COMPORTAMENTO DE FONTE APARENTE DE CALOR E SUMIDOURO DE UMIDADE EM ANOS DE EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO AMAZÔNICA

Ana Cleide N. Bezerra[1], Enilson P. Cavalcanti[2] e Nelson J. Ferreira[1]

RESUMO Esse trabalho avalia as conexões da fonte aparente de calor e sumidouro de umidade na Amazônia com a variabilidade da temperatura da superfície do mar (TMS) no Oceano Pacífico Tropical. Foram utilizados dados de temperatura, umidade específica, componente zonal e meridional do vento e altura geopotencial, para os níveis padrão de 925 a 100hPa, gerados pelo *National Centers for Environment Prediction/National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR) no período de 1958 a 1998. Seis episódios de El Niño-Oscilação Sul (ENOS) foram analizados. Os resultados obtidos mostram que a atmosfera sobre a região central da Amazônia atua como de um sumidouro de vapor d'água durante todos os episódios estudados.

Palavras-chave: Fonte de calor, Vapor d'água, ENOS

ABSTRACT This study deals with apparent source of heat and sink of moisture over the Amazon Region and their connections with sea surface temperature in the tropical Pacific Ocean. The analysis was done using the variables temperature, specific humidity, zonal and meridional component of the wind and geopotential height for the standard atmosphere levels of 925 to 100 hPa, generated by the *National Centers for Environment Prediction/National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR) for the 1958 to 1998 period. Six episodes of El Niño-South Oscillation (ENOS) had been analyzed. The obtained results show that the atmosphere on the central Amazon region acts as a sink of water vapor.

Key-Words: Source heat, Water vapor, ENOS

INTRODUÇÂO

A região Norte esta confinada na região tropical, área caracterizada por apresentar uma atmosfera úmida com grande e intensa atividade convectiva, devido à disponibilidade de energia solar durante todo ano. Localizada na região onde se encontra a maior floresta úmida do mundo.

Diversos pesquisadores com diferentes técnicas têm trabalhado com balanço hídrico da região (Molion ,1975; Villa Nova *et al*. ,1976; Marques ,1978; Salati *et al* .,1979; Marques *et al*., 1980; Rocha

[1] Centro de Pesquisas de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC – Rod. Pres. Dutra – Km 40 SP/RJ, Cachoeira Paulista – SP – Tel (12) 3186-8400 – Email: acleide@cptec.inpe.br
[2] Universidade Federal de Campina Grande – Departamento de Ciências Atmosféricas - Av. Aprígio Veloso 882, Bodocongó, Bloco CM 58109-970 Campina Grande - PB - Tel./Fax: +55 83 310-1202

,1991 e Matsuyama, 1992 citados, por Fisch e Nobre, 1996). Schaak *et al*. (1990) citado por Dias (199-), usando análises meteorológicas em pontos de grade, localizaram no globo as principais fontes de calor associadas à liberação de calor latente de origem convectivo, e umas delas foi a região Amazônica. A região da Amazônia é conhecida como sumidouro de umidade, sua precipitação é conseqüência de sua própria evapotranspiração (Marengo *et al*., 2001) e fluxos de vapor d'água trazidos do Oceano Atlântico [Salati *et al.,* (1979) citado por Fisch e Nobre (1996)].

Serão investigados o comportamento da região Amazônica a partir da fonte aparente de calor e do sumidouro aparente de umidade e suas relações com a variabilidade da temperatura da superfície do mar no oceano Pacífico Tropical.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados

São utilizados, dados mensais, do período de 1958 a 1998, retirados do *National Centers for Environment Prediction/National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR), numa grade de 2,5°x 2,5° latitude e longitude (Kalnay *et al*., 1996 e Kistler *et al.,* 2001). Utilizamos as seguintes variáveis: temperatura (K); umidade específica (kg/kg); componente zonal (u) e meridional(v) (m/s) do vento e altura geopotencial (gpm), para os níveis padrão de 925 a 100hPa. Dados de TSM, do período de 1950 a 1999, gerados por Reynolds e Marsizo (1992) foram utilizados, com a finalidade de selecionar anos que sejam verificadas anomalias significativas nos padrões observados sobre a superfície oceânica do Pacífico. Estes dados foram obtidos do *National Meteorological Center* (NMC), atual NCEP, e encontram-se em grade de 2°x2° de latitude e longitude (Reynolds, 1988; Reynolds e Marsico, 1992). Completamos a série de dados até Julho de 2003 com os fornecidos pelo *Climate Prediction Center*.

