ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Análise dos Índices das Temperaturas Superficiais das Zonas Intertropicais dos Oceanos Pacífico e Atlântico associados às precipitações no Nordeste do Brasil

Beatriz Siqueira, Jonas Teixeira Nery, Oliver Messeguer-Ruiz

¹Professor, programa de pós-graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. E-mail: ²Doutora em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. E-mail: ³Professor, Faculdade de Educação e Humanidades, Universidad de Tarapacá, Campus Sausache, Chile. E-mail:

Artigo recebido em 04/08/2020 e aceito em 19/04/2021

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar, através de índices climáticos, a variabilidade da precipitação na região Nordeste do Brasil. Para tanto foram utilizados dados em ponto de grade para gerar o índice de precipitação, bem como dados da National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) para gerar os índices de temperatura do oceano Pacífico (setor EN3.4) e do oceano Atlântico Tropical Norte e Sul. O período de análise foi de 1970 a 2012. Com base nesses índices foram realizadas correlações lineares de Pearson, entre o oceano Pacífico e o Atlântico tropical norte e o oceano tropical sul, na costa do Brasil. Anomalias de precipitação também foram calculadas para alguns anos de ocorrência do evento El Niño, denotando expressiva variabilidade de um evento para outro. De maneira geral, as correlações entre os índices envolvendo os referidos oceanos foram positivas e expressivas, o que permite considerar a influência dos oceanos na dinâmica das chuvas na área de estudo. A importância do Atlântico sul é mais nítida quando os índices de temperatura da superfície do mar apresentaram o mesmo sinal, tanto no Pacífico quanto no Atlântico, o que implica em correlações mais marcadas.

Palavras-chave: Forçante climática, El Niño 3.4, Nordeste do Brasil, Atlântico tropical, Anomalias da precipitação.

Analysis of Surface Temperature Indices of the Intertropical Zones of the Pacific and Atlantic Oceans associated with rainfall in Northeastern Brazil

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze, through climatic indices, the variability of precipitation in the Northeast region of Brazil. For that purpose, grid point data were used to characterize the precipitation behaviour, as well as data from the National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) to determine the temperature of the Pacific Ocean (sector EN3.4) and the tropical North and South Atlantic Ocean. Based on these data, correlations were made, which are characterized as marked, between the dynamics of the Pacific Ocean and the dynamics of the tropical North and South Atlantic, directly influencing the precipitation regime in Northeast Brazil. Precipitation anomalies were also calculated for some years of the El Niño event, showing significant variability from one event to another. In general, the correlations between the indexes involving the referred oceans were positive and expressive, which allows considering the influence of the oceans on the dynamics of rainfall in the study area. The importance of the South Atlantic is clearer when the sea surface temperature indices show the same sign, both in the Pacific and in the Atlantic, which implies more marked correlations.

Keywords: Climate forcing, El Niño 3.4, Northeast Brazil, Tropical Atlantic, Precipitation anomalies.

Introdução

A variabilidade interanual de precipitação no Nordeste do Brasil é fortemente dependente da fase do dipolo do Atlântico, tendo em vista que as anomalias positivas da temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico Norte e anomalias

negativas no Atlântico Sul, ao sul do equador, estão associadas a condições mais secas no Nordeste do Brasil (Moura e Shukla, 1981).

É amplamente difundido e aceito que o sistema gerador de precipitação sobre o Nordeste brasileiro é a proximidade da Zona de

Convergência Intertropical (ZCIT). Esse fato é facilmente observável quando se considera que o pico de precipitação sobre o Nordeste (março a abril) ocorre exatamente na época em que a ZCIT atinge suas posições mais ao sul, (Uvo e Nobre, 1989).

A influência da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre a precipitação no Nordeste é explicável considerando que a ZCIT se localiza sobre a região de mais altas TSM (Saha, 1971; Moura e Schukla, 1981). Desta forma, se o Atlântico tropical norte apresentar TSM mais altas que o Atlântico sul, a ZCIT tenderá a permanecer em regiões mais ao norte, acarretando um ano seco para o Nordeste. A situação inversa trará a ZCIT para posições mais ao sul, de tal forma que se terá um ano chuvoso.

Sabe-se também que a ZCIT tende a se localizar fora das regiões de ventos mais fortes; desta forma se os alísios de NE forem mais intensos, a ZCIT tenderá a se deslocar para as regiões mais ao sul. Essa observação levou alguns pesquisadores a concluir que os ventos fortes “empurram” a ZCIT para fora das regiões onde eles aparecem (Namias, 1972; Hastenrath e Heller, 1997).

Nobre e Shukla (1996) identificaram que a TSM do Atlântico Tropical exerce grande influência no regime de precipitação sobre a América do Sul tropical e África e que o defasamento da resposta estende-se por uma escala temporal bem maior que a escala das TSM do Pacífico Tropical. Segundo Nobre e Shukla (1996), em longo prazo (decenal ou interdecadal), a correspondência da variabilidade da precipitação nas regiões Norte e Nordeste da América do Sul está diretamente relacionada com as flutuações da TSM do Atlântico Tropical.

