



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Estudo da Temperatura da Superfície do Mar para os Oceanos Atlântico e Pacífico Utilizando a Técnica de Análises de Componente Principal e de Agrupamento

Madson Tavares Silva¹, Stephanny C. F. do Egito Costa², Manoel F. G. Filho³, Daisy B. Lucena⁴

¹Doutorando em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas - UACA, Arruio Veloso, 882 Bairro Universitário, Campina Grande - PB, Brasil. E-mail: madson_tavares@hotmail.com

²Graduanda em Engenharia Civil, UFCG, UAE, Campina Grande - PB, Brasil. E-mail: stephanny_egito@hotmail.com

³Prof. Doutor, UFCG, UACA, Campina Grande - PB, Brasil. E-mail: mano@dca.ufcg.edu.br

⁴Profa. Doutora, UFCG, Sumé - PB, Brasil. E-mail: daisylucena@yahoo.com.br

Artigo recebido em 25/08/2011 e aceite em 10/09/2011

RESUMO

Apresenta-se neste estudo a avaliação da metodologia de Análises Multivariadas: Análises em Componente Principal (ACP) e de Agrupamento (AA), aos dados de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) para os Oceanos Atlântico (Norte (NATL), Tropical (TROP) e Sul (SATL)) e Pacífico (NIÑO1+2, NIÑO3.4, NIÑO3 e NIÑO4). Foram utilizados dados mensais de janeiro de 1950 a dezembro de 2010 de TSM obtidos na NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration/Earth System Research Laboratory). As regiões TROP e NIÑO4 apresentam as maiores TSM para os meses entre dezembro-julho. A região NATL apresenta no período de agosto-outubro seu maiores valores de TSM. A região NIÑO1+2 apresentou os menores valores de TSM. Os resultados da Análise em Componente Principal (ACP) identificaram maiores pesos na variação total explicada pelas duas primeiras componentes, que representam cerca de 100% da variância total dos dados de TSM. A Análise de Agrupamento (AA), pelo método Ward, permitiu o agrupamento das estações em três grupos homogêneos.

Palavras - chave: Análises Multivariadas, Mudanças climáticas, Aquecimento Global.

Study of Sea Surface Temperature for the Atlantic and Pacific Oceans Using the Technique of Principal Component Analysis and Cluster

ABSTRACT

Presented in this study was to evaluate the methodology of Multivariate Analysis: Principal Component Analysis (PCA) and cluster analysis (CA), the data of sea surface temperature (SST) for the Atlantic (North (NATL), Tropical (TROP) and South (Satler)) and Pacific (+2 NIÑO1, NIÑO3.4, and NIÑO3 NIÑO4). We used monthly data from January 1950 to December 2010 SST obtained from NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration / Earth System Research Laboratory). TROP and NIÑO4 regions have the highest SST for the months from December to July. NATL The region has in the period August-October SST your highest values +2 NIÑO1 The region had the lowest values of TSM. Results on Principal Component Analysis (PCA) identified higher weights in the total variation explained by the first two components, which represent about 100% of the total variance of SST. The Cluster Analysis (AA), the Ward method, allowed the grouping of stations into three homogeneous groups.

Keywords: Multivariate Analysis, Climate Change, Global Warming.

* E-mail para correspondência: madson_tavares@hotmail.com (Silva, M. T.).

1. Introdução

A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos oceanos tropicais Pacífico e Atlântico é a principal variável física influenciadora das condições climáticas em várias áreas do globo. No Pacífico Tropical, a presença de eventos quentes (frios) denominados de El Niño (La Niña), com anomalias positivas (negativas) de TSM, causa fenômenos climáticos diferenciados em várias áreas do globo (Bjerknes, 1969; Rasmusson & Carpenter, 1982; Ropelewisk & Halpert, 1997).

Inúmeros estudos têm mostrado que as chuvas sazonais de fevereiro a maio do semi-árido nordestino são controladas em grande parte por tais flutuações térmicas dos setores norte e sul do Atlântico Intertropical (Moura & Shukla, 1981). Variações inter-hemisféricas das anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) estão intimamente ligadas com o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que exerce uma considerável influência sobre a variabilidade pluviométrica do Nordeste Brasileiro (Hastenrath & Heller, 1977; Hastenrath, 1990; Hastenrath & Greischar, 1993).

Estudos tem evidenciado que a bacia do Oceano Atlântico (AO) apresenta dois modos predominante de variabilidade térmica. Um modo de variabilidade equatorial e acoplado com a atmosfera, com flutuações sazonais e interanuais, semelhantes ao evento El Niño-Oscilação Sul (ENSO) no Pacífico

Tropical (Zebiak, 1993, Chang, 1997) e com impactos no clima regional das Américas e África (Wagner & Da Silva, 1994). Na sua chamada fase quente, os ventos alísios no setor oeste da bacia são mais fracos e as TSMs próximo ao equador são mais altas, especificamente na parte leste da bacia. Na sua fase fria os ventos são mais fortes no setor oeste próximo ao equador e as TSMs apresentam-se menos intensas. Segundo Servain (1998), esse modo de variabilidade pode apresentar um desenvolvimento bastante rápido em uma escala de tempo de semanas influenciado pela propagação de ondas de Kelvin e Rossby na superfície da bacia.

