

CLIMATOLOGIA DE VERÃO E INVERNO DAS CIRCULAÇÕES DE HADLEY, WALKER E MONÇÔNICA NAS DUAS FASES DA OSCILAÇÃO DECENAL DO PACÍFICO

Sâmia R. Garcia¹ e Mary T. Kayano²

RESUMO

As circulações de Hadley, Walker e Monçônica são estudadas usando o campo médio mensal de potencial de velocidade (χ) em 200hPa para os períodos de 1958-1976 e 1977-1999. A circulação de Hadley é definida como a média zonal de χ . As circulações de Walker e Monçônica estão contidas no campo de desvio dessa média zonal. Climatologicamente, as circulações de Hadley e Monçônica não possuem muitas diferenças entre os dois períodos, enquanto que os principais centros de ação da circulação de Walker possuem diferenças em suas intensidades e localizações.

ABSTRACT

The Hadley, Walker and monsoon circulations are studied using monthly mean 200hPa velocity potential (χ) for the 1958-1976 and 1977-1999 periods. The Hadley circulation is defined as the zonal means of χ . Walker and monsoon circulations are contained in the deviation from the zonal means. Climatologically, the Hadley and monsoon circulations do not show many differences between the two periods, while the main action centers of the Walker circulation presents differences in their intensities and locations.

Palavras-chave: Circulações tropicais, Oscilação Decenal do Pacífico.

INTRODUÇÃO

A circulação geral da atmosfera em baixas latitudes é dirigida principalmente pelas circulações tropicais de grande escala: Hadley, Walker e Monçônica. Parte da variabilidade climática é impulsionada pelas variações dessas circulações em várias escalas de tempo. Na escala interanual, o El Niño/Oscilação Sul (ENOS) é o principal fenômeno responsável por tal variabilidade climática nos trópicos (Rasmusson e Arkin, 1985). Variações das circulações de Walker e de Hadley são conectadas com o ENOS, conforme explicitado por Wang (2002). Ele mostrou que durante a fase quente do ENOS, a circulação de Walker é enfraquecida e a célula de Hadley anômala no Pacífico leste configura-se contrária à do Pacífico oeste. Em termos da escala decenal, a Oscilação Decenal do Pacífico (ODP), recentemente identificada por Mantua *et al.* (1997), possui um padrão de anomalias de temperatura da superfície do mar similar ao do ENOS, mas com maiores amplitudes espaciais e temporais. Uma mudança climática que ocorreu no oceano Pacífico em meados da década de 1970 definiu a alteração de um regime frio, que prevaleceu de 1947 a 1976, para um regime quente de 1977 em diante (Mantua *et al.*, 1997). Kawamura *et al.* (2004) observaram

^{1,2} Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Av dos Astronautas, 1758 – São José dos Campos (SP) – (55)(12)3945-6247
samia@cptec.inpe.br; mary@cptec.inpe.br

regimes diferentes da circulação de Walker nos períodos anterior e posterior a 1977. Vários estudos também mostraram flutuações multi-decenais da precipitação associada aos sistemas de monção (i.e., Krishnamurthy e Goswami, 2000; Gershunov e Barnett, 1998; Andreoli e Kayano, 2005). Dessa maneira, a ODP cria um “background” que pode modular os fenômenos de mais alta frequência. Por exemplo, a diferença notada na circulação de Walker antes e depois de 1977 deve estar associada à ODP. Nesse contexto, o presente trabalho compara as climatologias das circulações tropicais (Hadley, Walker e Monçônica) nas duas fases da ODP, anterior e posterior a 1977, para investigar possíveis diferenças nestas circulações.

