

**RESPOSTA ATMOSFÉRICA ÀS ANOMALIAS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR SOBRE O OCEANO PACÍFICO TROPICAL DURANTE 1998 E 1999: UMA ANÁLISE OBSERVACIONAL**

José Augusto Paixão **VEIGA**<sup>1</sup>  
José Francisco de **OLIVEIRA JÚNIOR**<sup>1</sup>  
Paulo Yoshio **KUBOTA**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Laboratório Associado de Meteorologia e Oceanografia (LMO), INPE.*

[jaugusto@cptec.inpe.br](mailto:jaugusto@cptec.inpe.br)

<sup>2</sup> *Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Cachoeira Paulista, SP, Brasil*

**ABSTRACT**

Atmospheric and oceanographic response associated with the El Niño and La Niña events are described and examined using the NCEP-NCAR reanalysis field and from a climatology of January 1990 to December 2000. The warm phase of ENSO was accompanied by negative anomaly precipitation on the Amazon, northern Australia, and over Indonesia. This anomalies were seen to be relation with the negative anomalous in convection, umidit, and anomaly subsidence over these areas. In a strong and reverse way, positive anomalies in rainfal over the same areas were observed during the La Niña case. In this case was show negative SST anomalies in the equatorial central Pacific and equatorial Indian Ocean. Associated with this SST anomaly was found a reverse patter on relation to El Niño event.

**1 INTRODUÇÃO**

Flutuações interanuais no campo da pressão atmosférica ao nível médio do Mar (NMM) na área tropical do Oceano Pacífico e sobre a região da Indonésia apresentam influencia direta sobre muitos parâmetros meteorológicos e oceanográficos, tais como; chuvas, nebulosidade, ventos, umidade, termoclina, correntes equatoriais etc... O acoplamento entre os fenômenos atmosféricos e oceânicos, que apresenta um alto grau de complexidade, foi primeiramente sugerido por Walker numa série de artigos (Walker, 1923, 1928; Walker and Bliss, 1932). Este sistema acoplado Oceano-Atmosfera sobre o Oceano Pacífico apresenta uma ampla variação zonal ao longo do equador. Bjerknes (1969) propôs um mecanismo de interação entre os movimentos verticais ascendentes e descendentes, e o padrão espacial de *TSM* sobre o Pacífico. Ele afirmou que uma circulação térmica direta em grande escala no plano vertical zonal (Fig. 1), denominada de circulação de Walker por ele, é mantida pelo gradiente zonal de *TSM*, isso ocorreria da seguinte maneira; a região de maiores valores de *TSM* aquece o ar adjacente provindo do Pacífico Leste que é relativamente mais frio e seco, este ar abastecido de umidade e aquecido eleva-se na atmosfera.