Outro modo, cujos resultados de estudos mostram, que não tem similaridade termodinâmica com o que ocorre na Bacia do Oceano Pacífico Tropical, é o chamado modo meridional ou padrão de Dipolo de TSM. É caracterizado pelo gradiente norte-sul de anomalias de TSM, de sinais opostos nos setores ao norte sul do equador, cujo desenvolvimento nem sempre é simultâneo (Huang & Shukla, 1997; Enfield & Mayer, 1995). Uma das hipóteses é que a estrutura desse dipolo pode ser afetada pela influência da ressurgência das águas que ocorrem no setor sudeste da Bacia junto a costa africana, onde as TSMs apresentam anomalias mais intensas. Embora esse modo não apresente nenhuma similaridade termodinâmica observacional com o padrão ENSO, as análises observacionais mostram que, em média, há um padrão de dipolo sazonal

(verão-outono austral), diferente, associado a cada fase quente ou fria do fenômeno ENSO que deve estar associado a influência desse fenômeno primariamente sobre as condições atmosféricas no cinturão tropical, cujo efeito deve afetar diretamente as variações térmicas no Atlântico Tropical (Penland & Matrosova, 1998).

No Oceano Pacífico (OP), o monitoramento e previsão de TSM são feitos desde meados dos anos 80. O forte evento de El Niño observado entre os anos de 1982 e 1983 causou impactos climáticos com grandes prejuízos econômicos e sociais em várias regiões da Ásia, Oceania, Américas e outras (Philander, 1991). Este evento foi a causa para que o monitoramento sistemático viesse a ocorrer. A variabilidade climática e seus impactos levaram os Estados Unidos, Japão e Austrália a implantarem um sistema de monitoramento da atmosfera e do oceano na região do Pacífico Tropical desde a região da Austrália e Indonésia até a costa oeste da América do Sul. Esse monitoramento impulsionou os estudos da variabilidade termodinâmica do Pacífico Tropical e suas influências remotas em várias áreas do globo. Um dos importantes avanços, tendo como base o monitoramento no Pacífico Tropical, foi o surgimento dos primeiros Modelos Físico-Matemáticos (MFM) para prever a TSM. Em particular, grande ênfase foi dada à previsão dos eventos de El Niño. A primeira tentativa de previsão deste fenômeno foi feita para o evento de 1987 (Cane e Zebiak, 1985).

Hoje, vários centros mundiais de Meteorologia, Oceanografia e áreas afins rodam modelos MFM para prognosticar as características termodinâmicas no Pacífico Tropical com um aceitável grau de confiabilidade (Cane & Zebiak, 1985; Barnston & Ropelewisk, 1992).

Segundo Anderson (1984), existem, basicamente, duas formas de classificar as análises multivariadas: as que permitem extrair informações a respeito da independência entre as variáveis que caracterizam cada elemento, tais como análise fatorial, análise de agrupamento, análise canônica, análise de ordenamento multidimensional e análise de componentes principais; e as que permitem extrair informações a respeito da dependência entre uma ou mais variáveis ou uma com relação à outra, tais como análise de regressão multivariada, análise de contingência múltipla, análise discriminante e análise de variância multivariada.

Segundo Weare & Nasstrom (1982), os pontos mais importantes da utilização do método da Análise de Componentes Principais (ACP) são: (i) a descrição satisfatória das variações de um campo complexo a partir de um número relativamente pequeno de funções, associando a coeficientes temporais; (ii) o fato de que as funções empíricas derivadas desta técnica são favoráveis para interpretações físicas; (iii) a ACP é adequada para campos espaciais em grades regulares ou não. Este método

estatístico tornou-se mais popular em ciências atmosféricas a partir do trabalho de Lorenz (1956), que chamava a técnica de funções ortogonais empíricas, em inglês “empirical orthogonal function” (EOF). De acordo com Wilks (1995), ambos os nomes são usados e se referem ao mesmo conjunto de procedimentos.

A ACP possui uma vasta aplicabilidade, por exemplo, pode ser utilizada para extrair padrões independentes dinâmicos e físicos, para representar variabilidade natural, ou flutuações. Kim e Wu (1999) destacaram uma aplicação essencial da ACP em estudos climáticos nas áreas de previsão, estimativas e detecção de mudanças climáticas. Estas estatísticas são freqüentemente utilizadas para derivar padrões dominantes de anomalias de TSM com El Niño (von Storch et al., 1995). Também são úteis na reconstrução de séries históricas (Smith et. al, 1996).

