

TENDÊNCIA DE TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE DO MAR NOS OCEANOS ATLÂNTICO E PACÍFICO E VARIABILIDADE DE PRECIPITAÇÃO EM PERNAMBUCO

sea surface temperature trend in the Atlantic and Pacific Oceans and rainfall variability in Pernambuco

Ranyère Silva Nóbrega *

Gabriela Ayane Chagas Felipe Santiago **

Resumo

A dinâmica existente entre o oceano e a atmosfera interfere em grande parcela do clima do planeta. A configuração do campo de pressão atmosférico próximo à superfície terrestre, normalmente esta fortemente relacionada com a temperatura da própria superfície de contato, principalmente nos oceanos. Dois eventos de grandes magnitudes desta relação que interferem na precipitação do Nordeste do Brasil (NEB) são o El Niño e o Dipolo do Atlântico. O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o Pacífico Equatorial, e o gradiente meridional de anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical modulam conjuntamente uma grande parte da variância interanual do clima sobre o NEB. Este trabalho tem por objetivo verificar possíveis tendências nas Temperaturas da Superfície do Mar (TSM) dos oceanos Pacífico e Atlântico e verificar possíveis influências na precipitação do estado de Pernambuco. Para identificar essas influências os dados de anomalias do oceano Pacífico e Atlântico foram comparados com o índice de anomalia de chuva e as médias anuais para cada município em estudo. Os resultados obtidos mostraram que ambos os oceanos apresentam uma tendência positiva ao aquecimento sendo uma evidencia de mudanças climáticas e os totais pluviométricos do estado são fortemente influenciados com a ocorrência do El Niño e do Dipolo do Atlântico.

Palavras chave: El Nino; ODP; Variabilidade intrasazonal; Clima.

Abstract

The dynamics between the ocean and atmosphere affects a large portion of the global climate. The field configuration near the atmospheric pressure surface normally is strongly related to the surface temperature, mainly in the oceans. Two relationship events of great magnitude that interfere with the rainfall of Northeast Brazil (NEB) is the El Niño and Atlantic Dipole. The El Niño-Southern Oscillation (ENSO) over the equatorial Pacific, and the meridional gradient of SST anomalies over the tropical Atlantic jointly modulate a large part of interannual climate variation over NEB. This study objective to evaluate possible trends in Pacific and Atlantic Oceans sea surface temperatures (SST) to identify possible influences on the precipitation of the state of Pernambuco. To identify these influences data anomalies in the Pacific Ocean and Atlantic were compared with the rainfall anomaly index and the annual averages for each municipality in the study. The results showed that both oceans show a positive trend being a warming evidence of climate change and rainfall rates in the state are heavily influenced with the occurrence of El Niño and the Atlantic Dipole.

Key words: El Nino; ODP; Intraseasonal variability; Climate.

Resumen

La dinámica entre el océano y la atmósfera afecta a gran parte del clima del planeta. La configuración del campo cerca de la superficie de la presión atmosférica normalmente está fuertemente relacionada con la temperatura de la superficie de contacto en sí, principalmente en los océanos. Dos eventos de gran magnitud de esta relación que interfieren con las lluvias del nordeste de Brasil (NEB) es el fenómeno de El Niño y el Atlántico dipolo. El fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENOS) sobre el Pacífico ecuatorial, y el gradiente meridional de anomalías de TSM en el Atlántico tropical en conjunto modular una gran parte de la variación interanual del clima en ORC. Este estudio tiene como objetivo evaluar las posibles tendencias en las temperaturas superficiales del mar (TSM) en el Pacífico y el Océano Atlántico y para identificar las posibles influencias sobre la precipitación del estado de Pernambuco. Para identificar estos datos influye en las anomalías en el Océano Pacífico y el Atlántico se compara con el índice de anomalía de lluvia y las medias anuales de cada municipio en el estudio. Los resultados mostraron que ambos océanos muestran una tendencia positiva de ser una evidencia del calentamiento del cambio climático y la precipitación pluvial en el estado están muy influenciados con la ocurrencia de El Niño y el Dipolo del Atlántico.

Palabras clave: El Niño; ODP; Variabilidad intraestacional; Clima.

(*) Prof. Dr. do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco - Av. Prof. Moraes Rego, 1235, CEP: 50670-901, Recife (PE), Brasil. Tel: (+55 81) 21267373 - ranyere.nobrega@ufpe.br

(**) Mestranda em Tecnologia Energética e Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco - Av. Prof. Moraes Rego, 1235, CEP: 50670-901, Recife (PE), Brasil. Tel: (+55 81) 21267373 - gabriela_ayane@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A variabilidade climática e os desastres naturais sempre estiveram presentes na história da humanidade e nos últimos anos vêm deixando o mundo em alerta e desafiando os pesquisadores a desvendar as rápidas e severas mudanças do clima no mundo. A intensidade desses eventos, soma-se a dificuldade de gerenciamento de planos para a adaptação e a atenuação de seus efeitos, devido à impossibilidade de prevê-los com exatidão. Sem dúvida, o que mais atinge a humanidade são as enchentes e secas, que estão diretamente relacionadas com a irregularidade pluviométrica (KOBAYAMA et al., 2006).

O Nordeste do Brasil (NEB) é uma das regiões do mundo que sofre com tais irregularidades pluviométricas apresentando eventos extremos, como secas severas ou chuvas excessivas, que têm sido relacionados aos padrões anômalos de grande escala da circulação atmosférica global associada sobretudo ao fenômeno El-Niño-Oscilação Sul (ENOS) (ANDREOLI et al, 2004). Sobre o oceano, o ENOS é caracterizado pela ocorrência de temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico equatorial central e leste anormalmente positivas (El Niño) em uma fase e negativas (La Niña). Há uma conexão dinâmica entre esta componente e à Oscilação Sul, que se reflete como uma gangorra barométrica com centros de ação na Indonésia e no Pacífico sudeste.

Vários estudos procuram relacionar a ocorrência de El Niño com as secas severas no Nordeste do Brasil (NEB), baseados na hipótese de que alguns anos de El Niño fortes ou moderados (1877-1878, 1891, 1900, 1907, 1932, 1941, 1958, 1983) a capital do Ceará enfrentou secas severas (Kane, 1997). No entanto, segundo Andreoli et al. (2004) a relação entre El Niño e as secas no NEB não é unívoca, uma vez que Kane (1997) mostrou que dos 46 El Niño (fortes e moderados) do período de 1849-1992, somente 21 (45%) estiveram associados a secas severas em Fortaleza.