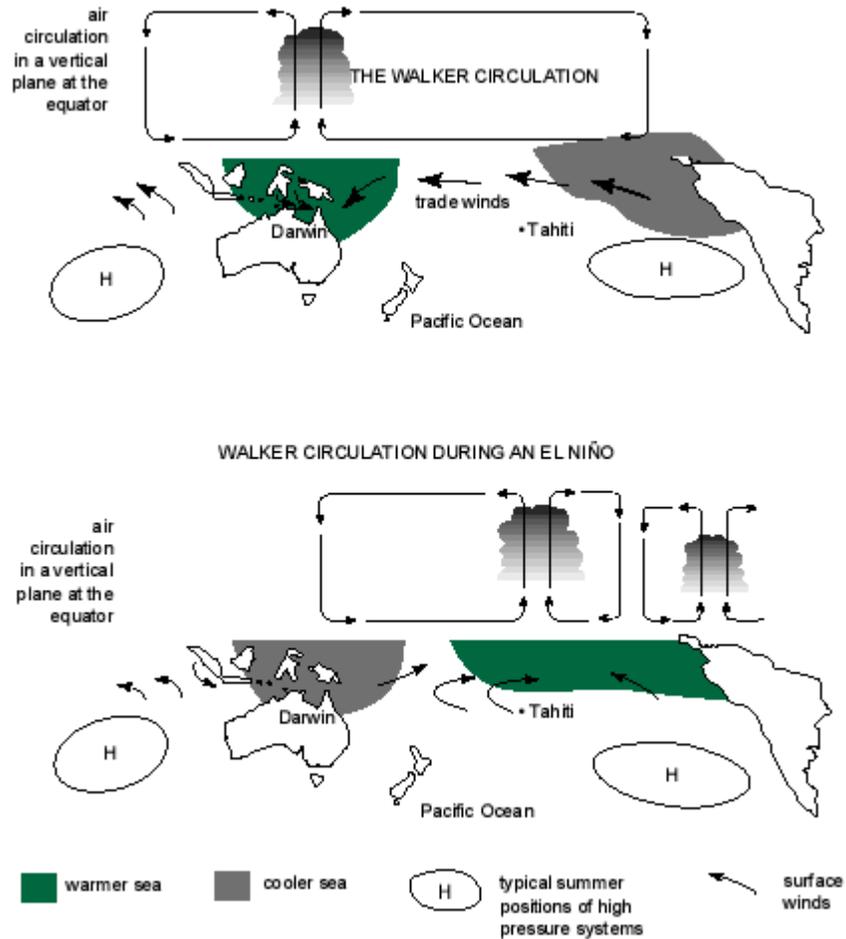


Figura 1. Diagrama esquemático da circulação de Walker para um ano normal e para um ano de El Niño.

A medida em que ocorre a condensação e a liberação de calor latente durante a formação das grandes atividades convectivas, a atmosfera é aquecida e expandida, fazendo com que apareça uma força gradiente de pressão, em altos e baixos níveis, entre o Pacífico Leste e Oeste que mantém esta circulação. Resultados com Modelos de Circulação Geral Atmosféricas (GCMA) e com modelos acoplados (Blackmon, 1983; Roeckner et al. 1996), tem sugerido que as grandes anomalias climáticas no regime das chuvas nos trópicos são associadas as variações na circulação de Walker, principalmente nas regiões da Ásia e AS tropical durante seus regimes chuvosos. Alguns trabalhos tem mostrado (Bjerknes, 1969; Chervin e Druyan, 1984; Stone e Chervin, 1984) que a circulação de Walker é desintensificada durante anos de El Niño (Fig. ) e intensificada durante anos de La Niña. Segundo os autores durante anos de El Niño o gradiente zonal de *TSM* sobre o Pacífico equatorial desaparece e em anos de La Niña esse gradiente é intensificado fazendo com que a circulação de Walker varie durante estes eventos. Sabe-se hoje que as anomalias de *TSM* sobre o Pacífico Central e Leste não afetam apenas regiões locais, mas sim regiões a milhares de quilômetros de onde estas anomalias ocorreram (Fig. 2).

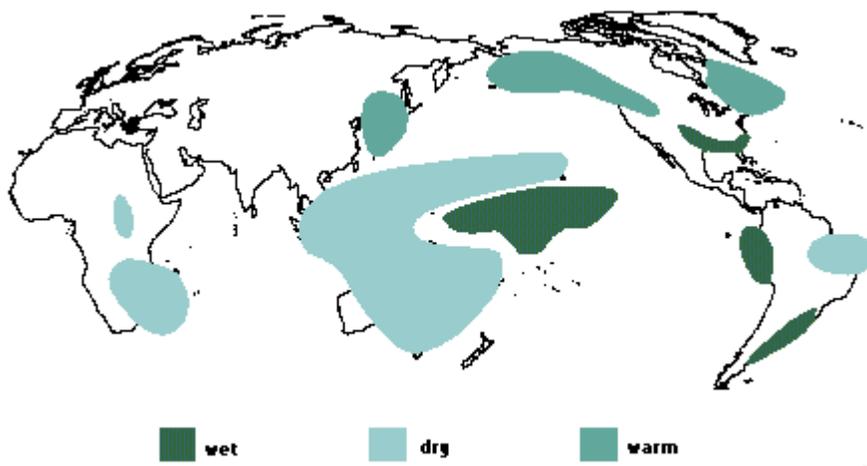


Figura 2- Impactos climáticos no padrão das chuvas e temperatura durante um evento tipo El Niño intenso.