A Análise de Agrupamento (AA) é uma técnica multivariada que tem por objetivo proporcionar uma ou várias partições na massa de dados, em grupos, por algum critério de classificação, de tal forma que exista homogeneidade dentro e heterogeneidade entre grupos (Sneath & Sokal, 1973; Mardia et al., 1997). Essa técnica sumariza dados para interpretação e utiliza métodos que procuram grupos excludentes, ascendentes, reduzindo as informações de um conjunto de n indivíduos

para informações de um novo conjunto de g grupos, onde g é significativamente menor que n , resultando um dendrograma de exclusão (Mardia et al., 1997).

Portanto, no presente trabalho utilizou-se a ACP e AA para reduzir a dimensão do conjunto de dados de TSM, procurando manter a maior parte da variabilidade existente no conjunto original. Assim, através destas técnicas foi possível identificar os principais componentes de variabilidade da TSM no OA e OP e obter um novo conjunto de dados, com um número reduzido de variáveis como também agrupar as regiões em grupos homogêneos.

2. Material e Métodos

Para este estudo foram utilizados dados mensais de janeiro de 1950 a dezembro de 2010 da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) para os Oceanos Atlântico (Norte (NATL), Tropical (TROP) e Sul (SATL)) e Pacífico (NIÑO1+2, NIÑO3.4, NIÑO3 e NIÑO4) (Figura 1). Os dados originais de TSM foram obtidos na NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration/ Earth System Research Laboratory), com grade global de 1° latitude x 1° longitude no formato Network Common Data Form (NetCDF), abrangendo os oceanos Atlântico e Pacífico. Os dados de TSM estão disponíveis em http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/db_search/DBSearch.pl.

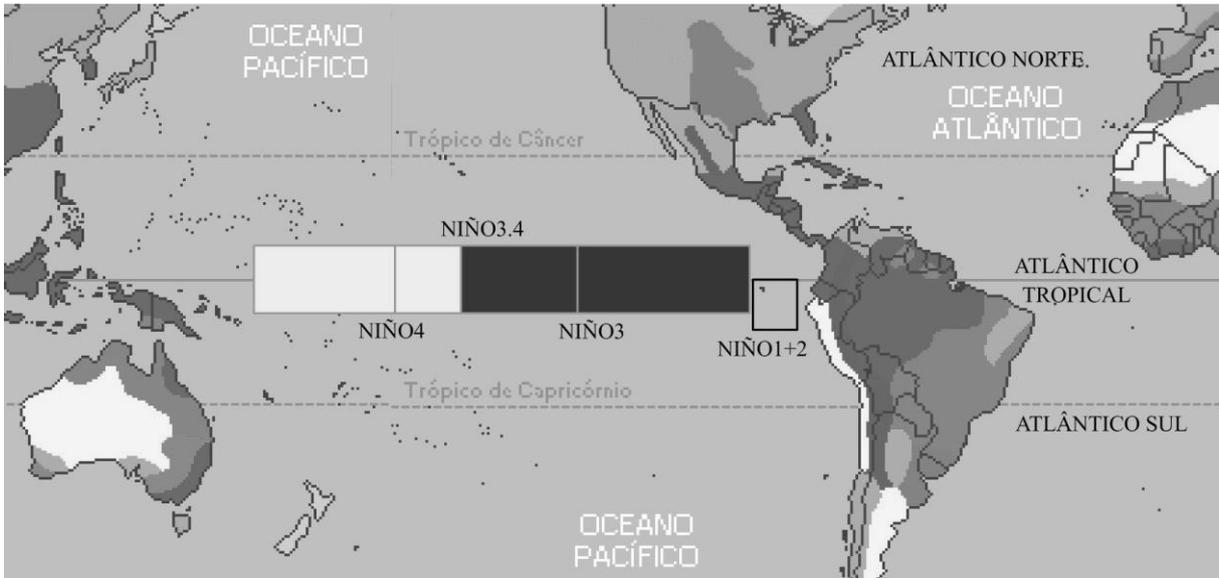


Figura 1. Localização espacial da área de estudo.

2. 1 Análise Estatística

As análises da variabilidade espacial e temporal da TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico foram feitas através da Análise de Componentes Principais. Os dados analisados neste trabalho foram organizados, segundo a ACP, a partir de uma matriz de dados $n \times p$, onde cada linha (n) representa uma região do oceano Atlântico/Pacífico (p) os meses de cada ano. Primeiramente, a matriz de dados foi padronizada onde subtrai-se cada valor da média da respectiva variável e divide-se pelo desvio padrão das mesmas. Estas variáveis foram trabalhadas de forma mensal no período de janeiro a dezembro. A técnica consiste em transformar o conjunto de dados originais em um novo conjunto, isto é, em escores, onde os componentes preservam a variabilidade e os mesmos não são correlacionados entre si, facilitando a separação espacial das oscilações temporais. A técnica é fundamentada na relação de que, uma matriz quadrática simétrica (Storch &

Zwiers, 2000) pode ser decomposta em outras matrizes que preservam a variabilidade.