Os índices calculados a partir de dados atmosféricos ou oceânicos podem fornecer técnicas úteis para descrever a variabilidade climática. Um exemplo bem conhecido é a diferença entre as pressões do nível do mar no Taiti e Darwin, amplamente utilizado como, por exemplo, um Índice da Oscilação do Sul (IOS) (Kousky et al. 1984). Vários índices foram propostos para a região tropical do Atlântico. Geralmente, os estudos foram adaptados a casos específicos. Por exemplo, Hastenrath et al. (1984) e Hastenrath (1990) desenvolveram um método, baseado em índices de anomalias da circulação em larga escala, que permite prever a variabilidade interanual das chuvas no Nordeste brasileiro.

Wright (1986, 1987) discutiu um índice que representa anomalias de temperatura superficial (SST) no oceano Atlântico centrado

sobre o Golfo da Guiné e comparando com precipitação pluvial no Norte da África e as ocorrências El Niño. O objetivo foi propor índices que fornecessem medidas simples da variação climática nas regiões tropicais do Atlântica.

Nos trópicos, a precipitação pluvial é um dos principais elementos climáticos, além de ser caracterizada por grande variação espacial e temporal na sua ocorrência (Kousky, 1980). No Nordeste do Brasil (NEB), sua variabilidade interanual e intrasazonal é, principalmente, influenciada por mecanismos de escala global como eventos de ENOS (El Niño e La Niña), que são considerados como a principal causa das variações no clima em diversas regiões do globo (Kousky, 1979). A ocorrência de extremos de precipitação está relacionada a enchentes (fortes chuvas) e secas prolongadas (Marengo, 2012). Em determinadas regiões, períodos de estiagem tornam a água um recurso de baixa disponibilidade e até escasso e assim, contribuem para a migração da população para outras regiões.

Farmer e Wigley (1985) comentam que as causas mais prováveis das ocorrências de períodos secos são: a temperatura da superfície do mar (TSM), as condições da superfície do continente (albedo e umidade) e a umidade atmosférica. Nos trópicos, as ocorrências de períodos secos estão associadas, principalmente, ao posicionamento da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT (Nieuwolt, 1989).

Os períodos secos também estão associados aos eventos de El Niño/Oscilação Sul, sendo esse diretamente relacionado a variações da temperatura do oceano Pacífico Tropical Sul (Assad et al. 1993). Seu impacto está diretamente relacionado à baixa disponibilidade de água no solo, que dificulta, principalmente, o desenvolvimento da agricultura (provocando perdas na produtividade das plantas) e a criação de animais, que resulta em consequências negativas à economia da região.

Nesse sentido, a ocorrência de períodos secos pode provocar escassez de alimentos, má nutrição da população, doenças não verificadas, redução dos rebanhos de gado e perdas de vidas humanas (Morse, 1987). As informações sobre períodos secos são essenciais para a agricultura, principalmente para avaliar o déficit de água. Essas informações também são úteis para definir se uma cultura ou variedade é apta a ser cultivada em determinada região. Adequações de fenologia de uma cultura e o regime de precipitação podem ser feitos com as informações sobre períodos secos, antes que experimentos de campo sejam realizados (Sivakumar, 1992).

O impacto do ENOS sobre a precipitação no Brasil foi analisado em vários estudos, alguns em um contexto global e outros em um contexto regional (Ropelewski e Halpert, 1987; 1989; Aceituno, 1988; Rao e Hada, 1990; Grimm, 2003; 2004). Esse impacto varia ao longo do ciclo de ENOS e apresenta marcada variabilidade espacial sobre o Brasil (Cavalcanti et al. 2009).

As anomalias de circulação e transporte de umidade associadas a eventos ENOS explicam as anomalias de chuva observadas. A teleconexão trópico/extratropical é instrumental para o impacto do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o norte/nordeste do Brasil. Em episódios de El Niño, as anomalias da TSM sobre o Pacífico tropical central/leste produzem mais convecções nessa região tropical resultando em maior divergência em altos níveis no Pacífico central/leste e convergência sobre o norte da América do Sul. Ocorre, desta forma, uma perturbação da célula de Walker, cujo ramo descendente no Pacífico leste é deslocado para o norte da América do Sul, inibindo a atividade convectiva e causando a seca observada (Cavalcanti et al. 2009).

Diante do exposto acima, o objetivo deste trabalho é correlacionar a precipitação da região Nordeste do Brasil associada a variabilidade interanual, tendo os oceanos Pacífico e Atlântico.

Material e métodos

Para o desenvolvimento do referido trabalho foram utilizados dados de precipitação, em ponto de grade, um conjunto de dados disponível para a América do Sul, em campos diários com resolução espacial de 1° e 2,5° de longitude e latitude, (Liebmann e Allured, 2005).

Dados de índice de temperaturas da superfície do oceano Pacífico (setor El Niño 3.4 [EN3.4]) e do oceano Atlântico (faixa intertropical), expressos na Tabela 1, foram obtidos no site da National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA), na seção de Índices Climáticos: série mensal da atmosfera e do oceano (Enfield et al. 1999).