*O presente trabalho tem por objetivos:*

1. Investigar a resposta da atmosfera perante anomalias intensas de TSM que ocorreram sobre a região do Pacífico durante janeiro de 1998 (El Niño) e 1999 (La Niña), além, das anomalias climáticas no campo da precipitação, umidade específica, velocidade vertical, potencial de velocidade e evaporação.
2. Fazer uma descrição superficial da dinâmica dos principais fenômenos que causam as flutuações climáticas perante ao evento ENOS como mostra a figura 2, mas com maior ênfase na região tropical.

## 2. DADOS E METODOLOGIA

### a. Dados

Os dados utilizados neste estudo consistem de TSM, velocidade vertical em 500 mb ( $\omega$ ), vento zonal ( $u$ ) e meridional ( $v$ ) em 925 mb, razão de precipitação, pressão ao nível médio do mar, evaporação e umidade específica ( $q$ ) do National center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research – (NCEP/NCAR) reanalysis project (Kistler et al., 2001; Kalnay et al., 1996).

A análise é feita através dos campos de anomalias das variáveis relacionadas a cima, com exceção do campo do potencial de velocidade, para os meses de janeiro de 1998 e 1999. O espaço de grade horizontal para a análise dos dados de médias mensais estão em uma resolução de  $2.5 \times 2.5$  graus. Os campos de anomalias foram obtidos a partir de uma climatologia de 10 anos (1990-2000).

### b. Metodologia

#### *O potencial de velocidade*

Helmholtz mostrou que uma função vetorial pode ser expressa como a soma de uma parte divergente e outra rotacional. A partir desse conceito a velocidade do vento horizontal pode ser escrita na forma:

$$\mathbf{V} = -\nabla\chi + \mathbf{k} \times \nabla\phi = \mathbf{V}_d + \mathbf{V}_r \quad (1)$$

Onde  $\chi$  é o potencial de velocidade e  $\phi$  é a função de corrente. Aplicando o divergente e o rotacional da equação (1), temos:

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = -\nabla^2 \chi \quad (2)$$

$$\nabla \times \mathbf{V} = \nabla^2 \phi \quad (3)$$

Assim resolvendo os Laplacianos para  $\chi$  e  $\phi$  é possível escrever  $\mathbf{V}$  em suas duas componentes. O primeiro termo da equação (1) é obtido a partir do gradiente do potencial de velocidade. O segundo termo da equação (1) equivale ao vento geostrófico (Newell e Zhu, 1996).

A resposta atmosférica em grande escala associada as anomalias positivas e negativas de TSM que ocorreram no Pacífico Central e Leste serão analisadas para toda a faixa tropical do globo. Além disso tentar-se-a abordar os aspectos mais relevantes das mudanças climáticas que ocorrem devido as anomalias oceânicas.

### 3. RESULTADOS

Na literatura já existe um grande número de artigos que abrangem, estudos observacionais e de modelagem que incluem GCMA e modelos acoplados, os efeitos que as anomalias de TSM no Oceano Pacífico tropical exercem na atmosfera. Tais anomalias de TSM, principalmente as anomalias no Pacífico, são sem dúvida as principais responsáveis pelas anomalias de precipitação na região tropical (Ropelewski e Halpert, 1987). Por esta razão o tópico deste trabalho enfocará as anomalias de TSM que ocorreram no Oceano Pacífico tropical durante os meses de janeiro e julho de 1998 e 1999, respectivamente, meses em que ocorreu uma enorme variação no campo das anomalias de TSM, e suas respectivas respostas no padrão atmosférico tropical.