Neste estudo é usada a matriz correlação, a qual mostra o grau de associação entre duas variáveis aleatórias X e Y e é expresso pela Equação (1):

$$\text{Cor}_{(X,Y)} = \frac{\text{Cov}_{(X,Y)}}{\sqrt{\text{Var}_{(X)} \text{Var}_{(Y)}}} \quad (1)$$

em que, $\text{Cov}(X,Y)$ é a covariância das variáveis X e Y (Equação 2), e $\text{Var}(X)$ (Equação 3) e $\text{Var}(Y)$ (Equação 4) são as variâncias:

$$\text{Cov}_{(X,Y)} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n-1} \quad (2)$$

$$\text{Var}_{(X)} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (3)$$

$$\text{Var}_{(Y)} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1} \quad (4)$$

As matrizes resultantes da decomposição da matriz correlação fornecem os autovalores e os autovetores que são obtidos pela Equação (5):

$$\mathbf{M} = \mathbf{V} \mathbf{\Lambda} \mathbf{V}^T \quad (5)$$

em que, \mathbf{M} é matriz correlação dos dados originais $p \times p$, \mathbf{V} a matriz com os autovetores $p \times p$, $\mathbf{\Lambda}$ a matriz diagonal com os autovalores $p \times p$ e \mathbf{V}^T a matriz transposta com os autovetores $p \times p$.

Os autovetores normalizados (pesos individuais da variação em cada posição) associados a cada autovalor (peso coletivo de todas as posições) é definido de Padrão de Oscilação Principal, cuja função é identificar áreas de maior importância na explicação parcial de cada autovalor. A combinação dos autovetores \mathbf{V} derivados da matriz \mathbf{M} e os dados originais padronizados \mathbf{Y} produzem novas variáveis, definidas de escores dos componentes principais que são obtidos pela Equação (6):

$$\mathbf{Z} = \mathbf{V}^T \mathbf{Y} \quad (6)$$

Por fim os escores representam a combinação da dispersão espacial dos dados originais em cada tempo, sendo não correlacionados entre si. Assim, foi possível correlacionar todos os escores das variáveis

da TSM, de forma a verificar as relações mais evidentes. A cada autovalor não nulo corresponde uma componente com poder explanatório de informações expresso em percentual de variância total. Foi utilizado o Programa MiniTab (2005), para fazer aplicação destes cálculos.

2.2 Análise de Componentes Principais (ACP)

O principal objetivo da análise fatorial é identificar fatores não diretamente observáveis, a partir da correlação entre conjuntos de variáveis mensuráveis (Corrar et al, 2007). O processamento dos dados através da ACP elimina as informações redundantes e separa o sinal de grande escala (variância comum) do ruído (variância específica) associado a cada estação. Fornecendo ainda uma síntese do conjunto de dados, isenta de subjetividade e justificada em um critério estatístico (Schunk Silva & Nery, 2000). Em geral, a primeira solução obtida com a aplicação da ACP não fornece fatores que tenham a interpretação física mais adequada. Para aumentar o poder explicativo dos fatores na análise efetuou-se o procedimento de rotação de fatores através do método VARIMAX (Wilks, 2006). Na escolha do número de fatores adequados ao estudo foi utilizado o critério desenvolvido por Kaiser (Garayalde et al, 1996). Na aplicação deste critério são excluídos os fatores com autovalores menores que um.

2.3 Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*)

A análise de agrupamento tem como objetivo identificar grupos homogêneos dentro de uma população (Corrar *et al.*, 2007; Wilks, 2006). A classificação dos indivíduos em grupos distintos é feita a partir de uma função de agrupamento denominada distância ou similaridade e de um critério matemático de agrupamento (Bouroche & Saporta, 1982). A distância utilizada para medir a similaridade ou dissimilaridade dos dados foi a euclidiana padronizada ao quadrado. Uma discussão detalhada de várias dissimilaridades é apresentada em Duran & Odell (1974). Considere $p \times n$ dados uma matriz X em espaço dimensional p as distâncias euclidianas entre as entidades X_i e X_j é dada pela Equação 7.

$$d_{ij} = [X_i - X_j] = \left[\sum_{k=1}^p (X_{i,k} - X_{j,k})^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

Neste trabalho foi usado o método de classificação hierárquico, o critério de agrupamento utilizado foi o de Ward ou de inércia. O método Ward utiliza uma análise de variância para avaliar a distância entre os grupos (Schunk Silva & Nery, 2000). Esse método procura por partições que minimizem a perda associada a cada agrupamento (Everitt, 1974; Bussab *et al.*, 1990; Mingoti, 2005). Essa perda é quantificada pela diferença entre a soma dos erros quadráticos de cada padrão e a média da partição em que

está contido. A soma dos erros quadrados é obtida a partir da Equação 8:

$$SQD = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad (8)$$

em que n é o número total de elementos do agrupamento e x_i é o i -ésimo elemento do agrupamento.

