

A ESTAÇÃO CHUVOSA NO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO DURANTE OS ANOS DE PREDOMINÂNCIA DE AQUECIMENTO OU DE RESFRIAMENTO OBSERVADOS EM TODA BACIA DO ATLÂNTICO TROPICAL

Everaldo B. de Souza (1); José M. Brabo Alves; Teresinha de Ma. B. S. Xavier

(1) Divisão de Ciências Meteorológicas - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758, São José dos Campos-SP, CEP-12227-010, everaldo@met.inpe.br
Departamento de Meteorologia - FUNCEME, Fortaleza-CE

ABSTRACT

This work presents the seasonal precipitation distribution observed over the northeastern semi-arid, during years that was observed a predominance of the positive (warming) or negative (cooling) SST anomalies spatially configured in the entire tropical Atlantic basin. The observational analysis performed for rainy season months, February to May, evidenced that both patterns (warming and cooling observed over tropical Atlantic) are associated with a very high irregularity of precipitation in the temporal and mainly spatial scales over northeastern semi-arid. In general, the spatial distribution of the precipitation during warming (cooling) pattern are related with rainy season normal to slightly below of normal (normal to above of normal) over northeastern semi-arid.

1. INTRODUÇÃO

A maior parte da precipitação anual observada sobre o semi-árido nordestino concentra-se em fevereiro-março-abril-maio (FMAM), os quais compreendem a estação chuvosa, principalmente no setor setentrional dessa região. Na Figura 1, que mostra o percentual da precipitação para o período de FMAM (em relação ao total anual), observa-se valores em torno de 40% a 60% na parte sul, enquanto no setor centro-norte do semi-árido os percentuais variam entre 60% a 85%.

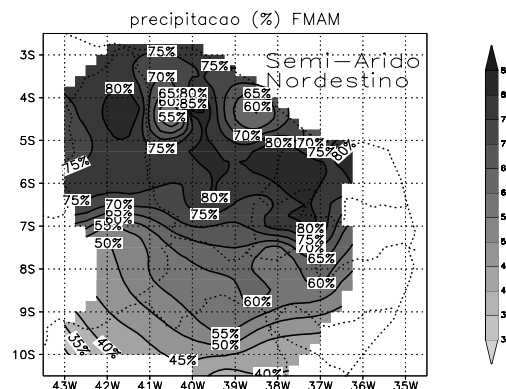


Figura 1: Distribuição espacial do percentual da precipitação para o quadrimestre FMAM, em relação ao total anual, sobre a região do semi-árido nordestino.

Durante os meses do outono austral, isto é, março-abril-maio (período coincidente com a estação chuvosa no semi-árido nordestino), o modo de variabilidade oceano-atmosfera de grande escala dominante sobre o Atlântico tropical é o conhecido como padrão do tipo dipolo de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) (Moura e Shukla, 1981; Nobre e Shukla, 1996), caracterizado pela manifestação simultânea de anomalias positivas e negativas de TSM, configurando-se espacialmente sobre as bacias norte e sul do Atlântico tropical. Na fase positiva do dipolo, observam-se anomalias positivas/negativas de TSM nas bacias norte/sul do Atlântico. Na fase negativa, observa-se o padrão contrário. Esse padrão térmico inverso gera, conseqüentemente, 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), que constitui-se no principal sistema meteorológico indutor de chuvas na região do semi-árido nordestino, durante os meses da estação chuvosa. Na Figura 2 mostra-se como as fases do dipolo “modulam” o posicionamento da banda de nebulosidade e de precipitação associada à ZCIT. O eixo principal da ZCIT tende a posicionar-se, preferencialmente, sobre a região para onde

está direcionado o gradiente térmico. Na fase positiva do dipolo o gradiente térmico aponta para o Hemisfério Norte e, conseqüentemente, as anomalias positivas de precipitação associada à ZCIT posicionam-se, predominantemente, ao norte do Equador, conforme ilustra a Figura 2a. Por outro lado, na fase negativa o gradiente térmico aponta para o Hemisfério Sul, e as anomalias positivas de precipitação associada à ZCIT tendem a posicionar-se, predominantemente, ao sul do Equador, conforme mostra a Figura 2b.