#### a. Anomalias da temperatura da superfície do mar (ATSM) e a resposta da atmosfera durante janeiro de 1998

O mês de janeiro de 1998 exibiu a condição de um El Niño bem desenvolvido (Fig. 3a), anomalias positivas de TSM foram observadas ao longo de uma longa faixa zonal que segue da costa oeste tropical da AS e vai até o Pacífico Central. Enquanto que sobre a Indonésia e o Oceano Índico Leste as anomalias de TSM apresentaram condições de quase neutralidade. Sobre o Oceano Índico Oeste próximo a costa da Índia e sobre o Oceano Atlântico Norte tropical é possível observar-mos a relação em fase, das anomalias de TSM, que estas áreas oceânicas têm com o Pacífico Leste e Central (Hammed et al. 1993; Ju e Slingo, 1995). Alguns trabalhos indicam que durante anos de El Niño as chuvas de monção apresentam uma significativa anomalia negativa, isto ocorreria devido a desintensificação do contraste térmico entre o Oceano Índico e o continente asiático o que levaria a um período de monção fraca. Equivalente a isto, em anos de El Niño o Oceano Atlântico Norte tropical apresenta anomalias positivas de TSM, isto faz com que a Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT) fique mais afastada da sua posição climatológica e fazendo com que o nordeste brasileiro (NEB) apresente chuvas abaixo da média (Nobre e Shukla, 1996).

Como pode ser observado na figura 3b, as anomalias de pressão atmosférica respondem bem as anomalias de TSM sobre o Pacífico. Pode-se notar que existe uma ampla área no Pacífico onde as anomalias de pressão são negativas, tais áreas compreendem a costa oeste da AS e Pacífico Central, enquanto que anomalias positivas de pressão se estabelecem sobre as regiões da Austrália e Indonésia. Espera-se, então, que os alísios desintensifiquem (não mostrado aqui) e as águas mais quentes do Pacífico Oeste desloquem-se para a região central e leste do Pacífico. Com a TSM atingindo valores mais altos na costa oeste da AS, a ZCIT é "atraída" por estas águas mais quentes, trazendo então chuvas para a região costeira do Peru e Equador. Uma vez que as anomalias positivas de TSM são deslocadas para leste, as regiões convectivas também são deslocadas e com isso as anomalias positivas de precipitação migram para leste com as regiões de convecção (Fig. 3d), o que é consistente com as mudanças na circulação de Walker em anos de El Niño.

Com o deslocamento do ramo ascendente da circulação de Walker para a região central e leste do Pacífico (Fig. 3e), a Indonésia apresenta anomalias negativas de chuva, uma vez que os movimentos ascendentes que causam as grandes quantidades de chuva registradas lá são deslocados para o Pacífico Central e Leste a região da Indonésia fica sob uma ampla área de anomalias positivas de  $\omega$  ( $\omega$  positivo significa movimentos verticais descendentes), ver figura 4e. Uma questão interessante de ser analisada com detalhes e com estudos de modelagem numérica é a seguinte: **quem induz as anomalias negativas de precipitação sobre o NEB, seria o ramo descendente da circulação de Walker ou o Dipolo positivo do Atlântico?**

Partindo da premissa de que o ramo descendente da circulação de Walker é deslocado para sobre a região do *NEB*, isto faz com que os movimentos verticais descendentes impeçam a formação de grandes atividades convectivas sobre a região e por esta razão o norte do *NEB* apresenta anomalias negativas de precipitação. Sabe-se também que a precipitação pode ser o resultado da evaporação ou da convergência de umidade, ou do seu efeito conjunto, sobre uma determinada área. Aqui o interessante é saber qual foi o efeito dominante, a evaporação ou a convergência de umidade, para que as chuvas no Pacífico Central e Leste aumentassem. Com a ajuda das figuras 3c e 3f, podemos notar que a quantidade de chuvas registrada no Pacífico Leste e Central foi devido principalmente a convergência de umidade, uma vez que as anomalias positivas de evaporação foram muito pequenas em comparação as anomalias positivas de umidade específica. Tais resultados concordam com os resultados de Garrido e Stone (1976) que afirmaram que o resultado das chuvas no oceano Pacífico é devido principalmente a convergência de umidade e não devido a evaporação como Bjerknes afirmou.

