



Revista Brasileira de Geografia Física

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



Análise da Variabilidade Climática dos Oceanos Atlântico e Pacífico

Pedro Fernandes de Souza Neto¹, Djane Fonseca Da Silva², Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida³

¹Mestrando em Meteorologia - UACA/UFPG, e-mail: piurosfermandes@hotmail.com; ²Profª Drª do Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT/UFAL, Campus A. C. Simões, Maceió (AL), e-mail: djane.silva@icat.ufal.br (autor correspondente); ³Prof. Dr. do Centro de Ciências Agrárias – CECA/UFAL, Rio Largo, e-mail: henrique_ravi@yahoo.com.br

Artigo recebido em 25/04/2020 e aceito em 04/05/2021

RESUMO

A temperatura da superfície do mar é uma das principais variáveis para análise do clima global, e com isso, é fundamental conhecer o comportamento dela. Desta forma, o objetivo desse estudo é compreender melhor a variabilidade da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Atlântico e Pacífico, através de informações sobre as causas da sua variabilidade usando as Análises de Ondaletas, e também utilizando para isso as tendências climáticas da TSM dos oceanos. Foram usados dados da anomalia da temperatura da superfície do mar obtidos através da National Oceanic and Atmospheric Administration com período de 1955-2018, para os Oceanos Atlântico e Pacífico, dividido em setores norte e sul. Utilizando o método de Análises de Ondaletas foi possível observar os fenômenos El Niño Oscilação Sul, Dipolo do Atlântico, Manchas solares e Oscilação Decadal do Pacífico, atuando sobre as séries temporais estudadas; no entanto, a Oscilação Decadal do Pacífico mostrou-se como fenômeno de escala temporal dominante nos Oceanos Atlântico e Pacífico. O teste de tendência de Mann-Kendall apontou aumento linear da anomalia da temperatura da superfície do mar para os dois Oceanos estudados, sendo que em ambos, o setor Sul possui um aumento maior do que o setor Norte. As tendências climáticas indicam que Oceano Pacífico está aquecendo mais do que o Oceano Atlântico. Também é possível concluir que o setor Sul dos dois Oceanos estão aquecendo mais do que o setor Norte. Os sinais dos intervalos de limites para as médias dos setores sul demonstram maior variabilidade das anomalias no Atlântico Sul e Pacífico Sul. O setor Norte teve maior semelhança com a Bacia geral, tanto no Atlântico como no Pacífico, comprovando a importância das áreas continentais para o aquecimento dos oceanos. Esses resultados foram fortalecidos com os encontrados pelos box plots e distribuição de frequências. O aquecimento do Pacífico também foi reforçado em todas as estatísticas realizadas. Palavras-chave: TSM, Análise de Ondaletas, Mann-Kendall, ENOS e ODP.

Analysis of climate variability of the Atlantic and Pacific oceans

ABSTRACT

The sea surface temperature is one of the main variables for analyzing the global climate, and with that, it is essential to know its behavior. Thus, the objective of this study is to understand the best temperature variability of the sea surface of the Atlantic and Pacific oceans, through information on the causes of its variability using Wavelet analysis, and also using the climatic trends of the TSM of the oceans. Sea surface temperature anomaly data obtained through the National Oceanic and Atmospheric Administration with period of 1955-2018, for the Atlantic and Pacific Oceans, divided into sectors and some statistical analyzes were used. Using the wavelet analysis method, it was possible to observe the phenomena El Niño South Oscillation, Atlantic Dipole, sunspots and Pacific Decadal Oscillation, acting on the studied time series; however, the Pacific Decadal Oscillation, which occurs in the Pacific Ocean, proved to be a phenomenon of dominant time scale in the Atlantic and Pacific Oceans. The Mann-Kendall trend test showed a linear increase in the sea surface temperature anomaly for the two studied Oceans, and in both, the South sector has a greater increase than the North sector. Climate trends indicate that the Pacific Ocean is warming more than the Atlantic Ocean. It is also possible to conclude that the Southern sector of the two Oceans is heating up more than the Northern sector. The signs of the limit ranges for the averages of the southern sectors demonstrate greater variability of the anomalies at the South Atlantic and South Pacific. The Northern sector was more similar to the general basin, both in the Atlantic and the Pacific, proving the importance of continental areas for warming the oceans. These results were strengthened with those found by box plots and frequency distribution. The warming of the Pacific was also reinforced in all statistics made.

Keywords: SST, Wavelet Analysis, Mann-Kendall, ENSO e PDO.

Introdução

Os oceanos representam cerca de 70% de todo território do planeta terra, desta forma, são determinantes para o clima devido aos processos dinâmicos e termodinâmicos da interação do oceano com a atmosfera. Devido à grande área de abrangência dos oceanos, são eles que absorvem em maior quantidade a energia solar, que é a principal termorreguladora do clima global (Souza Neto, 2019).

A temperatura da superfície do mar (TSM) desempenha uma função bastante importante no balanço de calor por meio da interação do oceano com a atmosfera. Baixas alterações da TSM (DA SILVA, 2017) podem ocasionar amplas variações nos fluxos de calor na interação oceano-atmosfera e essa interação, por sua vez, possui uma função importante na conservação do clima do planeta, pois o oceano está em equilíbrio, e qualquer variação da TSM pode gerar uma influência de aumento ou diminuição do fluxo de calor da interação oceano-atmosfera conforme estudado por Pezzi et al. (2016) e Silva et al (2017).

Já segundo Carvalheiro et al. (2011), a TSM exerce uma função importante na determinação do tempo e do clima global, visto que rege a troca de calor entre o oceano e a atmosfera, e que o seu gradiente horizontal se relaciona com os sistemas de trocas oceânicas internas, concedendo a origem das correntes marítimas.

As áreas em que as TSMs são mais elevadas são nas regiões subtropicais, e variações dessas temperaturas podem gerar fenômenos, como o El Niño (EN) e a La Niña (LN), Dipolo do Atlântico (DA) e Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), os quais geram impactos distintos em diversos locais do globo (Broeker, 2010; Souza Neto, 2019).

O fenômeno El Niño ocorre através da interação oceano-atmosfera, relacionado com as mudanças das medidas normais da TSM e dos ventos alísios, no setor do Oceano Pacífico Equatorial, entre a costa do Peru e da Austrália, ocorrendo assim uma alteração positiva (aumento) da TSM nesse setor, de acordo com de Moraes et al. (2007).

O fenômeno La Niña, ou episódio frio do Oceano Pacífico, é o resfriamento anômalo das águas superficiais no Oceano Pacífico Equatorial Central e Oriental. De modo geral, pode-se dizer que La Niña é o oposto do El Niño, pois as

temperaturas habituais da água do mar à superfície nesta região situam-se em torno de 25° C, ao passo que, durante o episódio La Niña, tais temperaturas diminuem para cerca de 22° C a 23° C, conforme Marengo e Oliveira et al (1998).

De acordo com Ferreira e Melo (2005) Dipólo do Atlântico é a mudança entre a anomalia de TSM (ATSM) nos setores do Oceano Atlântico, o norte e o sul, e possui duas fases; a fase positiva, em que o setor Norte do Oceano Atlântico tem uma ATSM positiva e o setor Sul uma ATSM negativa; já na fase negativa ocorre o contrário.

Já a ODP é determinada à medida que ocorre mudanças na TSM no Oceano Pacífico, sendo que essas alterações acontecem periodicamente em torno de 20 a 30 anos, podendo ter duas fases. A fase fria apresenta anomalias negativas da TSM no Oceano Pacífico Tropical, e concomitantemente o Oceano Pacífico extratropical nos dois hemisférios apresentam anomalias positivas da TSM. Consequentemente, a fase quente da ODP configura-se como o oposto do que ocorre na fase fria, sendo assim, o Oceano Pacífico Tropical apresenta anomalias positivas da TSM e no Oceano Pacífico extratropical anomalias negativas da TSM, segundo Mantua et al. (1997).

Desta forma, o objetivo desse estudo é compreender melhor a variabilidade da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Atlântico e Pacífico, buscando informações sobre causas da sua variabilidade, como as tendências climáticas da TSM se comportam e buscar novas informações comparativas entre os oceanos.

Materiais e métodos

Área de estudo e Dados

A área de estudo escolhida contempla os Oceanos Atlântico e Pacífico, que são os dois maiores oceanos do mundo. O Oceano Pacífico é o maior oceano do mundo (Figura 1), e possui uma área de aproximadamente 162 milhões km²; já o Oceano Atlântico (Figura 2) é o segundo maior oceano do mundo, com uma área de aproximadamente 106 milhões km² (Souza Neto, 2019).

Para esse estudo foram utilizados dados de TSM da área total dos Oceanos Atlântico (OA) e Pacífico (OP), os quais foram divididos em dois setores: setor Atlântico norte (AN) e Pacífico norte (NP) e setor Atlântico sul (AS) e Pacífico sul (PS).



Figura 1. Oceano Pacífico e sua localização. Fonte: CIA (2019).



Figura 2. Oceano Atlântico e localização. Fonte: CIA (2019).

Os dados de anomalia da TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico foram obtidos através do site da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e têm período em comum, de 1955-2018. Esses dados tem o formato de bloco de notas (.txt), foram convertidos para o Excel® e tratados para gerar o índice de anomalia normalizada, o qual foi submetido à análise de ondaleta. Esses dados de TSM também foram utilizados na análise de tendências, análises de agrupamentos, box plot, intervalo de confiança e análises de frequências.