É notório que diversas pesquisas procuram de fato relacionar anos secos/chuvosos no NEB com ENOS, mas estudos observacionais e estatísticos realizadas por Hastenrath e Heller (1977) e simulações numéricas por Moura e Shukla (1981), Servain (1991), Nobre e Shukla (1996), evidenciaram um padrão de anomalias da TSM sobre o oceano Atlântico tropical, comumente chamado de padrão de Dipolo do Atlântico, e que este padrão está associado a mudanças nos valores de precipitação sobre a região Nordeste e Norte do Brasil.

Na última década foi registrada a ocorrência de eventos El Niño nos anos 2002 a 2007 e no biênio 2009-2010 (Fonte: Inpe, 2011), o que não refletiu em períodos secos sobre o NEB, seja por conta da intensidade do evento ou porque o dipolo do Atlântico exerceu maior influência, o que já indica a importância de se analisar as anomalias tanto no Oceano Pacífico quanto no Atlântico. Ainda, os reflexos deste aumento de temperatura na superfície do mar resultam em valores de temperatura média global acima do normal, e os valores ficam evidentes quando se observa a tendência do aumento de temperatura global (XAVIER & XAVIER, 2007).

Levando em consideração que as anomalias das TSM's no Oceano Pacífico e Atlântico exercem influência nos níveis pluviométricos do NEB, surgem questionamentos a cerca do comportamento da climatologia da TSM do Atlântico e do Pacífico leste em um período onde se procura evidências de mudanças climáticas globais.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é identificar tendências no comportamento das temperaturas da superfície do mar nos oceanos Atlântico Norte, Atlântico Sul, Pacífico Leste e Pacífico Central e a relação com a variabilidade temporal da precipitação em Pernambuco.

O EL NIÑO

Segundo Aragão (1998) o El Niño e a Oscilação do Sul (OS) são um fenômeno de escala global resultante da interação oceano-atmosfera, conhecido como ENOS. A definição mais geral é que o El Niño é resultante de anomalias positivas nos valores de TSM do Oceano Pacífico.

Este aquecimento se torna acima da média histórica, desenvolvendo uma anomalia positiva nos valores de temperatura da superfície do mar com grandes efeitos sobre o clima global. Na faixa equatorial toda a convecção se desloca para o leste, alterando o posicionamento da Célula de Walker.

Em condições normais, o ramo ascendente da Célula de Walker que é favorável à formação de nuvens convectivas com grande desenvolvimento vertical ocorre sobre o Pacífico Oeste-Equatorial, onde as águas são mais quentes, conseqüentemente acompanhadas de pressões atmosféricas mais baixas. O contrário ocorre sobre a região do Pacífico Leste, próximo à costa Ocidental da América do Sul, onde se pode observar águas mais frias e pressões atmosféricas mais altas, com isso há a formação do ramo subsidente da Célula, inibindo a precipitação. Quando se configura o fenômeno El Niño ocorre o deslocamento da Célula para o Pacífico Leste devido ao aquecimento anômalo da superfície do mar, favorecendo subsidência de ar sobre a bacia centro-oeste e sobre o Atlântico Equatorial, incluindo a Amazônia Oriental e o Nordeste do Brasil.

Já a Oscilação do Sul é a variação anômala da pressão atmosférica tropical, sendo uma resposta aérea ao El Niño, associada com a mudança na circulação geral da Atmosfera. Segundo Klauer (2000) em anos de El Niño, a pressão tende a valores mais baixos no Pacífico e aumenta no restante da região tropical. O índice (ou oscilação, a depender do autor) é definido como a diferença entre os desvios normalizados da pressão na superfície entre as regiões do Tahiti, no Pacífico central-sul e em Darwin, ao norte da Austrália.

Os ventos alísios sopram de NE e SE conhecidos como célula de Hadley. Um fluxo é formado de leste para oeste na área do Pacífico equatorial, varrendo as águas superficiais, dando lugar às águas profundas para aflorarem a superfície. Este mecanismo é chamado de ressurgência, próximo à costa oeste da América do sul. Na presença do El Niño, a intensidade dos ventos alísios diminui chegando a certo momento, a mudar de sentido, ou seja, de oeste para leste. Sem a força dos alísios, o acúmulo de água aquecida no lado oeste do Pacífico espalha-se pelo Oceano Pacífico Equatorial central, chegando até o litoral Peruano tornando a termoclina (variação brusca de temperatura em uma determinada profundidade do mar ou em ambientes de água doce) da região mais profunda (BEZERRA; CAVALCANTI, 2008).

O fenômeno apresenta diferentes intensidades de anomalias na temperatura e também espacialmente, de maneira que Quinn et al. (1978) introduziram quatro categorias de El Niño (forte, moderado, fraco, e muito fraco). Temporalmente o padrão observado é que episódio começa a se desenvolver em meados de um ano, por volta de novembro, atinge sua máxima intensidade no final do mesmo ano e dissipa-se em meados do ano seguinte.

Marengo et al. (1993) observaram que durante anos de El Niño a ZCIT encontra-se anormalmente mais ao norte de sua posição normal, assim os ventos alísios de SE e NE são mais fracos, reduzindo a umidade que penetra o NEB.

No entanto, Melo (1999) questionou se o El Niño é o responsável por toda a série de secas ocorridas no Brasil desde o período colonial, e o questionamento veio concomitantemente com o trabalho de Aragão (1998) que com base em séries e relatos históricos procurou relacionar os eventos em diversas intensidades e as secas no NEB. Melo (1999) descreveu que Aragão (1998) relatou 28 anos secos entre 1914 e 1997, relacionados com o El Niño e nem todos de forte intensidade (6 fortes, 7 moderados e 10 fracos). Então, supõe-se que o fenômeno não é sempre sinônimo de seca.

O DIPOLO DO ATLÂNTICO

Estudos observacionais e estatísticos realizados por Hastenrath e Heller (1977) e Simulações numéricas por Moura e Shukla (1981), Servaim (1991), Nobre e Shukla (1996), evidenciaram um padrão de anomalias da TSM sobre o oceano atlântico tropical, comumente chamado de padrão de Dipolo do Atlântico, e que este padrão está associado a anomalias de precipitação sobre a região Nordeste e Norte do Brasil.



