



GESTÃO E CONTROLE AMBIENTAL

RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO NO SETOR LESTE DO NORDESTE DO BRASIL E A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE NOS OCEANOS ATLÂNTICO E PACÍFICO

Geber Barbosa de A. Moura¹, José Oribe Rocha de Aragão², Francinete Francis Lacerda¹ & José Zanon de O. Passavante²

RESUMO

Objetivou-se, com este estudo, relacionar a precipitação no setor leste do Nordeste do Brasil (NEB) com a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos oceanos Atlântico (área do Dipolo) e Pacífico, no período de 1945 a 1985. Através dessa análise pode-se ter uma idéia de como os episódios com anomalias de TSM influenciam na pluviometria da costa leste do NEB (que se estende do Rio Grande do Norte à Bahia). Os resultados mais significativos foram os seguintes: em anos com gradiente de temperatura negativo no Atlântico, aqui também chamado gradiente desfavorável, as chuvas ocorreram abaixo da média de longo período nos estados do Rio Grande do Norte (84%) e Paraíba (74%); em anos com gradiente de temperatura neutro, as chuvas foram normais ou acima do normal na Paraíba (73%); em anos com gradiente de temperatura positivo no Atlântico, aqui também chamado gradiente favorável, as chuvas ocorreram na média e acima da média de longo período, nos Estados de Alagoas (73%), Sergipe (73%) e Bahia (73%).

Palavras-chave: temperatura da superfície do mar (TSM), precipitação pluviométrica, Nordeste do Brasil, Dipolo

RELATIONSHIP BETWEEN THE RAINFALL IN EASTERN NORTHEAST BRAZIL AND THE SEA SURFACE TEMPERATURE IN THE ATLANTIC AND PACIFIC OCEANS

ABSTRACT

The main purpose of this study was to relate the rainfall in eastern Northeast Brazil (NEB) with the sea surface temperature (SST) in the Atlantic (Dipole area) and Pacific oceans during the 1945-1985 period. This analysis shows how anomalous SST events influence precipitation in the eastern part of NEB, from the states of Rio Grande do Norte through to Bahia. The main significant results were: in years with a negative temperature gradient in the Atlantic, the rainfall was below the long term mean in Rio Grande do Norte (84%) and Paraíba (74%); in years with a neutral gradient, the rainfall was normal or above normal in Paraíba (73%); in years with a positive temperature gradient (south minus north), hereby called favorable gradient, the rainfall was above the long term mean, in Alagoas (73%), Sergipe (73%) and Bahia (73%).

Key words: sea surface temperature (SST), precipitation, Northeast of Brazil, dipole

Recebido em 15/09/1999, Protocolo 103/99

¹ Pesquisadores da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA. Av. Gen. San Martin 1370, Bonji, CEP 50761 – 000, Recife, PE. Fone: (0xx81) 445 2200, Fax: (0xx81) 445 3939. E-mail: geber@ipa.br; francis@sectma.pe.gov.br

² Professores da Universidade Federal de Pernambuco - Departamento de Oceanografia Campus Universitário, CEP 50670 – 901, Recife, PE. Fone: (0xx81) 271 8225, Fax: (0xx81) 271 8227. E-mail: oribe@npd.ufpe.br e zanon@npd.ufpe.br

INTRODUÇÃO

A possibilidade de se prever, com razoável margem de segurança, as variações climáticas em escala interanual, representa uma conquista de dimensões históricas, com profundas implicações no progresso do entendimento das interações entre os seres humanos (sociedade) e o meio ambiente.

Há evidências observacionais e teóricas, além de resultados de modelos de circulação geral da atmosfera, de que as condições oceânicas e atmosféricas no Atlântico e Pacífico influenciam fortemente na variabilidade interanual do clima sobre as Américas (Aragão, 1986; Aragão et al., 1994; Hastenrath & Heller, 1977; Moura & Shukla, 1981; Hastenrath et al., 1984; Hastenrath & Greischar, 1993; Nobre & Shukla, 1996).

Tem-se obtido êxito considerável nas previsões dos eventos do fenômeno El Niño - Oscilação Sul (ENOS) por meio de simulações (modelos) dos fenômenos físicos da interface oceano-atmosfera. O conhecimento atual sobre o Atlântico tropical (Dipolo do Atlântico) em conjunto com as informações sobre o ENOS, nos permite que se elabore uma previsão sobre a precipitação do semi-árido nordestino.