Métodos

Análise de Ondaletas (AO)

O índice da TSM (ITSM) foi gerado conforme a Equação 1, e posteriormente, o índice foi submetido à análise de Ondaleta (AO), também conhecida como Ondaleta ou Wavelet (MORETTIN et al, 1999). O índice refere-se à anomalia trimestral da temperatura do mar dos oceanos normalizada pelo desvio-padrão trimestral, calculado conforme Andreoli e Kayano et al. (2004) e Da Silva et al. (2017):

$$Avar_{i,j} = \frac{(var_{i,j} - \bar{var}_1)}{\sigma_i} \tag{1}$$

Em que: a $AVar_{i,j}$ é a anomalia normalizada da temperatura do mar dos oceanos Atlântico e Pacífico; j é o ano e i é o trimestre, tendo assim 4 trimestres por ano. Com isso $Var_{i,j}$ é a Temperatura do oceano no ano j e no trimestre i , o \bar{var}_1 é a média climatológica da variável e o σ_i o desvio padrão do trimestre i .

A aplicabilidade da AO na análise de sinais se deve principalmente porque permite decompor uma série temporal em diferentes níveis de resolução tempo-frequência e, então determinar, os componentes da variabilidade dominante de acordo com Torrence e Compo et al. (1998) e Da Silva et al. (2017).

A ondaleta Morlet é complexa e possui características semelhantes às de sinais meteorológicos, tais como simetria ou assimetria, e variação temporal brusca ou suave. Segundo a literatura, este é um critério para escolha da função ondaleta segundo Weng e Lau et al. (1994), Morettin et al. (1999) e Da Silva (2017).

A equação 2 mostra a representação da ondaleta Morlet, a função escolhida neste trabalho,

a qual é uma exponencial complexa modulada por uma Gaussiana, segundo Andreoli et al. (2004):

$$\Psi(t) = e^{-i\omega_0 t} e^{-\eta^2/2} \quad (2)$$

Em que $\eta = t/s$, onde t é o tempo, s é a escala da ondaleta em função do tempo ($= 2/dt$) e ω_0 é uma frequência não-dimensional, escolhidos conforme Andreoli et al. (2004); Todos introduzidos no “script” de programação do Software Matlab®.

Ocorrências de ENOS, Dipolo do Atlântico e Oscilação Decadal do Pacífico

É importante saber os períodos das ocorrências de cada fenômeno que influenciam na TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico, e saber a sua intensidade para analisar as relações dos mesmos com as anomalias térmicas da TSM.

O quadro 1 (NOAA, 2019) mostra anos de ocorrência de La Niña e El Niño, e sua intensidade no período de 1976-2018. Nesta etapa foi utilizado o índice ONI, para identificar a ocorrência de ENOS, e seu método utiliza dados da ATSM da região equatorial média em todo o Oceano

Pacífico. Esse índice usa uma média de execução de 3 meses e, para ser classificado como El Niño ou La Niña, as anomalias devem exceder +0.5 °C ou -0.5 °C por pelo menos cinco meses consecutivos. Esta é a definição operacional usada pelo NOAA.

Como complemento, a Figura 3 mostra a ocorrência do ENOS com dados de ATSM, obtidos no site da NOAA (2019), utilizando o índice ONI, no qual é possível verificar as ocorrências das fases do ENOS.

Na Tabela 1 (Souza, 1998; Andreoli & Kayano, 2007) é possível verificar no período de 1949-1997 em que ocorreram o Dipolo do Atlântico (DA) e as suas fases.

A Figura 4 mostra a complementação da Tabela 1, com as fases de ocorrência do DA durante o período de 1998-2018, e obtida através da FUNCEME.

Já na Figura 5, mostra as fases da ODP e o período em que elas ocorrem, com fase quente no período de 1925-1946, de 1947-1976 sua fase fria, voltando à fase quente de 1977 a 1998, e posteriormente fase fria da ODP.

Quadro 01. Anos e meses de ocorrência do ENOS (El Niño em vermelho, La Niña em azul, e Neutralidade em preto) entre 1976-2018. Fonte: NOAA/CPC (2019).

	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1976	-1,5	-1,1	-0,7	-0,4	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,8
1977	0,7	0,6	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	0,8
1978	0,7	0,4	0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,1	0
1979	0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5	0,6
1980	0,6	0,5	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,2	0	0,1	0,1	0
1981	-0,2	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	0
1982	0	0,1	0,2	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,5	1,9	2,1	2,1
1983	2,1	1,8	1,5	1,2	1,0	0,7	0,3	0	-0,3	-0,6	-0,8	-0,8
1984	-0,5	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3	-0,6	-0,9	-1,1
1985	-0,9	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3
1986	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,2	0,4	0,7	0,9	1,0	1,1
1987	1,1	1,2	1,1	1,0	0,9	1,1	1,4	1,6	1,6	1,4	1,2	1,1
1988	0,8	0,5	0,1	-0,3	-0,8	-1,2	-1,2	-1,1	-1,2	-1,4	-1,7	-1,8
1989	-1,6	-1,4	-1,1	-0,9	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1
1990	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
1991	0,4	0,3	0,2	0,2	0,4	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	1,2	1,4
1992	1,6	1,5	1,4	1,2	1,0	0,8	0,5	0,2	0	-0,1	-0,1	0
1993	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
1994	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,9	1,0
1995	0,9	0,7	0,5	0,3	0,2	0	-0,2	-0,5	-0,7	-0,9	-1,0	-0,9
1996	-0,9	-0,7	-0,6	-0,4	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5
1997	-0,5	-0,4	-0,2	0,1	0,6	1,0	1,4	1,7	2,0	2,2	2,3	2,3
1998	2,1	1,8	1,4	1,0	0,5	-0,1	-0,7	-1,0	-1,2	-1,2	-1,3	-1,4
1999	-1,4	-1,2	-1,0	-0,9	-0,9	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,2	-1,4	-1,6
2000	-1,6	-1,4	-1,1	-0,9	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,8
2001	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3
2002	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,2	1,1
2003	0,9	0,7	0,4	0	-0,2	-0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
2004	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7
2005	0,7	0,6	0,5	0,5	0,3	0,2	0	-0,1	0	-0,2	-0,5	-0,7
2006	-0,7	-0,6	-0,4	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	0,9
2007	0,7	0,4	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,6	-0,9	-1,1	-1,3	-1,3
2008	-1,4	-1,3	-1,1	-0,9	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,7
2009	-0,7	-0,6	-0,4	-0,1	0,2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,9	1,1	1,3
2010	1,3	1,2	0,9	0,5	0,0	-0,4	-0,9	-1,2	-1,4	-1,5	-1,4	-1,4
2011	-1,3	-1,0	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0	-0,9
2012	-0,7	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	-0,2
2013	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3
2014	-0,5	-0,5	-0,4	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,4	0,5	0,6
2015	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,2	2,3
2016	2,5	2,2	1,7	1	0,5	0	-0,3	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
2017	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,1	-0,4	-0,7	-0,9	-1
2018	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,7	0,9	0,8

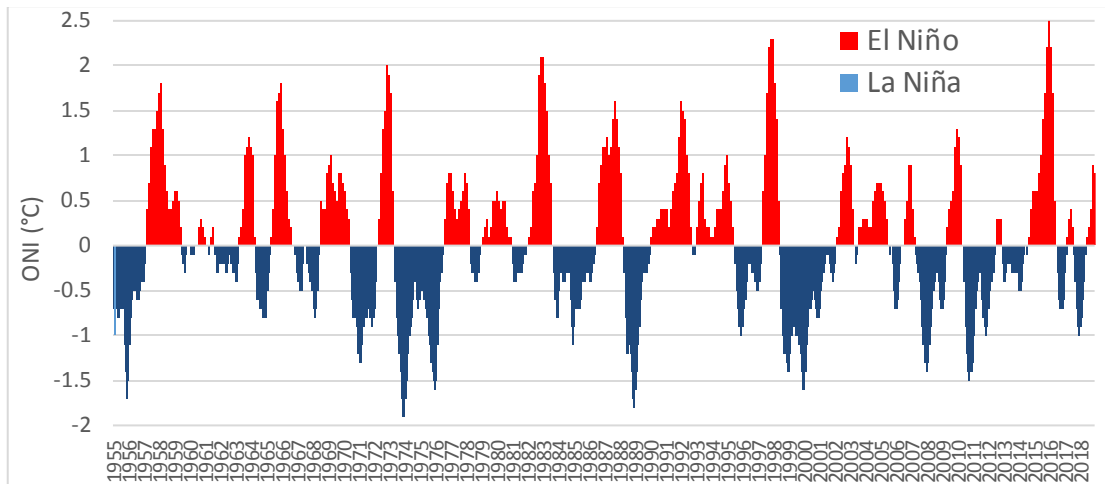


Figura 3. Ocorrência de ENOS através do ONI durante 1955-2018. Fonte: Autor, adaptado de NCEP (2019).

Tabela 1. Anos de ocorrência do DA e suas fases.

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

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

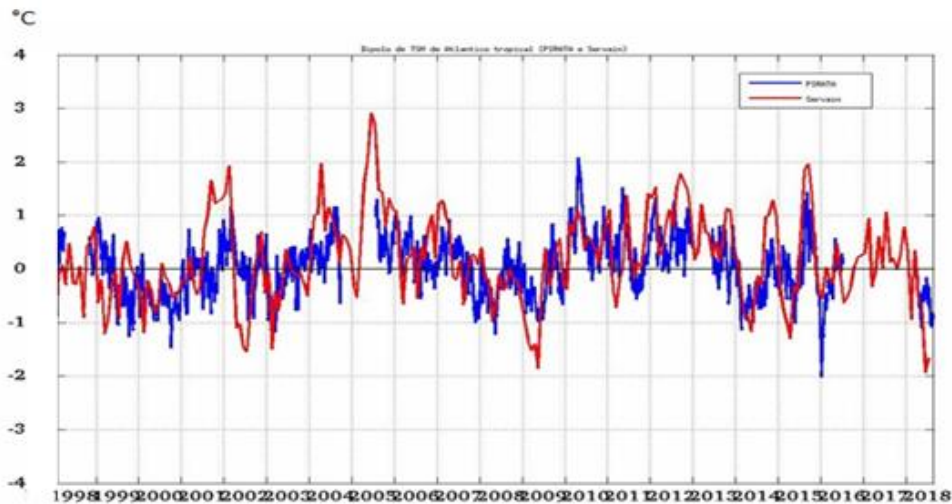


Figura 4. Fases do DA e anos de ocorrências no período de 1998/2018. Fonte:FUNCEME et al (2019).