O Dipolo do Atlântico é o fenômeno oceano/atmosférico identificado como uma mudança anômala na temperatura da superfície água do mar no Oceano Atlântico Tropical, ou seja, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais quentes e as águas do Atlântico Equatorial e Tropical Sul estão mais frias existem movimentos descendentes transportando ar frio e seco dos altos níveis da atmosfera sobre a região setentrional, central e sertão do Nordeste inibindo a formação de nuvens e diminuindo a precipitação (Fase Positiva do Dipolo), podendo causar secas. Por outro lado, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais frias e as águas do Atlântico Tropical Sul estão mais quentes existem aumento nos movimentos ascendentes sobre estas regiões, intensificando a formação de nuvens e aumentando os totais pluviométricos (Fase Negativa do Dipolo) (HASTENRATH; HELLER, 1977; MOURA; SHUKLA, 1981; ARAGÃO, 1998).

Tal padrão de anomalias de TSM possibilita a ocorrência de gradientes meridionais de anomalias de TSM, os quais influenciam bastante na posição latitudinal da ZCIT, alterando assim a distribuição sazonal de precipitação pluviométrica sobre o Atlântico Equatorial, parte norte do Nordeste do Brasil, até a parte central da Amazônia (NOBRE; SHUKLA, 1996). Nos anos em que as TSM sobre o Atlântico Tropical Sul (entre a linha do equador e 15°S) estão mais altas do que a média de longo período durante março-abril-maio (MAM) e o Atlântico Tropical Norte (entre 5°N e 20°N) está menos aquecido do que a média, há formação de um gradiente meridional de anomalias de TSM no sentido de norte para sul. Nessa situação observa-se no mesmo período uma pressão ao nível do mar (PNM) mais baixa do que a média sobre o Atlântico Sul e mais alta do que a média sobre o Atlântico Norte, os alísios de sudeste mais fracos do que a média e os alísios de nordeste mais intensos do que a média, o eixo de baixa pressão à superfície e confluência dos ventos alísios deslocados mais para sul, relativamente ao seu posicionamento médio, e totais pluviométricos acima da média sobre o norte do Nordeste (HASTENRATH; HELLER, 1977).

METODOLOGIA

Foram utilizados dados de precipitação média mensal de postos pluviométricos dos municípios de Recife, Palmares, Caruaru e Serra Talhada em Pernambuco, obtidos junto ao Laboratório de Meteorologia de Pernambuco (LAMEPE), para o período compreendido entre 1950 e 2009.

Foram utilizadas anomalias mensais de TSM na área dos Niños: Niño 3 (5°N-5°S, 150°W-90°W), Niño 3.4 (5°N-5°S, 170°W-120°W), Dipolo do Atlântico Norte (5°N-20°N, 30°E-60°W) e Dipolo do Atlântico Sul (0°-20°S, 30°W-10°E), pois, segundo Bezerra & Cavalcanti (2008), estas são os locais de maior influência na precipitação do NEB. Os dados da TSM foram obtidos no Goddard Institute for Space Studies (GISS) (HANSEN et al., 2001), a série compreende valores de temperatura de 1950 a 2009.

De posse desses dados foram calculadas as anomalias para cada área em estudo calculando um índice referente aos meses de maior relevância do evento, foram selecionados os valores de anomalias dos Niños 3 e 3.4 correspondente aos meses de Janeiro-novembro-dezembro (TRENBERTH, 1997) e para o Dipolo do Atlântico os meses de janeiro a abril levando em consideração o período antecedente e de sua máxima configuração (SOUZA, 1998).

Para análise e comparação com os dados de Precipitação foram obtidos os anos que apresentassem a ocorrência do El Niño (Tabela 1) e do Dipolo do Atlântico (Tabela 2).

Neste trabalho optou-se por utilizar o Índice de Anomalia de Chuva – IAC para acompanhar a variabilidade temporal pluviométrica (DA SILVA, GALVÍNCIO, NÓBREGA, 2011). Outro índice que poderia ser utilizado é o de Palmer (Palmer Drought Severity Index - PDSI), no entanto, ressaltamos que ele é calculado com base em dados de evapotranspiração, infiltração, escoamento superficial eventual etc. e expressa uma medida para a diferença acumulada entre a precipitação normal e a precipitação necessária à evapotranspiração (HAVENS, 1969; STEILA, 1971; ALLEY, 1984; ALLEY, 1985; GUTTMAN, 1991). Já o IAC só necessita de dados de precipitação, é simples



de ser calculado e visa tornar o desvio da precipitação em relação à condição normal de diversas regiões passíveis de comparação.

Tabela 1- Anos de ocorrência do ENOS.

Ocorrências de El Niño		
Forte	Moderado	Fraco
1957-1959; 1972-1973; 1982-1983; 1990-1993; 1997-1998	1965-1966; 1968-1970; 1986-1988; 1994-1995; 2002-2003	1951; 1953; 1963; 1976-1977; 1977- 1978; 1979-1980; 2004-2005; 2006- 2007; 2009-2010

Fonte: Oliveira et. al. (2010).

Tabela 2 - Anos de ocorrência do Dipolo do Atlântico.

Fase Positiva	Fase Negativa
1951, 1953, 1954, 1956, 1958, 1966, 1969, 1970, 1978, 1979, 1980, 1981, 1983, 1992, 1997	1949, 1964, 1965, 1971, 1972, 1973, 1974, 1977, 1984, 1985, 1986, 1989

Fonte: Souza (1998) e Andreoli & Kayano (2007)

O índice foi utilizado sobre um município de cada mesorregião do Estado Pernambucano a fim de entender como esses eventos atuam em áreas que apresentam diferentes características climáticas. Os municípios são: Recife (RMR), Palmares (Zona da Mata), Caruaru (Agreste) e Serra Talhada (Sertão), com uma única exceção da mesorregião do sertão de São Francisco devido à falta de um município que apresentasse uma série de dados compatível com a qual seria analisada.

O método de IAC utilizado por Da Silva et al. (2011) pode ser resumido nas seguintes equações:

$$IAC = 3 \left[\frac{N - \bar{N}}{M - \bar{N}} \right] \text{ (a)}$$

$$IAC = -3 \left[\frac{N - \bar{N}}{X - \bar{N}} \right] \text{ (b)}$$

Em que (a) é utilizado para anomalias positivas e (b) para anomalias negativas, em que: N = precipitação anual atual, ou seja, do ano que será gerado o IAC (mm); \bar{N} = precipitação média anual da série histórica (mm); M = média das dez maiores precipitações anuais da série histórica (mm); X = média das dez menores precipitações anuais da série histórica (mm); e anomalias positivas são valores acima da média e negativas, abaixo da média.