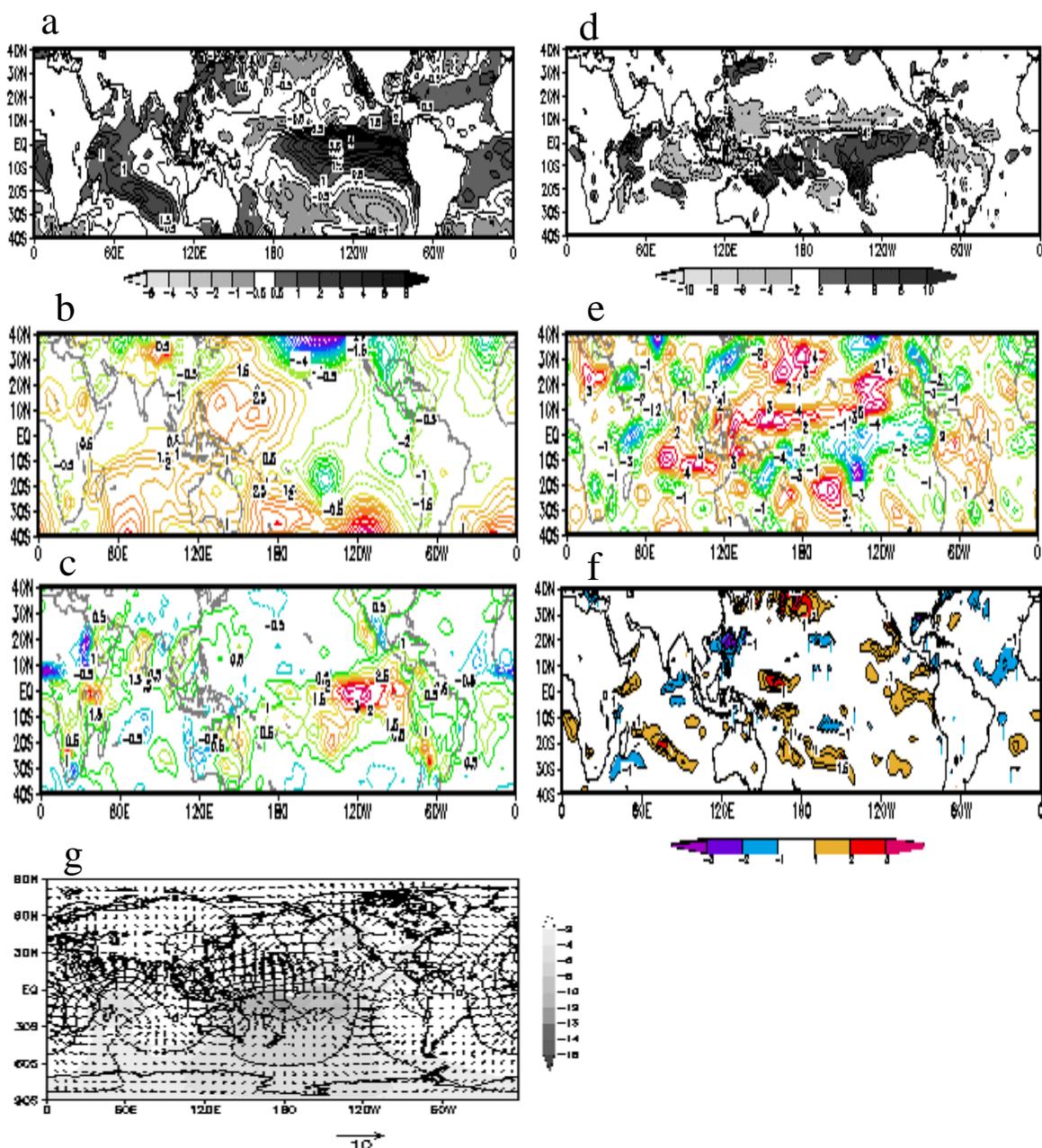


Figura 3- Anomalias de TSM [°C] (A), pressão ao nível médio do mar [hPa] (B), umidade específica [g Kg<sup>-1</sup>] (C), Anomalias de precipitação [mm dia<sup>-1</sup>] (D), movimento vertical [hPa s<sup>-1</sup>] (E), razão de evaporação [mm dia<sup>-1</sup>] e

velocidade potencial  $\chi$  em 200 mb [ $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ] (G), todos os campos de anomalias são para janeiro de 1998. Os valores de  $\chi$  estão multiplicados por  $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