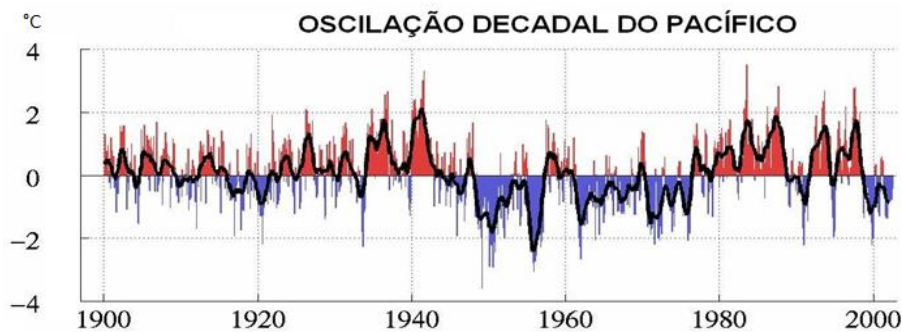


Figura 5. Fases da ODP no período de 1900-2000. Fonte: Mantua et al(1997).

Métodos estatísticos usados

Análises de Tendências

O teste de Mann-Kendall foi utilizado para calcular as tendências, sendo ele um teste recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Foi também realizada a significância estatística dos resultados através do teste de T-Student.

Mann-Kendall é um teste utilizado para as variações das tendências em séries temporais de dados ambientais, sendo um teste não paramétrico. A princípio o teste foi usado por Mann et al. (1945), em seguida melhorado por Kendall et al. (1975), que gerou a relação estatística. A utilização desse teste tem demonstrado resultados bastante consolidados (Xu et al., 2005; Santos et al., 2007; Bi et al., 2009).

De acordo com Silva et al. (2010) as equações (3,4,5 e 6) do teste são as seguintes:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (3)$$

Em que: x_j são os dados estimados da sequência de valores, n é o comprimento da série temporal e o sinal $(x_i - x_j)$ é igual a -1 para $(x_i - x_j) < 0$, 0 para $(x_i - x_j) = 0$, e 1 para $(x_i - x_j) > 0$.

Kendall et al. (1975) mostrou que S é normalmente distribuída com média $E(S)$ e variância $\text{Var}(S)$, para uma situação na qual pode haver valores iguais de x , são calculadas pelas equações:

$$E[S] = 0 \quad (4)$$

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (5)$$

Em que: (t_p) é número de dados com valores iguais em um certo grupo (p th) e q é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados em um certo grupo p . O segundo termo representa um ajuste para dados censurados.

O teste estatístico parametrizado (Z_{MK}) é computado pela equação abaixo:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{para } S > 0; \\ 0 & \text{para } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{para } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa foi avaliada usando o valor de Z . Essa estatística foi usada para testar a hipótese nula, ou seja, que nenhuma tendência

existe. Um valor positivo de Z_{MK} indica um aumento da tendência, quando negativa indica uma tendência decrescente. Para testar a tendência crescente ou decrescente no nível de significância de p , a hipótese nula é rejeitada se o valor absoluto de Z for maior que $Z_{1-p/2}$, utilizando-se a tabela da distribuição normal cumulativa padrão (Silva et al., 2010).

Os níveis de significância de $p = 0,01$ e $0,05$ foram aplicados neste estudo. Uma estimativa não paramétrica para o valor da inclinação da tendência é obtida de acordo com Silva et al. (2010) conforme a equação 7:

$$\beta = \text{Median} \left[\frac{x_j - x_i}{j - i} \right] \text{ para } i < j \quad (7)$$

Em que: x_j e x_i são os pontos dados medidos no tempo j e i , respectivamente.

O teste de T-Student foi utilizado para analisar se as tendências obtidas no teste de Mann-Kendall têm ou não significância estatística. Para amostras de tamanho $N > 30$, denominadas grandes amostras, as distribuições amostrais de várias estatísticas são aproximadamente normais e melhores com o crescimento de N . Para amostras de tamanho $N < 30$, denominadas pequenas amostras, essa aproximação não é boa e torna-se pior com o decréscimo de N , de modo que devem ser introduzidas as modificações convenientes. Um dos testes de significância mais utilizados é o “T-Student”, o qual é bastante utilizado nos estudos de meteorologia (Kousky e Kayano et al., 1994; Kayano e Kousky et al., 1996; Figueroa et al., 1997; Castro et al., 2002; Da Silva et al., 2009), sendo calculada conforme a equação 8:

$$tc = \frac{t}{\sqrt{n-2}} + t^2 \quad (8)$$

Sendo: t_c = valor do percentil e c é o grau de liberdade. Foi usado $p = 0,95$ ou 95%; t = valor do percentil tabelado de acordo com v ($n-1$); n é o número de dados.

Os métodos de agrupamentos têm pôr finalidade agrupar indivíduos em classes, de forma que os indivíduos pertencentes a essas classes mantenham características semelhantes em algum aspecto (Guimarães et al., 2013).

Essa estatística de análise multivariada tem como objetivo principal classificar os indivíduos de uma população que são conhecidos por suas características, ou seja, mostrar indivíduos semelhantes (Unal et al, 2003; Farias et al, 2005). Foi também utilizado o dendograma, que tem como objetivo, unificar indivíduos em classes ou grupos

sucesivamente maiores através da utilização de alguma medida de similaridade ou de distância (Guedes et al, 2010; 2012).

Por fim, segundo Macedo et al. (2010), análise de agrupamentos é utilizada em processos de classificação e consiste em determinar o nível de similaridade ou dissimilaridade entre indivíduos, aplicando uma função de agrupamento a uma determinada variável (Lima et al, 2010).

Já o “box plot” (ou gráfico de caixa) é um gráfico utilizado para avaliar a distribuição empírica dos dados. O “box plot” é formado pelo primeiro e terceiro quartil e pela mediana. As hastas inferiores e superiores se estendem, respectivamente, do quartil inferior até o menor valor não inferior ao limite inferior e do quartil superior até o maior valor não superior ao limite superior. Essa estatística também funciona muito bem para com o identificação e eliminação de valores discrepante (Santos et al., 2011).

Segundo Patino e Ferreira (2015) um intervalo de confiança é uma medida de imprecisão do verdadeiro tamanho do efeito na população de interesse. Precisa-se do intervalo de confiança para indicar a incerteza ou imprecisão acerca do tamanho do efeito calculado usando a amostra de estudo para estimar o verdadeiro tamanho do efeito na população de origem. Calcular o intervalo de confiança é uma estratégia que leva em conta o erro amostral: o tamanho do efeito e seu intervalo de confiança representam valores plausíveis para a população de origem, e quanto mais estreito é o intervalo de confiança, maior é a certeza de que a estimativa baseada na população de estudo representa o verdadeiro tamanho do efeito na população de origem.

A distribuição de frequências é importante para se estabelecer a relação intensidade-duração-frequência da variável em estudo, porém, na maioria dos casos, os dados são avaliados como valores pontuais, enquanto deveriam sê-lo na forma de distribuição/espacialização (Damé et al., 1996; ROBAINA, 1996; Sivapalan e Blöschl,

1998; CRUCIANI, 2002), para uma efetiva caracterização de sua variabilidade e assim toma mais realista a previsão ou modelagem da variável de estudo.

Resultados e discussão

Verificou-se que ocorreu um aumento linear (Figuras 6a, 7a, 8a, 9a, 10a, 11a) da TSM tanto no Oceano Atlântico, quanto no Oceano Pacífico, como em estudos realizados anteriormente por Rayner et al. (2003); Smith e Reynolds et al. (2008) e Nóbrega et al. (2016).

A Anomalia Térmica (AT) de todo o Oceano Atlântico (OA) apresentou aumento, conforme a linha de tendência da Figura 6a, ou seja, o OA está aquecendo com o passar dos anos.

A AT mais alta (mais quente) foi observada em 2017, ano neutro com um surgimento de La Niña fraca nos últimos quatro meses do ano. Neste ano o DA estava em fase positiva e chegando próximo a fase negativa nos últimos meses do ano de 2017, gerando assim uma AT elevada.

Aplicando-se a Análise de Ondaleta, foi encontrada a escala temporal dominante de 22 anos do espectro de energia (Figura 6b e 6c). Foi possível verificar a presença de ENOS na escala entre 1 e 2 anos, da escala do ENOS estendido que possui período de até 8 anos (Da Silva et al., 2017), e da escala temporal de 11 anos referente aos ciclos de manchas solares (Kerr et al., 1996; Echer et al., 2003; Molion et al., 2005; Da Silva et al., 2017) e Dipolo do Atlântico (Clauzet e Wainer et al., 1999; Da Silva et al., 2017).

A ODP também gerou influência (Figura 6b) principalmente de 1955 até 1975, período em que estava na fase fria. A ODP volta a aparecer com influência sobre o Oceano Atlântico, no fim dos anos 90, quando passou a ser a fase fria da ODP.