Para melhor entendimento foram gerados gráficos com índices de anomalias e suas respectivas linhas de tendências para cada área do Oceano Pacífico e Atlântico. Também foram gerados gráficos para representar a média anual e o IAC para cada município estudado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante das análises realizadas nas séries de anomalias das TSM's dos oceanos Pacífico e Atlântico observou-se uma tendência positiva de aumento de temperaturas nas superfícies dos oceanos (Figura 1 a 4).

Os resultados indicam tendência de aumento nas temperaturas sobre o oceano Pacífico Leste tanto na área do Niño 3 (Figura 1) quanto na área do Niño 3.4 (Figura 2). As maiores anomalias de temperaturas foram de 6,3° C (Niño 3) e 5,24° C (Niño 3.4) nos anos de 1997 e 1982, respectivamente. Ambos coerentes com a ocorrência de anos com El Niño forte, classificado pelo CPTEC/



INPE, e também coerentes com a relação entre ocorrência do evento e anomalias negativas de chuva no NEB, destacadas por diversos autores.

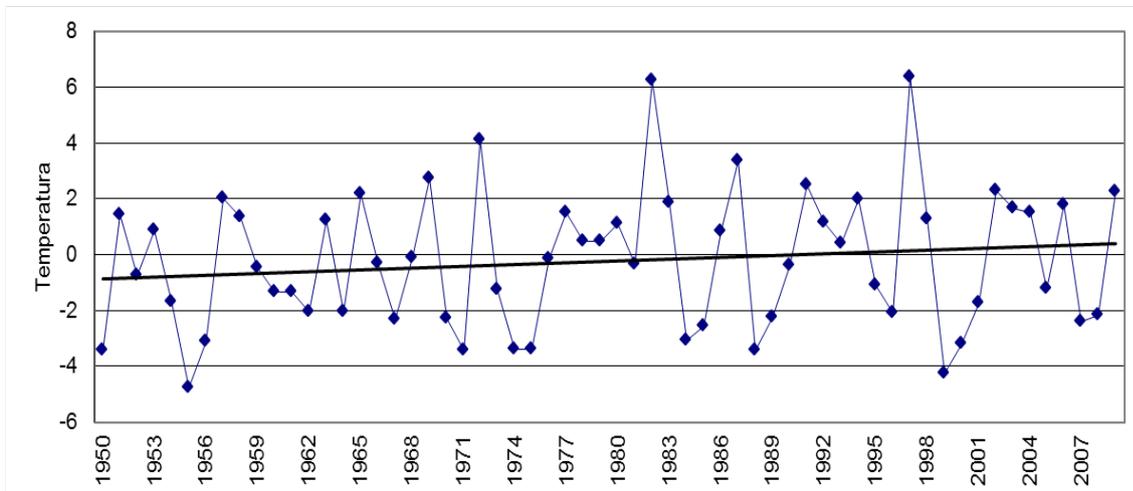


Figura 1 - Anomalias de temperatura sobre a superfície do mar na área do Niño 3 (1950-2009) e reta de tendência linear.

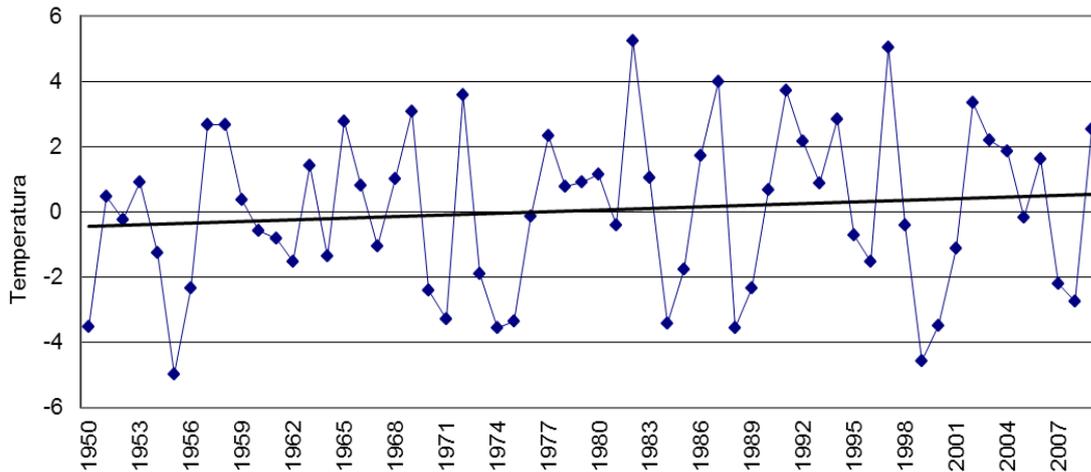


Figura 2 - Anomalias de temperatura sobre a superfície do mar na área Niño 3.4 (1950-2009) e reta de tendência linear.

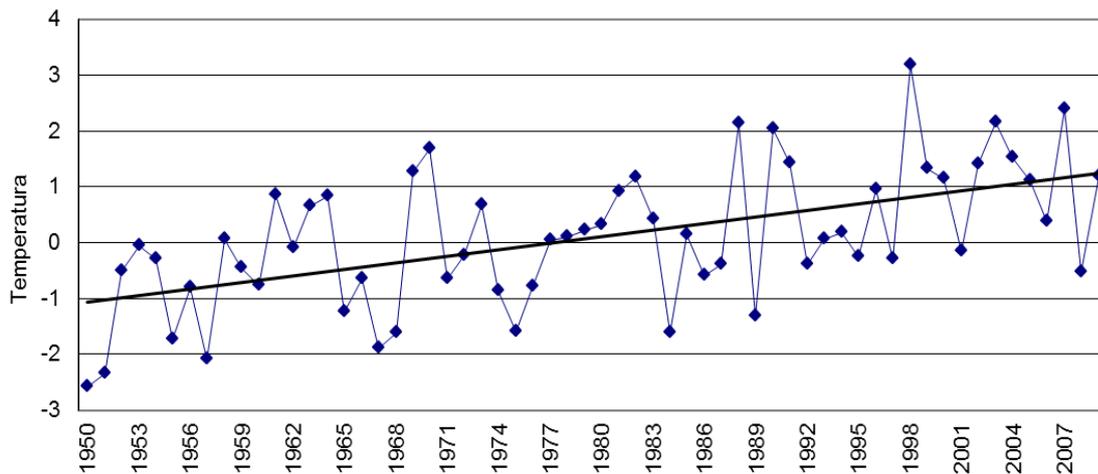


Figura 3 - Anomalias de temperatura sobre a superfície do mar na área do dipolo do Atlântico Norte (1950-2009) e reta de tendência linear.