Vários modelos de previsão climática para o semi-árido do Nordeste, já operacionais, vêm sendo utilizados por diversos organismos regionais, nacionais e internacionais, por meio dos quais é possível elaborar-se prognósticos sobre a qualidade da estação chuvosa do norte semi-árido do Nordeste (período que vai de fevereiro a maio) com antecedência de um a três meses e, para os casos de extremos de pluviosidade, com até seis meses de antecedência. A confiabilidade dessas previsões pode chegar até 80%, quando de eventos moderados e fortes dos fenômenos ENOS e Dipolo do Atlântico.

Já para a faixa costeira ao leste da região ainda não existem modelos operacionais para prognósticos confiáveis. Estudos recentes demonstram a importância de três parâmetros oceano-atmosféricos na definição da estação chuvosa dessa região: a direção dos ventos dominantes à superfície; o posicionamento da Alta Subtropical do Atlântico Sul; e a temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico tropical.

Objetiva-se com este estudo comparar a variabilidade pluviométrica sobre o setor leste do Nordeste do Brasil (NEB) do Rio Grande do Norte à Bahia, com anomalias de TSM nos oceanos Atlântico (área do Dipolo) e Pacífico (área do ENOS 3). A área ENOS 3 é aquela localizada no Pacífico centro-oeste equatorial. Através dessa análise tem-se uma idéia de como os episódios com anomalias de TSM nos dois oceanos influenciam o regime de precipitação da costa leste do NEB. Essa parte do NEB é conhecida como Zona da Mata, e nela ocorrem as maiores precipitações da região, localizando as capitais dos estados, e concentrando a maior parte das atividades econômicas, incluindo a agricultura extensiva.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho utilizaram-se totais mensais de precipitação de 40 postos pluviométricos distribuídos espacialmente ao longo do setor leste do NEB (figura 1) disponíveis no banco de dados da Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco (SRH/PE) obtidos junto ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). Esses dados compreendem um período de observação que varia desde 1945 até 1985, com todos os postos pluviométricos

apresentando período superior a 30 anos de dados, escolhidos de acordo com a melhor distribuição espacial possível. O período chuvoso do setor leste foi escolhido de março a julho, de acordo com Moura et al. (1998). A escolha de 1945 como limite inferior da série temporal deveu-se ao fato de que os dados de TSM só estão disponíveis a partir daquele ano, embora existam dados de precipitação em toda a área estudada a partir de 1912. O limite superior de 1985 limita a série temporal porque a coleta da precipitação sofreu uma descontinuidade.

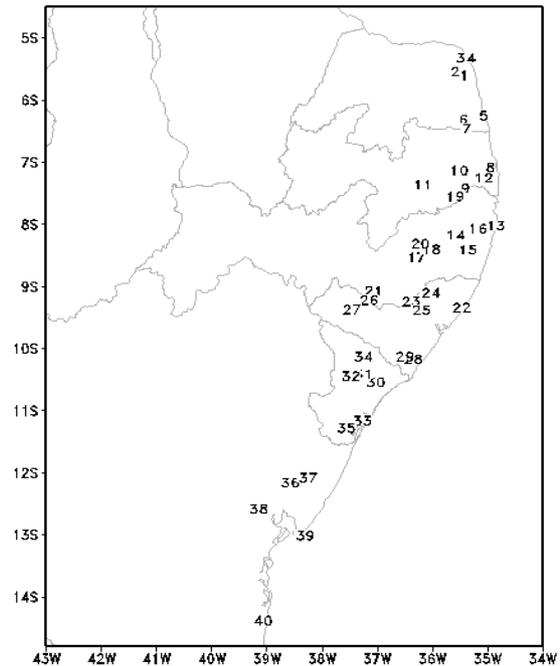


Figura 1. Localização das 40 Estações do setor leste do Nordeste do Brasil utilizadas neste trabalho

Utilizaram-se ainda dados de anomalias de TSM observados sobre os oceanos Pacífico (ENOS 3) e Atlântico (Dipolo). Episódios significativos de anomalias de TSM foram selecionados dentro do período compreendido entre 1945/1985, obtendo-se a média trimestral das anomalias de dezembro a fevereiro, para cada ano, nas regiões de ENOS 3, além do índice da diferença (aqui chamado gradiente) entre Anomalia de Temperatura do Atlântico Sul (ATS) e Anomalia de Temperatura do Atlântico Norte (ATN) centrado na área do Dipolo (Moura & Shukla, 1981)

