

Variabilidade climática sobre o Atlântico Tropical

Parte II: Estudo de casos

Paulo Nobre
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
São José dos Campos, SP

Abstract

Composite analysis is used to investigate the development of sea surface temperature (SST) anomaly patterns over the tropical Atlantic. Also, the evolution of large scale rainfall anomaly patterns over the equatorial Atlantic and South America are investigated. The most important findings of this paper are:

- 1 The dipole patterns of anomalous SST are associated with surface wind stress anomalies over the tropical Atlantic, such that weaker trade winds are associated with warmer SST; stronger trade winds with cooler SST. Atmospheric circulation anomalies lead SST anomalies locally.
- 2 The well known droughts over northeastern Brazil (Nordeste) are a local manifestation of a much larger-scale anomaly pattern encompassing the whole equatorial Atlantic and Amazon region. Negative rainfall anomalies to the south of the equator during March, April, and May (MAM), which is the rainy season for Nordeste region are related to an early withdrawal of the intertropical convergence zone (ITCZ) towards the warm SST anomalies over the northern tropical Atlantic.

1. Introdução

A variabilidade interanual da pluviometria representa o evento meteorológico de maior interesse nas regiões tropicais, onde as temperaturas do ar são altas durante todo o ano e relativamente estáveis. Além disso, a previsibilidade de anomalias pluviométricas sobre os Trópicos na escala de tempo sazonal é maior do que sobre latitudes temperadas. Dentre os parâmetros que influem nessa previsibilidade, a temperatura da superfície do mar (TSM) sobre os oceanos tropicais é considerada a de maior importância. Em particular, o regime pluviométrico sobre a Região Nordeste do Brasil (NEB) é fortemente afetado pelas anomalias de TSM sobre o Atlântico (Hastenrath e Heller, 1977; Moura e Shukla, 1981; Nobre e Shukla, 1994) e também sobre o Pacífico (Ropelewski e Halpert, 1987; Aceituno, 1988; Hameed et al., 1993).

Neste estudo se procura identificar a evolução temporal de campos atmosféricos e oceânicos associados com o aparecimento dos padrões de dipolo de TSM durante março-abril-maio (MAM) sobre o Atlântico Tropical. Para tanto se utiliza a técnica de composição de casos similares, baseado na fase do padrão de dipolo das anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical.

2. Dados

Os dados de TSM e tensor cisalhamento do vento à superfície (*) são provenientes da série histórica COADS (Slutz et al., 1985; Woodruff et al., 1987) e são descritos em detalhe na parte I desse trabalho. Os dados de pluviometria sobre o Brasil são provenientes de pluviômetros, tendo sido obtidos do DNAEE (1988) para o período 1910-1984; sobre o Atlântico Tropical são utilizadas estimativas de precipitação calculadas a partir de dados pentadais de radiação de onda longa emitida para o espaço (Yoo e Carton, 1988) numa grade com resolução horizontal 2,5 x 2,5 para o período de junho de 1974 a dezembro de 1988 (faltam os dados de março a dezembro de 1978).

3. Metodologia

A escolha dos anos para o cálculo dos campos compostos é baseada na fase do padrão de dipolo do campo de anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical (veja Figura 3 da parte I deste trabalho) indicada pelo índice plotado na Figura 1. Assim, cada conjunto de dados é separado em dois sub-conjuntos: um com os anos nos quais o Atlântico Tropical norte esteve mais frio do que a média; o Atlântico Tropical sul esteve mais quente do que a média (chamados de casos COLD; 1965, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1984, 1985, e 1986), e outro subconjunto com os anos nos quais o padrão de anomalias de TSM esteve o reverso do anterior (chamado de casos WARM, 1966, 1969, 1970, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, e 1987). Desta forma, as palavras COLD e WARM se referem a anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical norte. Computa-se a média para os anos classificados como WARM, e como COLD, dos campos de TSM, τ e precipitação para cada mês a partir de junho precedente a setembro dos anos selecionados. É utilizado o método *t-student* para avaliar a significância estatística dos campos compostos encontrados.