Nas Figuras 3 e 4 observam-se as anomalias de TSM nas regiões do Dipolo do Atlântico Norte (DAN) e Dipolo do Atlântico Sul (DAS). Os resultados indicam tendência de anomalias positivas na TSM nas duas regiões, sendo mais acentuadas do que as anomalias das regiões do Niño. Já os maiores valores observados foram de 3,2° C em 1998 e 2,4° C em 2007, no Atlântico Norte.

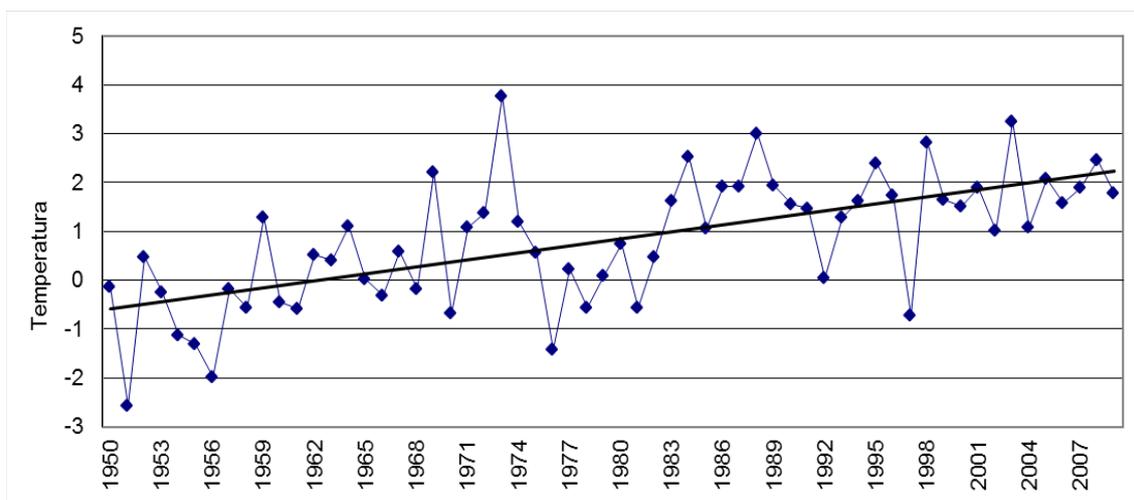


Figura 4 - Anomalias de temperatura sobre a superfície do mar na área do dipolo do Atlântico Sul (1950-2009) e reta de tendência linear.

De acordo com Andreoli e Kayano (2007), quando o dipolo do Atlântico está na fase negativa (presença de anomalias negativa no Atlântico norte e positiva no Atlântico sul) há o favorecimento de precipitação acima da média sobre o NEB. Em se tratando de tendência, ângulo da reta de tendência linear foi pouco maior no DAS (0,5) do que no DAN (0,4).

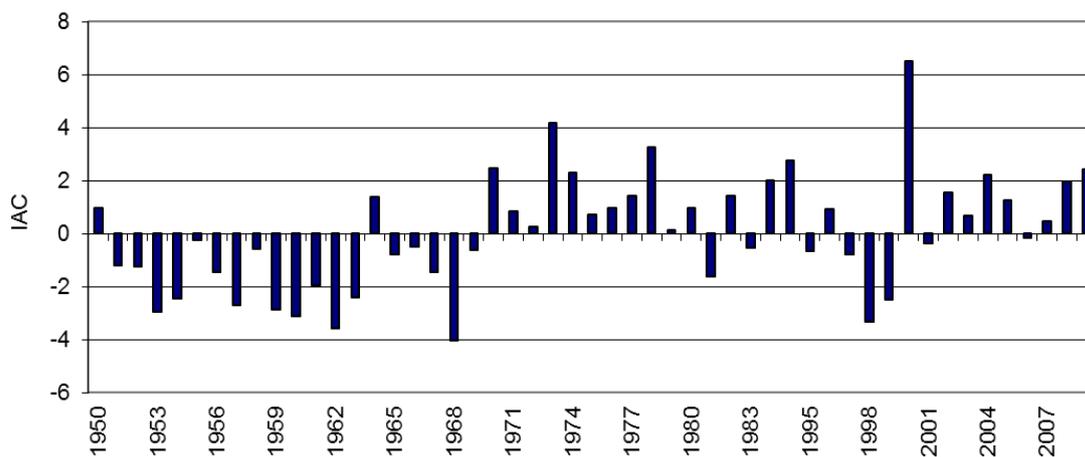


Figura 5 – Índice de anomalia de chuva (1950-2009) para a cidade de Recife, PE.

Comparando os resultados de El Niño e dipolos do Atlântico com o IAC (Figura 5) e as médias anuais de precipitação para Recife (Figura 8), verifica-se que existe predomínio de anomalias negativas, ou seja, valores de precipitação abaixo do esperado entre 1951 a 1963 e neste mesmo período ocorreram apenas um El Niño classificado como forte que foi em 1957-1959. Outros episódios que ocorreram no mesmo período foram classificados como fraco (1951, 1953 e 1963). No entanto eles atuaram em conjunto com a fase positiva do dipolo ocorrida em 1951 e 1953. Em 1968, ano de ocorrência de El Niño moderado, observou-se a menor precipitação em Recife, com



média anual de 91,8mm. Outra grande seca foi em 1998, acompanhada de um dos mais intensos El Niño registrado em conjunto com a fase positiva do dipolo, no entanto o valor da média anual foi maior que a de 1968.

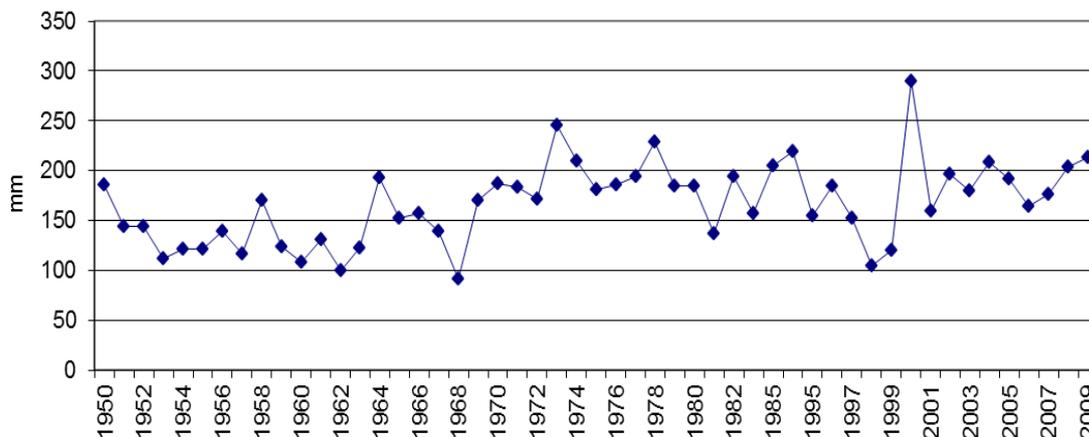


Figura 6 – Precipitação média anual (1950-2009) para a cidade de Recife, PE.