3. Resultados

A Figura 2 exibe a variabilidade média mensal da TSM (°C) para as sete regiões dos Oceanos Atlântico e Pacífico utilizadas nesse estudo: (a) janeiro, (b) fevereiro, (c) março, (d) abril, (e) maio, (f) junho, (g) julho, (h) agosto, (i) setembro, (j) outubro, (k) novembro e (l) dezembro. Nessa análise é possível observar que as regiões TROP e NIÑO4 apresentam as maiores temperaturas (cerca de 28,5°C) principalmente para o primeiro semestre do ano. Entretanto a partir do mês de fevereiro (Figura 2b) a TSM da região SATL apresenta uma tendência de aumento comportamento antagônico é verificado para região NATL, fator justificado pela incidência de radiação entre os hemisférios. Esse comportamento se inverte a partir do mês de maio (Figura 2e), pois a TSM da região NATL apresenta aumento significativo até o mês de dezembro (Figura 2l). A presença de maior superfície de água no Hemisfério Sul (HS) faz com que a amplitude da TSM seja menor quando comparado ao Hemisfério Norte (HN). A

região do NIÑO1+2 apresenta uma sazonalidade significativa, é possível observar que a partir do mês de abril (Figura 2d) a TSM decresce significativamente de cerca de 25°C para pouco mais de 20°C no mês de setembro (Figura 2i), sendo observado no mês de outubro (Figura 2j) uma tendência de aumento com pico de (26,5°C) no mês de

março. Tal comportamento pode está associado à interação das correntes marítimas que circulam a costa oeste da América do Sul. Para as demais regiões do Oceano Pacífico (NIÑO3.4 e NIÑO3) são observados os maiores valores de TSM para os meses de março-junho (Figuras 2c-f).



Figura 2. Variabilidade média mensal da TSM (°C) para Oceanos Atlântico (Norte (NATL), Tropical (TROP) e Sul (SATL)) e Pacífico (NIÑO1+2, NIÑO3.4, NIÑO3 e NIÑO4): (a) janeiro, (b) fevereiro, (c) março, (d) abril, (e) maio, (f) junho, (g) julho, (h) agosto, (i) setembro, (j) outubro, (k) novembro e (l) dezembro.

A ACP indicou que a variabilidade dos dados é explicada por duas componentes,

com características elementares básicas que representam cerca de 100% dos dados

analisados. A Tabela 1 mostra a porcentagem do total da variância explicada pelas duas componentes encontradas neste estudo. Cada componente representa um conjunto de variáveis que caracteriza a TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico. A análise indica que a variabilidade dos dados pode ser explicada pelas duas primeiras componentes, mais significativas, que possuem os autovalores maiores ou próximos de 1. Os autovalores

obtidos na ACP que foram submetidos à rotação VARIMAX com o objetivo de detectar quais variáveis representam melhor os fatores e com isso facilitar a interpretação dos resultados. As duas primeiras componentes principais (CPs) explicam cerca de 100% da variância total dos dados mensais da TSM, ou seja, 64,1% e 34,0%; respectivamente.

Tabela 1. Sequência dos autovalores na ordem decrescente e a contribuição da variância total dos dados rotacionados.

Componentes	Condições iniciais			Componentes Rotacionados (rotação VARIMAX)		
	Autovalores	% da Variância Total	% da Variância Acumulada	Autovalores	% da Variância Total	% da Variância Acumulada
1	9,9	82,3	82,3	7,7	64,1	64,1
2	1,9	15,8	98,1	4,1	34,0	98,1

Assim, a primeira componente com rotação explica 64,1% da variância e apresenta maiores valores no mês de janeiro e entre os meses de maio a dezembro. A

segunda componente explica 34,0% da variância total dos dados e tem maiores valores nos meses de fevereiro a abril, como observado na Figura 3.

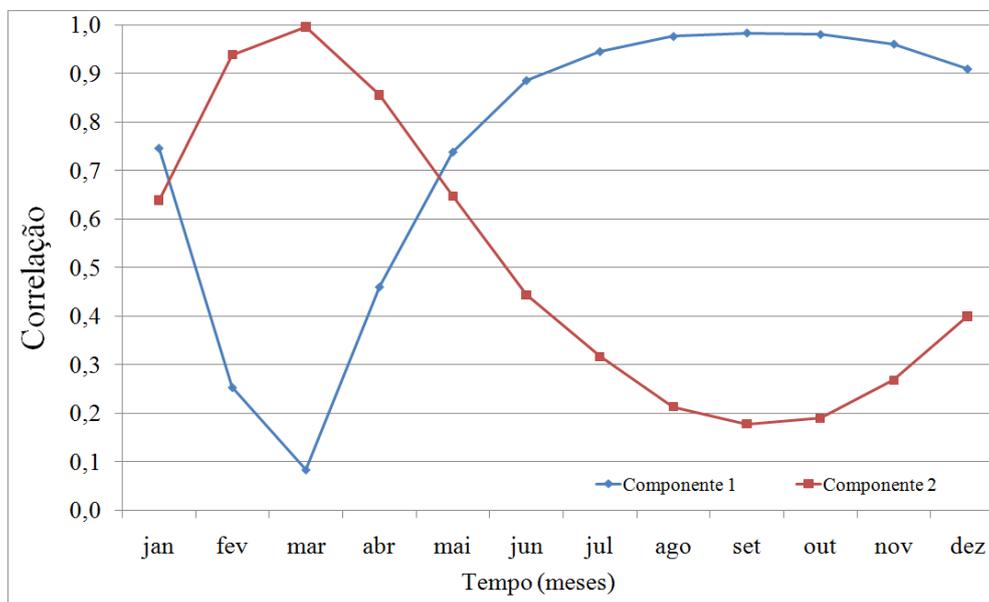


Figura 3. Contribuição das duas componentes, variação temporal.

