

DESVIOS PERCENTUAIS DA PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO CHUVOSA DO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO DURANTE OS ANOS DE EL NIÑO E LA NIÑA NO PACÍFICO TROPICAL E FASES DO PADRÃO DE DIPOLO NO ATLÂNTICO TROPICAL

Everaldo B. de Souza (1); José M. Brabo Alves; Carlos A. Repelli; Nivaldo S. Ferreira; Maria Elisa S. Silva; Antonio G. Ferreira

(1) Divisão de Ciências Meteorológicas - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758, São José dos Campos-SP, CEP-12227-010 · e-mail: everaldo@met.inpe.br

ABSTRACT

In this work was calculated the precipitation percentage of the Northeastern Semi-Arid rainy season (February to May) associated with El Niño and La Niña episodes observed over Pacific Ocean and positive and negative phasis of Dipole Pattern observed over Tropical Atlantic. The observational analysis indicate that Northeastern Semi-Arid rainy season, in the posterior years to El Niño onset, are associated with negative precipitation up to 25%, i.e. rainy season below of normal. In contrast, La Niña episodes are associated with positive precipitation up to 15%, i.e. rainy season slightly above of normal. On the other hand, positive Dipole years are associated with negative precipitation between 10% to 40% (i.e. very deficient rainy season). Inversely, negative Dipole years are associated with positive precipitation between 10% to 50% (i.e. very abundant rainy season). Hence, take account the magnitude of the precipitation percentage found, suggest that influences of the Tropical Atlantic (Dipole Pattern phasis) over Northeastern Semi-Arid rainy season are relatively higher in comparison with Tropical Pacific influences (El Niño and La Niña episodes).

1. INTRODUÇÃO

A maior parte do total pluviométrico anual observado sobre a região do Semi-Árido Nordeste concentra-se em quatro meses do ano, isto é, fevereiro-março-abril-maio (**FMAM**), os quais compreendem sua estação chuvosa. Um grande número de pesquisas científicas investigaram os mecanismos físicos responsáveis pela grande variabilidade pluviométrica (ocorrência de secas e enchentes) observadas sobre o Semi-Árido Nordeste. Os resultados dessas pesquisas evidenciaram que tais anomalias pluviométricas estão fortemente relacionadas com padrões atmosféricos e oceânicos de grande escala que se processam (conjuntamente ou não) sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais. Os dois modos de variabilidade oceano-atmosfera de grande escala que “modulam” a variabilidade interanual da estação chuvosa no Semi-Árido Nordeste são: o fenômeno **El Niño/Oscilação Sul (ENOS)** no Pacífico (Caviedes, 1973; Kousky *et al.*, 1984; Nobre e Rennó, 1985; Rao *et al.*, 1986; Ropelewski e Halpert, 1986; Kayano *et al.*, 1988; Aceituno, 1988; Kousky e Ropelewski, 1989; Alves e Repelli, 1992, entre outros) e o **Padrão de Dipolo** no Atlântico (Hastenrath e Heller, 1977; Moura e Shukla, 1981; Servain e Legler, 1986; Nobre e Shukla, 1996; Souza, 1997).

Cane (1992) definiu o **ENOS** como um fenômeno de escala global relacionado a um forte acoplamento oceano-atmosfera que manifesta-se sobre o Pacífico Tropical, no qual consiste de uma componente oceânica, o *El-Niño* (aquecimento anômalo das águas superficiais no Pacífico Leste) e uma componente atmosférica, a Oscilação Sul (**OS**) (flutuação inversa no campo de pressão entre as regiões da Alta Subtropical do Pacífico Sudeste e a Baixa Pressão da Indonésia). A medida da **OS** é dada pelo Índice de Oscilação Sul (**IOS**), diferença normalizada no campo das pressões ao nível do mar (**PNM**) entre as estações de Tahiti no Pacífico Sul e Darwin no norte da Austrália. O **ENOS** possui duas fases opostas: a fase quente (*El Niño*) caracterizada pela manifestação de anomalias de temperatura da superfície do mar (**TSM**) positivas sobre o Pacífico centro-leste, alísios mais fracos do que o normal e **IOS** negativo; e a fase fria (*La Niña*) caracterizada por anomalias negativas de **TSM** sobre o Pacífico centro-leste, alísios mais intensos do que o normal e **IOS** positivo. A **OS** funciona como um balanço de massa atmosférica de grande escala, envolvendo trocas de ar entre os hemisférios leste e oeste, centradas nas latitudes tropicais e subtropicais, sendo que os centros de ação localizam-se sobre a Indonésia e Pacífico Tropical Sul. Esses centros de ação estão ligados por uma célula de circulação de grande escala no sentido zonal, isto é, leste-oeste (Célula de Walker) com ramo