(a)

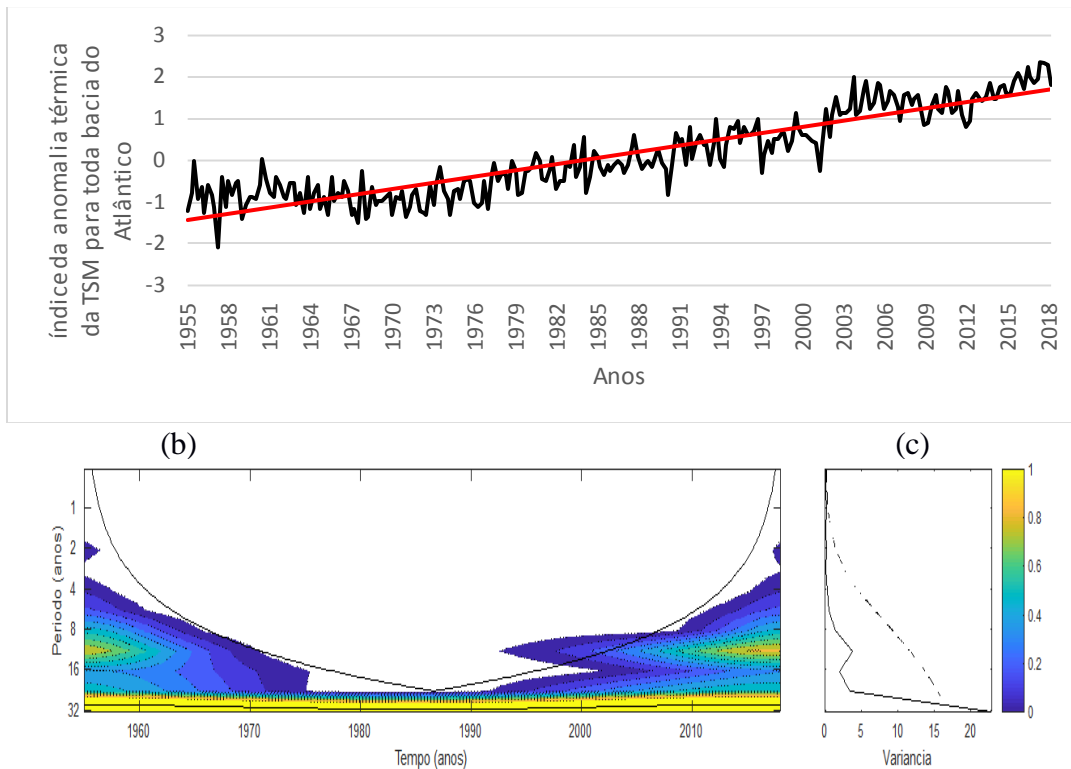


Figura 6. a) índice de anomalia trimestral da TSM do Oceano Atlântico (OA) normalizado pelo desvio-padrão trimestral; b) Espectro de energia (EPW) local para ATSM. Contornos sombreados correspondem a valores de variância normalizados. Contornos tracejados correspondem a variâncias significativas ao nível de 95%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob o qual o efeito de borda é importante; c) Espectro global de wavelet (EPG), o contorno tracejado indica que o espectro de wavelet global é significativo ao nível de confiança de 95%.

É possível verificar dois picos negativos da AT no AN: na Figura 7a, em 1957, da mesma maneira que foi visto no setor do OA, ano em que foi registrado um forte El Niño (NCEP, 2018), o DA estava na sua fase neutra, e a ODP estava na sua fase fria. Já o segundo maior pico de ATSM negativa foi de 1972-1973, período que teve novamente um El Niño forte, o DA estava em fase negativa e a ODP na fase fria.

Já a AT do AN com a tendência crescente e apresentou os principais picos de ATSM positiva nos anos de 1980, 1991, 2004 e 2018, nos quais ocorreu o El Niño. Em relação ao DA, o mesmo estava na sua fase positiva em 1980 e 2004, em 2018 estava na fase negativa e em 1991 estava neutro. Já a ODP, estava na sua fase quente em 1980 e 1991, e na sua fase fria em 2004 e 2018.

Na Análise da Ondaleta (Figuras 7b e 7c) também foi possível verificar a escala temporal dominante de 22 anos, mais uma vez relacionada com a ODP, que influenciou também o setor AN.

Houve ausência da escala do ENOS no NA, e presença de ENOS estendido na escala temporal de até 8 anos. Também é possível verificar a escala de 8 a 11 anos, escala secundária ligada ao Dipolo do Atlântico, e presença de Manchas Solares na escala de 11 anos.

O AS foi o setor que possuiu a maior tendência de aumento da TSM de todo Oceano Atlântico, tendo as maiores ATSMs, conforme é observado na Figura 8a.

É possível verificar que as menores ATSM aconteceram nos anos de 1957, com ocorrência de El Niño forte e o DA neutro; em 1967, ambos estavam neutros. Já para 1977, estava ocorrendo El Niño e o DA estava na fase negativa.

Com relação as maiores AT do AS, em 1984 houve um pico de aumento da ATSM, quando ocorreu uma fraca La Niña e o DA estava em fase negativa. As maiores ATSM da série foram os anos de 2015, 2017 e 2018 (Figura 8b e 8c). No primeiro foi verificado um forte EL Niño e o DA em fase neutra; já no segundo, teve um El Niño moderado, e o DA na fase positiva. Por último, em 2018 o DA estava em fase negativa e com ocorrência de no primeiro trimestre do ano a La Niña e no último trimestre El Niño.

Analisando a Ondaleta notou-se a escala temporal dominante de 22 anos, mais uma vez relacionada com a ODP, que foi o fenômeno dominante atuante em todos os setores do Oceano Atlântico (OA, AN e AS).

Foi possível verificar que ocorreu influência de ENOS na escala temporal de até dois

anos, ENOS estendido na escala de até 8 anos de duração, e ainda fenômenos na escala interanual, por volta de 1984-1985. Manchas Solares apareceram também na escala de 11 anos, junto ao sinal do Dipolo.

No começo de 2010 até 2018 foi possível perceber o Dipolo do Atlântico atuando no SA, na escala temporal de 11 anos que produziu um aquecimento e um aumento da ATSM.

A ODP também gerou uma influência no SA praticamente constante em todo o período, tanto na sua fase fria como na fase quente, diferente dos setores anteriores do Oceano Atlântico.

Foi possível visualizar espectralmente para

os setores do Oceano Atlântico fenômenos ou sistemas na escala interanual e decadal, conforme estudos realizados anteriormente (Hastenrath e Kaczmarczyk et al., 1981; Sperber e Hameed et al., 1993; Mehta e Delworth et al., 1995; Andreoli & Kayano et al., 2004), mas também foi possível verificar que as teleconexões ocorrem entre os Oceanos Atlântico e Pacífico (Rodríguez-Fonseca et al., 2009; Kayano et al., 2011; Araújo et al., 2013) e através dessas teleconexões foi visto que a ODP foi dominante em todos os setores do Oceano Atlântico, mostrando assim a importância do estudo das teleconexões existentes.

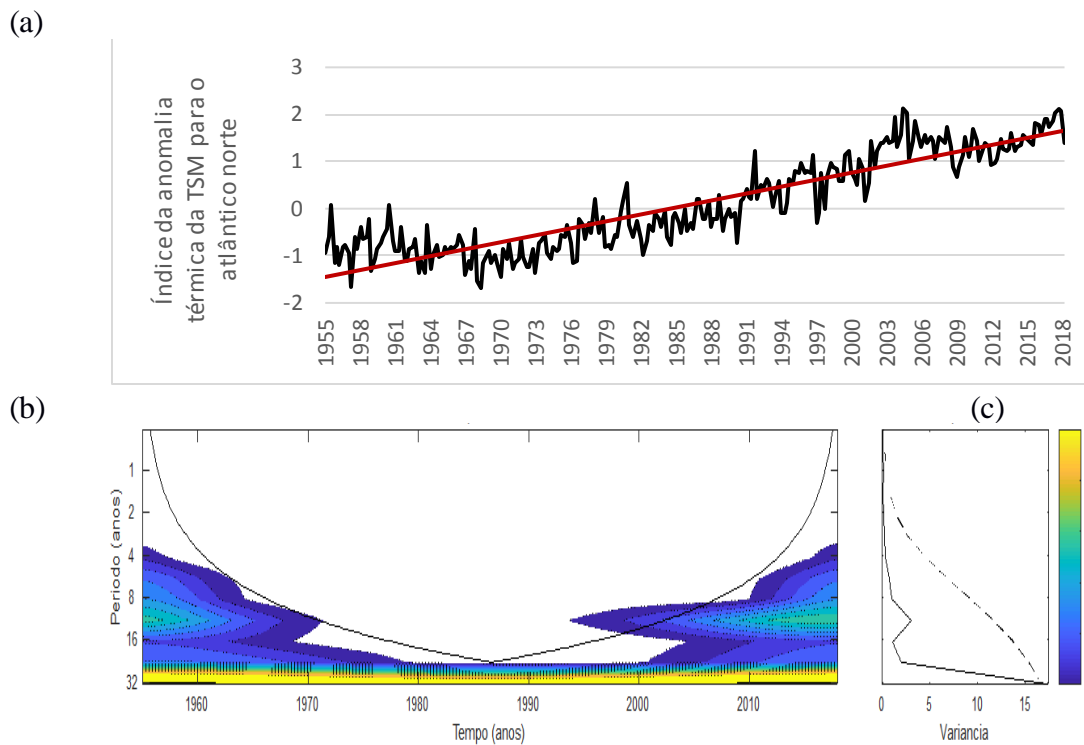


Figura 7. a) índice de anomalia trimestral da TSM do Oceano Atlântico Norte (AN) normalizado pelo desvio-padrão trimestral; b) Espectro de energia (EPW) local para ATSM. Contornos sombreados correspondem a valores de variância normalizados. Contornos tracejados correspondem a variâncias significativas ao nível de 95%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob o qual o efeito de borda é importante; c) Espectro global de wavelet (EPG), o contorno tracejado indica que o espectro de wavelet global é significativo ao nível de confiança de 95%.

