



A influência da temperatura da superfície do mar do oceano Pacífico na precipitação pluvial de Penedo-AL

Eliane Barbosa SANTOS¹, Gildo Rafael de Almeida SANTANA²

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Ciências Climáticas. elianbs@gmail.com

² Universidade Aberta do Brasil/Instituto Federal de Alagoas. Graduando em Biologia. gildoraphael@gmail.com

Resumo

Estudos climáticos da ocorrência de precipitações extremas têm importante papel socioeconômico, pois longos períodos secos e chuvosos acarretam prejuízos para a infraestrutura das cidades. Com isso, o objetivo desse estudo é analisar as tendências dos índices dependentes da precipitação pluvial diária para o Município de Penedo, assim como, analisar suas relações com as Temperaturas da Superfície do Mar (TSM) das regiões dos Niños (1+2, 3, 3.4 e 4), no período de 1948 a 2007. Os dados de precipitação foram obtidos através da Agência Nacional de Águas (ANA) e os dados referentes às TSM das regiões dos Niños foram obtidos no site do Earth System Research Laboratory. O software utilizado no processamento e controle de qualidade dos dados de precipitação diária foi o RCLimindex 1.9.0. Com base nos resultados encontrados, foram observadas tendências de aumento do número de dias secos consecutivos e uma diminuição do número de dias úmidos consecutivos, assim como, uma diminuição em dias com precipitação igual ou acima de 50 mm. As correlações estatisticamente significativas entre os índices de precipitação e as TSM foram negativas, indicando que um aumento nas TSM das regiões dos Niños leva a uma diminuição dos eventos extremos de chuva e do número de dias úmidos consecutivos na região em estudo. Das regiões dos Niños, as TSM dos Niños 1+2 e 3 foram as que apresentaram melhores relações com os índices de precipitação do Município de Penedo.

Palavras-chave: Análise de tendências, Índices climáticos, RCLimindex.

ABSTRACT: Climate studies of the occurrence of extreme precipitation have important socioeconomic role, because long rainy and dry periods cause damage to the infrastructure of cities. Thus, the objective of this study is to analyze trends in indices dependent on daily precipitation for the city of Penedo, as well as analyze your relationships with sea surface temperatures (SST) in the regions of Niños (1 +2, 3 , 3.4 and 4) in the period 1948 to 2007.

The precipitation data were obtained through the Agência Nacional de Águas (ANA) and the data on the SST of the Niño regions were obtained from the website of the Earth System Research Laboratory. The software used in processing and quality control of daily precipitation data was RCLimindex 1.9.0. Based on the results, trends were observed to increase number of consecutive dry days and a decrease in the number of consecutive wet days, as well as a reduction of days to precipitation equal to or above 50 mm. The statistically significant correlations between indices of precipitation and SST were negative, indicating that an increase in the TSM leads to a reduction in the extreme rain and the number of consecutive wet days in the study area. Regions of Niños, the SST in the Niño 1 +2 and 3 showed the best relationship with the indices of precipitation of Penedo.

Keywords: Trend Analysis, Climate indices, RCLimindex.

Introdução

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes do ciclo hidrológico, pois influencia várias atividades humanas, tais como, a agricultura, a pesca, a pecuária e, o abastecimento de água para o consumo humano e até mesmo na segurança da população. As razões físicas da variabilidade pluviométrica são complexas e estão relacionadas com a circulação atmosférica global. Por isso, os estudos dos fenômenos climáticos são de fundamental importância para o progresso e desenvolvimento da sociedade humana.

Dentre os vários fatores que condicionam o regime pluviométrico, tem-se a presença de sistemas sinóticos de escalas temporal e espacial distintas, que por sua vez, têm um papel fundamental na qualidade da estação chuvosa local. Por conseguinte, nas escalas interanual e interdecadal, a interação dos sistemas de escala global com os de escalas menores, promove totais pluviométricos acima e/ou abaixo da média climatológica (SANTOS, 2009, p. 01).