ascendente no Pacífico oeste e ramo subsidente no Pacífico leste. A maioria dos estudos que abordaram os impactos do ciclo do **ENOS** sobre o clima do Semi-Árido Nordeste foram mais direcionados com relação à sua fase quente (episódios *El Niño*). Kousky *et al.* (1984); Kayano *et al.* (1988) e Kousky e Ropelewski (1989) sugeriram que as decorrentes secas que assolam o Semi-Árido Nordeste, associadas ao fenômeno *El Niño*, são devido às mudanças na Célula de Walker que passa a apresentar o ramo subsidente sobre o Atlântico Norte. Na **Figura 1** mostra-se a esquematização da Célula de Walker modificada em associação às condições de *El Niño*, em que nota-se na região do Pacífico centro-leste, águas mais quentes do que o normal e ramo de ar ascendente. Esse ramo de ar ascendente (subindo sobre o Pacífico centro-leste) deve descer em algum lugar (continuidade de massa), o que ocorre sobre a região norte da Austrália-Indonésia e, ainda, sobre o Atlântico Equatorial Norte, atingindo o leste da Amazônia e norte do Semi-Árido Nordeste, inibindo a formação de nuvens e ocasionando chuvas abaixo do normal nessas regiões.

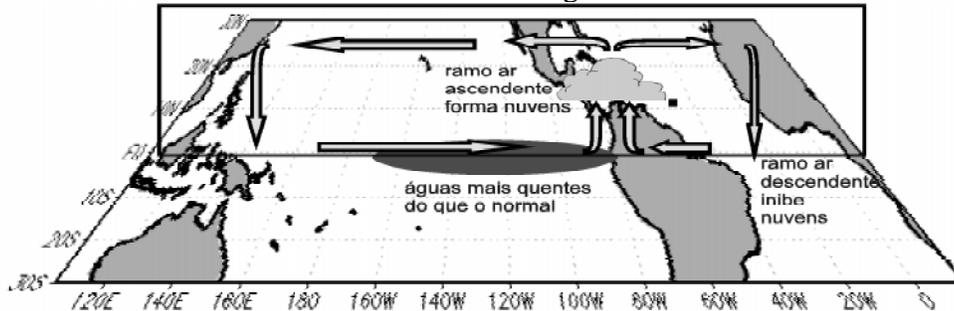


Figura 3: Esquematização da Célula de Walker modificada, em associação às condições de *El Niño*.