Ao todo, são 114 séries distribuídas sobre a área de estudo (Figura1). O período de análise foi de 1970 a 2012.

Figura 1. Localização das séries pluviométricas utilizadas nesse trabalho.

Com base nos episódios de El Niño e La Niña (Tabela 1) foram selecionados alguns

eventos para os cálculos das correlações entre os índices propostos nesse trabalho.

Tabela 1. Períodos de ocorrência dos eventos El Niño e La Niña.

El Niño			La Niña		
Começo do evento	Fim do evento	Tempo do evento (meses)	Começo do evento	Fim do evento	Tempo do evento (meses)
Setembro/68	Março/70	19	Julho/70	Janeiro/72	19
Abril/72	Março/73	12	Junho/73	Junho/74	13
Agosto/76	Março/77	8	Setembro/74	Abril/76	20
Julho/76	Março/77	7	Setembro/84	Junho/85	10
Outubro/79	Abril/80	16	Maio/88	Junho/89	14
Abril/82	Julho/83	16	Setembro/95	Março/96	7
Agosto/86	Fevereiro/88	19	Julho/98	Junho/00	24
Março/91	Julho/92	17	Julho/00	Fevereiro/01	8
Fevereiro/93	Setembro/93	8			
Junho/94	Março/95	10			
Abril/97	Junho/98	15			
Abril/02	Março/03	12			
Junho/04	Abril/05	11			

Com base nessas séries foram geradas as anomalias anuais, que por sua vez, foram correlacionadas aos índices das TSM de EN3.4 e dos índices de TSM do oceano Atlântico tropical norte e sul. Índices de precipitação também foram calculados para os grupos gerados a partir da análise multivariada (análise de cluster).

A análise de *cluster* é uma técnica estatística usada para classificar elementos em grupos, de forma que elementos dentro de um mesmo *cluster* sejam muito parecidos e os elementos em diferentes *clusters* sejam distintos entre si.

Para definir a semelhança ou diferença entre os elementos é usada uma função de distância, que precisa ser definida considerando o contexto do problema em questão. Pode-se dividir a análise de *cluster* em dois grandes tipos de métodos: hierárquicos e não hierárquicos.

Utilizou-se a análise tipológica *cluster* (Everitt et al. 1991; Sansigolo et al. 1998), que é uma técnica de análise de dados, de caráter classificatório, que tem como finalidade a formação de classes, tipos de grupos, tão similares entre si quanto seja possível, partindo de um conjunto de dados multivariado.

Esta análise se baseia, principalmente, em achar as distâncias (medidas de proximidade ou semelhanças entre os sujeitos). Esta análise se procede mediante a

divisão sucessiva da população total em subgrupos significativos.

Na análise multivariada “cluster” optou-se pelo método Ward com distância euclidiana, por apresentar uma melhor visualização dos grupos formados, através do qual obteve-se dendograma para a área de estudo.

Neste estudo, para medir a diferença geométrica no espaço multidimensional entre as variáveis pesquisadas, utilizou-se distância euclidiana:

$$d(i, j) = \sqrt{|x_{i1} - x_{j1}|^2 + |x_{i2} - x_{j2}|^2 + \dots + |x_{in} - x_{jn}|^2}$$

Uma vez obtidas as áreas homogêneas, se relacionou o índice de precipitação (IPP) de cada área identificada, com os índices das temperaturas superficiais da zona de El Niño 3.4, do oceano Pacífico tropical e os índices de temperaturas do oceano Atlântico tropical norte e sul (Nery e Meseguer-Ruiz, 2014). O índice pluviométrico para o grupo foi calculado com base na seguinte expressão:

$$IPP = \frac{\overline{P_i} - \overline{\overline{P}}}{\overline{\overline{P}}}$$

Sendo $\overline{P_i}$ a média da precipitação acumulada para cada ano e $\overline{\overline{P}}$ a média das médias de $\overline{P_i}$. Dessa forma, esse índice constitui uma

anomalia relativa gerada para cada área homogênea.

Foram realizadas correlações, com defasagens de até 10 meses da variável dependente (índice pluviométrico) em relação ao EN3.4, em relação ao índice do oceano Atlântico tropical ao norte e ao sul.

A correlação foi calculada através da expressão:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}}$$

Em que $\bar{x}$ é a média de um índice (por exemplo, índice de temperatura do oceano Pacífico), n é o número de observações da amostra, $\bar{y}$ é a média do outro índice, por exemplo índice IPP.

A significância do coeficiente de correlação será avaliada a partir do teste de hipótese t-Student (Wilks, 1963; Magalhães e Lima, 2010), para os níveis de significância de 1 %, 5 % e 10 % e graus de liberdade de $(n - 2)$.