DADOS E METODOLOGIA

Médias mensais de χ em 200hPa da re-análise do “National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research” (NCEP/NCAR) (Kalnay *et al.*, 1996) foram usadas no presente estudo. Estes dados estão em pontos de grade Gaussiana com 1,875° em longitude e latitude. Segundo Tanaka *et al.*, (2004), a circulação de Hadley está contida no campo médio zonal de χ , isto é, $[\chi(t, y)]$ e as circulações de Walker e Monçônica estão contidas no campo de desvio dessa média zonal, isto é, $\chi^*(t, x, y)$, onde x , y e t representam longitude, latitude e tempo, e $[\]$ e $()^*$ denotam a média zonal e o desvio da mesma, respectivamente. Ainda conforme este autores, o campo de $\chi^*(t, x, y)$ é dividido em componentes de sua média anual (circulação de Walker ou $\overline{\chi^*(x, y)}$) e da mudança sazonal (circulação Monçônica ou $\chi^{*'}(t, x, y)$), onde $(\bar{\ })$ e $()'$ denotam a média anual e o desvio da mesma, respectivamente. Os cálculos referentes às circulações de Hadley, Walker e Monçônica foram feitos para 1958-1976 e 1977-1999, que correspondem às fases fria e quente da ODP, respectivamente (Mantua *et al.*, 1997). As análises foram feitas para o verão (Dezembro a Fevereiro - DJF) e inverno (Junho a Agosto - JJA).

RESULTADOS

Climatologias

As médias climatológicas sazonais de χ em 200hPa dos períodos 1958-1976 e 1977-1999 e a diferença destas entre os dois períodos estão ilustradas na Figura 1. Em DJF, observam-se dois centros, um de $-120 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (divergência) no Pacífico equatorial oeste e outro de $100 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (convergência) sobre o norte da África (Figura 1a). O padrão mostra dominância da circulação de Walker com o número de onda zonal um sobreposto à circulação meridional associada com a circulação de Hadley. Em JJA, o centro negativo está mais forte ($-180 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) e deslocado para noroeste, próximo às Filipinas, enquanto o máximo positivo com valores de $140 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ está localizado no Atlântico Sul (Figura 1b).

Comparando-se os períodos de 1958-1976 e 1977-1999 algumas diferenças são evidentes. Durante DJF de 1977-1999 notam-se um centro negativo menos intenso sobre o Pacífico equatorial oeste e um centro positivo sobre o norte da África de mesma intensidade que no primeiro período (Figura 1c). Em relação a JJA de 1958-1976, em JJA do segundo período, o centro negativo possui a mesma intensidade e está ligeiramente deslocado para oeste e os valores positivos localizam-se em dois centros: um sobre o Atlântico Sul ($120 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) e outro de $80 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ sobre o leste do Pacífico sul (Figura 1d).

Os campos de diferença mostram maiores magnitudes no Pacífico tropical central (positivo) e na América do Sul (negativo). A extensão espacial das áreas de maiores magnitudes em ambas regiões difere de uma estação para a outra. Parte da diferença está na magnitude de χ em 200hPa, que é maior no período de 1958-1976 nas regiões do Pacífico oeste e da América do Sul, e parte desta diferença é pela mudança na localização do centro negativo no Pacífico tropical oeste que em JJA de 1977-1999 encontra-se ligeiramente deslocado para noroeste em relação ao do período de 1958-1976 (Figuras 1e e 1f). Consistente com estes resultados, Kawamura *et al.* (2004) observaram o deslocamento do mar das Filipinas para o Índico norte da divergência anômala em 200hPa no período posterior a 1977 durante o decaimento dos extremos do ENOS.