Durante os meses do outono austral, isto é, março-abril-maio, período coincidente com a estação chuvosa do Semi-Árido Nordeste, o modo de variabilidade de grande escala dominante sobre o Atlântico Tropical é o conhecido **Padrão de Dipolo** (Hastenrath e Heller, 1977; Moura e Shukla, 1981; Servain e Legler, 1986; Nobre e Shukla, 1996). Este modo caracteriza-se pela manifestação simultânea de anomalias de **TSM** configurando-se espacialmente com sinais opostos sobre as Bacias Norte e Sul do Atlântico Tropical. O padrão térmico inverso gera o aparecimento de um gradiente térmico meridional e inter-hemisférico sobre o Atlântico Equatorial (Wagner, 1996), o qual exerce influências no deslocamento norte-sul da Zona de Convergência Intertropical (**ZCIT**) (Hastenrath e Greichscar, 1993; Nobre e Shukla, 1996), que constitui-se no principal sistema meteorológico indutor de chuvas na região do Semi-Árido Nordeste na estação chuvosa. Na **Figura 2** mostra-se como as fases do Dipolo “modulam” o posicionamento da banda de nebulosidade e precipitação associada à **ZCIT**, cujo eixo principal tende a posicionar-se sobre a região para onde está direcionado o gradiente térmico. Por exemplo, na fase positiva do Dipolo (anomalias positivas de **TSM** na Bacia Norte e negativas na Bacia Sul) o gradiente térmico aponta para o HN e, conseqüentemente, as anomalias positivas de precipitação associada à **ZCIT** posicionam-se, predominantemente, ao norte do Equador (**Figura 2a**). Por outro lado, na fase negativa do Dipolo (anomalias negativas de **TSM** na Bacia Norte e positivas na Bacia Sul) o gradiente térmico aponta para o HS e as anomalias positivas de precipitação associada à **ZCIT** tendem a posicionar-se, predominantemente, ao sul do Equador (**Figura 2b**).

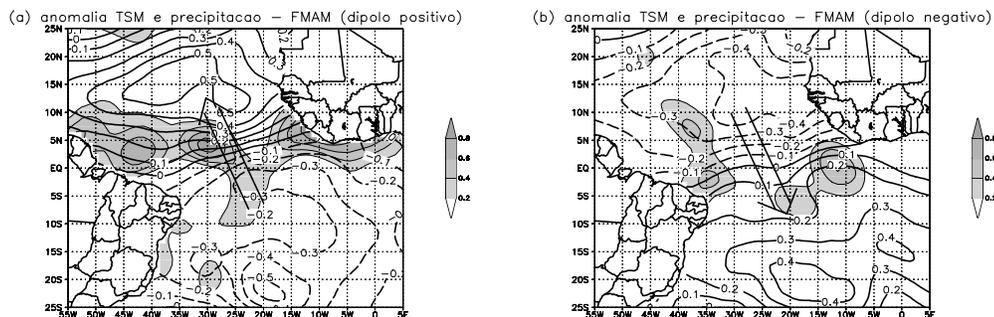


Figura 2: Anomalias de **TSM** (isolinhas) e de precipitação (áreas hachuradas) para o quadrimestre **FMAM** nos anos em que se observaram: **(a)** fase positiva **(b)** fase negativa do Padrão de Dipolo sobre o Atlântico Tropical. As isolinhas contínuas representam anomalias positivas e as tracejadas anomalias negativas de **TSM**. As áreas hachuradas indicam

anomalias positivas de precipitação. As setas indicam o sentido do gradiente térmico para onde a **ZCIT** tende a posicionar-se.

Este trabalho tem como objetivo quantificar os desvios percentuais da precipitação no Semi-Árido Nordeste, durante o período da estação chuvosa, em associação aos anos de ocorrência de *El Niño*, *La Niña* e fases do Padrão de Dipolo, verificando a contribuição de ambos os modos de variabilidade climática observados nos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais.

2. DADOS E METODOLOGIA

Neste trabalho utilizaram-se o índice de anomalias de **TSM** mediado sobre a área compreendida entre 4°S-4°N/150°W-90°W no Oceano Pacífico, computados por Meyers *et al.* (1997) para o período de 1912 a 1997; o índice dos desvios normalizados de **TSM** observados sobre as Bacias Norte (5°N-25°N/50°W-20°W) e Sul (2°S-22°S/25°W-5°E) do Atlântico Tropical computados por Souza (1997) e os totais mensais da série histórica de precipitação cedida pelo **DNAE** e **FUNCEME**, compreendendo 66 estações espacialmente bem distribuídas ao longo do Semi-Árido Nordeste no período de 1912 a 1989 (Brito *et al.*, 1991; Alves e Repelli, 1992).