**b. Anomalias da temperatura da superfície do mar (ATSM) e a resposta da atmosfera durante janeiro de 1999**

Durante janeiro de 1999 o Oceano Pacífico apresentou condições de La Niña matura, as anomalias negativas de TSM alcançaram os valores de até  $1,5^\circ \text{C}$  abaixo da média na parte central e leste do Pacífico. Como resposta a esta condição oceanográfica, a ZCIT é deslocada para norte do equador (não mostrado aqui) fazendo com que o Pacífico Leste apresente baixos valores de precipitação (Fig. 4d). Com as águas do Pacífico Leste mais frias os alísios de sudeste também intensificam e as águas mais quentes são empilhadas no lado oeste fazendo com que a termoclina se afaste mais da superfície e com isso a TSM tende a aumentar no lado oeste. Com a intensificação dos alísios de sudeste, a Alta do Pacífico Leste apresenta anomalias positivas, como configurado na figura 4b. Podemos observar a partir desta figura que as anomalias de pressão aumentaram no lado leste e diminuíram no lado oeste do Pacífico. Como resposta as chuvas ficaram abaixo da média climatológica no Pacífico Central e acima da média no Pacífico Oeste, Indonésia e norte da Austrália (Fig. 4d). A figura 4c indica que a umidade foi advectada da região central do Pacífico configurando, o que levou aos baixos índices de chuva no Pacífico Central.

Neste período podemos observar a grande relação entre a intensidade do gradiente zonal de TSM e a intensificação da circulação de Walker como já discutido anteriormente. Como podemos observar na figura 4e, anomalias positivas de  $\omega$  estão sobre a região do Pacífico Central e Leste o que impede a formação dos grandes cumulo nimbus na região. A medida em que os alísios intensificam mais umidade é advectada para o Pacífico Oeste e com isso anomalias positivas de evaporação (Fig. 4f) são observadas sobre uma pequena faixa sobre as regiões onde anomalias positivas de umidade específica se encontram. Este período também foi caracterizado por consideráveis atividades convectivas sobre a AS e sobre a Indonésia (Fig. 4g). Note que as regiões que apresentam movimentos verticais ascendentes são caracterizadas por anomalias positivas de umidade específica, pressão, precipitação e TSM, caracterizando assim uma grande relação entre estes parâmetros.

