** do ar. Uma vez que o primeiro termo do lado direito de (2) é referente aos processos de larga escala e o segundo da CLA, podemos escrever de maneira simplificada:

$$d CAPE = d CAPE_{le} + d CAPE_{cla} \quad (5)$$

Excluído: à

Excluído: a

Excluído: pacidade térmica

RESULTADOS

A Figura 1 mostra os ciclos diurnos de $dCAPE$, $dCAPE_{le}$ e $dCAPE_{cla}$ para os regimes E2 e W2. Observa-se que no regime de Leste (Figura 1a) o CAPE é intensamente produzido no início da manhã atingindo um máximo às 11 HL, sendo logo em seguida consumido pela convecção. Esse comportamento é explicado pelo fato de no período sem ZCAS há uma redução da atenuação da radiação solar fazendo com que a CLA seja mais aquecida culminando com a formação precoce de nuvens cúmulus, conforme observado por Strong et al. (2005); no caso do período com ZCAS (Figura 1b), a CLA é aquecida de forma mais lenta, pois uma “capa” de nuvens estratiformes cobre a região, sendo assim o pico de geração de CAPE é deslocado para o final da tarde. É interessante ressaltar que no período de Leste a precipitação associada (não mostrado) à convecção é muito bem correlacionada com as variações negativas de CAPE no período entre 11 e 14 HL. Outro fato importante é que em nenhum momento é verificada uma variação acentuada de $dCAPE_{le}$.

Excluído: hl

Excluído: u

Excluído:

Excluído: hl

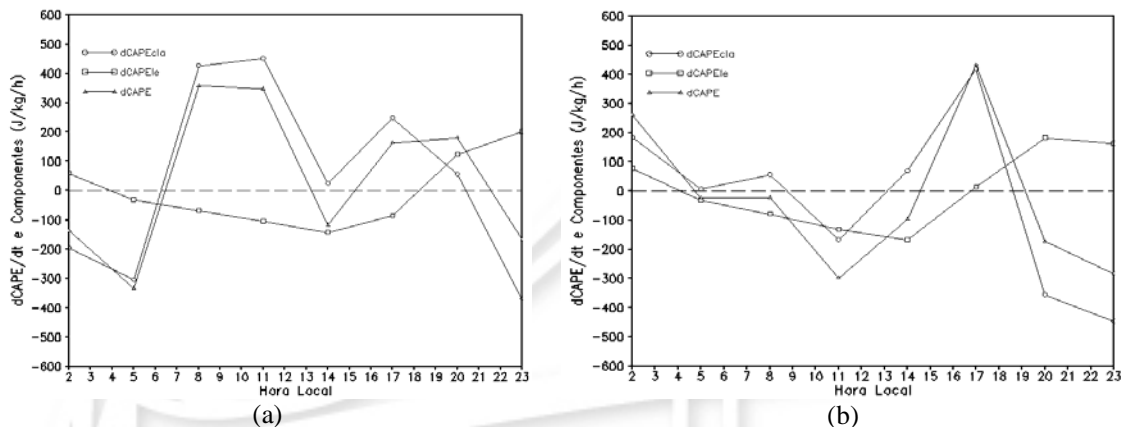


Figura 1 – Compostos médios dos termos da Equação (5) para: (a) regime de Leste 2 e (b) Oeste 2.

Em ambos os regimes $dCAPE$ e $dCAPE_{cla}$ estão muito bem correlacionadas (ver Figuras 1a e 1b), indicando que as propriedades da CLA exercem controle na geração de CAPE. Esse resultado é consistente com os encontrados por Zhang (2002; 2003a, b) e Donner e Phillips (2003). Podemos então, a princípio, concluir que a suposição de QE não é válida para essa amostragem de dados. No QE assume-se que $dCAPE \approx 0$, ou seja, no decorrer do tempo as variações totais de CAPE são desprezíveis, pois a desestabilização causada pelos processos de grande escala ($-dCAPE_{le}$) é balanceada pelas variações na CLA (pela convecção local). Observando as Figuras 1a e 1b, nota-se que $dCAPE_{le} \approx 0$ e $dCAPE_{cla} \approx -dCAPE_{le}$. Esse resultado é explicado pelo fato de que AS74