4. Resultados

A Figura 2 mostra a diferença entre os campos compostos WARM-COLD de TSM para os períodos DJF e MAM. Anomalias de TSM sobre o Atlântico Norte surgem próximas da costa da África em torno de 15°N entre dezembro e janeiro, e expandem para oeste até o final de maio. Sobre o Atlântico Sul se observa uma expansão para oeste das

anomalias de TSM, mas a magnitude dessas é menor do que ocorre ao norte do equador. Os desvios de TSM atingem máxima magnitude durante MAM, quando o padrão de dipolo se apresenta melhor definido e o gradiente meridional de anomalias de TSM é máximo.

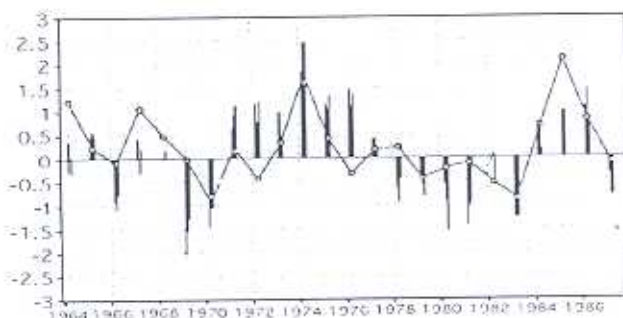


Figura 1: Séries temporais dos coeficientes associados primeiro autovetor de anomalias de TSM para MAM sobre o Atlântico Tropical (barras verticais) (Nobre, 1994) e índice de anomalias pluviométricas sobre o norte do Nordeste (linha contínua) (C. Nobre, comunicação pessoal).

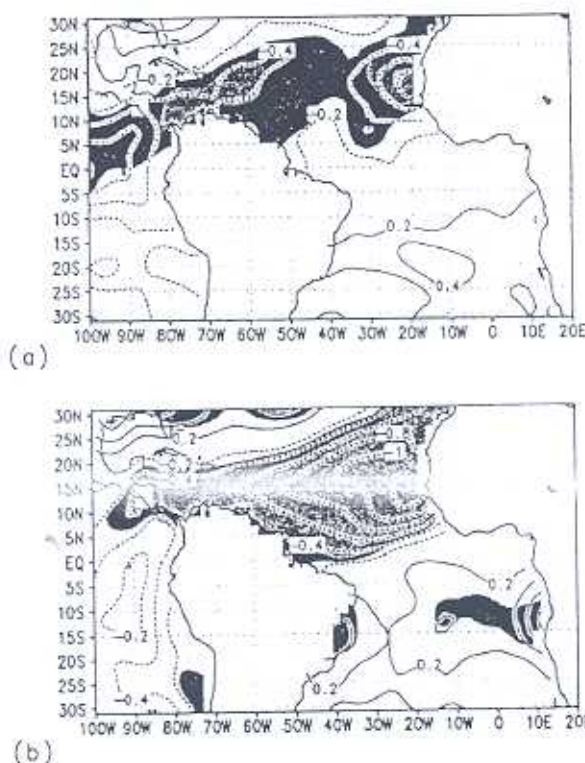


Figura 2: Diferença entre os campos compostos de temperatura da superfície do mar para os casos WARM-COLD para (a) DJF e (b) MAM. As áreas sombreadas correspondem a significância estatística aos níveis de 95%, 99% e 99,9% respectivamente para os sombreados mais escuro, médio e mais claro.

A diferença entre os campos compostos WARM-COLD de τ para os meses DJF e MAM é mostrada na Figura 3. Enquanto as maiores anomalias de τ durante DJF se localizam em latitudes subtropicais e apresentam oposição de fase (i.e., alísios de NE mais intensos estão associados com alísios de SE menos intensos, e vice versa), durante MAM as maiores anomalias de τ se encontram sobre o Atlântico Equatorial e apresentam a componente meridional predominante sobre a componente zonal.