As rejeições às hipóteses nulas H_o irão identificar a existência de correlação linear entre as combinações realizadas. Para testar a hipótese de que o coeficiente de correlação linear é igual a zero, tem-se que: $H_1: \rho \neq 0$ e $H_o: \rho = 0$, conforme a relação a seguir:

$$t = \hat{\rho} \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{\hat{\rho}^2}} \approx t_{n-2}$$

Em que t_o é a estatística do teste; n é o tamanho da amostra; r é a estimativa da correlação linear. Sob o pressuposto da hipótese nula $H_o: \rho = 0$. A hipótese nula é rejeita se:

$$|t_o| > \frac{t_{\alpha/2}}{2(n-2)}$$

Após realizar a correlação de Pearson entre os índice pluviométrico (IPP), índice da temperatura superficial do oceano Atlântico intertropical (TSA) e índice da temperatura superficial do oceano Atlântico intertropical norte (TAN) com o índice EN3.4 foram confeccionadas tabelas com os valores dessas correlações.

Resultados e discussão

De acordo com Andreoli et al. (2004) as secas severas no nordeste têm sido relacionadas à ocorrência do fenômeno El Niño. Em anos de El Niño, a circulação da célula de Walker é deslocada para leste, tal que seu ramo ascendente localiza-se sobre o oceano Pacífico central e leste, onde a convecção é intensificada, e seu ramo descendente localiza-se sobre o nordeste do Brasil e Atlântico tropical adjacente, onde a convecção é inibida.

Convém lembrar que as células de Walker são células de circulação zonal, definidas na região equatorial, que se organizam entre os continentes e os oceanos, onde ocorre ascensão sobre os continentes (mais quentes) e subsidência sobre os oceanos (mais frios), de modo particular nas regiões orientais do Pacífico e do Atlântico (Alves et al. 2007).

Nas Figuras 2 e 3 tem-se as anomalias de dois anos que foram considerados como anos de El Niño fortes. Pode-se observar que as anomalias pluviométricas foram predominantemente negativas, ainda que os valores não se afastem muito da média climatológica da região, em relação a 1972. Já em 1983, os valores foram mais marcados, acima de 600 mm (negativo) à noroeste da área de estudo.

Figura 2. Distribuição espacial das anomalias pluviométricas em 1972.

Figura 3. Distribuição espacial das anomalias pluviométricas em 1983.

Nas Figuras 4 e 5 tem-se as anomalias pluviométricas para os eventos de 1991 e 1997. Observou-se que em 1997, ano considerado de El Niño forte, as anomalias foram negativas em grande parte do nordeste brasileiro, superiores a -800 mm à noroeste da área de estudo. Em 1991 as

anomalias pluviométricas com menores valores estão à noroeste da região (Figura 5). Desta forma constatou-se a variabilidade pluviométrica de um evento para outro na área de estudo, predominando valores de chuvas abaixo da média climatológica.

Figura 4. Distribuição espacial das anomalias pluviométricas em 1991.

Figura 5. Distribuição espacial das anomalias pluviométricas em 1997.

A partir da análise de cluster foram gerados oito grupos que resultaram em oito índices de precipitação, denominados de IPP1, IPP2, IPP3, IPP4, IPP5, IPP6, IPP7 e IPP8, (Figura 6) que constituem os índices relativos de

cada grupo homogêneo e correlacionados com as anomalias do El Niño/La Niña, no setor 3.4 (Figura 7).

Figura 6. Áreas homogêneas geradas a partir da análise de cluster.

Figura 7. Regiões de monitoramento do ENOS com base na TSM. Fonte: Trenberth et al. 2016.

Alguns anos foram selecionados para realizar a correlação linear, com base nas anomalias do oceano Pacífico (setor 3.4). Na Tabela 2 estão ilustrados os anos de anomalias (à esquerda da tabela), que correlacionaram os índices de temperaturas do setor 3.4 (El Niño/La

Niña) com os índices temperaturas do oceano Atlântico tropical sul (TSA) e norte (TAS).

Os anos selecionados foram os seguintes: 1972/1973, 1976/1977, 1979/1980, 1982/1983, 1986/1987, 1991/1992, 1994/1995, 1997/1998, 1997/1998, 2002/2003, 2004/2005 e 2006/2007.

Com base na Tabela 2, pode-se concluir que ambas as correlações apresentaram valores

positivos, ou seja, o aumento da temperatura no oceano Pacífico provocou aumento de

temperatura no oceano Atlântico tropical norte e sul, na costa do nordeste brasileiro.

Tabela 2. Correlações positivas e negativas entre o setor 3.4 (EN3.4) e as temperaturas superficiais das zonas intertropicais do oceano Atlântico. NS indica a não existência de correlações significativas positivas ou negativos. TAN sigla utilizada para indicar temperatura superficial do oceano Atlântico intertropical norte, TSA sigla para indicar temperatura superficial do oceano Atlântico intertropical sul e EN 3.4, temperatura superficial do oceano Pacífico, no setor central (*) a não ocorrência de correlação significativa.