Excluído: ide

Excluído:), Zhang (

Excluído:), Zhang (2003b)

Excluído: são

Excluído: s

analisaram dados médios diários. Como mostrado por Donner e Phillips (2003) a suposição de QE é uma aproximação ineficiente quando os dados possuem resolução temporal menor que um dia. Como primeira conclusão, o ciclo diurno de convecção não é bem resolvido por modelos de circulação geral da atmosfera (MCGA). Todavia, existem outros problemas que interferem na boa representação do ciclo diurno pelos modelos, como indicado por Betts e Jakob (2002), por exemplo.

Excluído: s

Para os outros períodos de regime Oeste ou Leste (não mostrados) durante o experimento, os resultados foram muito semelhantes, inclusive quanto à geração de CAPE no período da manhã nos regimes de Leste. Esses resultados têm implicações nos esquemas de convecções em uso, ou seja, novos esquemas de convecção podem ser definidos a partir dessa constatação. De posse de resultados semelhantes aos verificados neste trabalho, Zhang (2002) utilizou um novo fechamento em um modelo de coluna (CCM3) do NCAR baseado na constatação de que $dCAPE_{te} \approx 0$, o autor concluiu que precipitação prevista pelo modelo foi bem melhor representada com essa modificação. Portanto, apesar das dificuldades inerentes ao problema é possível implementar um novo fechamento de convecção utilizando a filosofia de AS74 e essas constatações observacionais

Excluído: a

CONCLUSÕES

Com o propósito de analisar a teoria desenvolvida por Arakawa e Schubert (1974) sob a qual existe uma condição de quase-equilíbrio entre a escala convectiva e a larga escala, este trabalho indicou que os períodos de Leste na região Sudoeste da Amazônia são fortemente influenciados pela convecção local, isto se devendo à maior radiação solar incidente na região;

Excluído: e

Excluído: a

Conforme observado por alguns autores, a teoria de QE não é uma boa aproximação para as condições da atmosfera quando analisadas escalas de tempo menores que um dia, visto isso novas aproximações para o fechamento da convecção são consideradas viáveis para uma melhor representatividade do ciclo diurno de convecção. Logicamente essa modificação não é um problema trivial, porém um problema de solução possível. Porém, essa verificação preliminar de que os fechamentos de convecção baseados no QE podem ser melhores expressos nos dá uma visão otimista de prováveis melhorias nos modelos utilizados pelos centros operacionais e de pesquisa em meteorologia. Evidentemente, mais dados devem ser verificados em diferentes regiões e épocas do ano; não obstante, esse trabalho constitui a parte inicial de futuras discussões.

Excluído: ,

Excluído: s

Excluído: nossos

Excluído: É claro que

Excluído: e

Excluído: ,

Excluído: porém

Excluído: pode ser um pequeno passo para

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arakawa, A.; Schubert, W.H. Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment: Part 1. **Journal of Atmospheric Science**, v.31, n. 3, p.674–701, 1974.

Excluído: e

Betts, A. K.; Jakob, C. Evaluation of the diurnal cycle of precipitation, surface thermodynamics, and surface fluxes in the ECMWF model using LBA data. **Journal Geophysical Research**, v. 107, n. D23, 4732, doi: 10.1029/2002JD002264, 2002.

Excluído: e

Excluído: C.

Excluído: 2002:

Donner, L.J.; Phillips, V.T. Boundary layer control on convective available potential energy: Implications for cumulus parameterization. **Journal Geophysical Research**, v.108, n. D22, 4701, doi: 10.1029/2003JD003773, 2003.