Na América do Sul, grande parte da variabilidade interanual do clima, principalmente das precipitações, é modulada pelos efeitos do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS). O ENOS é um fenômeno oceânico-atmosférico em que o oceano, ao interagir com a atmosfera, altera os campos de pressão atmosférica ao nível do mar (PNM) e de ventos sobre o Pacífico Equatorial, mudando seus padrões nas escalas regional e mundial. A componente oceânica é caracterizada pela alteração da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região equatorial do Oceano Pacífico e apresenta duas fases distintas, denominadas de El Niño e La Niña, que podem durar cerca de 6 a 18 meses (SIQUEIRA, 2010, p. 08).

As anomalias de TSM na região de ocorrência do El Niño e La Niña são monitoradas dividindo a região afetada em quatro sub-regiões, que são: Niño 1+2 (0°-10°S) e (90°W-80°W), Niño 3 (5°N-5°S) e (150°W-90°W), Niño 4 (5°N-5°S) e (160°W-150°W) e uma nova região intermediária entre (3) e (4) chamada de Niño 3.4 (5°N-5°S) e (170°W-120°W) (SANTOS, 2011, p. 23-24).

Em anos de El Niño, no Nordeste do Brasil (NEB), ocorre uma diminuição das chuvas. Algumas áreas do sertão nordestino podem ficar sem nenhum registro de chuva, nos meses de estiagem e nos meses em que poderia ser observada chuva não há chuva. Mas os períodos de estiagem não se limitam apenas ao sertão. Até mesmo, no litoral, é observada uma grande deficiência de chuva. Já em episódios do La Niña, o principal efeito no NEB é a chegada das frentes frias até esta região, principalmente no litoral da Bahia, Sergipe e Alagoas; em geral, podem ocorrer chuvas acima da média na região semiárida do NEB (BEZERRA, 2006, p.13).

A principal e mais conhecida fonte da variabilidade climática interanual sobre o Oceano Pacífico Tropical é o ENOS. Com isso, o objetivo neste trabalho é analisar as tendências dos índices dependentes da precipitação pluvial diária para o Município de Penedo, assim como, analisar suas relações com as temperaturas da superfície do mar das regiões do Niños.

Material e métodos

Dados

O Município de Penedo está localizado na região sul do Estado de Alagoas (Figura 1). Neste trabalho foi utilizada a série histórica de dados diários da precipitação pluviométrica de Penedo-AL da estação localizada entre as coordenadas 36°33'23''W e 10°17'6''S, com altitude de 28 m, para o período de 1948 a 2007, obtidos através da Agência Nacional de Águas (ANA) pelo site <http://hidroweb.ana.gov.br/>.

Figura 1. Mapa de localização do Município Penedo-AL.





Dados referentes às TSM das regiões dos Niños (1+2, 3, 3.4 e 4) foram obtidos no site do Earth System Research Laboratory (ESRL), pertencente à Physical Science Division (PSD) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/>.

Metodologia

Apesar de existirem na literatura vários índices para precipitação diária, nesta pesquisa são usados 6 índices (Tabela 1), dos 27 definidos pelo “Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI)”, que envolvem equações matemáticas que são calculadas por meio do software RCLimDex 1.9.1. Este software está disponível gratuitamente no site <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml>.

Tabela 1: Índices de chuva com suas definições e respectivas unidades

ID	Nome do Indicador	Definição	Unidade
PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias úmidos	Precipitação total anual nos dias úmidos em que $PRCP^* \geq 1$ mm	mm
SDII	Índice simples de intensidade diária	Precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos	mm dia ⁻¹
CDD	Dias secos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos com $PRCP^* < 1$ mm	dias
CWD	Dias úmidos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos com $PRCP^* \geq 1$ mm	dias
R10	Número de dias úmidos	Número de dias em 1 ano em que a precipitação é ≥ 10 mm	dias
R50	Número de dias com precipitação > 50 mm	Número de dias em 1 ano em que a precipitação ≥ 50 mm	dias

*O PRCP é o valor da precipitação diária. $PRCP \geq 1$ mm representa um dia úmido e $PRCP < 1$ mm, um dia seco.

O controle de qualidade dos dados é um pré-requisito para o cálculo dos índices por meio do software RCLimDex 1.9.1. O controle de qualidade atende aos seguintes procedimentos: 1) Substitui todos os valores faltosos (estes já devem estar codificados como -99.9) para formatos internos reconhecidos pelo software R (isto é, declara-os como não disponíveis) e 2) Substitui todos os valores da matriz de dados que sejam considerados não aceitáveis também por -99.9; referidos valores incluem: a) valores de precipitação menores que zero (notadamente absurdo) e b) temperatura mínima diária superior à máxima diária (idem).