Metodologia

Na seleção dos episódios calculamos médias mensais de TSM sobre áreas de ocorrências dos El Niño 3 e 3.4 (áreas que fornecem com mais certeza a intensidade dos eventos). A seleção dos episódios seguiu a metodologia usada por Bezerra (2006): Anomalias de TSM ≥ 1,0°C (≤ -1,0 °C) para caracterização de um evento de El Niño (La Niña) durante a fase de maturação sobre as áreas do Niño 3 e 3.4. Em seguida, foram escolhidos seis episódios de ENOS. Os episódios El Niño e La Niña selecionados (Quadro 1) estão de acordo com eventos discutidos por Delecluse *et al*., 1994; Trenberth,

1997; Souza (2003); Bezerra (2006). Foi analisado o trimestre de fevereiro a abril do ano +1 de cada evento.

QUADRO 1 – Episódios selecionados para este estudo

El Niño	1982/83	1986/87	1997/98
La Niña	1970/71	1973/76	1988/89

As energias estáticas seca, latente e úmida, expressas em $kJ.kg^{-1}$, são dadas, respectivamente, por:

$$S \equiv c_P T + \varphi \quad (1) \qquad U \equiv L_V q \quad (2) \qquad h \equiv c_P T + \varphi + L_V q \quad (3)$$

em que: c_P é o calor específico à pressão constante ($c_P = 1004\ J.kg^{-1}K^{-1}$), T a temperatura, φ, o geopotencial, L_V, o calor latente de vaporização ($L_V = 2{,}462\ x\ 10^6\ J.kg^{-1}$) e q, a umidade específica.

A equação para a energia estática seca e latente é expressa por Yanai *et al*. (1973) como:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \nabla.S\vec{V} + \frac{\partial S\omega}{\partial P} = Q_H + L_V(c-e) \quad (4) \qquad \frac{\partial L_V q}{\partial t} + \nabla.L_V q\vec{V} + \frac{\partial L_V q\omega}{\partial P} = L_V(e-c) \quad (5)$$

Uma vez que o estudo refere-se ao trimestre de fevereiro-abril do período chuvoso, será analisado apenas o efeito da divergência, desprezando-se a taxa de variação local e a taxa convectiva.

A divergência dos fluxos, em unidade $kJ.m^{-2}s^{-1}$, será avaliada pelas seguintes equações:

$$\nabla.\vec{S} = \frac{\partial S_\lambda}{\partial x} + \frac{\partial S_\phi}{\partial y} \quad (6) \qquad \nabla.\vec{Q} = \frac{\partial Q_\lambda}{\partial x} + \frac{\partial Q_\phi}{\partial y} \quad (7)$$

O fluxo das energias estáticas seca e latente para a área 1 (2°S-7°S/60°W-65°W) foi obtido, multiplicando-se o valor médio da divergência pelas respectivas áreas (Figura 1) e são expressos em $kJ.s^{-1}$. O motivo da escolha da área 1 foi mostrar as características de energia sobre uma área de característica tropical úmida.

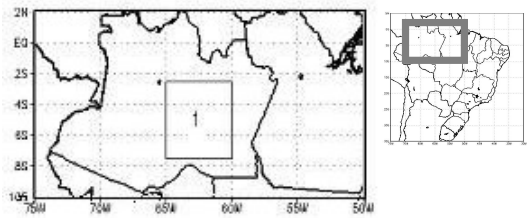

Figura 1 - Áreas 1: Norte

$$\oint \vec{S}.\vec{n}\ dL = \iint \nabla.\vec{S}\ dA = \langle \nabla.\vec{S} \rangle A \quad (10) \qquad \oint \vec{Q}.\vec{n}\ dL = \iint \nabla.\vec{Q}\ dA = \langle \nabla.\vec{Q} \rangle A \quad (11)$$

em que: $\vec{n}$ é o vento normal às faces verticais da área; dL é o comprimento do contorno, descrito pela projeção das faces vertical da área, no plano horizontal; A é a área de 5°x 5° de latitude e longitude; $\langle \quad \rangle \equiv$ é a média na área A.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados dos fluxos de energias estáticas (a) seca, (b) latente e (c) úmida para a área 1, nos anos de El Niño e La Niña são observados na Tabela 1 e, estão expressos em 10^{11} kJ.s^{-1}.

Para o ano de 1983 e 1987, o fluxo de energia estática seca média (fevereiro a abril) na área 1 apresentou importação nas camadas 925-850, 850-700, 700-500 e 500-300hPa e exportação nas camadas 300-200 e 200-100hPa e na integração vertical valores de importação de -1,171x10^{11} kJ.s^{-1} e -3,460x10^{11} kJ.s^{-1}. No episódio de El Niño de 1998, o comportamento do fluxo de energia, se apresentou semelhante, com uma mudança apenas na camada de 925-850hPa, na qual apresentou exportação e o valor da importação na integral vertical foi de -0,264 x 10^{11} kJ.s^{-1}.