Excluído: e

Emanuel, K. A. **Atmospheric Convection**. Oxford University Press, New York, 1994, 580 p.
Grell, G. A.; Kuo, Y.H.; Pasch, R.J. Semiprognostic tests of cumulus parameterization schemes in the middle latitudes. **Monthly Weather Review**, v.119, n.1, p.5–30, 1991.

Excluído: hl

Silva Dias, M.A.F.; Rutledge, S.; Silva Dias, P.L.; Kabat, P.; Nobre, C.A.; Fisch, G. Cloud and rain processes in a biosphere atmosphere interaction context in Amazon region. **Journal Geophysical Research**, v.107, n. D20, 8072, doi: 10.1029/ 2001JD000335, 2002.

Rickenbach, T. M.; Nieto Ferreira, R.; Halverson, J.; Herdies, D. L.; Silva Dias, M. A. F. Modulation of convection in the southwestern Amazon basin by extratropical stationary fronts, **Journal Geophysical Research**, v.107, n. d20, 8040, doi:10.1029/2001JD000263, 2002.

Strong, C.; Fuentes, J.D.; Garstang, M.; Betts, A.K. Daytime Cycle of Low-Levels Cloud and the Tropical Convective Boundary layer in Southwestern Amazonia. **Journal of Applied Meteorology**, v.44, n.10, p.1607-1619, 2005.

Xu, K.M.; Arakawa, A. Semi-prognostic tests of the Arakawa-Schubert cumulus parameterization using simulated data. **Journal of Atmospheric Science**, v.49, n.24, p.2421–2436, 1992.

Excluído: e

Zhang, G.J. Convective quasi-equilibrium in midlatitude continental environment and its effect on convective parameterization. **Journal Geophysical Research**, v.107, n. D14, 10.1029/2001JD001005, 2002.

Zhang, G.J. Convective quasi-equilibrium in the tropical western Pacific: Comparison with midlatitude continental environment. **Journal Geophysical Research**, v.108, n. D19, 4592, doi: 10.1029/2003JD003520, 2003a.

Zhang, G.J. Roles of tropospheric and boundary layer forcing in the diurnal cycle of convection in the U.S. southern Great Plains. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 24, 2281, doi: 10.1029/2003GL018554, 2003b.

Excluído: r

Página 1: [1] Excluído	Pc-lmo05	20/9/2006 13:10:00
durante a campanha WETAMC/TRMM-LBA foram utilizados para analisar a teoria de Quase Equilíbrio (QE) Convectivo proposta por Arakawa e Schubert (1974) em um ecossistema de pastagem na Amazônia		
Página 1: [2] Excluído	:)	20/9/2006 01:50:00
Dados coletados por meio de radiossondagens no período chuvoso de 1999 durante a campanha		
Página 1: [3] Excluído	:)	20/9/2006 01:54:00
foram utilizados para analisar a teoria de Quase Equilíbrio (QE) Convectivo proposta por		
Página 1: [4] Excluído	:)	20/9/2006 01:58:00
em um ecossistema de pastagem na Amazônia.		
Página 1: [5] Excluído	:)	20/9/2006 02:04:00
O estudo enfocou períodos com diferentes regimes de ventos em baixos níveis (Leste e Oeste).		
Página 1: [6] Excluído	:)	20/9/2006 02:08:00
Durante o período de Leste a produção de CAPE foi mais intensa no período que antecede as 14:00 hl sendo essa energia consumida pela convecção		
Página 1: [7] Excluído	:)	20/9/2006 02:11:00
Durante o regime de Oeste a convecção foi suprimida havendo formação de nebulosidade estratiforme.		
Página 1: [8] Excluído	:)	20/9/2006 02:11:00
Conforme concluído por (
Página 1: [9] Excluído	:)	20/9/2006 02:16:00
não é hábil para amostragens de dados de períodos menores que um dia.		
Página 1: [10] Excluído	:)	20/9/2006 02:18:00
Sendo assim, prováveis melhorias nas parametrizações de convecção que utilizam a teoria de		