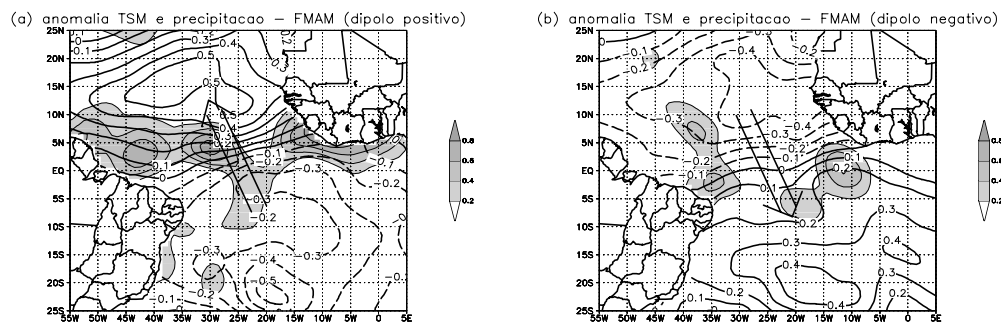


Figura 2: Anomalias de TSM em °C (isolinhas) e de precipitação em mm (áreas sombreadas) para o quadrimestre FMAM nos anos em que se observaram: (a) fase positiva, (b) fase negativa do dipolo de TSM sobre o Atlântico. As isolinhas contínuas representam anomalias positivas e as tracejadas anomalias negativas 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.

Souza et al. (1997) computaram os desvios da precipitação sobre o semi-árido nordestino, em associação aos eventos do padrão de dipolo de TSM observados no Atlântico Tropical (entre 1945 a 1993) e mostraram que os anos de ocorrência da fase positiva do dipolo (Figura 3a), associam-se com a predominância de percentuais negativos de precipitação (chuvas abaixo do normal). Por outro lado, os anos da fase negativa do dipolo (Figura 3b), associam-se com a predominância de desvios positivos de precipitação (chuvas acima do normal).

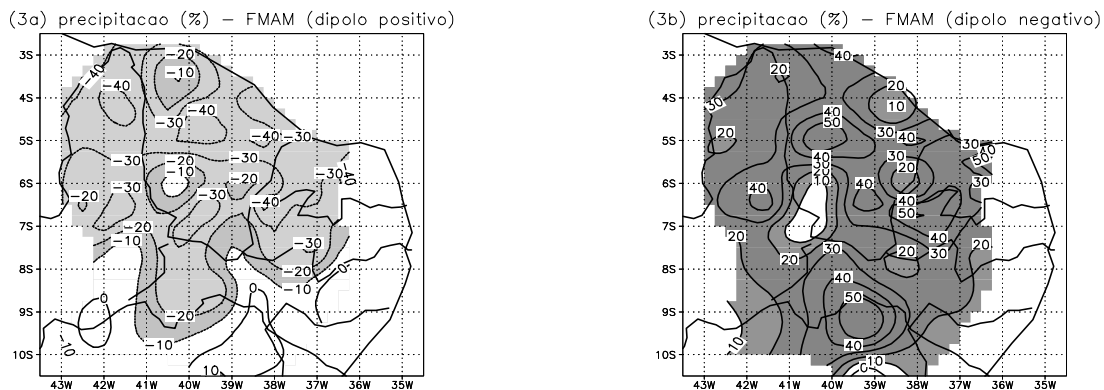


Figura 3: Desvios percentuais da precipitação para o quadrimestre FMAM nos anos em que se observaram (a) fase positiva, (b) fase negativa do padrão de dipolo de TSM sobre o Atlântico tropical.