PERÍODOS	CORRELAÇÕES POSITIVAS	CORRELAÇÕES NEGATIVAS		
	EN3.4 (TAN)	EN3.4(TSA)	EN3.4 (TAN)	EN3.4 (TSA)
1972/1973	0,71 (8)	0,76 (5)	*	*
1976/1977	0,70 (6)	0,66 (D8)	-0,74(2)	-0,79(5)
1979/1980	0,74 (5)	0,86 (8)	-0,71(2)	-0,75(2)
1982/1983	0,87 (5)	0,80 (1)	*	-0,61(6)
1986/1988	*	0,70 (7)	*	*
1991/1992	0,65 (2)	*	*	-0,80(4)
1994/1995	0,87 (7)	0,79 (4)	*	-0,67(8)
1997/1998	0,73 (7)	0,68 (4)	*	*
2002/2003	0,77 (1)	0,77 (1)	*	*
2004/2005	0,90 (8)	0,78 (4)	-0,79(3)	*
2006/2007	0,88 (8)	*	-0,89(1)	-0,89(1)

A seguir, os valores dos índices de temperaturas do oceano Pacífico tropical foram relacionados aos índices pluviométricos, sem defasagem e com defasagens de até oito meses. As correlações mais marcadas, tanto positivas quanto negativas, para cada um desses anos e para cada área homogênea, assim como os índices de temperaturas do oceano Atlântico tropical sul e norte também foram relacionados.

Pode-se observar que há correlações marcadas associadas a ocorrência do evento ENOS com o aquecimento do oceano Atlântico tropical norte e sul. Essa associação reforça a existência das chuvas no norte do nordeste do Brasil (NNE), relacionadas principalmente aos eventos ENOS e ao dipolo do Atlântico.

Como se sabe as chuvas do NNE do Brasil estão associadas ao gradiente meridional do

Atlântico tropical que provoca a penetração da ZCIT mais para dentro do NNE do Brasil. Quando o oceano Atlântico tropical sul tem suas águas mais quentes, ou seja, com temperaturas superficiais maiores, a ZCIT penetra mais no NNE brasileiro, provocando mais chuvas nessa região. O contrário acontece quando o oceano Atlântico tropical norte está mais quente (temperaturas mais elevadas), a ZCIT se afasta do NNE brasileiro e as chuvas migraram dessa área, (Molion e Bernardo, 2002).

As correlações positivas e negativas, marcadas com diferentes defasagens também comprovam que há uma associação na ocorrência desses eventos que necessitam de monitoramento para diagnosticar chuvas no nordeste com maior precisão (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Valores positivos da correlação entre o índice pluviométrico (IPP) e os índices de temperaturas do oceano Pacífico tropical (setor 3.4). Os valores entre parênteses representam as defasagens, sendo S a não ocorrência de defasagem e (*) a não ocorrência de correlação significativa.

IPP(EN3.4)	IPP1	IPP2	IPP3	IPP4	IPP5	IPP6	IPP7	IPP8
1972/1973	0,90(3)	0,75(5)	0,85(4)	0,71(2)	0,75(6)	*	0,75(5)	*
1976/1977	0,89(3)	0,68(2)	0,72(4)	0,86(1)	0,80(6)	0,82(1)	0,84(6)	0,75(1)
1979/1980	0,78(4)	0,62(2)	0,72(2)	0,89(1)	0,64(6)	0,84(1)	0,63(2)	0,62(1)
1982/1983	0,80(2)	0,67(2)	0,70(3)	0,84(1)	0,70(6)	0,71(2)	0,69(3)	0,74(2)
1986/1988	0,61(7)	0,63(7)	0,63(7)	*	*	*	*	*
1991/1992	*	*	*	*	*	*	*	*
1994/1995	0,85(3)	0,81(4)	0,92(4)	0,77(1)	0,90(6)	0,96(3)	0,90(4)	*
1997/1998	0,73(3)	*	0,67(3)	0,62(2)	0,74(7)	*	0,76(5)	*
2002/2003	0,84(4)	0,87(4)	0,86(4)	*	0,78(7)	*	0,77(4)	*
2004/2005	0,85(5)	0,62(7)	0,72(6)	*	0,75(8)	0,79(6)	0,79(7)	0,71(4)
2006/2007	0,88(S)	0,73(4)	0,75(3)	*	0,71(4)	0,60(S)	0,85(3)	0,87(S)

Na Tabela 3 pode-se observar que as correlações são significativas apresentando

valores mais concentrado dessa correlação (positiva) nas primeiras defasagens, oscilando entre uma e quatro defasagens. As áreas homogêneas mais ao norte da região apresentam estreita relação entre os eventos El Niño e as chuvas da área de estudo, provavelmente ao aquecimento do oceano Atlântico tropical sul.

Na Tabela 4 tem-se os valores negativos da correlação entre o índice pluviométrico e o índice de temperatura do Pacífico tropical (setor

3.4). Pode-se observar que a tabela apresentou muitos valores (*) em que não ocorreram correlações entre os dois índices. Também é possível observar que, a grande maioria das correlações negativas, ocorreram com defasagem de sete a oito meses, podendo-se inferir que o efeito do oceano Pacífico, provocando chuva no nordeste brasileiro ficou concentrado nas primeiras defasagens.