Para o fluxo de energia estática latente (Tabela 1b) para os três eventos de El Niños, observa-se importação nas camadas abaixo de 500hPa (exceto no ano de 1998 na camada de 925-850hPa uma exportação foi visualizada) e exportação na camada de 500-300hPa. Acima da camada de 500-300hPa, os valores de fluxos de energia estática latente se anulam, devido ausência de umidade na atmosfera. Quanto à integral vertical do fluxo de energia latente, o valor encontrado de importação foi de -0,330x10^{11} kJ.s^{-1} em 1983, -0,263x10^{11} kJ.s^{-1} em 1987 e -0,181x10^{11} kJ.s^{-1} para o ano de 1998.

Na Tabela 1c, a energia estática úmida apresentou fluxo importado em baixos níveis até a camada de 500-300hPa nos anos de 1983 e 1987, acima desta se observa exportação. Em 1998, apresenta-se com fluxo exportado na camada de 925-850hPa e nas camadas 300-200 e 200-100hPa, e importação nas camadas intermediarias. O fluxo importado na integral vertical foi de -1,499x10^{11}, -3,723 x10^{11} e -0,445x10^{11} kJ.s^{-1} para os anos de 1983, 1987 e 1998, respectivamente.

Durante os anos de La Niña, observou-se fluxo de importação de energia estática seca nas camadas de 925-850 a 500-300 (apenas em 1974 a camada de 700-500hPa apresentou exportação) e exportação no restante das camadas. Os valores encontrados na integração vertical nos três episódios foram de -2,17**7** x10^{11} kJ.s^{-1} em 1971, -0,718x10^{11} em 1974 e -1,331x10^{11} kJ.s^{-1} em 1989.

O fluxo de energia latente apresentou importação em todas as camadas durante os três episódios de La Niña, e a integral vertical visualizada foi de importação com valores iguais a -0,405 x10^{11} kJ.s^{-1} em 1971, -0,488x10^{11} kJ.s^{-1} em 1974 e -0,437x10^{11} kJ.s^{-1} em 1989.

A energia estática úmida nos anos 1971, 1974 e 1989 apresentou importação de seus fluxos nas camadas 925-850 a 500-300hPa e exportações nas camadas a partir do nível de pressão de 300hPa. Importações de -2,582x10^{11}, -1,206x10^{11} e -1,768x10^{11} kJ.s^{-1} nas integrações verticais, respectivamente.

Os resultados da Tabela 1 significaram que a atmosfera da área 1, durante todos os episódios estudados, anos de El Niños e La Niña, apesar das diferentes características e intensidade entre os fenômenos, o comportamento apresentado foi de um sumidouro de vapor d'água.

TABELA 1 - Fluxo trimestral médio de fevereiro a abril (10^{11}kJ/s) na área 1(Norte do Brasil): (a) fluxo de $(c_pT+\phi)$, (b) fluxo de (L_vq) e (c) fluxo de $(c_pT+\phi+L_vq)$

(a)

Pressão (hPa)	El Niño			La Niña		
	1983	1987	1998	1974	1989	1971
925 - 850	**-0,748**	**-0,952**	0,096	**-1,920**	**-1,155**	**-1,118**
850 - 700	**-2,498**	**-2,603**	**-1,856**	**-2,500**	**-2,764**	**-2,054**
700 - 500	**-1,201**	**-1,166**	**-1,909**	0,009	**-1,570**	**-1,568**
500 - 300	**-0,066**	**-0,920**	**-0,888**	**-0,369**	**-0,480**	**-1,754**
300 - 200	0,936	0,852	1,587	1,341	2,479	0,887
200 - 100	2,406	1,330	2,706	2,721	2,159	3,430
925 -100	**-1,171**	**-3,460**	**-0,264**	**-0,718**	**-1,331**	**-2,177**

(b)

Pressão (hPa)	El Niño			La Niña		
	1983	1987	1998	1974	1989	1971
925 - 850	**-0,083**	**-0,003**	0,006	**-0,208**	**-0,126**	**-0,124**
850 - 700	**-0,194**	**-0,207**	**-0,127**	**-0,257**	**-0,227**	**-0,188**
700 - 500	**-0,067**	**-0,057**	**-0,064**	**-0,014**	**-0,074**	**-0,074**
500 - 300	0,014	0,005	0,004	**-0,009**	**-0,010**	**-0,019**
300 - 200	-	-	-	-	-	-
200 - 100	-	-	-	-	-	-
925 -100	**-0,330**	**-0,263**	**-0,181**	**-0,488**	**-0,437**	**-0,405**