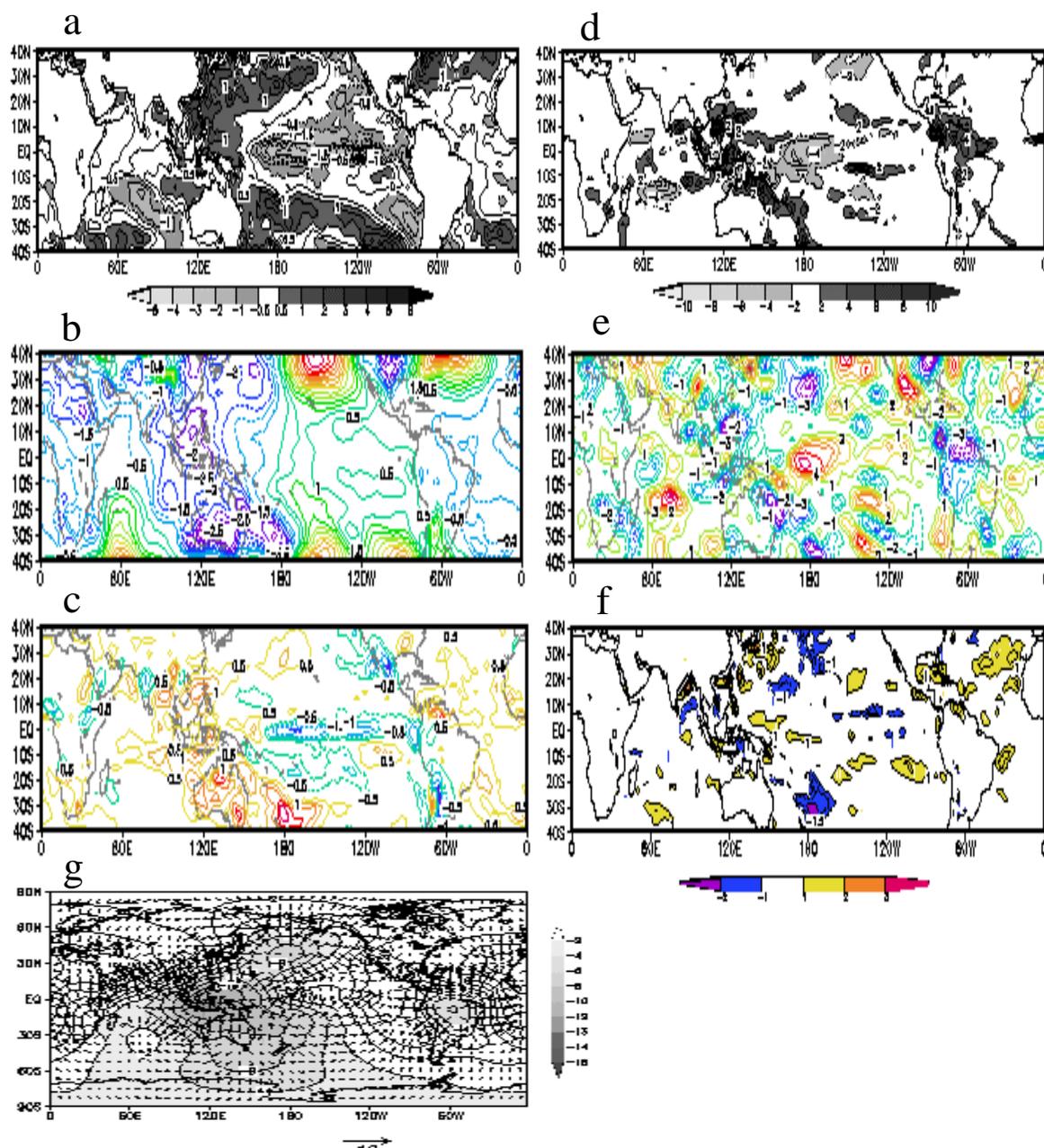


Figura 4- Anomalias de TSM [ $^{\circ}\text{C}$ ] (A), pressão ao nível médio do mar [hPa] (B), umidade específica [ $\text{g Kg}^{-1}$ ] (C), Anomalias de precipitação [ $\text{mm dia}^{-1}$ ] (D), movimento vertical [ $\text{hPa s}^{-1}$ ] (E), razão de evaporação [ $\text{mm dia}^{-1}$ ] (F) e velocidade potencial  $\chi$  em 200 mb [ $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ] (G), todos os campos de anomalias são para janeiro de 1999. Os valores de  $\chi$  estão multiplicados pôr  $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

#### 4. CONCLUSÃO

Este trabalho enfatizou os principais aspectos meteorológicos e oceanográficos observados durante períodos em que ocorreram anomalias climáticas na região dos trópicos associadas aos eventos El Niño e La Niña. O objetivo do estudo era mostrar de uma maneira bem clara como a atmosfera tropical responde as anomalias de TSM sobre o Pacífico Leste e Oeste que ocorreram durante o El Niño de 1998 e a La Niña de 1999.