Portanto, o padrão de dipolo de TSM possui um papel importante na qualidade da estação chuvosa do semi-árido nordestino. No entanto, no monitoramento operacional, observaram-se em alguns anos que o padrão inverso de anomalias de TSM associado ao modo do padrão do tipo dipolo de TSM, não se formou sobre a bacia do Atlântico. Nesses anos, predominou o estabelecimento de um padrão de anomalias positivas de TSM (**aquecimento**) ou de anomalias negativas de TSM (**resfriamento**) configurando-se espacialmente em ambas bacias norte e sul do Atlântico tropical e, portanto, não deflagrou-se um gradiente térmico meridional acentuado à superfície, que juntamente com o padrão da componente meridional do vento à superfície influenciam no posicionamento da ZCIT. Este trabalho pretende investigar o que acontece com a distribuição pluviométrica sobre a região do semi-árido nordestino nos anos em que, no lugar do modo do padrão do tipo dipolo de anomalias de TSM, configura-se um quadro de aquecimento ou de resfriamento em toda a bacia do Atlântico

tropical, afim de entender os mecanismos físicos atuantes e fornecer subsídios ao monitoramento e previsão climática da estação chuvosa no semi-árido nordestino.

2. DADOS E METODOLOGIA

Neste trabalho, utilizaram-se a série de TSM extraída da mais nova versão do *Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set* (COADS) que contém campos globais mensais em ponto de grade de $1^\circ \times 1^\circ$ de latitude-longitude para o período de 1945 a 1993 (Da Silva et al., 1994). Utilizaram-se também os totais mensais da série histórica de precipitação cedida pelo DNAEE e pela FUNCEME, compreendendo um total de 66 estações espacialmente bem distribuídas ao longo do semi-árido nordestino no período de 1912 a 1989 (Brito et al., 1991; Alves e Repelli, 1992).

Para investigar os anos de aquecimento e de resfriamento no Atlântico tropical, utilizou-se a técnica de casos compostos (para os dados comuns de TSM e precipitação). Os anos correspondentes às fases de aquecimento ou de resfriamento foram selecionados a partir das séries temporais dos índices mensais das anomalias de TSM (mostrados na Figura 4), calculados para as bacias norte ($2,5^\circ \text{N}$ - $17,5^\circ \text{N}/50^\circ \text{W}$ - 20°W) e sul ($17,5^\circ \text{S}$ - $2,5^\circ \text{S}/35^\circ \text{W}$ - 5°W) do Atlântico. Os anos que apresentaram, simultaneamente, em ambas as bacias do Atlântico, nos meses consecutivos de março a maio, desvios positivos (negativos) de TSM, foram considerados anos de aquecimento (resfriamento). Selecionaram-se um total de 7 eventos de aquecimento (1945, 1962, 1963, 1969, 1983, 1987, 1988) e 8 de resfriamento (1947, 1948, 1954, 1957, 1960, 1968, 1976, 1977).