Tabela 4. Valores negativos da correlação entre o índice pluviométrico (IPP) e os índices temperaturas do oceano Pacífico tropical (setor 3.4). Os valores entre parênteses representam as defasagens, sendo S a não ocorrência de defasagem e (*) a não ocorrência de correlação significativa.

IPP(EN3.4)	IPP1	IPP2	IPP3	IPP4	IPP5	IPP6	IPP7	IPP8
1972/1973	*	*	*	-	-	*	*	*
				0,76(8)	0,91(1)			
1976/1977	*	*	*	-	-	*	*	*
				0,75(8)	0,77(2)			
1979/1980	-	*	-	-	*	-	*	-
	0,89(8)		0,60(8)	0,86(8)		0,89(8)		0,79(8)
1982/1983	-	*	-	-	-	-	*	*
	0,73(8)		0,66(8)	0,71(7)	0,82(S)	0,61(8)		
1986/1988	*	*	*	*	-	*	*	*
					0,70(2)			
1991/1992	*	*	*	*	*	*	*	*
1994/1995	-	-	-	-	-	-	-	*
	0,78(8)	0,69(8)	0,73(8)	0,83(7)	0,70(S)	0,68(8)	0,60(8)	
1997/1998	-	*	*	-	-	-	*	*
	0,61(8)			0,83(8)	0,93(1)	0,75(8)		
2002/2003	*	-	-	-	-	*	*	-
		0,77(S)	0,69(S)	0,83(8)	0,76(1)			0,63(8)
2004/2005	-	-	-	-	-	-	-	*
	0,77(S)	0,73(S)	0,85(S)	0,60(8)	0,87(2)	0,61(S)	0,82(S)	
2006/2007	-	-	-	-	*	-	-	-
	0,80(S)	0,64(S)	0,77(7)	0,77(7)		0,96(7)	0,66(7)	0,73(6)

Nas Tabelas 5 e 6 este padrão se mantém próximo das descrições anteriores, ou seja, um reflexo do oceano Pacífico sobre as temperaturas de oceano Atlântico tropical sul, ocasionando

aumento de chuva em toda a região. Entretanto, há um atraso na resposta da ocorrência da chuva em relação ao que ocorre no oceano Pacífico tropical.

Tabela 5. Valores positivos da correlação entre o índice pluviométrico (IPP) e os índices de temperaturas do oceano Atlântico tropical sul. Os valores entre parênteses representam as defasagens, sendo S a não ocorrência de defasagem e (*) a não ocorrência de correlação significativa.

IPP(TSA)	IPP1	IPP2	IPP3	IPP4	IPP5	IPP6	IPP7	IPP8
1972/1973	0,84(2)	0,73(3)	0,85(3)	0,68(S)	0,85(5)	*	0,69(3)	*
1976/1977	0,90(1)	0,89(1)	0,96(1)	*	0,85(4)	*	0,88(1)	*
1979/1980	0,81(5)	0,71(6)	0,82(6)	0,67(5)	0,76(7)	0,71(6)	*	0,69(6)
1982/1983	0,93(1)	0,79(1)	0,85(1)	0,86(S)	0,66(5)	0,79(S)	0,73(1)	0,69(S)
1986/1988	*	*	*	*	*	*	*	*
1991/1992	*	0,61(8)	*	*	*	0,61(8)	*	*
1994/1995	0,95(1)	0,97(2)	0,98(1)	0,94(S)	0,91(4)	0,91(1)	0,97(2)	*
1997/1998	0,62(2)	*	*	0,62(1)	0,60(6)	*	*	*
2002/2003	0,73(S)	0,66(1)	0,71(S)	*	0,68(2)	*	0,89(S)	*
2004/2005	0,77(1)	*	*	*	*	*	*	*
2006/2007	*	*	*	*	*	*	*	*

Os valores de correlação negativa entre o índice de temperatura do oceano Atlântico tropical sul e o índice de precipitação apresentou

correlações com defasagem concentrada entre seis e oito meses majoritariamente.

Tabela 6. Valores negativos da correlação entre o índice pluviométrico (IPP) e índices de temperaturas do oceano Atlântico tropical sul. Os valores entre parênteses representam as defasagens, sendo S a não ocorrência de defasagem e (*) a não ocorrência de correlação significativa.

IPP(TSA)	IPP1	IPP2	IPP3	IPP4	IPP5	IPP6	IPP7	IPP8
1972/1973	-0,74(8)	*	*	-0,74(6)	-0,75(S)	*	*	*
1976/1977	-0,82(6)	-0,78(5)	-0,84(6)	-0,88(5)	-0,67(8)	-0,79(5)	-0,87(8)	-0,68(3)
1979/1980	-0,94(S)	-0,90(S)	-0,94(S)	*	-0,89(S)	-0,65(S)	-0,86(S)	*
1982/1983	-0,65(7)	*	-0,61(8)	-0,68(6)	*	*	*	*
1986/1988	*	*	*	*	*	*	*	*
1991/1992	*	*	*	*	*	*	*	*
1994/1995	-0,80(7)	-0,69(8)	-0,77(7)	-0,89(5)	-0,60(S)	-0,87(7)	-0,80(8)	*
1997/1998	*	-0,60(8)	*	*	-0,60(S)	-0,76(4)	*	*
2002/2003	-0,80(6)	-0,79(6)	-0,79(5)	-0,84(4)	-0,63(8)	*	-0,76(5)	*
2004/2005	-0,76(8)	*	*	*	*	*	*	*
2006/2007	*	-0,60(5)	*	-0,82(3)	-0,80(7)	-0,93(S)	-0,75(3)	-0,73(S)