Os episódios ENOS foram selecionados dentro do período compreendido entre 1945/1985 e escolhidos 8 casos considerados episódios ENOS, de acordo com a magnitude e cobertura das anomalias de TSM no Pacífico (Rasmusson & Carpenter, 1983): 1951/1952, 1953/1954, 1957/1958, 1965/1966, 1969/1970, 1971/1972, 1976/1977 e 1982/1983.

A variabilidade interanual da precipitação, durante o período chuvoso no setor leste do NEB (março a julho), foi investigada através do total pluviométrico relativo a esse período, para cada ano de observação e cada posto pluviométrico. Posteriormente, foi obtido um total pluviométrico médio para cada estado do setor leste do NEB, definido como a soma dos totais pluviométricos individuais dividida pelo número de postos pluviométricos, com informação no referido ano. Desses totais pluviométricos foram calculados desvios normalizados pelo desvio padrão, para cada Estado do setor leste do NEB. Esses desvios anuais (março a julho) foram utilizados para se comparar como a precipitação no setor leste do NEB se comportou em anos de episódios ENOS e Dipolo.

Tabela 1. Correlações lineares entre anomalias de precipitação do setor leste do Nordeste do Brasil (março a julho) e anomalias de temperatura da superfície do mar do Pacífico equatorial (setor do ENOS-3) e do Atlântico (setor do Dipolo) (dezembro a fevereiro)

Variáveis	DRN	DPB	DPE	DAL	DSE	DBA	ATS	ATN	ENOS-3
DRN	1,00								
DPB	0,64	1,00							
DPE	0,43	0,45	1,00						
DAL	0,33	0,43	0,62	1,00					
DSE	0,44	0,55	0,52	0,73	1,00				
DBA	0,46	0,52	0,30	0,39	0,67	1,00			
ATS	0,39	0,35	0,22	0,21	0,36	0,30	1,00		
ATN	-0,06	-0,07	-0,10	-0,22	-0,10	0,03	0,04	1,00	
ENOS-3	-0,35	-0,13	0,00	-0,12	-0,11	-0,03	0,12	0,24	1,00

* DNR – Rio Grande do Norte; DPB – Paraíba; DPE – Pernambuco; DAL – Alagoas; DSE – Sergipe; DBA – Bahia; ATS – Temperatura do Atlântico Sul; ATN – Anomalia da Temperatura do Atlântico Norte; ENOS-3 – Anomalias de Temperatura as Superfície do Mar do Pacífico Equatorial

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentadas correlações lineares para o período de 1945 a 1985, entre desvios normalizados da precipitação do setor leste (Rio Grande do Norte (DRN), Paraíba (DPB), Pernambuco (DPE), Alagoas (DAL), Sergipe (DSE), e Bahia (DBA)) de março a julho, e anomalias de temperatura da superfície do mar do Pacífico equatorial (setor do ENOS 3) e do Atlântico (setor do Dipolo) de dezembro a fevereiro. As correlações lineares foram feitas a partir do pacote estatístico STATISTICA.

Observa-se na Tabela 1, que o ENOS 3 tem correlação muito baixa com a precipitação do setor leste do NEB, com maior correlação de precipitação para o Rio Grande do Norte (-35%). Quando são analisadas as outras correlações lineares entre as anomalias de TSM e a precipitação dos Estados do setor leste, as maiores correlações ocorreram entre o Atlântico sul e o Rio Grande do Norte (39%), Paraíba (35%), Sergipe (36%), e Bahia (30%).

Na Tabela 2 estão apresentadas as médias e os desvios padrão da precipitação para o setor leste, para o período de 1945 a 1985. Esses valores são referentes aos grupos de estações de cada estado.