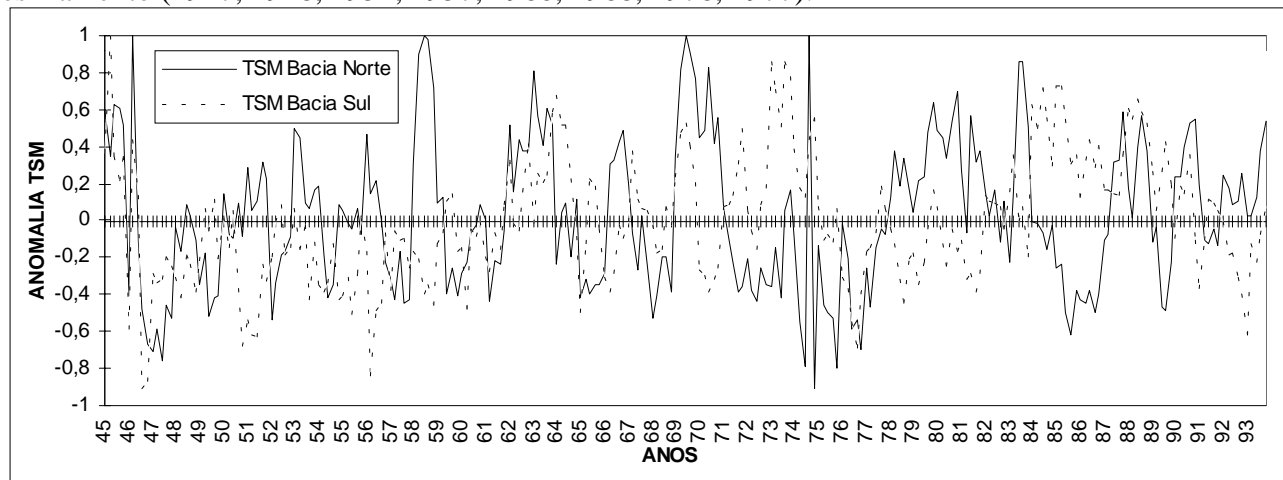


Figura 4: Séries temporais dos índices mensais (janeiro a maio) das anomalias de TSM mediados nas bacias norte (linha contínua) e sul (linha pontilhada) do Atlântico tropical.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 5 mostram-se as composições calculadas para o quadrimestre FMAM, durante os anos em que se observaram o padrão de aquecimento configurando-se em todo Atlântico tropical. Observa-se na Figura 5a sobre o Atlântico equatorial, desde a costa nordeste da América do Sul (incluindo Amazônia e Nordeste) até a África, a presença de regiões contendo $\text{TSM} \geq 28^\circ \text{C}$ (áreas favoráveis ao início de atividade convectiva). Em termos de anomalias de TSM (Figura 5b), notou-se valores positivos configurando-se em toda a bacia do Atlântico tropical, sendo que nas áreas localizadas no setor leste da bacia norte (próximo ao continente africano) e também no setor central da bacia sul (em torno de 20°S - 20°W) a intensidade das anomalias de TSM são maiores que $0,5^\circ \text{C}$. Sobre a região do Pacífico tropical, verifica-se, também, a manifestação de anomalias positivas de TSM (Figura 5b). Com relação a distribuição espacial da precipitação no quadrimestre FMAM sobre o semi-árido nordestino (Figura 5c) observa-se, em geral, a predominância de desvios percentuais de precipitação variando de normal a ligeiramente abaixo da normal climatológica (entre 0 a -10%) ao longo da região (exceto no oeste de Pernambuco e no norte da Bahia, onde observam-se desvios positivos de precipitação). Fazendo-se uma análise da distribuição pluviométrica na escala mensal (figuras não mostradas), observaram-se em todos os meses (fevereiro a maio) a presença de desvios

positivos e negativos de precipitação, indicando chuvas acima e abaixo do normal, respectivamente, os quais caracterizam a má distribuição temporal e espacial da precipitação sobre a região. Os meses mais críticos são fevereiro, abril e maio, em que predominam sobre o Piauí e Ceará a manifestação de desvios negativos de precipitação. No mês de março notou-se a atuação de desvios positivos de precipitação em quase toda a região, principalmente, no setor sul.