Como não é objetivo desta pesquisa utilizar dados de temperatura diária, não foi efetuado o controle de qualidade referente à temperatura, mas apenas e tão somente a dados diários de precipitação.

Os requisitos para os dados de entrada no programa são: 1) Arquivo de texto ASCII (American standard code for information interchange); 2) Colunas de seguintes seqüências: Ano, Mês, Dia, Precipitação, Temperatura Máxima, Temperatura Mínima (Nota: a unidade para precipitação é milímetro (mm) e a unidade para temperatura é grau Celsius (°C)); 3) O formato requer que as colunas sejam espaçadas (isto é, cada coluna deve ser espaçada por um ou mais espaços); 4) Para que os dados sejam gravados, os dados faltosos devem ser necessariamente codificados como -99.9; a disposição dos dados deve obedecer à sua ordem cronológica (ZHANG e YANG, 2004, p. 15)

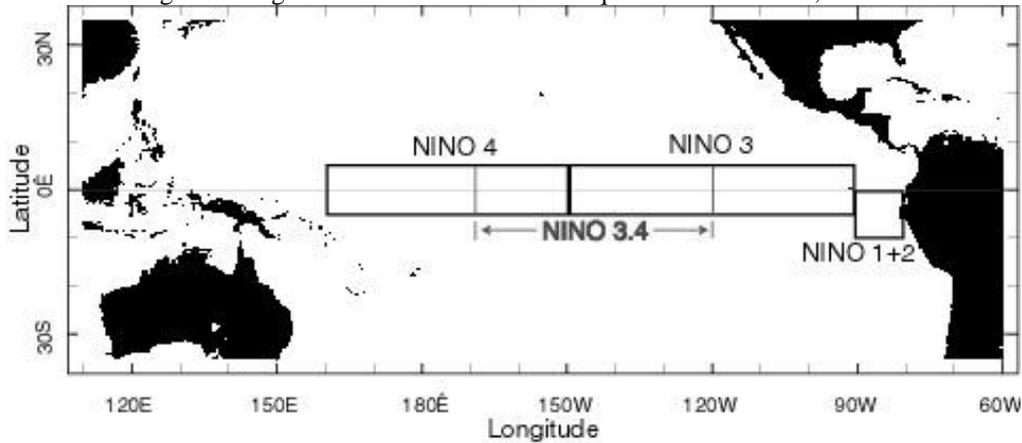
A saída do RCLimDex 1.9.1, para todos os índices, fornecem dados estatísticos, tais como: tendência linear calculada pelo método de mínimos quadrados; nível de significância estatística da tendência (valor *p*); coeficiente de determinação (r^2) e erro padrão de estimativa; assim como, os gráficos das séries anuais.

Depois de calculados os índices dependentes da precipitação, foram realizadas correlações entre os índices e as anomalias de TSM das regiões dos Niños (Figura 2). Posteriormente foi aplicado o teste t de Student, para analisar as significâncias estatísticas das correlações. Para aplicação do teste,



foram utilizados os três maiores níveis de significância: significância estatística de 90% ($p < 0.1$), 95% ($p < 0.05$) e 99% ($p < 0.01$).

Figura 2: Regiões dos Niños no Pacífico Equatorial. Fonte: IRI, 2007.