A configuração espacial dos dois primeiros fatores são apresentadas nas Figuras 4 e 5, respectivamente. O primeiro fator (Figura 4) é bem correlacionado com o mês de janeiro e entre os meses de maio a dezembro. As áreas com escores positivos (valores maiores que 0,5) configuram a relevância da contribuição das regiões NATL e NIÑO4. Segundo Klein et al. (1999), Saravanan & Chang (2000) e Lau & Nath

(2000), existe conexão entre o ENSO e o Atlântico Norte. Esta associação se dá através da redução da nebulosidade devido à intensificação do ramo descendente da circulação anômala de Walker e das teleconexões atmosféricas como o Pacific - North Atlantic (PNA), resultando no aquecimento do Atlântico Norte subtropical através do aumento do fluxo de radiação de onda curta.

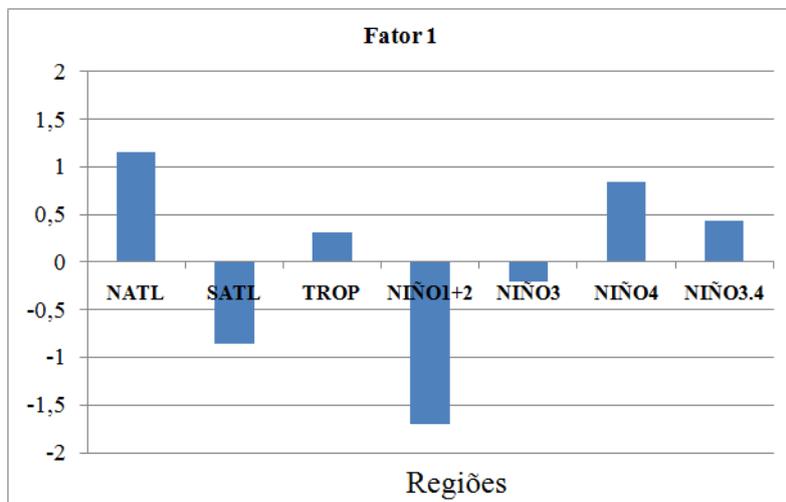


Figura 4. Distribuição espacial do primeiro fator (escore).

A distribuição espacial do segundo fator (Figura 5) é bem correlacionada entre os meses de fevereiro a abril. As áreas com

escores positivos (valores maiores que 1,0) configuram a relevância da contribuição das regiões TROP e NIÑO4.

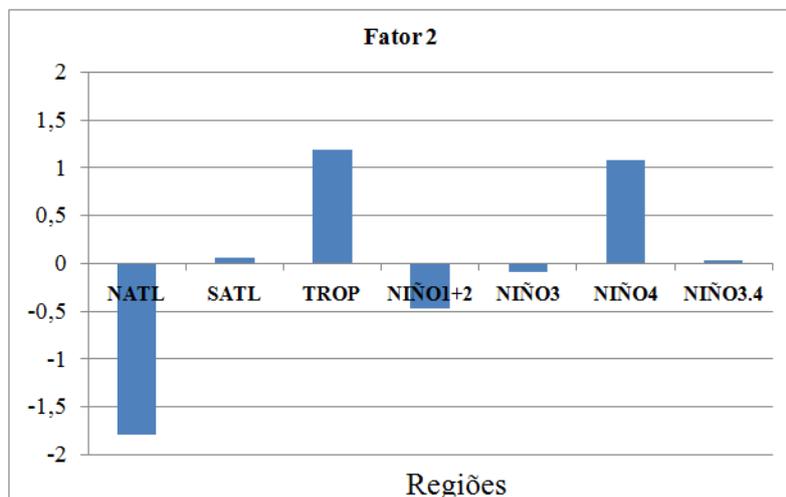


Figura 5. Distribuição espacial do segundo fator (escore).

A sequência de agrupamentos encontra-se na forma de dendrograma (Figura 6), em que no eixo das abscissas estão as regiões dos Oceanos Atlântico e Pacífico e no eixo das ordenadas a distância reescalada entre grupos. A determinação do número de grupos no dendrograma é feita de maneira visual, utilizando-se a técnica de inércia entre saltos. Levando em consideração os

procedimentos de corte foram obtidos três grupos para a TSM. O corte transversal no dendrograma (Figura 4) possibilitou classificar as regiões nos seguintes grupos homogêneos: Grupo I: (Atlântico Tropical (TROP), Atlântico Norte (NATL), Niño3.4 e Niño4); Grupo II: (Atlântico Sul (SATL) e Niño3); Grupo III: (Niño1+2).