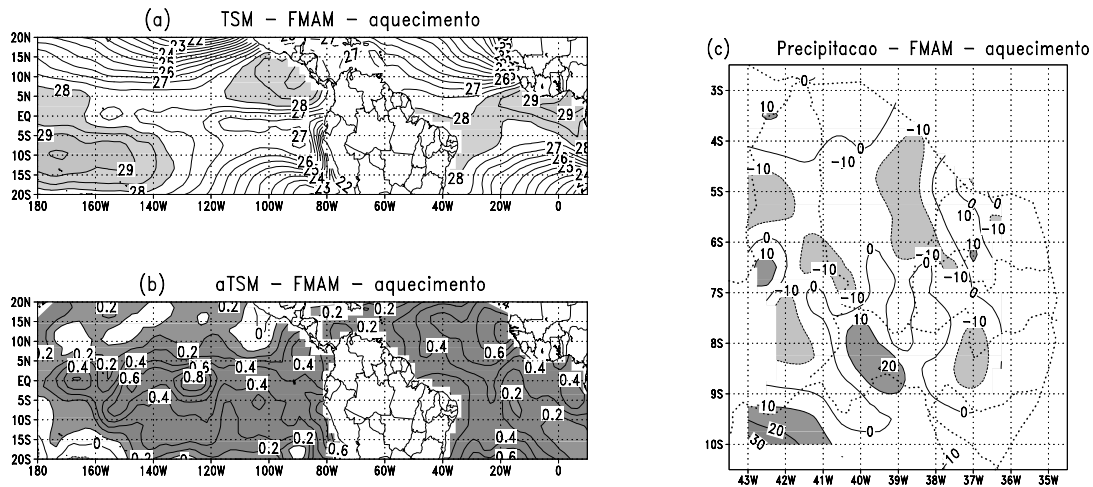


Figura 5: (a) Campo de TSM, (b) anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$) e (c) desvios percentuais de precipitação (%) sobre o semi-árido nordestino para o quadrimestre FMAM nos anos de aquecimento observados no Atlântico tropical.

Na Figura 6 mostra-se as composições calculadas para o quadrimestre FMAM correspondente aos anos em que se observaram o padrão de resfriamento em toda a bacia do Atlântico tropical. Na Figura 6a, observa-se que a região contendo a magnitude de $\text{TSM} \geq 28^{\circ}\text{C}$ localiza-se numa parte restrita do setor leste do Atlântico equatorial, junto à costa da África. Na Figura 7b, nota-se a presença de anomalias negativas de TSM configurando-se em ambas bacias do oceano Atlântico tropical e também sobre a região do Pacífico tropical. Considerando a média do quadrimestre FMAM sobre o semi-árido nordestino, observa-se o predomínio de desvios percentuais de precipitação configurando-se desde valores normais (no Ceará, no oeste do Rio Grande do Norte e no centro do Piauí) até acima do normal com desvios entre +10% e +30% no sul do Piauí, no oeste da Paraíba, no centro de Pernambuco e no norte da Bahia. Somente no extremo norte do Piauí e Rio Grande do Norte verifica-se a presença de um pequeno núcleo de precipitação contendo desvio negativo (Figura 6c). Considerando a distribuição mensal (figuras não mostradas), constatou-se novamente a marcante irregularidade temporal e, principalmente, espacial da precipitação ao longo da região. Os meses de fevereiro e março destacam-se devido a predominância de desvios percentuais negativos e positivos, respectivamente, configurando-se em praticamente toda a região.