(a)

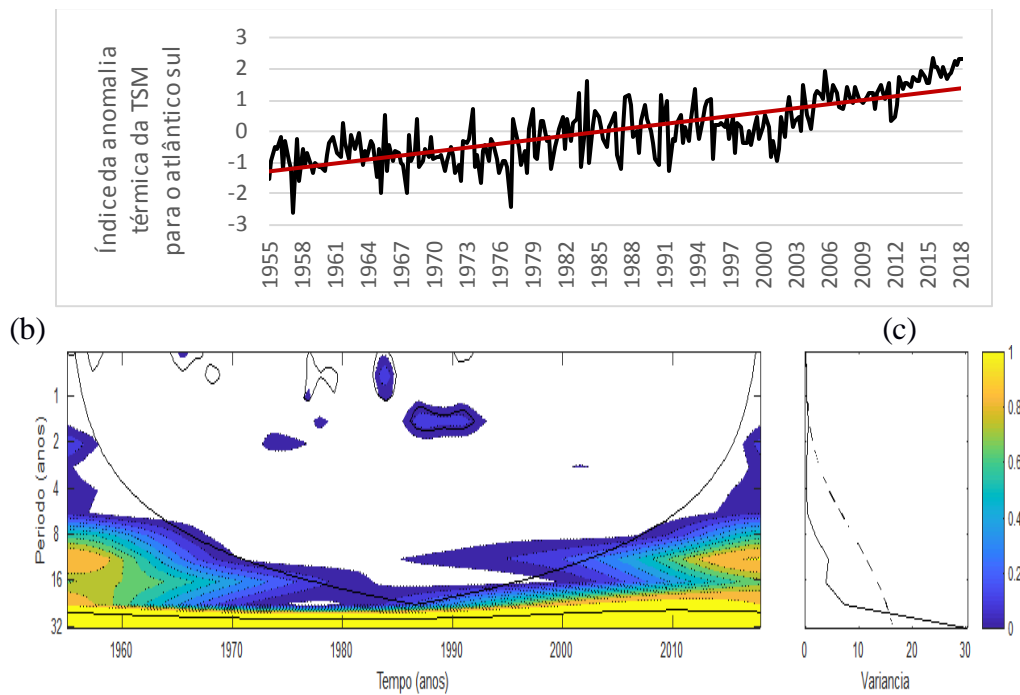


Figura 8. a) índice de anomalia trimestral da TSM do Oceano Atlântico Sul (AS) normalizado pelo desvio-padrão trimestral; b) Espectro de energia (EPW) local para ATSM. Contornos sombreados correspondem a valores de variância normalizados. Contornos tracejados correspondem a variâncias significativas ao nível de 95%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob o qual o efeito de borda é importante; c) Espectro global de wavelet (EPG), o contorno tracejado indica que o espectro de wavelet global é significativo ao nível de confiança de 95%.

A ATSM do Oceano Pacífico mostrou tendência de aumento, da mesma maneira que o Oceano Atlântico, porém os dados mostraram que o Oceano Pacífico aqueceu mais do que o Atlântico.

Conforme a Figura 9a, é possível verificar o crescimento linear da ATSM, porém com ATSM negativas em alguns períodos, tendo as principais ATSM ocorridas nos anos de 1955, 1973, 1983. Nos dois primeiros anos citados estava ocorrendo uma forte La Niña e no último, uma fraca La Niña. Nos dois primeiros anos, estava a ODP na fase fria e no último, a ODP estava na fase quente.

Já para a ATSM positiva no OP, os anos em destaque foram os de 1977, 1996, 2003, 2004 e 2017. Nos anos de 1977, 2003 e 2004 ocorreu El Niño, em 1996 uma La Niña e em 2017 neutro com o trimestre final do ano entrando em período de La Niña. A ODP estava na fase fria, só não no ano de 1996, que estava no final da fase quente.

Analisando a ondaleta no setor OP (Figura 9b e 9c), a escala temporal dominante foi a de 22 anos, ou seja, a ODP é o fenômeno dominante no setor do OP, porém foi possível analisar que no período de 1985 até 2005, a ODP não estava atuando nesse setor.

Verificou-se também a ocorrência de ENOS estendido na escala de até 8 anos (Clauzet e Wainer, 1999; Da Silva et al., 2017), estando presente nos períodos de 1955-1960, 1980-1986, 1992-1997 e em 2010-2018. Também foi possível verificar as manchas solares na escala temporal de 11 anos (Kerr et al., 1996; Echer et al., 2003; Molion et al., 2005; Da Silva et al., 2017).

(a)

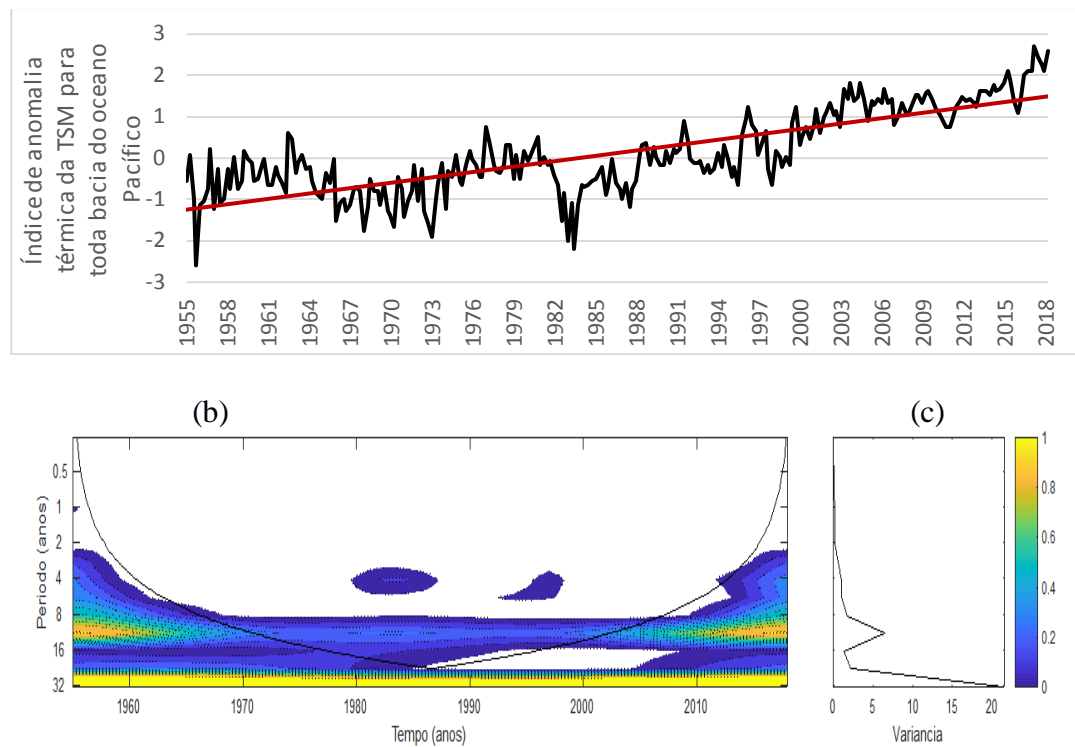


Figura 9. a) índice de anomalia trimestral da TSM do Oceano Pacífico (OP) normalizado pelo desvio-padrão trimestral; b) Espectro de energia (EPW) local para ATSM. Contornos sombreados correspondem a valores de variância normalizados. Contornos tracejados correspondem a variâncias significativas ao nível de 95%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob o qual o efeito de borda é importante; c) Espectro global de wavelet (EPG), o contorno tracejado indica que o espectro de wavelet global é significativo ao nível de confiança de 95%.

Analisando o setor PN (Figura 10a) é possível verificar mais uma vez crescimento linear da ATSM. Para as ATSM negativas, é possível verificar anos em que ocorreram anomalia: 1955, 1969, 1972 e 1976. Em 1955 e 1976 ocorreu La Niña, em 1969 e 1972 houve ocorrência de El Niño, e em todos esses anos a ODP estava na sua fase fria.

Já a ATSM positiva, é possível destacar os anos de 1963, 2004, 2009 e 2017. Em todos esses anos a ODP estava na sua fase fria, que de acordo com Mantua (1997) nessa fase o Oceano Pacífico Tropical possui ATSM negativas, já o setor extratropical apresenta ATSM positivas.

Nas Figuras 10b e 10c foi possível analisar a presença de ENOS estendido, na escala temporal de até 8 anos. Também houve a presença das manchas solares na escala de 11 anos.

A ODP apresentou maior influência, presente principalmente entre 1960 até 2010, e após 2010, o setor (PN) aparentemente estava sem a influência da ODP.

Para o setor do PS, a ATSM conforme todos os outros setores já citados, mostrou a tendência de aumento linear (Figura 11a).

Já para as ATSM positivas, os anos com destaque são 1972, 1991, 2004 e 2015. Em todos os anos estava ocorrendo El Niño, sendo 2015 o El Niño mais forte. A ODP em três desses anos (1972, 2004 e 2015) estava na fase fria, e apenas em 1991 estava na sua fase quente.

Analisando a Figura 11b, observou-se a presença de ENOS na escala temporal de até 2 anos, a presença de ENOS estendido na escala de até 8 anos que apareceu em grande parte da série, de acordo com a ondaleta, mostrando assim a importância desse fenômeno nesse setor.