Consistente com os campos de desvios de TSM e τ mostrados nas Figuras 2 e 3, as anomalias pluviométricas sobre o Atlântico Equatorial indicam um deslocamento da banda de alta pluviosidade associada à ZCIT em direção às águas mais aquecidas (Figura 4). É notável que as anomalias pluviométricas que causam secas ou enchentes sobre o NEB, apresentam escala espacial muito maior do que o próprio NEB, estendendo sobre praticamente toda a extensão longitudinal do Atlântico Equatorial até a parte central da Amazônia.

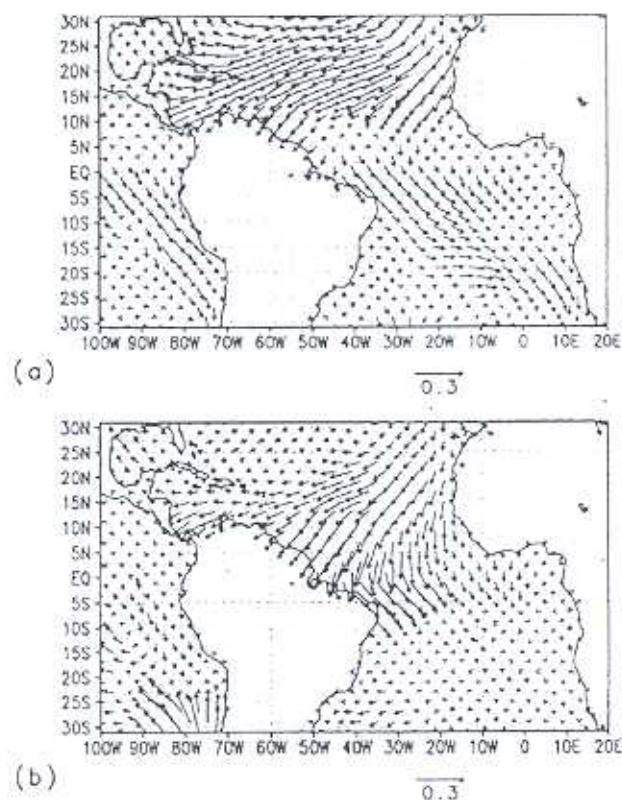


Figura 3: Idem à Figura 2 mas para cisalhamento do vento à superfície. O vetor ao pé dos quadros corresponde a $0,3 \text{ dinas cm}^{-2}$.

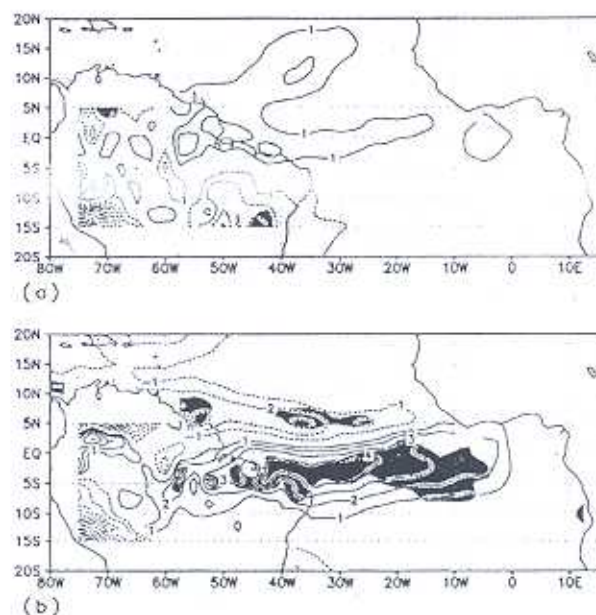


Figura 4. Idem à Figura 2 mas para precipitações pluviométricas.