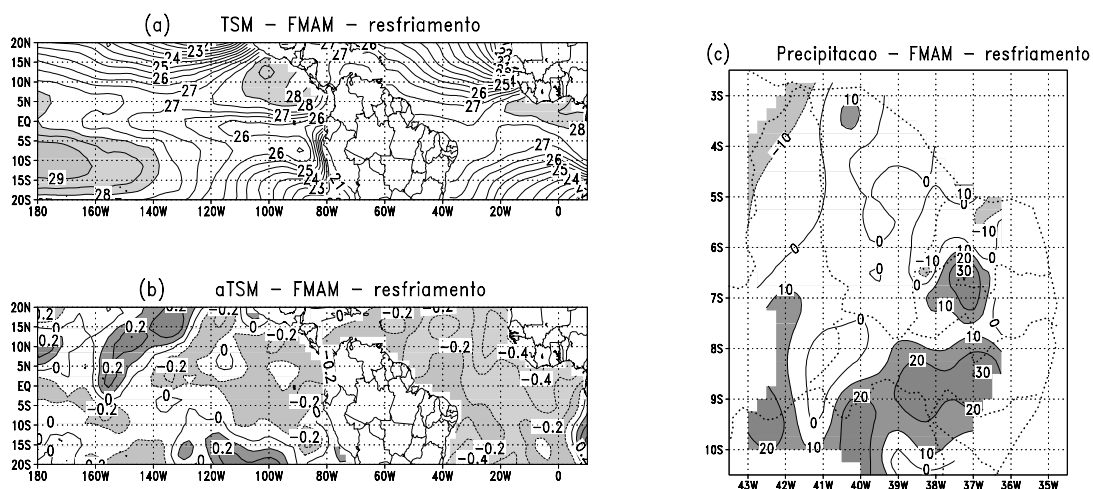


Figura 6: O mesmo que a Figura 5, porém para os anos de resfriamento observados em toda bacia do Atlântico.

Em síntese, a distribuição espacial da precipitação durante FMAM nos anos de predominância do padrão de aquecimento (resfriamento) associam-se com a manifestação de chuvas variando de normal a ligeiramente abaixo da normal climatológica (normal a acima da climatologia) em praticamente toda a região do semi-árido nordestino, apresentando uma marcante irregularidade temporal e, principalmente, espacial da precipitação ao longo da região. Nos anos do padrão de aquecimento notaram-se dois fatores físicos desfavoráveis à ocorrência de chuvas no semi-árido nordestino: o aquecimento no Pacífico e a tendência de maior aquecimento sobre a bacia norte do Atlântico tropical (este último, influenciando no posicionamento da ZCIT em latitudes ao norte do equador e, portanto, comprometendo a qualidade da estação chuvosa do semi-árido nordestino). Contudo, há um outro fator físico que pode ser favorável à ocorrência de chuvas na região, que é a manifestação da região contendo $TSM \geq 28^{\circ}\text{C}$ na costa do Nordeste, a qual pode iniciar a formação de atividade convectiva e promover a ocorrência de pancadas de chuvas de forma isolada sobre a região. Esses dois fatores explicam a presença de núcleos positivos e negativos de precipitação alternados sobre a região do semi-árido nordestino. Nos anos com resfriamento, em virtude da predominância de TSM anormalmente negativas que, em geral, não são favoráveis à atuação da ZCIT ao sul do equador, sugere-se que as chuvas de normal a acima do normal na região, principalmente, no mês de março, devem estar relacionadas com a manifestação de outros sistemas meteorológicos de origem extratropical, tais como incursões pronunciadas de Frentes Frias advindas das altas e médias latitudes austrais, que, eventualmente, conseguem atingir a Bahia (organizando a convecção da Amazônia e parte do Nordeste) ou de sistemas meteorológicos de meso escala originados pelas forçantes locais de brisa marítima e terrestre e/ou orografia, conforme documentaram Vitorino et al. (1997).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- Da Silva, A.M.; Young, C.C.; Levitus, S. *Atlas of surface marine data 1994. Vol.1: Algorithms and procedures*. NOAA ATLAS NESDIS 6, Washington, 1994. 83 pp.
- Hastenrath, S.; Greischar, L. Circulation mechanisms related to Northeast Brazil rainfall anomalies. *J. Geophys. Res.*, 98(D3): 5093-5102, 1993.
- 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, 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.
- Souza, E.B.; Alves, J.M.B. & Repelli, C.A.. Uma Revisão sobre a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico na Variabilidade Pluviométrica do Semi-Árido Nordeste. *Monitor Climático*, 11 (122): 7-17, maio de 1997.
- Vitorino, M.I.; Silva, M.E.S.; Alves, J.M.B. Classificação de sistemas convectivos de mesoescala no setor norte do Nordeste Brasileiro. *RBMet.*, 12(1): 21-32, 1997.
- Wagner, R.G. Mechanisms controlling variability of the interhemispheric sea surface temperature gradient in the tropical Atlantic. *J. Climate*, 9(7): 2010-2019, 1996.