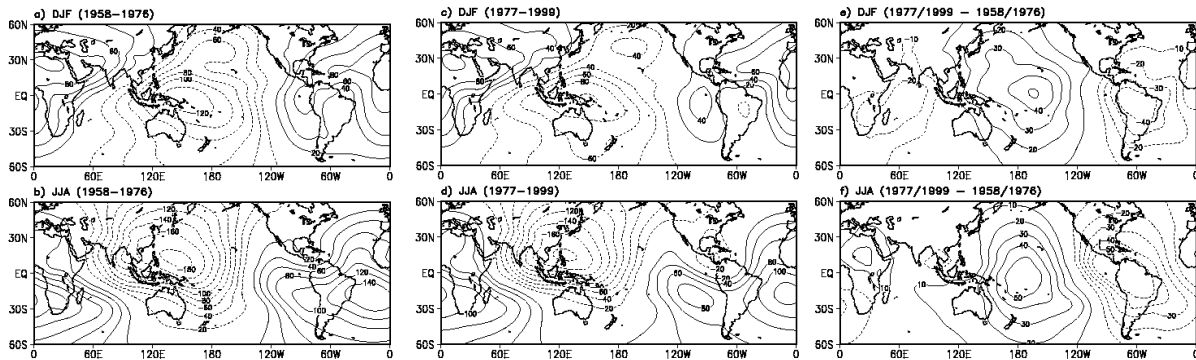


Figura 1 - Climatologia de χ em 200hPa para 1958-1976: a) DJF e b) JJA; para 1977-1999: c) DJF e d) JJA e a diferença dos dois períodos: e) DJF e f) JJA. As unidades são $10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

Circulação de Hadley

As médias zonais sazonais de χ em 200hPa para os períodos de 1958-1976 e de 1977-1999 são mostradas na Figura 2. Em DJF dos dois períodos, as médias zonais de χ são positivas no Hemisfério Norte (HN) e negativas no Hemisfério Sul (HS) com máximas magnitudes em torno de 25°N e de 15°S (descendência e ascendência, respectivamente) (Figura 2a). Portanto, como DJF é a estação de verão, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) associada com a circulação de Hadley está localizada em torno de 15°S . Existe uma pequena diferença de intensidade (estatisticamente significativa – Figura não mostrada) entre os dois períodos na banda entre 15° e 40° de latitude nos HN e HS, sendo o segundo período mais intenso.

O gráfico de JJA apresenta-se com os sinais invertidos em relação aos do gráfico de DJF, com valores negativos no HN e positivos no HS e máximas magnitudes em torno de 15°N e de 25°S. Como JJA é a estação de verão do HN, A ZCIT está em 15°N (Figura 2b). Nessa estação, quase não são observadas diferenças entre os dois períodos.

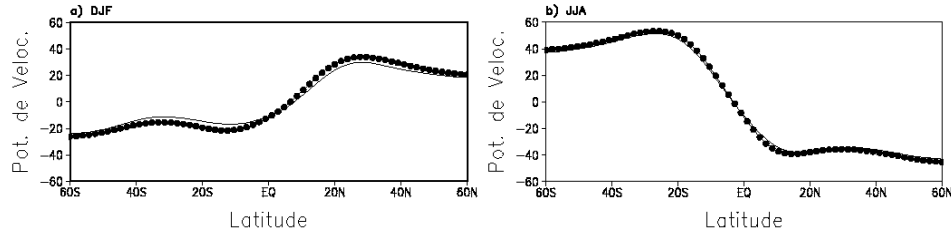


Figura 2 – Circulação de Hadley: a) DJF e b) JJA. O gráfico contínuo (pontilhado) refere-se ao período de 1958-1976 (1977-1999). As unidades do eixo vertical são $10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

Circulação de Walker

As circulações de Walker médias dos períodos de 1958-1976 e 1977-1999 estão representadas pelos campos de $\overline{\chi^*}(x, y)$ em 200hPa dos respectivos períodos (Figuras 3a e 3b). No período de 1958-1976, a circulação de Walker média mostra movimentos ascendentes no Pacífico equatorial oeste ($-100 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) e movimentos descendentes no Pacífico leste/costa do Peru ($70 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) e no Atlântico equatorial ($80 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$). Em relação ao primeiro período, em 1977-1999 o centro negativo sobre o Pacífico oeste é menos estendido meridionalmente e um pouco menos intenso ($-90 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) enquanto que os dois centros positivos são menos confinados equatorialmente e menos intensos ($50 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$).