Foi possível verificar a escala temporal de 11 anos; mais uma vez tendo a presença de manchas solares, mostrando assim que os 3 setores do Oceano Pacífico sofrem a influência das manchas solares. A escala dominante para esse setor foi a de 22 anos, relacionada com a ODP.

Para o Oceano Pacífico, como esperado, o fenômeno dominante foi a ODP em todos os setores. A ocorrência de ENOS foi em maior quantidade que no AO, como esperado, já que o fenômeno ocorre também no setor SP.

(a)

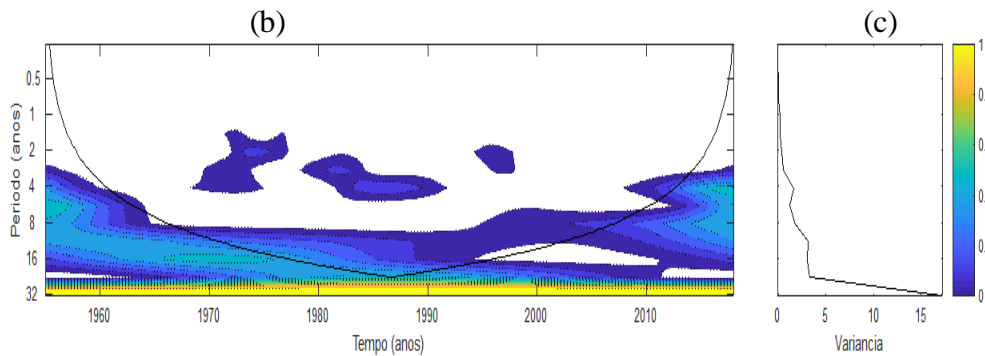
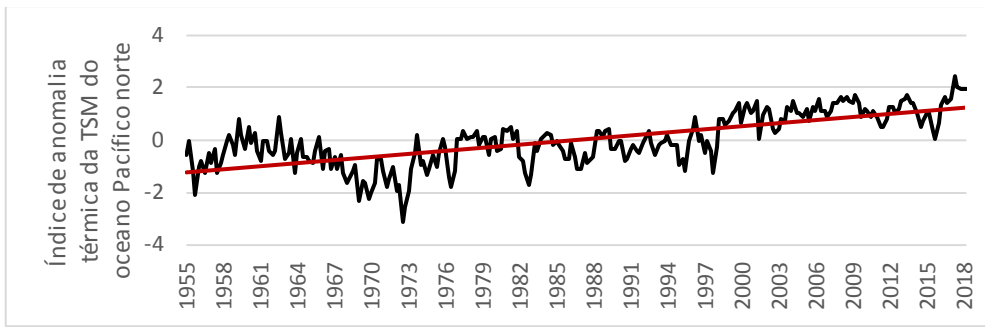


Figura 10. a) índice de anomalia trimestral da TSM do Oceano Pacífico Norte (PN) normalizado pelo desvio-padrão trimestral; b) Espectro de energia (EPW) local para ATSM. Contornos sombreados correspondem a valores de variância normalizados. Contornos tracejados correspondem a variâncias significativas ao nível de 95%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob o qual o efeito de borda é importante; c) Espectro global de wavelet (EPG), o contorno tracejado indica que o espectro de wavelet global é significativo ao nível de confiança de 95%.

(a)

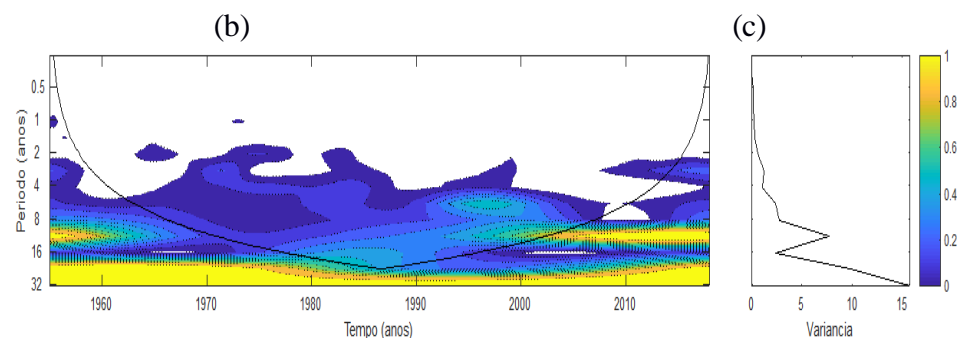
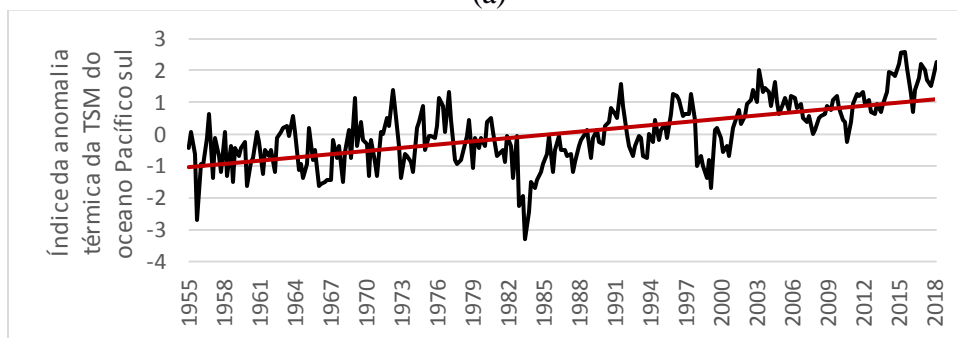


Figura 11. a) índice de anomalia trimestral da TSM do Oceano Pacífico Sul (PS) normalizado pelo desvio-padrão trimestral; b) Espectro de energia (EPW) local para ATSM. Contornos sombreados correspondem a valores de variância normalizados. Contornos tracejados correspondem a variâncias significativas ao nível de 95%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob o qual o efeito de borda é importante; c) Espectro global de wavelet (EPG), o contorno tracejado indica que o espectro de wavelet global é significativo ao nível de confiança de 95%.

Teste de Mann-Kendall e T-Student

O resultado do teste mostrou que os três setores de estudo do Oceano Atlântico e os três setores do Oceano Pacífico apresentaram tendência de aumento da ATSM, conforme a Tabela 2. Todos os setores dos Oceanos Pacífico e Atlântico, através do teste de T-Student, tiveram significância estatística para a tendência.

Para toda bacia do OP houve registro de tendência de aumento de ATSM (2,27 °C em todo período) maior que a do OA (1,44 °C em todo período), ou seja, o Pacífico aqueceu mais que o Atlântico.

O setor Norte (AN, PN) obteve uma tendência de ATSM menor que o setor Sul (AS, PS), verificando que o setor Sul aqueceu mais, somando-se ao fato de que o HS possui uma maior quantidade de volume de Oceanos que o HN.

Os resultados obtidos aqui foram condizentes com estudos realizados anteriormente, que mostram uma tendência de aumento da ATSM para os Oceanos Atlântico e Pacífico (Nóbrega et al., 2016) e também foi visto que os setores Sul dos Oceanos apresentaram maior aumento na temperatura (Barbosa et al., 2008). Isso também pode ser verificado na análise das Figuras 15 e 16.

Tabela 2. Cálculo de tendência e significância estatística.

Setor	Tendência para o período (°C)	Teste T-Student
OA	1,441818	Aumento, com significância estatística
AN	1,048554	Aumento, com significância estatística
AS	1,775006	Aumento, com significância estatística
OP	2,27236	Aumento, com significância estatística
PN	1,5577	Aumento, com significância estatística
PS	1,916011	Aumento, com significância estatística

Ao comparar o intervalo de confiança para as médias de ITSM para as áreas do setor norte e sul dos oceanos estudados (Tabela 3), percebe-se que as médias do AS e PS tem 90% de probabilidade de estarem entre valores positivos e negativos bem próximos, com média de -0,0538 a 0,1534 °C para AS, e de -0,064 a 0,1425 °C para PS; os quais esses oceanos tem áreas próximas, e com mais oceano que continente, proporcionalmente. Os sinais dos intervalos de limites para as médias demonstram maior variabilidade das anomalias térmicas locais conforme Barbosa et al. (2008), Rodríguez-Fonseca (2009) e Araújo (2013).

Tabela 3. Intervalo de Confiança da média de ITSM (90% de probabilidade para o intervalo).

	Inferior	Superior
OA	0,036579789	0,244681078
AN	0,000702011	0,208120258
AS	-0,053848731	0,152400278

OP	0,022718427	0,230454141
PN	-0,09042075	0,116622839
PS	-0,064453094	0,142507654

Ao comparar o intervalo de confiança das médias de AN e PN, os limites do intervalo para AN são positivos, mostrando menor amplitude térmica e maior valor de ITSM positivo, possivelmente devido maior área continental no AN, o que acarreta em maiores temperaturas. Essa variabilidade também pode ser verificada no “blox plot” (Figura 13, primeira coluna). Já o PN apresentou comportamento dos sinais dos limites da provável média como o AS e PS (Tabela 2).

Entretanto, quando se faz a análise do intervalo que a média do ITSM pode ocorrer, verifica-se que a amplitude é praticamente a mesma, com variação de 0,20 °C no OA e OP, não detalhando tão bem a variabilidade por setor.

O dendograma da análise de agrupamento (Figura 12) mostra que o AN tem

semelhança direta com o Atlântico geral (OA), mostrando que o ITSM do AN tem muita influência sobre o valor geral da ATSM para todo o Atlântico, como também verificado através da Tabela 3. Já o AS tem semelhança com OA um pouco menor que a observada para AN e essa mesma influência menor do setor norte também foi observada para o OP (Figura 12), que tem mais semelhança com o comportamento do PN que o PS. Os resultados dessa análise (Figura 12) endossam as encontradas na Tabela 3 e as discutidas em Barbosa et al. (2008), Rodríguez-Fonseca (2009) e Araújo (2013).