Nas Tabelas 7 e 8 tem-se as correlações positivas e negativas do índice de precipitação e o índice de temperatura do oceano Atlântico tropical norte. Nota-se que há correlações presentes, mas

estas são mais dispersas em defasagem, além de muitos valores de correlação não significativos (*).

Tabela 7. Valores positivos da correlação entre o índice pluviométrico (IPP) e os índices de temperaturas do oceano Atlântico tropical norte. Os valores entre parênteses representam as defasagens, sendo S a não ocorrência de defasagem e (*) a não ocorrência de correlação significativa.

IPP(TAN)	IPP1	IPP2	IPP3	IPP4	IPP5	IPP6	IPP7	IPP8
1972/1973	*	0,73(5)	0,75(5)	0,76(1)	0,73(7)	0,76(5)	0,72(5)	0,76(5)
1976/1977	0,86(6)	0,73(6)	0,80(6)	0,81(6)	0,82(8)	0,80(6)	0,84(8)	0,80(6)
1979/1980	0,66(8)	*	*	0,86(7)	0,69(1)	*	*	*
1982/1983	*	*	*	0,65(8)	*	0,60(3)	*	*
1986/1988	*	*	*	*	*	*	*	*
1991/1992	*	*	*	*	0,66(5)	*	*	*
1994/1995	0,76(2)	*	0,76(2)	0,92(1)	0,72(5)	0,76(2)	0,86(4)	0,76(2)
1997/1998	*	0,78(4)	*	*	*	*	*	*
2002/2003	0,83(4)	*	0,80(4)	0,96(2)	0,79(5)	0,80(4)	0,87(3)	0,80(4)
2004/2005	*	*	*	*	*	*	*	*
2006/2007	*	0,89(5)	0,82(5)	0,64(S)	0,94(7)	0,82(5)	*	0,82(5)

Tabela 8. Valores negativos da correlação entre o índice pluviométrico (IPP) e os índices de temperaturas do oceano Atlântico tropical norte. Os valores entre parênteses representam as defasagens, sendo S a não ocorrência de defasagem e (*) a não ocorrência de correlação significativa.

IPP(TAN)	IPP1	IPP2	IPP3	IPP4	IPP5	IPP6	IPP7	IPP8
1972/1973	*	*	*	-0,60(7)	-0,64(S)	*	*	*
1976/1977	-0,85(1)	-0,64(2)	-0,84(2)	*	-0,73(4)	-0,84(2)	-0,78(4)	-0,84(2)
1979/1980	-0,70(3)	-0,66(4)	-0,68(4)	-0,67(3)	-0,76(7)	-0,68(4)	-0,77(3)	-0,68(4)
1982/1983	-0,67(3)	-0,61(3)	-0,60(3)	-0,71(2)	-0,67(8)	-0,60(3)	*	-0,60(3)
1986/1988	*	*	*	*	*	*	*	*
1991/1992	-0,64(8)	-0,71(8)	*	-0,68(7)	*	-0,65(8)	*	-0,65(8)
1994/1995	-0,85(8)	-0,67(8)	-0,83(8)	-0,83(7)	-0,93(S)	-0,83(8)	-0,60(8)	-0,83(8)
1997/1998	*	*	*	*	*	*	*	*
2002/2003	-0,63(8)	*	*	-0,78(7)	-0,87(S)	*	-0,64(8)	*
2004/2005	*	*	*	*	*	*	*	*
2006/2007	-0,73(2)	-0,86(S)	-0,82(S)	*	-0,86(2)	-0,82(S)	-0,82(S)	-0,82(S)

Considerações finais

Pode-se observar que há correlações marcadas associadas a ocorrência do evento El Niño com o aquecimento do oceano Atlântico tropical norte e sul.

As correlações entre os índices envolvendo o oceano Pacífico e o oceano

Atlântico tropical, principalmente ao sul, apresentaram correlações positivas marcadas, possibilitando inferir que esses oceanos influenciam positivamente as chuvas na região, embora com atraso dessas chuvas, na área de estudo.

Existe uma alta correlação entre os índices de precipitações e os índices de temperaturas do

Pacífico tropical (setor 3.4) e o índice do oceano Atlântico sul.

A importância do Atlântico sul fica mais evidente quando os índices de temperaturas da superfície do mar apresentam mesmo sinal, tanto no Pacífico quanto no Atlântico, denotando correlação mais marcada.