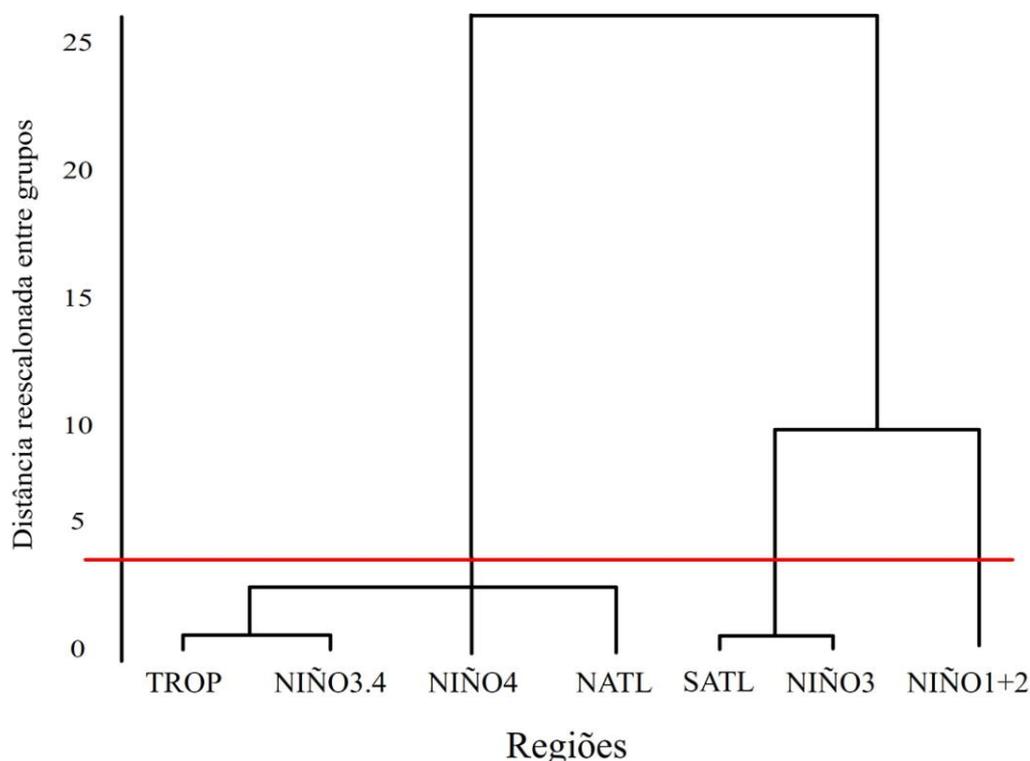


Figura 6. Dendrograma resultante da análise objetiva das sete regiões usando o método aglomerativo hierárquico de Ward.

4. Conclusão

As regiões TROP e NIÑO4 apresentam as maiores TSM para os meses entre dezembro-julho. A região NATL apresenta no período de agosto-outubro seu maiores valores de TSM. A região NIÑO1+2 apresentou os menores valores de TSM.

Os resultados da Análise em Componente Principal (ACP) identificaram

maiores pesos na variação total explicada pelas duas primeiras componentes, que representam cerca de 100% da variância total dos dados de TSM. A Análise de Agrupamento (AA), pelo método Ward, permitiu o agrupamento das estações em três grupos homogêneos.

Todavia será necessário associar fatores termodinâmicos e de circulação global

para o melhor entendimento dos resultados obtidos com a estatística multivariada.

5. Agradecimentos:

Ao CNPq, pela bolsa de Doutorado ao primeiro autor.

6. Referências

Barnston, A. G.; Ropelewski, C. F. (1992). Prediction of ENSO episodes using canonical correlation analysis. *Journal of Climate*. v.5, n.11, p.1316-1345.

Bjerknes, J. (1969). Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Monthly Weather Review*, v.97, p.163-172.

Bouroche, J. M.; Saporta, G. (1982). *Análise de dados*. Rio de Janeiro: Zahar, 117p.

Bussab, W. O.; Miazaki, E. S.; Andrade, D. (1990). *Introdução à análise de agrupamentos*. São Paulo: Associação Brasileira de Estatística, 105p.

Cane, M. A. Zebiak, S. E. (1985). A theory for El Niño and Southern Oscillation, *Science*, v.228, p.1084-1087.

Chang, P. L.; and LI, H. (1997). A decadal climate variation in the tropical Atlantic Ocean from thermodynamic air-sea interactions. *Nature*, v.385, p.516-518.

Corrar, L. J.; Paulo, E.; Filho, J. M. D. (2007). *Análise Multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia*. Ed. Atlas. São Paulo.

Duran. B. S.; Odell, P. L. (1974). *Cluster Analysis*. Velarg: Asurvey Springer, 137p.