A seguir, utilizamos o eixo de confluência dos campos compostos de τ ao longo do meridiano 30°W sobre o Atlântico Tropical Ocidental como uma indicação da posição da ZCIT. A Figura 5 mostra a migração meridional da ZCIT para cada um dos compostos WARM e COLD e a climatologia desde junho do ano anterior até setembro dos anos escolhidos para os compostos. É notável na Figura 5 que de junho até dezembro a posição da ZCIT não se distingue entre cada um dos compostos e a climatologia. A partir de janeiro, porém, os campos compostos para o caso WARM apresentam a ZCIT mais ao norte de suas posições climatológicas, enquanto para o caso COLD seu deslocamento é mais para o sul. Além disso, a ZCIT inicia sua migração para o norte em março para o caso WARM e climatologia, enquanto para o caso COLD esta permanece ao sul de suas posições climatológicas até abril.

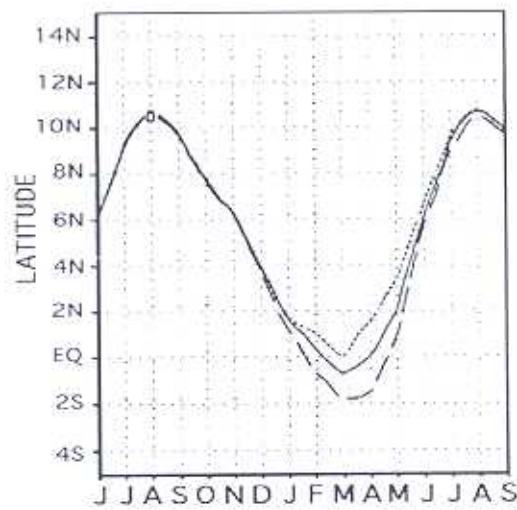


Figura 5: Diagrama esquemático do deslocamento meridional da ZCIT (i.e., a posição onde $\tau_y=0$) à 30°W sobre o Atlântico Tropical para os casos compostos WARM (linha pontilhada), COLD (linha tracejada) e para a climatologia (linha contínua). Os meses variam de junho anterior a setembro dos anos escolhidos para calcular os campos compostos.

Desta forma, a diferença entre um ano mais chuvoso sobre o NEB de um ano de seca reside no deslocamento meridional da ZCIT, se para o sul ou o norte de seu ciclo anual (Hastenrath e Heller, 1977), mas também por quanto tempo esta permanece ao sul do equador, organizando precipitações convectivas sobre o NEB, o leste da Amazônia e o Atlântico Equatorial.

Esta inferência é suportada pela avaliação da distribuição temporal da pluviometria sobre o NEB e Amazônia para cada um dos casos compostos. A Figura 6 mostra a evolução temporal da pluviometria mensal para cada composto WARM e COLD, desde setembro dos anos anteriores até agosto dos anos escolhidos para os compostos. Para os casos WARM a pluviometria é máxima sobre o norte do NEB e leste da Amazônia em março, enquanto para os casos COLD a pluviometria máxima ocorre em abril. Isto é consistente com as posições da ZCIT mostradas na Figura 5. Além disso, embora o total mensal de chuvas seja superior sobre o leste amazônico do que sobre o norte do NEB, a diferença entre as pluviometrias durante abril para os casos WARM e COLD sobre cada uma dessas regiões é aproximadamente a mesma. Isto é uma indicação de que as anomalias pluviométricas que causam secas ou enchentes sobre o NEB são comparáveis às observadas sobre o leste da Amazônia.