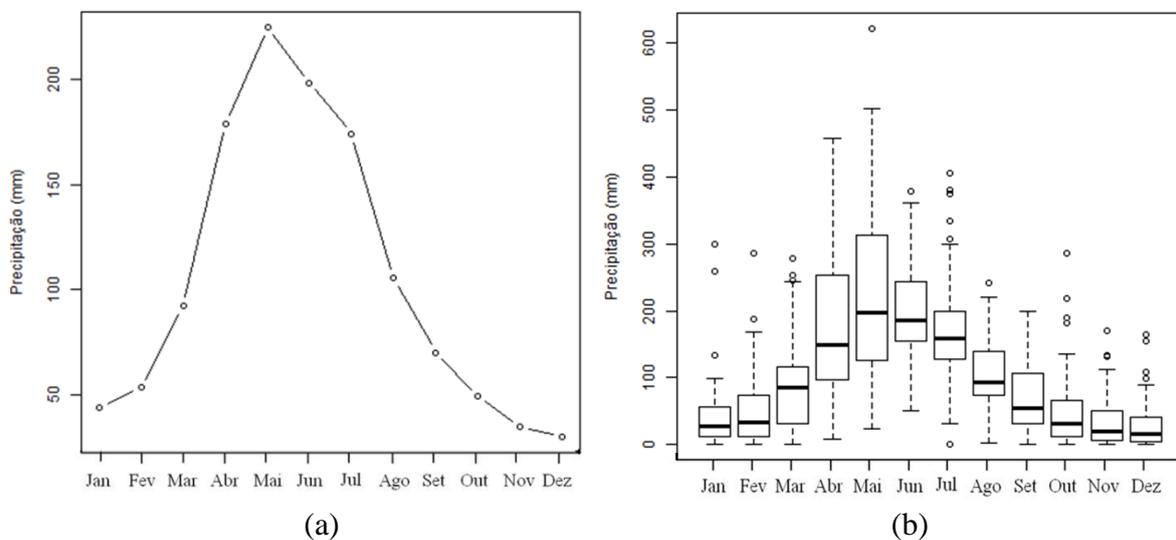
Também foi calculada a climatologia para o período de estudo e a análise das médias temporais da precipitação foi realizada com o diagrama do tipo *Box plot*. As figuras foram geradas utilizando o software R (R version 2.15.1).

Resultados e discussões

A climatologia da precipitação pluviométrica em Penedo-AL foi obtida baseada na média do período de 1948 a 2007. Na Figura 3a verifica-se que a partir do mês de janeiro os volumes mensais de precipitação começam a aumentar progressivamente até atingir o valor máximo anual no mês de maio. Depois desse pico, verifica-se uma diminuição dos volumes mensais de precipitação, atingindo o valor mínimo anual em dezembro. Nota-se claramente na Figura 3(a e b) que o período mais chuvoso ocorre de abril a julho e o mais seco de outubro a janeiro.

Também pode ser observado na Figura 3 b, *outliers* com precipitações extremas baixas no mês de julho, e altas em praticamente todos os meses, com exceção do mês de abril e setembro. Como mostrado na climatologia (Figura 3a), o *Box plot* da precipitação (Figura 3b) confirma que o valor máximo anual de precipitação foi encontrado em maio e o mínimo em dezembro.

Figura 3: (a) Climatologia e (b) *Box plot* da precipitação pluviométrica (mm) para a média mensal de Penedo-AL, no período de 1948 a 2007.





Observa-se na Tabela 2, o nível de significância estatística da tendência (valor p) dos índices dependentes da precipitação diária do Município de Penedo, os valores destacados com o asterisco apresenta significância estatística ao nível de 90%.

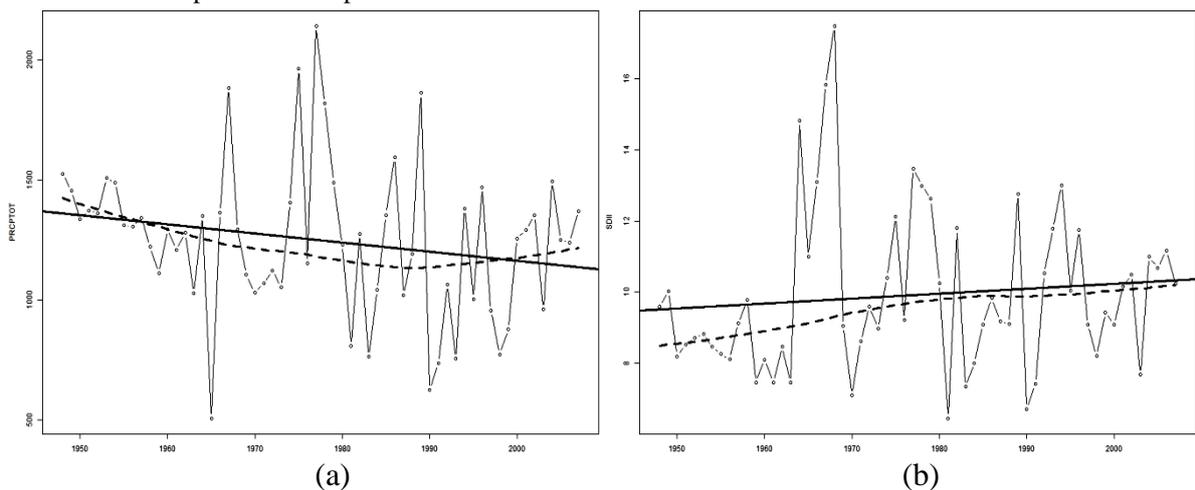
Tabela 2: Nível de significância estatística da tendência dos índices dependentes da precipitação diária