Verificando o IAC (Figura 7) de Palmares, percebe-se que este município apresenta maior variabilidade entre períodos secos e chuvosos que em Recife, no entanto assim como Recife, Palmares apresenta um período de valores de precipitação abaixo do esperado (média anual da série 123 mm) entre 1952 e 1954 relacionado com ocorrência de El Niño fraco e fase positiva do dipolo em 1953 e em 1957 a 1959, relacionado com ocorrência de El Niño de categoria forte em 57-59. Outro evento de anomalias negativas na precipitação foi em 1968, ano de ocorrência de El Niño moderado em que sua média anual chegou a 76 mm (Figura 8).

Os valores extremos de anomalias negativas para a precipitação de Palmares foram em 1993 com a média anual de 44 mm e 1998 com média anual de 42 mm ambos relacionado com a ocorrência de El Niño de categoria forte nos respectivos anos. Mostrado assim a grande influência que esse evento exerce nesta localidade.

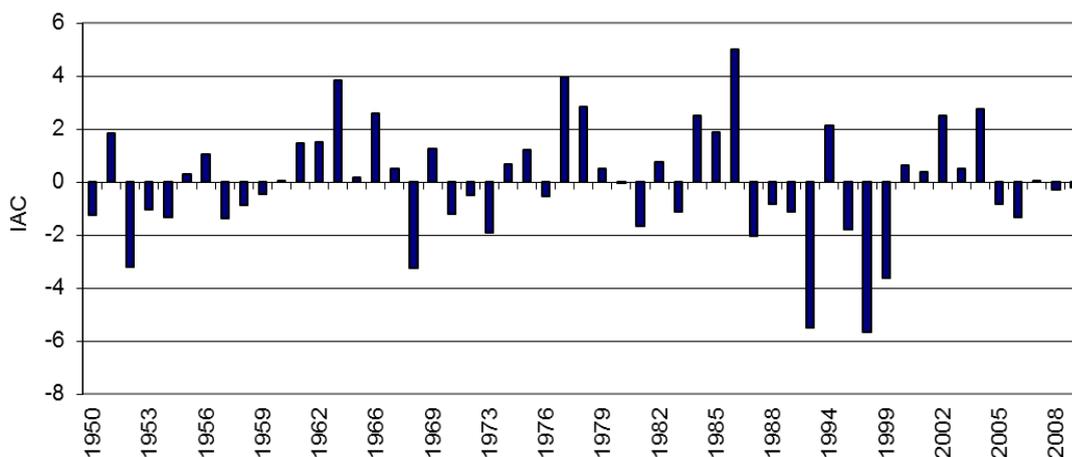


Figura 7 - Índice de anomalia de chuva (1950-2009) para a cidade de Palmares, PE.

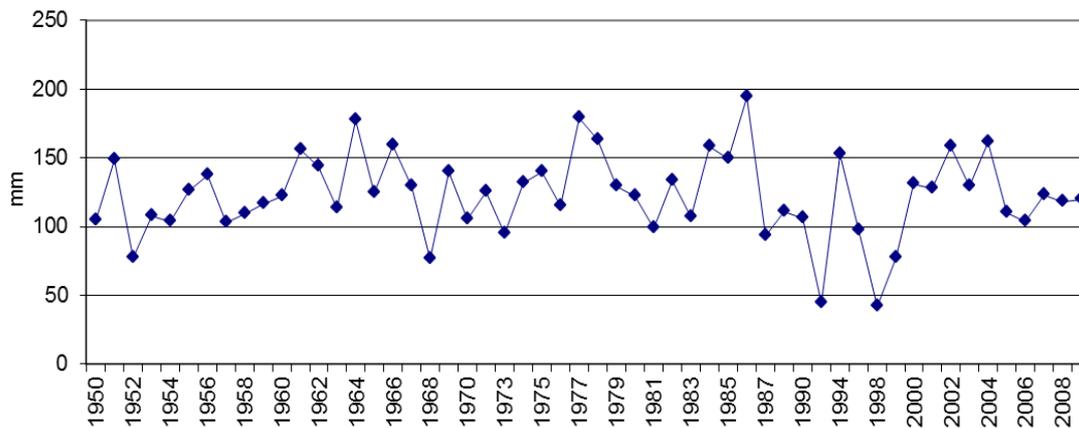


Figura 8 – Precipitação média anual (1950-2009) para a cidade de Palmares, PE.

Analisando o IAC (Figura 9) e as médias anuais (Figura 10) de Caruaru, verifica-se que o município apresentou um longo e severo período de chuvas abaixo da média entre 1950 e 1959, no mesmo período ocorreu em 1951 e 1953 El Niño fraco, em 1957-1959 El Niño forte e Fase Positiva do Dipolo em 1951, 1953, 1956 e 1958.

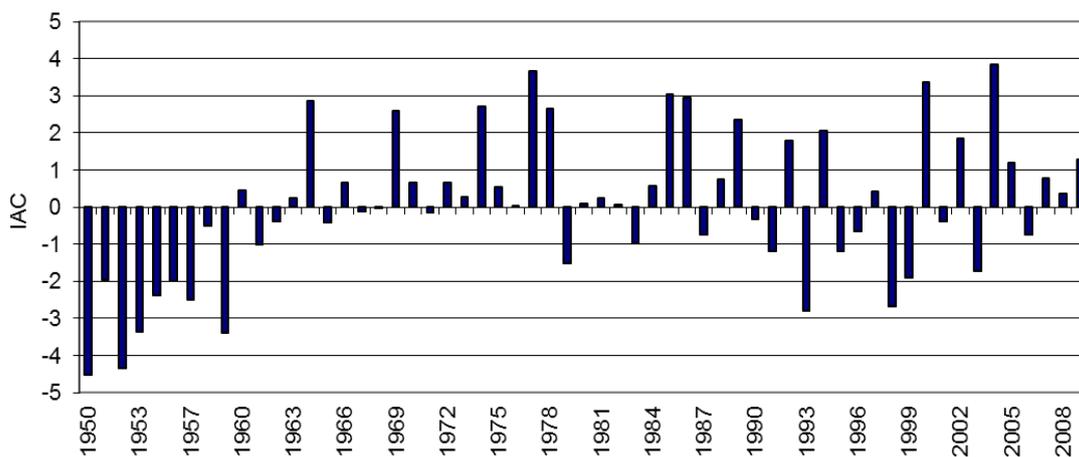


Figura 9 - Índice de anomalia de chuva (1950-2009) para a cidade de Caruaru, PE.