A metodologia utilizada neste trabalho é a técnica de casos compostos (para os dados comuns de **TSM** e precipitação). Os anos de ocorrência dos episódios *El Niño* e *La Niña* foram selecionados com base na metodologia descrita em Meyers *et al.* (1997), isto é, os anos que apresentaram o índice de anomalias de **TSM** maior ou igual a +0.5°C (-0.5°C) durante os meses de outubro a dezembro, consecutivamente, foram considerados anos de *El Niño* (*La Niña*). Por outro lado, os anos correspondentes as fases do Padrão de Dipolo foram selecionados com base na metodologia descrita em Souza (1997), ou seja, consideraram-se como anos de ocorrência da fase positiva (negativa) do Dipolo, aqueles que apresentaram durante os meses consecutivos de março a maio, desvios positivos (negativos) de **TSM** no Atlântico Norte e, simultaneamente, desvios negativos (positivos) de **TSM** no Atlântico Sul. Na **Tabela 1** apresenta-se a relação dos anos correspondentes aos episódios *El Niño* e *La Niña* e fases do Padrão de Dipolo, selecionados pelos critérios mencionados anteriormente.

Tabela 1 - Relação dos anos de ocorrência dos episódios *El Niño* e *La Niña* (entre 1912 a 1989) sobre o Pacífico e das fases positiva e negativa do Padrão de Dipolo sobre o Atlântico Tropical (entre 1945 a 1989).

anos de El Niño:	13, 18, 25, 30, 40, 51, 53, 57, 63, 65, 69, 72, 76, 82, 86, 87
anos de La Niña:	16, 22, 24, 38, 42, 44, 49, 54, 55, 56, 64, 67, 70, 71, 73, 75, 88
anos da fase positiva do Dipolo:	51, 53, 56, 58, 66, 70, 78, 79, 80, 81
anos da fase negativa do Dipolo:	49, 64, 65, 71, 72, 73, 74, 77, 85, 86, 89

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na **Figura 3** mostra-se a distribuição espacial dos desvios percentuais de precipitação sobre o Semi-Árido Nordeste, considerando a média da estação chuvosa (**FMAM**) dos anos posteriores à formação dos episódios *El Niño* e *La Niña* (Tabela 1). Associados à manifestação dos episódios *El Niño* observa-se a predominância de desvios percentuais negativos de precipitação (chuvas abaixo do normal) manifestando-se em praticamente toda a região do Semi-Árido Nordeste (com exceção do norte da Bahia). As regiões mais significativamente influenciadas situam-se nas áreas do Sertão Central do Ceará, Paraíba e Pernambuco, oeste do Rio Grande do Norte, onde verificam-se desvios percentuais negativos entre 20% a 25% (**Figura 3a**). De maneira oposta, associados à manifestação dos episódios *La Niña*, observa-se, em geral, que a parte norte do Semi-Árido Nordeste, englobando o Ceará, centro-norte do Piauí e oeste do Rio Grande do Norte e Paraíba, apresentam desvios percentuais positivos (entre 5% e 15%), ou seja, chuvas levemente acima do normal. No entanto, na parte sul do Semi-Árido, que inclui o sul do Piauí, centro-oeste de Pernambuco e norte da Bahia) verificam-se a presença de desvios negativos entre 5% e 20%, ou seja, chuvas abaixo do normal (**Figura 3b**).