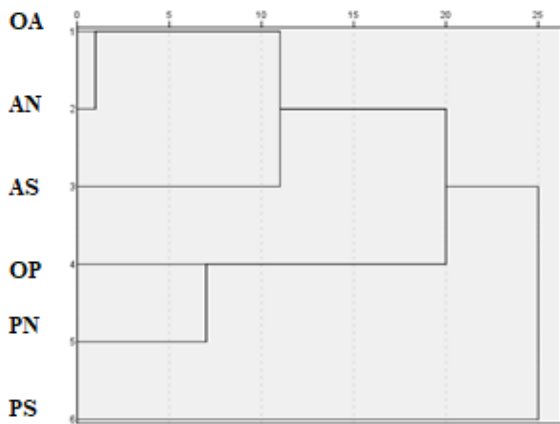


Figura 12. Dendrograma da análise de agrupamentos para os setores dos oceanos.

Na Figura 13, quando se analisa os “boxs plots” e suas áreas que indicam seus quartis, percebe-se que no NA, 75% dos dados de ITSM se aproximam de 1,9 °C, enquanto no AS, 75% dos dados chegaram a aproximadamente 1,4 °C, que também se comprova nas Figuras 15b e 15c, com o histograma de frequência dos ITSM registrados.

Já para o PN, 75% dos dados de ITSM chegam até 1,5 °C e no PS, um pouco menos, 1,3 °C. Assim, os setores norte tem mais valores positivos que no setor sul (Figuras 13 e 14). Nos limites dos “boxs plots” mostram que as temperaturas nos setores sul (AS e PS) podem ser mais intensas quando negativas, possivelmente em decorrência de nesse setor ter menos área de continente, o que tende a temperatura a ser menor.

Os “boxs plots” da Figura 13 também comprovam a influência do AN sobre o OA,

como já mostrado na Figura 12 e enfatizando a importância da maior área de continente sobre o aquecimento do setor norte no oceano Atlântico. Já o OP segue a influência do PS.

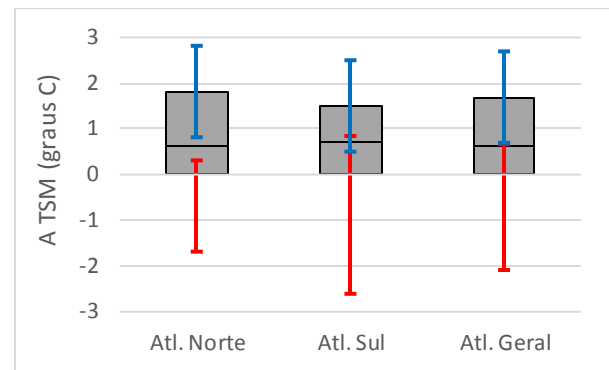


Figura 13. Box Plot para OA e seus setores.

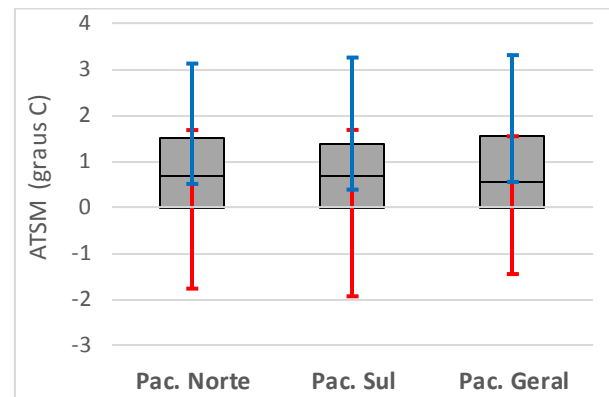


Figura 14. Box Plot para OP e seus setores.

Para as análises da distribuição das frequências do Atlântico (Figuras 15 a, b e c) observa-se que as frequências são mais distribuídas entre valores positivos e negativos, diminuindo assim os valores de frequências entre 20 e 30 casos no máximo (Figura 15) enquanto no Pacífico se aproximam de 40 casos (Figura 16).

O AN apresentou maior frequência para anomalias positivas (Figura 15b) se comparadas às de mesmo valor para o AS, como consequência de maior área continental nesse setor.

Já para o Pacífico (Figura 16 a, b e c) o PS apresentou maior frequência de valores positivos (Figura 16c) e o PN ITSM mais frequência próximo à média (Figura 16b). Conforme Tabela 2, a bacia do OP houve registro de tendência de aumento de ATSM (2,27 °C em todo período) e as frequências de maiores valores positivos de ITSM aproximadamente 25 casos (Figura 16a), 10 a mais que o Atlântico, corroboram à informação.

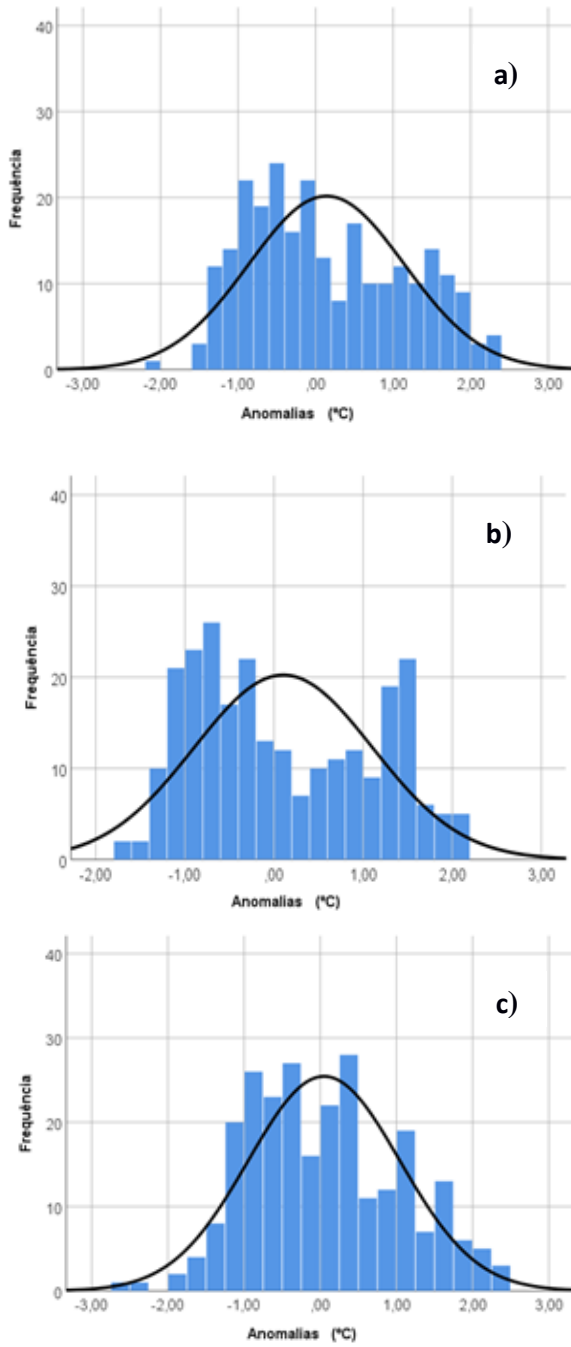


Figura 15. Frequência dos ITSM no AO (a), AN (b) e AS (c).

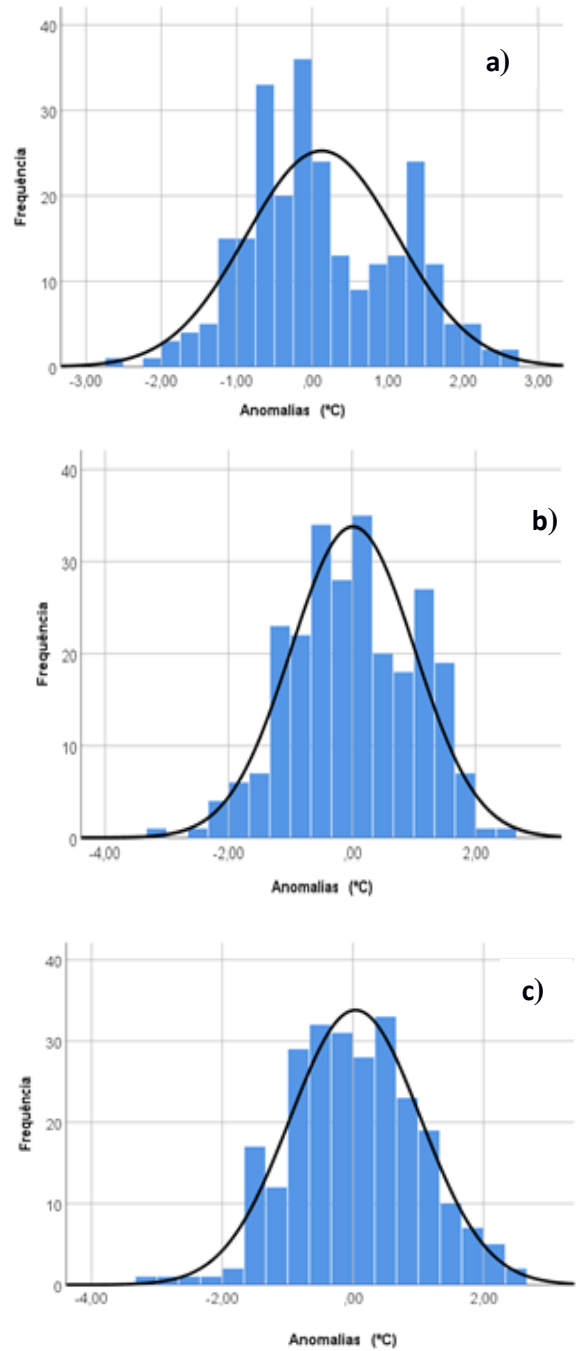


Figura 16. Frequência dos ITSM no OP (a), PN (b) e PS (c).