(c)

Pressão (hPa)	El Niño			La Niña		
	1983	1987	1998	1974	1989	1971
925 - 850	**-0,831**	**-0,955**	0,102	**-2,128**	**-1,281**	**-1,242**
850 - 700	**-2,691**	**-2,811**	**-1,983**	**-2,757**	**-2,991**	**-2,242**
700 - 500	**-1,267**	**-1,223**	**-1,973**	**-0,005**	**-1,644**	**-1,642**
500 - 300	**-0,052**	**-0,915**	**-0,884**	**-0,378**	**-0,490**	**-1,773**
300 - 200	0,936	0,852	1,587	1,341	2,479	0,887
200 - 100	2,406	1,330	2,706	2,721	2,159	3,430
925 -100	**-1,499**	**-3,723**	**-0,445**	**-1,206**	**-1,768**	**-2,582**

CONCLUSÃO

A partir da fonte aparente de calor e do sumidouro aparente de umidade na região Norte e suas relações com a variabilidade da temperatura da superfície do mar no oceano Pacífico Tropical

permitiram encontrar características importantes sobre o comportamento de energia estática em anos de eventos extremos.

O comportamento da região Amazônica, apesar dos episódios de El Niño e La Niña, com suas diferentes características e intensidade modulando o período chuvoso da região, intensificando ou desintensificando a convecção, foi de um sumidouro de vapor d'água (Schaak *et al.*, 1990 citado, por Dias, 199- ; Marengo *et al*., 2001; Bezerra, 2006; entre outros).

REFERÊNCIAIS BIBLIOGRÁFICAS

BEZERRA, A. C. N. **Aspectos da Circulação Atmosférica de grande escala sobre o Norte e Nordeste do Brasil relacionados com a temperature da superfície do mar**. 2006. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Ciências Atmosféricas, Campina Grande, 2006.

DELECLUSE, P.; SERVAIN, J.; LEVY, C.; ARPE, K.; LODYC; BERGTSSON, L**.** On the connection between the 1984 Atlantic warm event and the 1982-1983 ENSO. ***Tellus*,** v.46A, p. 448-464, 1994.

FISCH, G.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A**.** Clima da Amazônia. ***Boletim do Climanálise Especial - Comemoração dos 10 anos*,** 1996**.** Disponível em: < http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a>. Acesso em: 22 Mar. 2005.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS W.; DEAVEN, D.;GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA S.; WHITE G.; WOOLLEN J.; ZHU, Y.; CHELLIAH M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K. C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; LEETMAA, A. REYNOLDS, R.; JENNE, R.; JOSEPH, D. The NCEP–NCAR 40–Year Reanalysis Project. ***Bulletin of the American Meteorological Society***, v.77, n3, p. 437–471. 1996.

KISTLER, R.; KALNAY, E.; COLLINS W.; SAHA S.; WHITE G.; WOOLLEN J.; CHELLIAH M.; EBISUZAKI W.; KANAMITSU M.; KOUSKY V.; DOOL, H.V.D.; JENNE, R.; FIORINO M. The NCEP–NCAR 50–Year Reanalysis: Monthly Means CD–ROM and Documentation. ***Bulletin of the American Meteorological Society***, v.82, n. 2, p. 247–267. 2001.

MARENGO, J.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V.; FILIZOLA, N.; WAINER; I**.** On the onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. ***Journal of Climate***, 14, p. 833-852. 2001.

REYNOLDS, R.W.; MARSICO, D.C. Na improved real – time global sea surface temperature analysis. ***Journal of climate,*** v.6, p. 114-119, 1992.

SILVA DIAS, P.L. **Uma Introdução ao Efeito de Fontes Diabáticas de Calor na Evolução de Sistemas de Tempo.** Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas**.** Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.master.iag.usp.br/ind.php?inic=12&prod=ensino&pos=2>. Acesso em: 22 Nov. 2005.

SOUZA, Everaldo B. **Variabilidade Pluviométrica Intrasazonal sobre a Amazônia Oriental e Nordeste Brasileiro durante o outono austral: Mecanismos Atmosféricos de baixa e alta freqüência.** 2003**.** Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - Departamento de Ciências Atmosféricas, São Paulo, 2003.

TRENBERTH, K.E**.** The definition of El Niño. ***Bulletin of the American Meteorogical Society*,** v.78, n12, p.2771-2777, 1997.

YANAI, M.; ESBENSEN, S.; CHU, J.H. Determination of bulk properties of Tropical cloud clusters from large-scale heat and moisture budgets. ***Journal of the Atmospheric Sciences,*** Dept. of Meteorology, University of California, Los Angeles, v.30, p. 611-627, may. 1973.