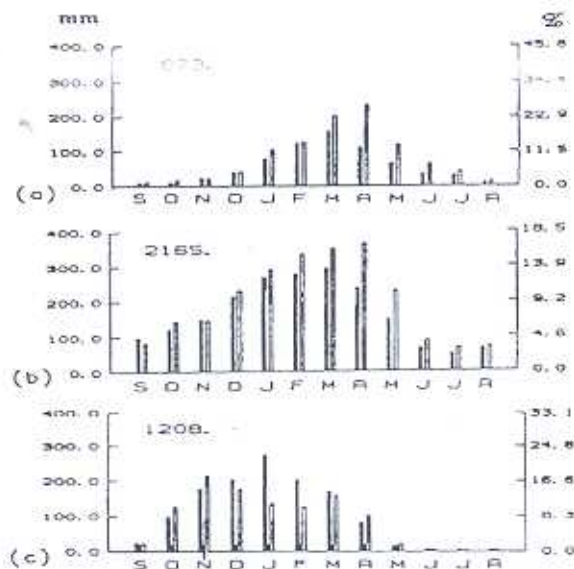


Figura 6: Média da precipitação mensal composta para os casos WARM (barras escuras) e COLD (barras vazadas) sobre (a) norte do Nordeste, (b) leste da Amazônia e (c) sul do Nordeste. Os meses variam de setembro anterior a agosto dos anos escolhidos para calcular os campos compostos. Os números nos cantos superiores esquerdo de cada painel indica o total anual de precipitação para a respectiva área.

5. Conclusões

Os resultados deste trabalho sugerem que o padrão de dipolo no campo de anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical, cuja magnitude máxima ocorre durante MAM, está associado com a modulação dos ventos alísios de nordeste e sudeste durante DJF. Além disso, durante MAM as anomalias de τ apresentam máxima magnitude sobre o Atlântico Equatorial e apontam para as regiões de anomalias positivas de TSM. Isto é uma indicação de que durante DJF a atmosfera estaria forçando o oceano de modo a formar anomalias de TSM, enquanto em MAM o escoamento atmosférico estaria respondendo ao padrão de anomalias de TSM, deslocando a zona de convergência intertropical (ZCIT) em direção às águas mais aquecidas.

As anomalias pluviométricas que causam secas ou enchentes sobre o Nordeste do Brasil apresentam escala espacial muito maior do que o próprio NEB, englobando também o Atlântico Equatorial e o leste da Amazônia. Essas anomalias pluviométricas são causadas por deslocamentos anômalos da ZCIT sobre o Atlântico. Em anos de seca a ZCIT permanece ao norte de suas posições climatológicas e retorna para o hemisfério norte durante março, em anos chuvosos a ZCIT permanece até abril ao sul de suas posições climatológicas.

6. Referências bibliográficas

- Aceituno, P., 1988: On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part 1: surface climate. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 505-524.
- DNAEE, 1988: Monthly precipitation data over northern South America: 1849-1989. Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica, Brazil, 1988.
- Hameed, S., K. R. Sperber, e A. Meinster, 1993: Teleconnections of the Southern Oscillation in the tropical Atlantic sector in the OSU coupled upper ocean-atmosphere GCM. *J. Climate*, 6, 487-498.
- Hastenrath, S., e L. Heller, 1977: Dynamics of climatic hazards in north-east Brazil. *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, 110, 411-425.
- Moura, A. D., e J. Shukla, 1981: On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numeric experiments with a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, 38, 2653-2675.
- Nobre, P., 1994: Variabilidade climática sobre o Atlântico Tropical: Parte I: Componentes Principais. *VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, SBMET, Belo Horizonte.
- Nobre, P., e J. Shukla, 1994: Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Submitted to J. Climate*.
- Ropelewski, C. F., e M. S. Halpert, 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillations. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1606-1626.
- Slutz, R. J., S. J. Lubker, J. D. Hiscox, S. D. Woodruff, R. L. Jenne, D. H. Joseph, P. M. Steurer, e J. D. Elms, 1985: Comprehensive ocean-atmosphere data set, release 1. University of Colorado/National Oceanic and Atmospheric Administration Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, Boulder, Colorado, 80305, 255 pp.
- Woodruff, S. D., R. J. Slutz, R. L. Jenne, e P. M. Steurer, 1987: A comprehensive Ocean-Atmosphere data set. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 68, 1239-1250.
- Yoo, J. M., e J. A. Carton, 1988: Spatial dependence of the relationship between rainfall and outgoing longwave radiation in the tropical Atlantic. *J. Climate*, 1, 1047-1054.