As maiores diferenças dos campos de $\overline{\chi^*}(x, y)$ em 200hPa entre os dois períodos encontram-se no Pacífico equatorial oeste e sobre a América do Sul (Figura 3c). A similaridade entre as Figuras 1e, 1f e 3c indica que as diferenças entre as duas fases da ODP nas regiões do Pacífico oeste e da América do Sul na climatologia de χ em 200hPa refletem principalmente as diferenças na circulação de Walker, que são localizadas nestas regiões (Figura 3c).

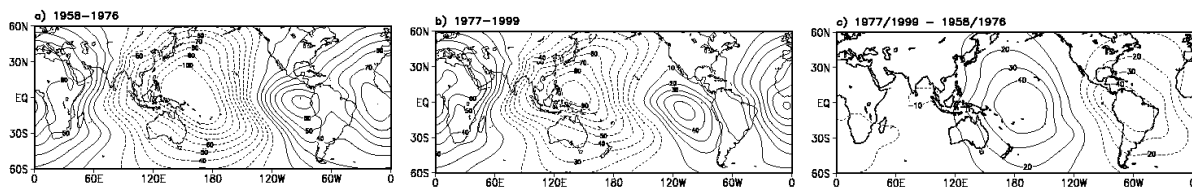


Figura 3 – Circulação de Walker: a) 1958-1976; b) 1977-1999 e c) diferença entre os dois períodos. As unidades são $10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

Circulação Monçônica

As médias sazonais de $\chi^*(t, x, y)$ em 200hPa do período de 1958-1976 estão mostradas nas Figuras 4a e 4b. Em DJF, um centro de $20 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ sobre o leste da Ásia e outro de $-30 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ sobre o leste do Pacífico norte/sudoeste dos Estados Unidos (Figura 4a) estão nas regiões com

características monçônicas (Lau e Li, 1984; Mechoso *et al.*, 2004). Em JJA, um centro de $-40 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ sobre o leste da Ásia e Índia está associado ao sistema de monção nesta região, enquanto os centros positivos, um sobre o sudoeste dos Estados Unidos e o outro em grande parte da América do Sul e o Atlântico tropical ($30 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) ocorrem nas regiões dos sistemas de monção da América do Norte e América do Sul, respectivamente (Figura 4b). Ressalta-se que a componente monçônica de χ em 200hPa mostra máximos e mínimos em regiões monçônicas características, com sinais opostos em DJF e JJA, como era de se esperar.

As circulações monçônicas do período de 1977-1999 (Figuras 4c e 4d) apresentam padrões em geral similares ao do primeiro período, porém mais intensas. Em DJF, são notados dois centros positivos, um de $40 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ sobre o leste da Ásia e outro de $20 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ sobre o Pacífico leste próximo à América do Sul, e dois centros negativos, um de $-40 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ sobre o Pacífico nordeste e outro de $-20 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ sobre o Índico sudoeste (Figura 4c). A menos do centro positivo no Pacífico leste próximo à América do Sul, o padrão é similar ao do primeiro período (Figura 4a). Em JJA, notam-se valores negativos centrados sobre a Ásia que se estendem sobre a Índia, leste da Ásia e parte do Pacífico oeste ($-70 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) e centros positivos sobre o leste do Pacífico norte ($40 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) e sobre Atlântico equatorial ($60 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) que se estende do nordeste da América do Sul até o norte da África (Figura 4d).

As diferenças entre 1977-1999 e 1958-1976 dos campos da componente monçônica de χ em 200hPa são pequenas e refletem a maior intensidade do segundo período em relação ao primeiro período (Figuras 4e e 4f). Isto é particularmente notável em JJA, quando se observa divergência (convergência) em altos níveis associada ao sistema de monção do leste da Ásia (região do Atlântico equatorial).