As médias apresentadas na Tabela 2 estão dentro da faixa de 640 a 790 mm e correspondem à região da Zona da Mata, onde chove mais no Nordeste, nos meses do outono/inverno. Os maiores valores ocorrem nos Estados de Rio Grande do Norte e Bahia. No Rio Grande do Norte, os dois sistemas meteorológicos principais que produzem a precipitação, nesse período, são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e as ondas de leste, enquanto que as frentes frias e as ondas de leste são os dois principais na Bahia. Nos demais estados esses sistemas também ocorrem com frequências e intensidades variáveis. Outros sistemas que atuam nessa região são os vórtices ciclônicos de ar superior (VCAS), as brisas e as oscilações 30-60 dias (Aragão, 1998a; Aragón, 1998b).

A Figura 2 mostra para cada estado, a variabilidade da precipitação do setor leste e as anomalias de TSM para o

Tabela 2. Estatísticas básicas da pluviometria para os Estados do setor leste do Nordeste do Brasil (março a julho)

Estados	Média (mm)	Desvio-Padrão (mm)
RN (Rio Grande do Norte)	787	228
PB (Paraíba)	649	183
PE (Pernambuco)	641	171
AL (Alagoas)	705	187
SE (Sergipe)	670	199
BA (Bahia)	736	224

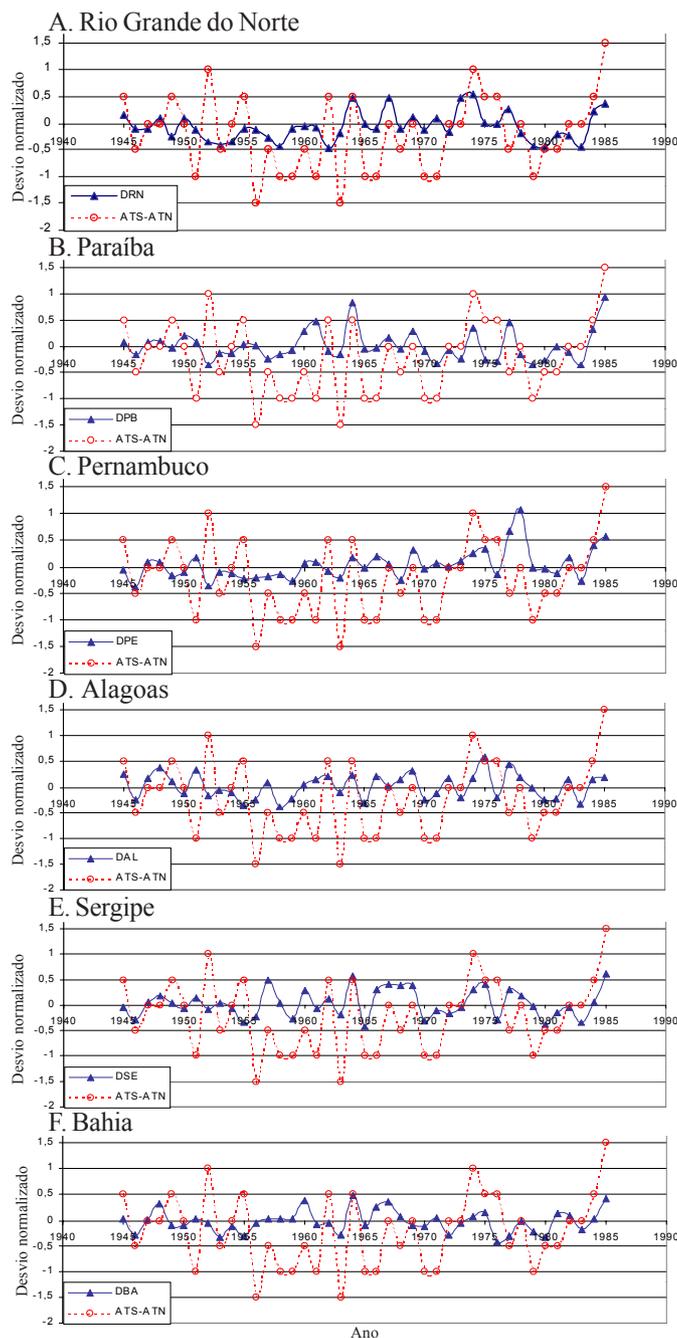


Figura 2. Desvios da precipitação para Rio Grande do Norte (DBN), Paraíba (DPB), Pernambuco (DPE), Alagoas (DAL), Sergipe (DSE) e Bahia (DBA) (março a julho) e desvios de anomalias de temperatura do Atlântico (área do Dipolo) (ATS-ATN) (dezembro a fevereiro)

Atlântico (área do Dipolo). Observa-se nessa figura que ocorreram 11 casos de gradientes positivos de temperatura da superfície do mar (ATS-ATN), 11 casos neutros, e 19 casos negativos.