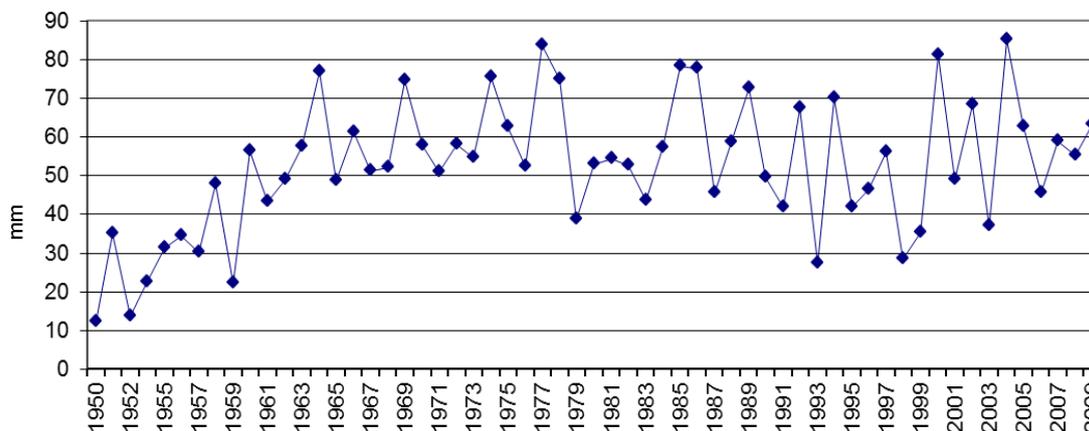


Figura 10 – Precipitação média anual (1950-2009) para a cidade de Caruaru, PE.



Outros valores de anomalias negativas na precipitação de Caruaru foram em 1993 com 27 mm e em 1998 com 29mm, correspondendo em média 50% do esperado da média anual de Caruaru que é 53mm, onde ambos os anos tiveram ocorrência de El Niño forte.

Assim como todos os outros municípios, Serra Talhada também teve seus níveis de precipitação (Figura 11) alterados pela ocorrência de El Niño e Fase positiva do dipolo do Atlântico, apresentando um longo período com chuvas abaixo da média em 1951 a 1960. Neste mesmo período ocorreu em 1951 e 1953 El Niño fraco e fase positiva do dipolo, no entanto a situação mais extrema foi no ano de 1958 onde ocorreu El Niño Forte e Fase positiva do dipolo tendo sua média anual chegado aos 9mm (Figura 12) , representando 16,9 % da média anual da série que foi de 53mm. Em 1965 ocorreu El Niño moderado que também causou chuvas abaixo na média no município, assim como em 1993 e 1998, com ocorrência de El Niño forte, que também alterou significativamente chegando a média nula de 24mm e 18mm respectivamente.

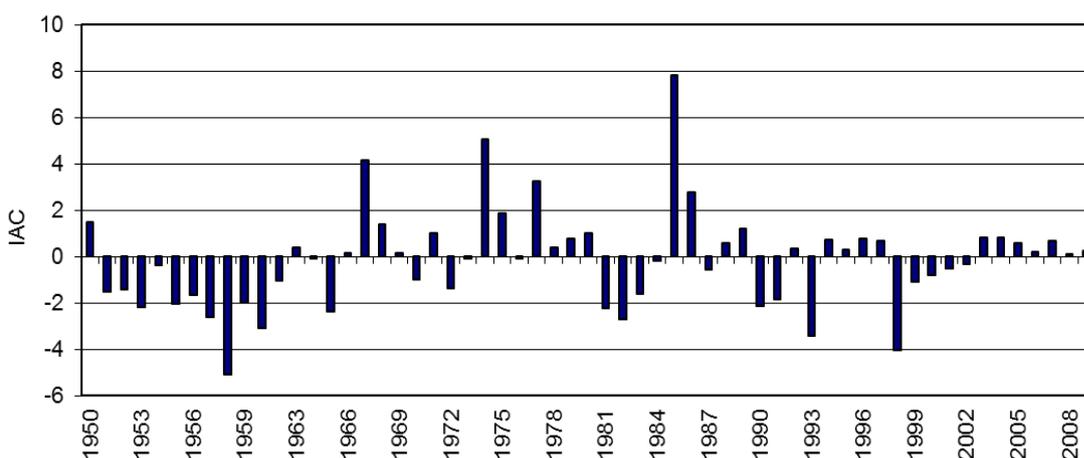


Figura 11 - Índice de anomalia de chuva (1950-2009) para a cidade de Serra Talhada, PE.

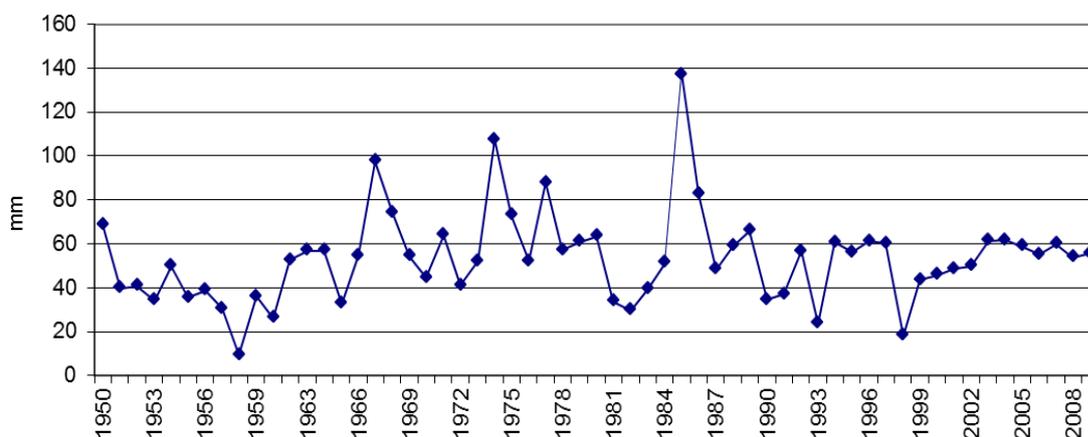


Figura 12 - Precipitação média anual (1950-2009) para a cidade de Serra Talhada, PE.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise estatística das TSM's sobre o oceano Pacífico e Atlântico permitiu observar que há tendência de aquecimento para o período estudado. Este diagnóstico não permite inferir se é um comportamento cíclico em escala decadal ou uma evidência de mudanças climáticas globais, mas sim ressaltar a importância em estudos neste sentido.