	PRCPTOT	SDII	CDD	CWD	R10	R50
valor p	0.11	0.406	0.003*	0.003*	0.22	0.032*

(*) Significância estatística de 90% ($p < 0,1$).

É possível identificar uma pequena tendência de diminuição da precipitação total anual, representada pelo índice PRCPTOT (Figura 4a), porém não apresenta significância estatística (Tabela 2). A razão entre a quantidade de precipitação total anual dos dias chuvosos e o número de dias chuvosos, ou seja, o índice simples de intensidade diária (Figura 4b) também não apresentou tendência significativa. Este índice pode refletir o aumento na precipitação total anual, como também, uma diminuição do número de dias úmidos. Porém, como foi observado que a precipitação total anual apresentou uma pequena diminuição, pode-se presumir que esse índice indica uma diminuição do número de dias úmidos no Município de Penedo. No entanto, ambos os índices não apresentaram significância estatística e, assim, não podem ser associados de forma confiável.

Figura 4: Série temporal dos índices: (a) precipitação total anual nos dias úmidos e (b) índice simples de intensidade diária para o Município de Penedo-AL.



Os índices de dias secos consecutivos (CDD) e dias úmidos consecutivos (CWD), mostrados na Figura 5, concordam com o SDII, pois o CDD apresenta tendência de aumento e o CWD tendência de diminuição. Os dois índices apresentaram tendências com significância estatística.

Os índices que representam o número de dias no ano com precipitação superior a 10 mm e 50 mm (R10mm e R50mm), mostrados na Figura 6, estão de acordo com o índice CWD. Ambos os índices apresentaram tendência com diminuição, porém, o R10mm não mostrou significância estatística, já no R50mm foi encontrada significância, indicando uma diminuição no número de dias no ano com precipitações igual ou superior a 50 mm. Precipitações dessa magnitude ocasionam inundações e alagamentos em grandes centros urbanos, devido à impermeabilidade do solo com pavimentações ou similares, ou seja, se a tendência desse índice fosse aumentar, seria preocupante, pois a região poderia sofrer com o aumento das chuvas extremas.



Figura 5: Série temporal dos índices: (a) número de dias úmidos e (b) dias secos consecutivos para o Município de Penedo-AL.