Através das reanálises do NCEP, pôde ser observado que anomalias negativas de precipitação, durante janeiro de 1998, que ocorreram sobre o Pacífico Oeste, Indonésia, norte da Austrália e Amazônia foram acompanhadas por

movimentos verticais subsidentes e anomalias negativas de umidade específica, os quais devem ter causado uma inibição das atividades convectivas e retirada da umidade desta área para uma outra região. Sobre a Amazônia, como a umidade não foi advectada da região o principal causador das chuvas abaixo da média deve ter sido a subsidência na região, fato este que já foi abordado por muitos estudos de El Niño e precipitação na AS. Alguns trabalhos tem mostrado que com o deslocamento da circulação de Walker para leste os ramos subsidente de leste e de oeste da mesma fica sobre a região da Amazônia e sobre a Indonésia, respectivamente.

O evento caracterizado pela La Niña durante janeiro de 1999 apresentou uma fantástica mudança nos padrões de chuva em comparação ao evento El Niño. Anomalias negativas de precipitação sobre o Pacífico Central foram acompanhadas por anomalias negativas de TSM, movimento vertical e de umidade e de anomalias positivas de pressão atmosférica. Sobre a Indonésia, norte da Austrália e Amazônia as chuvas ficaram acima da média. Este padrão anômalo de chuvas foi devido a um aumento na convecção associado as anomalias negativas de movimento vertical (movimentos ascendentes). O principal motivo pelo qual houve uma grande mudança no regime climático de um ano para o outro, na região tropical, foi devido as mudanças nos padrões atmosféricos associados as anomalias oceânicas que ocorreram sobre o pacífico Central e Leste durante 1998 e 1999.

## 5 REFERÊNCIAS

- Bjerknes, J., 1969: Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, 97, 163-172.
- Blackmon, M. L., Geisler J. E., Pitcher E. J., 1983: A general circulation Model study of January climate anomaly Patterns associated with interannual variation of equatorial Pacific sea surface temperatures. *J. Atmos. Sci.*, 40, 1410-1425.
- Chervin, R. M., Druyan, L. M., 1984: The influence of ocean surface temperature gradient and continentality on the Walker circulation. Part I: prescribed tropical changes. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1510-1523.
- Garrido, A. G., e Stone, P. H., 1977: On the heat balance of the Walker circulation. *J. Atmos. Sci.*, 34, 1155-1162.
- Hammed, S., Sperber, K. R., Meinster, A., 1993: Teleconnections of the southern oscillation in the tropical Atlantic sector in the OSU coupled upper ocean-atmosphere GCM. *J. Climate*, 6, 487-498.
- Kalnay, E. M., et al. 1996: The NCEP/NCAR reanalysis project. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 77, 437-471.
- Kistler, R., et al. 2001: The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means cd-rom and documentation. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 82, 247-267.
- Ju, J., e Slingo, J., 1995: The Asian summer monsoon and ENSO. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 121, 1133-1168.
- Newell, R. R., e Zhu, Y. 1996: Walker circulation and tropical upper tropospheric water vapor. *J. Geophys. Res.*, 101, 1961-1974.
- Nobre, P., e Shukla, J. 1996: Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *J. Climate*. 9, 2464-2479.
- Roeckner, E., Oberhuber, J. M., Christoph, I. K., 1996: ENSO variability and atmospheric response in a global coupled atmosphere-ocean GCM. *Clim. Dyn.*, 12, 737-754.
- Ropelewski, C. F., e Halpert, M. S., 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1510-1523.
- Stone P. H., Chervin, R. M., 1984: The influence of ocean surface temperature gradient and continentality on the Walker circulation. Part II: prescribed global changes. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1524-1534.
- Walker, G. T., 1923: Correlation in seasonal variations of the weather, VIII: A preliminary study of world weather. *Mem. Indian. Meteor. Dep.*, 24, 75-131.
- Walker, G. T., 1928: World Weather III. *Mem. Roy. Meteor. Soc.*, 17, 97-106.
- Walker, G. T., Bliss, E. W. 1932: World Weather V. *Mem. Roy. Meteor. Soc.*, 4, 53-84.