A análise isoladamente do El Niño e La Niña mostraram menores relações com a diminuição/aumento da chuva na área estudada. No entanto, quando se observou El Niño e dipolo positivo às anomalias de precipitação foram mais acentuadas em todos os municípios analisados.

Os resultados são coerentes com os observado por Andreoli e Kayano (2007) para o Nordeste do Brasil. Giannini et al. (2004) também concluiu sobre a importância do Atlântico Sul na variabilidade de precipitação do Nordeste brasileiro

Ambos os eventos quando ocorrem isoladamente exercem influência na precipitação do estado, no entanto quando agem em conjunto percebe-se que essa influência é mais acentuada.

A importância do Atlântico Sul fica mais evidente quando as anomalias de temperatura da superfície do mar apresentam mesmo sinal tanto no pacífico quanto no atlântico, alterando o comportamento da circulação geral da atmosfera meridionalmente (célula de Hadley) e zonalmente (célula de Walker).

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pelo fomento ao projeto Peld Sercaatinga. A Propesq pela bolsa de pesquisa Ao Grupo de Estudo Climatologia Tropical e Eventos Extremos (Tropoclima) do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE, pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ALLEY, W.M. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 23, p.1100-1109, 1984.
- ALLEY, W.M. The Palmer Drought Severity Index as a Measure of Hydrologic Drought. **Water Resources Bulletin**, 21, v. 1, 105-114,1985.
- ANDREOLI, R.V. et al. A Influência da Temperatura da Superfície do Mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na Variabilidade de Precipitação em Fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.2, 113-122, 2004.
- ANDREOLI, R.V.; Kayano. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. **Rev. Brasil. de Meteorologia**, v. 22, n.1, 63-74, 2007.
- ARAGÃO, J.O. R. O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. **Bull Inst. Fr. Études Andines**, v.27, n.3, p. 839-844, 1998.
- ARAGÃO, J.O. R. O Que é El Niño? (Conferência). In: **Seminário Sobre a Influência do El Niño na Agricultura e nos Recursos Hídricos do Semi-Árido**. Campina Grande. 1998.
- BEZERRA, A.C.N.; Cavalcanti, E.P. Energia estática sobre o norte e Nordeste do Brasil relacionada com a temperatura da superfície do mar. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, 239-263, 2008.
- DA SILVA, D. F.; Galvinctio, J.D.; Nóbrega R.S. Influência da variabilidade climática e da associação de fenômenos climáticos sobre sub-bacias do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. n.19, 2011.
- GIANNINI, A.; Saravanan, R.; Chang, P. The preconditioning role of Tropical Atlantic variability in the development of the ENSO teleconnection: implications for the prediction of Nordeste rainfall. **Climate Dynamics**, 22, 839-855, 2004.
- GUTTMAN, N. B. A Sensitivity Analysis of the Palmer Hydrologic Drought Index. **Water Resources Bulletin**, 27(5), 797-807, 1991.
- HASTENRATH, S.; Heller, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quartely Journal Royal Meteorological Society** 103(435), 77-92, January, 1977.
- HAVENS, A. V. Economic Impact of Drought on Water Systems in Passaic River Basin. **Journal New Brunswick**, New Jersey Agricultural Experiment Station, 1969.
- HANSEN, J.E., R. et al. A closer look at United States and global surface temperature change. **J. Geophys. Res.**, 106, 23947-23963. 2001. doi:10.1029/2001JD000354.



INPE. Disponível em :<http://www.inpe.br>. Acesso em: janeiro/2011.

KANE, R. P. Prediction of droughts in North-east Brazil: Role of ENSO and use of periodicities, **Inter. J. Climatol.** v.17,p.655-665, 1997.

KLAUER, A. **El Niño – La Niña**: El Fenómeno oceano-atmosférico Del Pacífico Sur, um reto para La ciência y La historia. 1ª. Ed. Agosto.76 págs. 2000.

KOBIYAMA, M.; Mendonça, M.; Moreno, D.A.; Marcelino, I.P.V.O.; Marcelino, E.V.; Gonçalves, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.R.; MOLLERI, G.; RUDORFF, R. **Prevenção de desastres naturais**: conceitos básicos. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109p.

MARENGO, J., DRUYAN, L., HASTENRATH, S. Observational and modelling studies of Amazonia interannual climate variability. **Climatic Change**, 23 (3), 267-286, 1993.

MELO, J.C. O Fenômeno El Niño e as Secas no Nordeste do Brasil. In: **Raízes**, ano XVIII, nº20. 1999.

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, 2653-2675. 1981.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, n.10, p. 2464–2479, 1996.

OLIVEIRA, G.C.S; ALVES, K. M. A. S.; NÓBREGA, R. S. . Sistemas Atmosféricos Dinâmicos de Grande Escala Responsáveis pela Ocorrência de Chuva no Nordeste Brasileiro. In: **II Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos de Pernambuco**, 2010, Recife. Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos. Recife, 2010.

QUINN, F. Hydrologic response model of the North American Great L akes. **Journal of Hydrology**, v.37, p. 295-307, 1978.

SERVAIN, J. Simple Climatic Indices for the Tropical Atlantic Ocean and some Applications. **Journal of Geophysical Research**, v. 96, p. 15.137-15.146,1991.

SOUZA, E. B.; NOBRE, P. Uma Revisão Sobre o Dipolo no Atlântico Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.13, nº, 31-44, 1998.

STEILA, D. **Drought Analysis in Four Southern States by a New Index**, PhD Diss., Athens, Ga., The University of Georgia, 1971.

TRENBERTH, K.E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 12, p. 2771-2777, 1997.

XAVIER, T. DE MA. B. S.; XAVIER, A. F. S. O Planeta Terra: Aquecimento Global e Mudanças Climáticas. **BSBMET**, Vol. 30, No. 4, p. 73-79, 2007.

Trabalho enviado em março de 2014
Trabalho aceito em abril de 2014