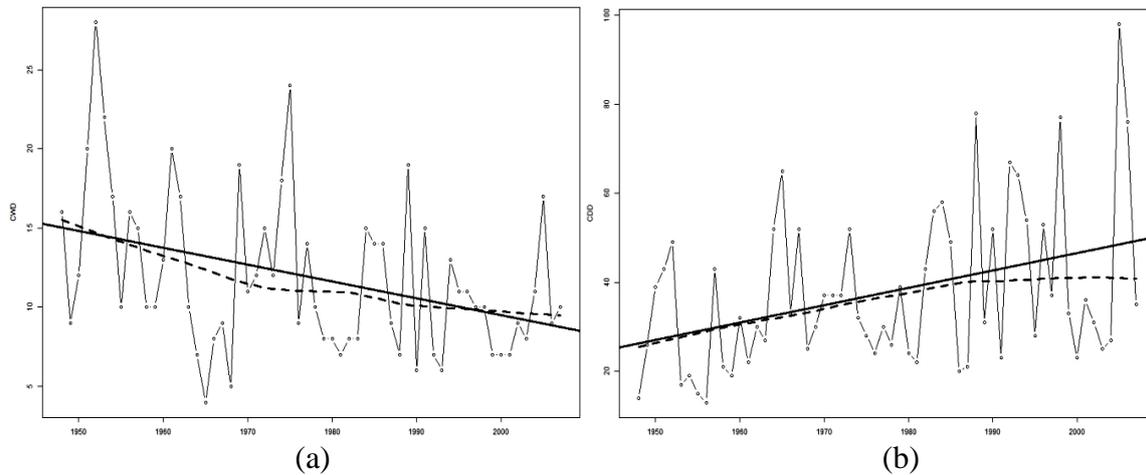
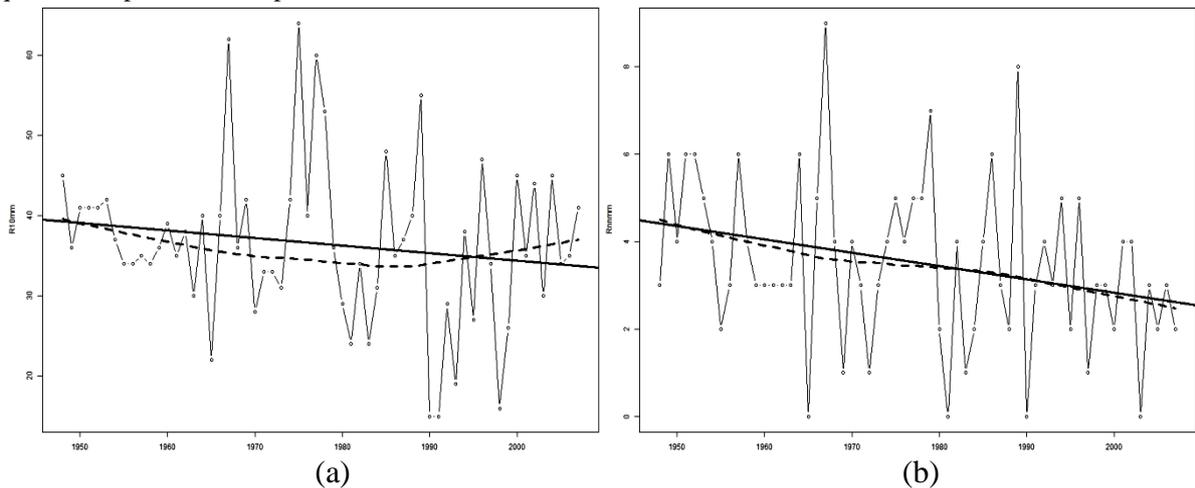


Figura 6: Série temporal dos índices: (a) dias úmidos consecutivos e (b) número de dias com precipitação maior que 50 mm para o Município de Penedo-AL.



A alta variabilidade da precipitação em Penedo resulta em eventos extremos, enchentes e secas. As causas desses eventos têm sido relacionadas aos anômalos aquecimentos e resfriamentos das águas dos Oceanos Pacífico. Haja vista que as TSM são importantes para a manutenção do clima global, especialmente nos trópicos devido à atmosfera ser sensível às condições das superfícies oceânicas e continentais, que influencia grandemente a variabilidade do clima (YOON e ZENG, 2010, p. 249).

A Tabela 3 apresenta as correlações entre os índices climáticos dependentes da precipitação diária do Município de Penedo e as TSM do Oceano Pacífico (regiões dos Niños). Pode-se verificar que os índices PRCPTOT e R10 apresentaram correlação com significância estatística, com todas as regiões dos Niños. Esses índices foram o que mostraram uma melhor relação com as regiões dos Niños, onde as correlações com as regiões do Niño 1+2 e 3 foram as mais significativas, com significância de 99%. As correlações com ambos os índices foram negativas, indicando uma relação inversa, ou seja, quando as TSM nas regiões dos Niños aumentam, leva a uma diminuição da precipitação total anual nos dias úmidos, assim como no número de dias no ano com precipitação superior a 10 mm em Penedo, mostrando que esses resultados além de apresentarem significâncias estatísticas são concordantes entre si.