A Tabela 3 mostra o resultado da análise da Figura 1, considerando-se os três casos de gradiente ATS-ATN, onde $P \geq$ significa precipitação acima ou em torno da média, enquanto $P <$ representa precipitação abaixo da média.

Pode-se observar que quando o gradiente é negativo, o número de anos com precipitação abaixo da média é maior do que o número de anos com precipitação acima ou em torno da média, exceto para a Bahia. O número de anos com precipitação abaixo da média é maior para o Rio Grande do Norte (16 anos).

Quando o gradiente é neutro, não existe uma diferença significativa no número de anos com precipitação acima ou em torno da média e os anos com precipitação abaixo da média, exceto para o estado de Pernambuco, que apresentou 8 anos e 3 anos, e Bahia com 9 e 4 anos, respectivamente.

Considerando, agora, o gradiente positivo, pode-se ver que o resultado é inverso daquele com o gradiente negativo, embora com uma diferença menor entre o número de anos das duas categorias de precipitação consideradas. Pernambuco foi o estado com um menor número de anos com precipitação acima ou em torno da média (6 anos), enquanto que Alagoas, Sergipe e Bahia apresentaram um número maior (8 anos).

Pode-se, também, descrever o número de anos com precipitação acima ou em torno da média e os anos com precipitação abaixo da média, para os três tipos de gradiente do Dipolo do Atlântico, em percentagem. A Tabela 4 resume esses dados percentuais para os 6 estados nordestinos.

A Tabela 4 mostra os resultados percentuais dos anos com as duas categorias de precipitação consideradas para os três gradientes utilizados. Como se pode ver, os resultados mais significativos foram os seguintes: em anos com gradiente de temperatura negativo no Atlântico, aqui também chamado

gradiente desfavorável, as chuvas ocorreram abaixo da média de longo período nos estados do Rio Grande do Norte (84%) e Paraíba (74%); em anos com gradiente de temperatura neutro, as chuvas foram normais ou acima do normal na Paraíba (73%); em anos com gradiente de temperatura positivo no Atlântico, aqui também chamado gradiente favorável, as chuvas ocorreram na média e acima da média de longo período, nos Estados de Alagoas (73%), Sergipe (73%) e Bahia (73%).

Os sistemas meteorológicos mais importantes para o leste do NEB são os sistemas frontais de sul, ondas de leste, e as brisas. Esses sistemas são enfraquecidos e têm frequência diminuída quando as águas do Atlântico sul estão mais frias do que o normal. O inverso é verdadeiro quando as águas estão com anomalias positivas, ou seja, as chuvas são mais frequentes e com maior precipitação. Outros fatos relevantes são: as ondas de leste que se formam no oceano Atlântico adjacente à costa do NEB; e a brisa marítima que acontece com maior intensidade quando o oceano está mais quente.

Vários trabalhos já haviam sido feitos sobre a relação da precipitação no semi-árido do NEB e a TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico. No entanto, para a Zona da Mata os estudos haviam sido poucos e não conclusivos. Portanto, agora, sabemos como a TSM impacta na circulação atmosférica de forma a aumentar ou reduzir as chuvas. Esse conhecimento é importante para a previsão climática, para o planejamento econômico e para informar o governo e o povo em geral os problemas que podem advir nos anos secos e nos anos com grandes quantidades de precipitação, como por exemplo, o racionamento d'água e os deslizamentos de morros, respectivamente.

CONCLUSÕES

1. As maiores correlações encontradas entre a precipitação e a TSM foram com o Atlântico Sul, embora exista uma correlação significativa entre a precipitação do Rio Grande do Norte e o ENOS3.