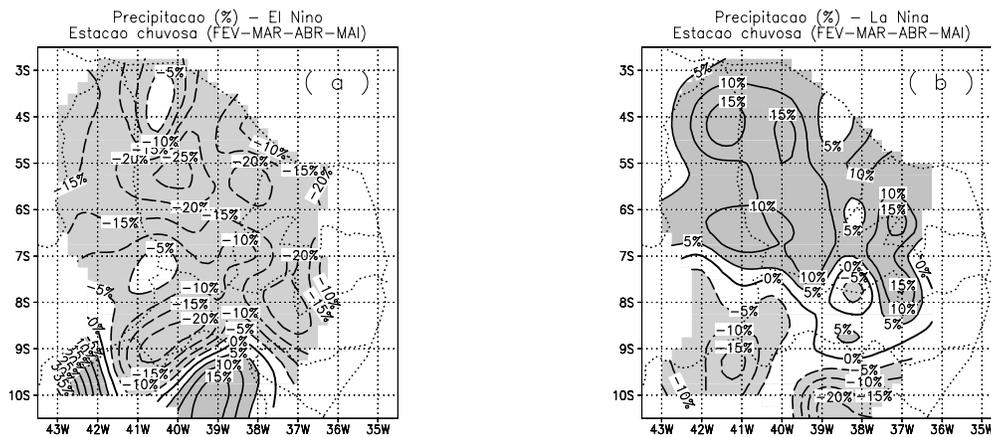


Figura 3: Desvios percentuais da precipitação observada sobre o Semi-Árido no quadrimestre **FMAM** para os anos posteriores à ocorrência dos episódios **(a) El Niño** **(b) La Niña** observados no Pacífico Tropical. As isolinhas contínuas (pontilhadas) representam desvios positivos (negativos).

Na **Figura 4** mostra-se a distribuição espacial dos desvios percentuais de precipitação sobre o Semi-Árido Nordeste para o quadrimestre **FMAM**, em associação aos anos de ocorrência das fases positiva e negativa do Padrão de Dipolo (Tabela 1). Durante os anos de manifestação da fase positiva do Padrão de Dipolo observa-se, em geral, a predominância de desvios percentuais negativos configurando-se ao longo de toda a região, sendo que os desvios percentuais mais significantes (entre 30% e 40%) atingem as regiões localizadas principalmente no centro-norte do Piauí, Sertão Central e litoral leste do Ceará e centro-oeste do Rio Grande do Norte (**Figura 4a**). Por outro lado, nos anos de ocorrência da fase negativa do Padrão de Dipolo, observa-se a predominância de desvios positivos de precipitação configurando-se em praticamente toda a região, sendo que as regiões mais afetadas situam-se no Sertão Central do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, oeste da Paraíba e Pernambuco e norte da Bahia, onde verificam-se desvios positivos entre 40% e 50% (**Figura 4b**).

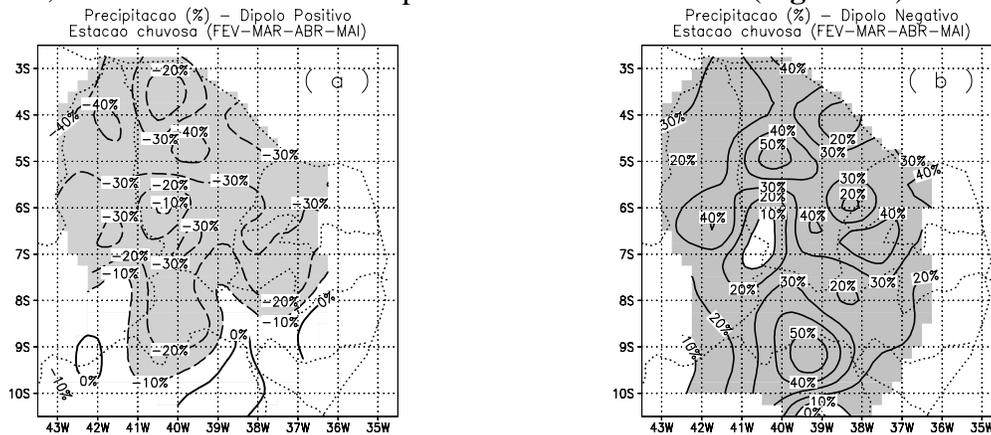


Figura 4: Desvios percentuais da precipitação observada sobre o Semi-Árido no quadrimestre **FMAM** para os anos de ocorrência das fases **(a)** positiva **(b)** negativa do Padrão de Dipolo observadas no Atlântico Tropical. As isolinhas contínuas (pontilhadas) representam desvios positivos (negativos).