Tabela 3: Correlações entre os índices dependentes da precipitação diária do Município de Penedo, e as TSM nas regiões dos Niños

	Niño 1+2	Niño 3	Niño 3.4	Niño4
PRCPTOT	-0.41***	-0.33***	-0.26*	-0.22*
SDII	-0.13	-0.03	0.05	0.10
CDD	0.20*	0.13	0.09	0.10
CWD	-0.16	-0.17	-0.16	-0.21*
R10	-0.35***	-0.31***	-0.27*	-0.25**
R50	-0.25**	-0.21*	-0.15	-1.17

(*) Significância estatística de 90% ($p < 0,1$); (**) Significância estatística de 95% ($p < 0,05$); (***) Significância estatística de 99% ($p < 0,01$).

Esses resultados estão de acordo com o estudo realizado por Santos e Oliveira (2009, p. 06), onde eles observaram que das regiões dos Niños, os Niños 1+2 e 3 foram os que melhor apresentaram relações com a precipitação no Estado de Alagoas e as correlações significativas foram negativas, mostrando uma relação inversa entre as TSM das regiões dos Niños e a precipitação em Alagoas.

O índice R50 e CWD, também mostraram correlações negativas, com significância estatística, de 90% entre o R50 e a TSM do Niño 3, o CWD e o Niño 4 e, com significância de 95% entre o R50 e o Niño 1+2. Essas correlações negativas, também indica que um aumento nas TSM dessas regiões leva a uma diminuição dos eventos extremos de chuva e do número de dias úmidos consecutivos em Penedo.

As correlações entre o CDD e as regiões dos Niños são positivas indicando que essas regiões do Pacífico afetam, de forma direta, ou seja, um aumento das anomalias de TSM nessas regiões leva a um aumento dos dias secos consecutivos sobre a área de estudo. Porém, correlação estatisticamente significativa só foi encontrada com as TSM da região do Niño 1+2.

O único índice que não mostrou correlações significativas com nenhuma das regiões dos Niños foi o SDII, ou seja, com o índice simples de intensidade diária.

Conclusões

Baseado nos índices dependentes da precipitação diária do Município de Penedo observa-se uma diminuição dos eventos extremos de precipitação, isto é, iguais ou superiores a 50 mm, assim como, uma diminuição do número de dias úmidos consecutivos e um aumento no número de dias secos consecutivos, com significância estatística nas tendências.

Através das correlações entre os índices dependentes da precipitação e as TSM das regiões dos Niños, foram constatados que o aumento nas TSM dessas regiões leva a uma diminuição dos eventos extremos e dos números de dias úmidos consecutivos.

Os índices de precipitação do Município de Penedo mostrou uma melhor relação com as TSM das regiões dos Niños 1+2 e 3, onde apresentou coeficientes de correlações estatisticamente significativos.

Embora correlação não implique em causa-efeito, esses resultados indicaram que a precipitação em Penedo esteve relacionada às TSM das regiões dos Niños, sugerindo que essas TSM podem ser previsores potenciais da precipitação.

Referências bibliográficas

BEZERRA, A.C.N. **Aspectos da Circulação Atmosférica de grande escala sobre o Norte e Nordeste do Brasil relacionado com a Temperatura da Superfície do Mar.** 2006. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.



IRI - INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE FOR CLIMATE AND SOCIETY. **Overview of the ENSO System**. 2007. Disponível em:

<http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/monitoring.html#soi>. Acesso em: Julho de 2012.

SANTOS, E. B. **Índices climáticos obtidos das TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico e sua influência na variabilidade da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

SANTOS, E. B. **Um índice de temperatura do oceano Pacífico e a variabilidade da precipitação no Nordeste do Brasil com ênfase em Alagoas**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia. Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió – AL.

SANTOS, E. B.; OLIVEIRA, V. Relação entre o índice multivariado do ENOS (IME) e a TSM das regiões dos Niños com a precipitação do Estado de Alagoas. In: **III Simpósio Internacional de Climatologia**, 2009, Canela-RS.

SIQUEIRA, A. H. B. **Clima da América do Sul e sua relação com os oceanos adjacentes**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia. Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas. Maceió – AL.

YOON, J. H.; ZENG, N. 2010. An Atlantic influence on Amazon rainfall. **Climate Dynamics**, 34: 249 – 264.

ZHANG, X.; YANG, F. **RClmDex (1.0) User Manual**. Climate Research Branch Environment Canada. Downsview (Ontario, Canada), 2004, 23p.