Tabela 3. Número de anos com anomalias de precipitação acima ou em torno da média ($P \geq$) e abaixo da média ($P <$) do setor leste do Nordeste do Brasil (março a julho) nos Estados do RN, PB, PE, AL, SE e BA para os casos dos gradientes de anomalias de temperatura da superfície do mar do Atlântico (ATS-ATN) positivo, neutro e negativo

Estados	RN		PB		PE		AL		SE		BA	
	$P \geq$	$P <$										
ATS-ATN Positivo	7	4	7	4	6	5	8	3	8	3	8	3
Neutro	6	5	6	5	8	3	6	5	6	5	9	4
Negativo	3	16	5	14	6	13	7	12	7	12	9	8

Tabela 4. Percentagem dos anos com chuvas normal ou acima, e abaixo da média, para os três diferentes tipos de gradiente do Dipolo do Atlântico

Estado	Tipo	Situação do Dipolo do Atlântico		
		Gradientes Positivos	Gradientes Neutros	Gradientes Negativo
RN	Normal ou acima	64	55	
	Abaixo			84
PB	Normal ou acima	64	55	
	Abaixo			74
PE	Normal ou acima	55	73	
	Abaixo			68
AL	Normal ou acima	73	55	
	Abaixo			63
SE	Normal ou acima	73	55	
	Abaixo			63
BA	Normal ou acima	73	69	
	Abaixo			47

2. Existe uma alta correlação entre as precipitações dos seguintes estados: Rio Grande do Norte com a Paraíba; Pernambuco com Alagoas; Alagoas com Sergipe; e Sergipe e Bahia.

3. Durante a fase positiva do Dipolo, Alagoas, Sergipe e Bahia são os Estados com maiores influência do Atlântico. Com o Dipolo neutro, Pernambuco se destaca. Rio Grande do Norte e Paraíba são os dois estados com maior influência do Atlântico durante a fase negativa.

4. O Atlântico Sul explica melhor o comportamento das chuvas do setor leste do NEB, indicando que os sistemas meteorológicos mais importantes para essa região são os sistemas frontais de sul, ondas de leste, e as brisas. Esses sistemas ocorrem com maior frequência e intensidade durante os meses de março a julho.

5. Uma avaliação sinótica da circulação troposférica sobre o Oceano Atlântico Sul, subsidiada com maiores informações e um melhor conhecimento da dinâmica do Atlântico, são fundamentais para melhor monitoramento da precipitação do setor leste do NEB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, J.O.R. A general circulation model investigation of the atmospheric response to El Niño. Colorado: NCAR/CT – 100, 1986, 144p. PhD Thesis

ARAGÃO, J.O.R. A previsão da precipitação no norte do Nordeste do Brasil, para o período chuvoso de fevereiro a maio: Os anos de 1997/98. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, e CONGRESSO DA FLISMET, 8, 1998, Brasília, Anais, São Paulo: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998a, CD Rom.

ARAGÃO, J.O.R. O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil, Bulletin. Institute Français Études Andines, Paris, v.3, p.839-844, 1998b.

ARAGÃO, J.O.R.; ROUCOU, P.; HARZALLAH, A.; FONTAINE, B.; JANICOT, S. Variabilité atmosphérique sur le Nordeste brésilien dans le modèle de circulation générale du LMD (1970-1988). Publications de l'Association Internationale de Climatologie, Atenas, v.7, p.432-438, 1994.

HASTENRATH, S.; GREISCHAR, L. Further work on the prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. Journal of Climate, Washington, v.6, p.743-758, 1993.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Berkshire, v.103, p.77-92, 1977.

HASTENRATH, S.; WU, M.C.; CHU, P.S. Towards the monitoring and prediction of Northeast Brazil droughts. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Berkshire, v.110, p.411-425, 1984.

MOURA, A.D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. Journal of the Atmospheric Sciences, Boston, v.38, p.2653-2675, 1981.

MOURA, B.A.G., ARAGÃO, J.O.R., PASSAVANTE, J.Z.O., LACERDA, F.F., RODRIGUES, R.S., FERREIRA, M.A.F., LACERDA, F.R., e SOUZA, I.A. Estudo preliminar da variabilidade pluviométrica do setor leste do Nordeste do Brasil: Partes I e II. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, e CONGRESSO DA FLISMET, 8, 1998, Brasília, Anais, São Paulo: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998, CD Rom.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. Journal of Climate, Washington, v.10, p.2464-2479, 1996.

RASMUSSEN, E.M.; CARPENTER, T.H. The relationship between eastern equatorial Pacific sea temperature and rainfall over India and Sri Lanka. Monthly. Weather. Review. Boston, v.111, p.517-528, 1983.