Portanto, levando-se em consideração a magnitude dos desvios percentuais de precipitação encontrados, evidenciou-se que a influência do Oceano Atlântico Tropical (fases do Padrão de Dipolo) na qualidade da estação chuvosa do Semi-Árido Nordeste é relativamente maior quando comparada com a influência do Oceano Pacífico Tropical (eventos *El Niño* e *La Niña*). Uma justificativa para esse resultado é o fato dos padrões oceânicos-atmosféricos associados ao modo do Padrão de Dipolo do Atlântico exercerem influências diretas no posicionamento da **ZCIT**, principal sistema meteorológico de grande escala indutor de chuvas generalizadas, durante a estação chuvosa do Semi-Árido Nordeste, quando da sua migração sazonal em direção ao Hemisfério Sul.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceituno, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate. *Mon. Wea. Rev.*, 116(2): 505-524, 1988.
- Alves, J.M.B.; Repelli, C.A. A variabilidade pluviométrica no setor norte do nordeste e os eventos El Niño/Oscilação Sul (ENOS). *RBMet.*, 7(2): 583-592, 1992.
- Brito, J.I.B.; Nobre, C.A.; Zaranza, A.R. A precipitação da pré-estação e a previsibilidade da estação chuvosa do norte do Nordeste. *Climanálise*, 6(6): 39-41, 1991.
- Cane, M.A. Tropical Pacific ENSO modes: ENSO as a mode of coupled system. In: Trenberth, K.E. ed. *Climate System Modelling*. Cambridge University Press, Cambridge, 1992. p.583-614.
- Caviedes, C.N. Secas and El Niño: two simultaneous climatological hazards in South America. *Proc. Assoc. Amer. Geographical*, 5: 44-49, 1973.
- Hastenrath, S. and Heller, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 103: 77-92, 1977.
- Hastenrath, S.; Greischar, L. Circulation mechanisms related to Northeast Brazil rainfall anomalies. *J. Geophys. Res.*, 98(D3): 5093-5102, 1993.
- Kayano, M.T.; Rao, V.B. e Moura, A.D. Tropical circulation and associated rainfall anomalies during two contrasting years. *J. Climatology*, 8: 477-488, february, 1988.
- Kousky, V.E. and Ropelewski, C.F. Extremes in the southern oscillation and their relationship to precipitation anomalies with emphasis on the South American region. *RBMet.*, 4: 351-363, 1989.
- Kousky, V.E.; Kayano, M.T.; Cavalcanti, I.F.A. A Review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, 36A(5): 490-504, 1984.
- Meyers, S.D.; O'Brien, J.J.; Thelin, E. Reconstruction of monthly SST in the Tropical Pacific Ocean during 1868-1997 using adaptive climate basis functions. Accepted to *Mon. Wea. Rev.*, 1997.
- Moura, A.D.; Shukla, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, 38(7): 2653-2675, 1981.
- Nobre, C.A. and Rennó, N.O. *Droughts and floods in South America due to the 1982-83 ENOS episode*. 16th Conf. Hurricanes and Tropical Meteorology, AMS, Houston, TX, 1985. p.131-133.
- Nobre, P.; Shukla, J. Variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *J. Climate*, 10(4): 2464-2479, 1996.
- Rao, V.B.; Satnamurti, P.; Brito, J.I.B. On the 1983 drought in Northeast Brazil. *Intern. J. Climat.*, 6(1): 43-51, 1986.
- Ropelewski, C.F.; Halpert, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115(2): 1606-1626, 1986.
- Servain, J.; Legler, D.M. Empirical orthogonal function analyses of tropical Atlantic sea surface temperature and wind stress: 1964-1979. *J. Geophys. Res.*, 91(C12): 14,181-14,191, 1986.
- Souza, E.B. *Um estudo observacional sobre o Padrão de Dipolo de anomalias de TSM no Oceano Atlântico Tropical*. Dissertação de MSc. em Meteorologia. INPE, São José dos Campos, 1997. 138p. (INPE-6392-TDI/608).
- Wagner, R.G. Mechanisms controlling variability of the interhemispheric sea surface temperature gradient in the tropical Atlantic. *J. Climate*, 9(7): 2010-2019, 1996.