Enfield, D. B.; Mayer, D. A. (1995). Tropical influence SST variability and its relation to Pacific SST and western hemisphere rainfall. *ACCP Notes*, v.2, p.4-8.

Everitt, B. S. (1974). *Cluster Analysis*. London: Heinemann Educational Books, 121p.

Garayalde, E. J. G.; Silva, M. G. A. da; Tavares, SÁ A. de (1996). Classificação mesoclimática da região sul do Brasil pela análise de componentes principais. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1., CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Brasília.

Hastenrath, S.; Heller, L. (1977). Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. *Quar. J. Roy. Meteor. Soc.* v.103, p.77-92.

Hastenrath, S. (1990). Prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. *J. Climate*, v.3, p.893-904.

Hastenrath, S.; Greischar, L. (1993). Circulation mechanisms related to Northeast Brazil rainfall anomalies. *J. Geophys. Res.*, v.98, p.5093-5102.

Huang, B.; Shukla, J. (1997). Characteristics of the interannual and decadal variability in a general circulation model of the tropical Atlantic Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, v.27, p.1693-1712.

- Kim, K. Y.; Wu, Q. (1999). A Comparison Study of EOF Techniques: Analysis of Nonstationary Data with Periodic Statistics. *J. of Climate*, v. 12, p. 185-199.
- Klein, S.; Soden, B. J.; Lau N. C. (1999). Remote Sea Surface Temperature Variations during ENSO: Evidence for a Tropical Atmospheric Bridge. *J. Clim.*, v.12, p.917-932.
- Lau, N. C.; Nath, M. J. (2000). Impact of ENSO on the variability of the Asian-Australian monsoons as simulated in GCM experiments. *J. Clim.*, v.13, p.4287-4309.
- Lorenz, E. N. (1956). Empirical Orthogonal Functions and Statistical Weather Prediction. *Sci Rep. 1. Statistical Forecasting Project*, Department of Meteorology, MIT (NTIS AD 110268), 49p.
- Mardia, A. K. V.; Kent. J. T.; Bibby, J. M. (1997). *Multivariate analysis*. London: Academic Press, 518p.
- Mingoti, S. A. (2005). *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: Editora da UFMG.
- MINITAB. (2005). [Apostilas versando sobre temas relacionados à análise estatística com o uso do Programa MINITAB]. Belo Horizonte: Global Tech.
- Moura, A. D.; Shukla, J. (1981). On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Science.*, v.38, n.12, p.2653-2675.
- Nobre, P.; Shukla, J. (1996). Variations of sea surface temperatures, wind stress, and rainfall over the tropical over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate.*, v.9, n.10, p.2464-2479.
- Penland, C.; Matrosova, L. (1998). Prediction of tropical Atlantic sea surface temperatures using linear inverse modeling. *J. Climate*, v.11, p.483-496.
- Rasmusson, F. M.; Carpenter, T. H. (1982). Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly Weather Review*, v. 110, n.5, p.354-384.
- Ropelewski, C. F.; Halpert, M. (1997). Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, v.115, p.1606-1626.
- Saravanan, R.; Chang, P. (2000). Interaction between Tropical Atlantic Variability and El Niño-Southern Oscillation. *J. Clim.* v.13, p.2177-2194.
- Schunk Silva, E.; Nery, J. T. (2000). Distribuição espacial e temporal da precipitação na região centro sul do Estado do Paraná. *Congresso de Biometeorologia*, em Maringá, PR..

- Servain, J. (1998). .A pilot research moored array in the tropical Atlantic (PIRATA). *Bull. Amer. Meteor. Socie.*, v.79, n.10, p.2019-2031.
- Smith, T. M.; Reynolds, R. W.; Livezey, R. E.; Stokes, D. C. (1996). .Reconstruction of Historical Sea Surface Temperature Using Empirical Orthogonal Functions. *J. Climate*, v.9, p.1403-1420.
- Sneath, P. H. A.; Sokal, R. R. (1973). *Numeric taxonomy: the principles and practice of numerical classification*. San Francisco: W. H. Freeman, 573p.
- Storch, H. V.; Zwiers, F. W. (2000). *Statistical analysis in climate research*. New York – NY: Cambridge University Press, 484p.
- Von Storch, H.; Bürger, R. S.; Von Storch, J. S. (1995). Principal oscillation patterns: A review. *J. of Climate*, v.8, p.377-400.
- Wagner, R. G.; Da Silva, A. (1994). Surface conditions associated with anomalous rainfall in the Guinea coastal region. *Int. J. Climatol.*, v.14, p.179-199.
- Weare, B. C.; Nasstrom, J. S. (1982). Examples of Extended Empirical Orthogonal Function Analyses. *Monthly Weather Review*, v.110, p. 481-485.
- Wilks, D. S. (1995). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: an introduction*. San Diego: Academic Press,. 467p.
- Wilks, D. S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2^a Edition. California: Elsevier Science & Technology Books. Academic Press.
- Zebiak, S. E. (1993). .Air-sea interactions in the equatorial Atlantic region. *J. Climate*, v.6, p.1567-1586.