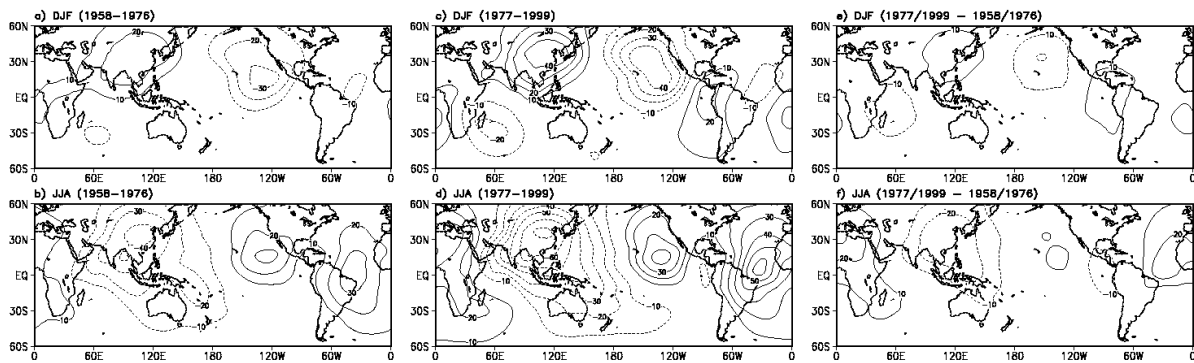


Figura 4 – Circulação monçônica para 1958-1976: a) DJF e b) JJA; 1977-1999: c) DJF e d) JJA e a diferença entre os dois períodos: e) DJF e f) JJA. As unidades são $10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

CONCLUSÕES

A análise climatológica mostra que, tanto na fase fria quanto na fase quente da ODP, as circulações de Hadley e Monçônica possuem configurações e intensidades similares, enquanto os

centros de ação da circulação de Walker estão mais intensos e ligeiramente deslocados para noroeste na fase positiva da ODP em relação à negativa. Portanto, a ODP pode modular as características climatológicas da circulação de Walker, o que não é observado para as circulações de Hadley e Monçônica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreoli, R. V.; Kayano, M. T. ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific decadal oscillation regimes. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 15, p. 2017-2030, Dec 2005.
- Gershunov, A.; Barnett, T. P. Interdecadal modulation of ENSO teleconnections. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 12, p. 2715-2725, Dec 1998.
- Kalnay, E. and co-authors. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437-471, Mar 1996.
- Kawamura, R.; Aruga, H.; Matsuura, T.; Iizuka, S. Two different regimes of anomalous Walker circulation over the Indian and Pacific oceans before and after the late 1970s. In: Wang, C.; Xie, S. P.; Caron, J. A. (eds) **Earth's Climate: the ocean-atmosphere interaction**. Washington, DC: Geophysical Monograph, 2004. p. 365-377.
- Krishnamurthy, V.; Goswami, B. N. Indian monsoon-ENSO relationship on interdecadal timescale. **Journal of Climate**, v. 13, n. 3, p. 579-595, Feb 2000.
- Lau, K. M.; Li, M. T. The monsoon of East Asia and its global association – A survey. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 65, n. 2, p. 114-125, Feb 1984.
- Mantua, N. J.; Hare, S. R.; Zhang, Y.; Wallace, J. M.; Francis, R. C. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 6, p. 1069-1079, June 1997.
- Mechoso, C. R., Robertson, A. W., Ropelewski, C. F., Grimm, A. M. The American Monsoon Systems. In: International Workshop on Monsoons, 3., 2004, Hangzhou, China. **Proceedings...** Hangzhou: World Meteorological Organization, 2004. p. 89-98.
- Rasmusson, E. M.; Arkin, P. A. Interannual climate variability associated with the El Nino/southern oscillation. **Coupled Ocean-Atmosphere Models**. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, p. 697-725, 1985.
- Tanaka, H. L.; Ishizaki, N.; Kitoh, A. Trend and interannual variability of Walker, monsoon and Hadley circulations defined by velocity potential in the upper troposphere. **Tellus**, v. 56A, n. 3, p. 250-269, 2004.
- Wang, C. Atmospheric circulation cells associated with the El-Niño/Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v. 15, n. 4, p. 399-419, 2002.