Referências

- Aceituno, P., 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector: Part I: Surface climate, *Mon. Weather Rev.* 97, 505-524.
- Alves, M.A.S., Machado, L.A.T., Gannabathula, S.S., 2007. Estudo da variabilidade da cobertura de nuvens altas na Amazônia Central. *Revista Acta Amazônica* 37(1), 71-80.
- Andreoli, R.V., Kayano, M.T., Guedes, R. L., Oyama, M.D., Alves, M.A.S., 2004. A Influência da Temperatura da Superfície do Mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na Variabilidade de Precipitação em Fortaleza. *Revista Brasileira de Meteorologia* 19(3), 337-344.
- Assad, E.D., Masutomo, R., Sano, E.E., Castro, L.H., Silva, F.M., 1993. Veranico na região dos cerrados brasileiros: Frequência e probabilidade de ocorrência. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 28 (9), 993-1003.
- Cavalcanti, F.A.I., Ferreira, N.J., Silva, J.A.G.M., Dias, S.F.A.M., 2009. Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos. Enfield, D.B., Mestas-Núñez, A.M.
- Mayer, D.A., Cid-Serrano, L., 1999. How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures? *Journal of Geophysical Research* 104, 7841-7848.
- Farmer, G., Wigley, T.M.L., 1985. Climatic Trends for Tropical Africa: a research report of the Overseas Development Administration. Climatic Research Unit, University of East Anglia 136p.
- Grimm, A. M., 2003. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. *Journal of Climate* 16, 263-280.
- Grimm, A. M., 2004. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? *Climate Dyn.* 22, 123-138.
- Hastenrath, S., Heller, L., 1997. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society* 103 (435), 77-92.
- Hastenrath, S., Wu, M.C., Chu, P.S., 1984. Towards the monitoring and prediction of north-east Brazil droughts, *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 110, 411-425.
- Hastenrath, S., 1987. Prediction of northeast Brazil rainfall anomalies. *J. Clim.* 3, 893-904.
- Liebmann, B., Allured, D., 2005. Daily precipitation grids for South America. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86 (11), 1567-1570.
- Kousky, V. E., 1979. Frontal influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, Washington 107 (9), 1140-1153.
- Kousky, V.E., 1980. Diurnal rainfall variation on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, Washington 108 (4), 488-498.
- Kousky, V. E., M. T. Kayano, and I. F. A. Cavalcanti, 1984: The Southern Oscillation: Oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus* 36, 490-504.
- Magalhães, M.N., Lima, A.C.P., 2010. Noções de Probabilidade e Estatística. 7 ed. São Paulo: EDUSP.
- Marengo, J.A., 2012. Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (Nota técnica).
- Molion, L.C.B., Bernardo, S.O., 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 17 (1), 1-10.
- Moura, A.D., Shukla, J., 1981. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *J. Atmos. Sci.* 38, 2653-2675.
- Morse, B., 1987. Foreword Drought and Hunger in Africa. M. Glantz, Ed., Cambridge University Press, xiii-xx.
- Namias, J., 1972. Influence of Northern hemisphere general circulation on drought in Northeast Brazil. *Tellus* 24(4), 336-342.
- Nobre, P., Shukla, J., 1996. Variations of SST, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate* 9, 2464-2479.
- Nieuwolt, S., 1989. Estimating the agricultural risks of tropical rainfall. *Agricultural and Forest Meteorology* 45, 251-263.
- Nery, J.T., Meseguer-Ruiz, O., 2014. La variabilidad de la temperatura superficial de las zonas intertropicales de los océanos Pacífico y Atlántico y su relación con la precipitación en el nordeste brasileño. In: XIX Congreso de Asociación Española de Climatología, 2014, Almería. cambio climático y cambio global. Almería: AEC 1, 1-15.
- Rao, V.B., Hada, K., 1990. Characteristics of Rainfall over Brazil: Annual Variations and Connections with the Southern Oscillation

- Theoretical and Applied Climatology, 42, 81-91. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00868215>.
- Ropelewski, C.F., Halpert, M.S., 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.* 115, 1606-1626.
- Ropelewski, C.F., Halpert, M.S., 1989. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review* 115, issue, 1606–1626.
- Saha, N.O., 1971. Mean cloud distribution over tropical oceans. *Tellus* 23(2), 183-194.
- Sivakumar, M.V.K., 1992. Empirical analysis of dry drought spells for agricultural applications in West Africa. *Journal of Climate* 5, 532-539.
- Trenberth, K., 2020. The Climate Data Guide: Nino SST Indices (Nino 1+2, 3, 3.4, 4; ONI and TNI). National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Disponível em: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/nino-sst-indices-nino-12-3-34-4-oni-and-tni>. Acesso em 21/01/2020.
- Uvo, C.R.B., Nobre, C.A.A., 1989. Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. *Climanálise* 4(07), 34-40.
- Wright, P.B., 1986. Precursors of the Southern Oscillation. *J. Climatol.* 6, 17-30.
- Wright, P.B., 1987. Variations in tropical Atlantic sea-surface temperature and their global relationships Rep. 12, 52 pp., Max-Planck-Inst. für Meteorol., Hamburg, Germany.
- Wilks, S., 1963. *Mathematical Statistics*. [S.l.]