Conclusão

Durante o período desse estudo foi possível verificar através das análises das ondaletas, para o Oceano Atlântico, que a escala dominante em todos seus setores foi a de 22 anos (ligada à ODP), mostrando assim que através de teleconexões entre os Oceanos Atlântico e Pacífico, a ODP influencia mesmo em setores do Oceano Atlântico. Assim, verificou-se a grandeza da ODP, diante de sua dominância também no Oceano Atlântico. Foram verificadas também atuação de ENOS estendido, dipolo do Atlântico e ciclos de manchas solares.

No setor Norte do Atlântico, através da Ondaleta, não foi observada a presença de ENOS gerando influência nesse setor desse Oceano, Diferente do setor Sul do Atlântico, que registrou influência do ENOS.

Já para o Oceano Pacífico, as ondaletas, mais uma vez indicaram a escala dominante de 22 anos em todos seus setores (OP, PN, PS). Outros fenômenos que atuam no Oceano Pacífico, verificados através da análise de Ondaleta, foram o ENOS e ENOS estendido, em maior número no setor Sul (PS); resultado esperado, já que é nesse setor que ocorre esse fenômeno. Também foi visto a influência das manchas solares nos três setores do Oceano Pacífico.

Através do teste de Mann-Kendall verificou-se que os Oceanos Atlântico e Pacífico possuem uma tendência de aumento linear de ATSM, sendo que o Pacífico possuiu um aquecimento maior que o Atlântico.

Também é possível concluir que o setor Sul dos dois Oceanos (AS, PS) estão aquecendo mais do que setor Norte (AN, PN), tendo relação com a maior área dos Oceanos estarem no Hemisfério Sul, o qual obtém maior absorção de energia e assim há aquecimento maior. Todas as tendências verificadas através do teste de T-Student obtiveram significância estatística.

Os sinais dos intervalos de limites para as médias dos setores sul demonstram maior variabilidade das anomalias no AS e PS que no setor norte, possivelmente devido maior área continental no AN.

Através das análises de agrupamentos, encontrou-se que o setor Norte teve maior semelhança com bacia geral, tanto no Atlântico como no Pacífico, comprovando a importância das áreas continentais para o aquecimento dos oceanos. Esses resultados foram fortalecidos com os encontrados pelos “boxs plots” e distribuição de frequências.

O aquecimento do Pacífico também foi reforçado em todas estatísticas realizadas.

Referências

- Andreoli, R.V.; Kayano, M. T.; Guedes, R. L.; Oyama, M. D.; Alves, M. A. S. A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza, Revista Brasileira de Meteorologia, 19, 337-344, 2004.
- Araújo, L. E. A.; Da Silva, D. Influência da variabilidade climática sobre a distribuição espaço-temporal da precipitação no Baixo Paraíba (PB), Caminhos de Geografia, 12, 289-304, 2011.
- Araujo, R. G., Andreoli, R. V., Candido, L. A., Kayano, M. T., Souza, R. A. F. D. Influence of El Niño-Southern Oscillation and Equatorial Atlantic on Rainfall over Northern and Northeastern Regions of South America, Acta Amazonica 43 (4): 469-80, 2013.
- Barbosa, H. M. J.; Marengo, J. A. Análise Preliminar da TSM dos Modelos Acoplados Utilizados no IPCC-AR4. In: XV CBMET, São Paulo, Anais do XV CBMET, 2008.
- Bi, H. X., Liu, B., Wu, J., Yun, L., Chen, Z. H., Cui, Z. W. Effects of precipitation and land use on runoff during the past 50 year in a typical watershed in Loess Plateau, China, International Journal Sediment Research, 24, 352–364, 2009.
- Broecker, C. The Great Ocean Conveyor: Discovering the Trigger for Abrupt Climate Change. 212 p., Princeton, Princeton Univ. Press., 2010.
- Bolzan, M. J. A. Transformada em ondaleta: Uma necessidade, Revista Brasileira de Ensino de Física, 28(4): 563–567, 2006.
- Carvalho, L. C. O., Bernardo, S. O., Costa, P. D., Orgaz, M. D. J. M., Yamasaki, Y. Validação da Temperatura da Superfície do Mar a partir de medições de satélite. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE, p.7037, 2011.
- Castro, C. A. C. Interações Trópicos-Extratropicos na escala de tempo intra-sazonal durante o verão austral e seus efeitos na América do Sul. Dissertação de Mestrado, São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002.
- CIA – Central Intelligence Agency, 2019. Disponível em: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/zn.html>. Acesso em: Agosto de 2019.
- Clauzet, G.; Wainer, I. Identificação da variabilidade de baixa frequência em algumas regiões da costa sudeste-nordeste do Brasil. Revista Brasileira Oceanografia, v, 47, n, 1, p, 69-78, 1999.
- Cruciani, D. E.; Macahdo, R. ; Sentelhas, P. C. Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. Rev. bras. eng. agríc. ambient. [online], vol.6, n.1 [cited 2020-04-21], pp.76-82, 2002.

- Da Silva, D. F. Análise de aspectos climatológicos, ambientais, agroeconômicos e de seus efeitos sobre a Bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE). Tese (Doutorado em Recursos Naturais) Universidade Federal de Campina Grande, 174p, 2009.
- Da Silva, D. F. Aplicação de Análises de Ondaletas para Detecção de Ciclos e Extremos Pluviométricos no Leste do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32, 187–198, 2017.
- Damé, R.C.F.; Teixeira, C.F.A.; Souto, M.V. Análise de frequência dos dados de precipitação pluvial de algumas estações agroclimatológicas da região Sul do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, Santa Maria, 26, 351-355, 1996.
- De Moraes Neto, J. M.; Barbosa, M. P.; De Araújo, A. E. Efeito dos eventos ENOS e das TSM na variação pluviométrica do semi-árido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 11, 61-66, 2007.
- Echer, E.; Rigozo, N. R.; Nordemann, D. J. R.; Vieira, L. E. A.; Prestes, A.; Faria, H. H. O número de manchas solares, índice da atividade do sol. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, 25, 2003.
- Ferreira, A. G., Mello, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacíficos e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia*, vol 1, nº 1, 15-28p, 2005.
- Figueroa, S. N. Estudo dos sistemas de circulação de verão sobre a América do Sul e suas simulações com modelos numéricos. Tese (Doutorado em Meteorologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997.
- Hastenrath, S.; Heller, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil, *Quarterly. Journal of the Royal Meteorological Society*, 435, 77-92, 1977.
- Kayano, M. T.; Kousky, V. E. T. Tropical circulation variability with emphasis on interannual and intraseasonal time scales. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 11, 06 - 17, 1996.
- Kayano, M.T.; Andreoli, R.V.; Souza, R.A.F., Evolving anomalous SST patterns leading to ENSO extremes: relations between the tropical Pacific and Atlantic Oceans and the influence on the South American rainfall. *International Journal of Climatology*, 31: 1119-1134, 2011.
- Kendall, M. G., *Rank Correlation Methods*, 4th ed., Charles Griffin: London, 1975.
- Kerr, R. A. A now dawn for sun-climate links? *Science*. 271, 5254, 1360-1361, 1996.
- Kousky, V. E.; Kayano, M.T. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. *Journal of Climate*, 7, p, 1131-1143, 1994.
- Mann, H. B. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245-259, 1945.
- Mantua, N. J.; Hare, S.R.; Zhang, Y.; Wallace, J.M.; Francis, R.C: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin American Meteorology Society*, 78, 1069-1079, 1997.
- Marengo, J. A., Oliveira, G. S. 1998. Impactos do fenômeno La Niña no tempo e clima do Brasil: desenvolvimento e intensificação do La Niña 1998/1999. In: Congresso brasileiro de meteorologia, 10, Brasília, DF. Anais, Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, CD-ROM,.
- Mehta, V.; Delworth, T. 1995. Decadal variability of the Tropical Atlantic ocean surface temperature in shipboard measurements and in a global ocean-atmosphere model. *Journal of. Climate*, .8, 172-190,.
- Molion, L.C.B. 2005. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e oscilação decadal do Pacífico. *Revista Climanálise*, Cachoeira Paulista, 3, 1-5,.
- Morettin, P.A. 1999. Ondas e Ondaletas: Da Análise de Fourier à Análise de Ondaletas, EDUSP, p, 193,.
- Nóbrega, R. S., Santiago, G. A. C. F., Soares, D. B. 2016. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 18, 275-292,.
- Patino, C. M.; Ferreira, J. C. 2015. Intervalos de confiança: uma ferramenta útil para estimar o tamanho do efeito no mundo real. *J. bras. pneumol.* [online], 41, 565-566,.
- Pezzi, L. P., De Souza, R. B., Quadro, M. F. L. - 2016. Uma Revisão dos Processos de Interação Oceano-Atmosfera em Regiões de Intenso Gradiente Termal do Oceano Atlântico Sul Baseada em Dados Observacionais. *Rev. bras. Meteorol.*, 31 São Paulo out./dez. 2016 Epub 29-Set.
- Rayner, N. A., Parker, D. E., Horton, E. B., Folland, C. K., Alexander, L. V., Rowell, D. P. 2003. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air

- temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research*, 108, no. D14, 4407, doi:10.1029/2002JD002670,
- Robaina, A.D. 1996. Modelo para geração de chuvas intensas no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, 4, 95-98.,
- Rodríguez-Fonseca, B., Polo, I.; García-Serrano, J., Losada, T.; Mohino, E.; Mechoso, C. R.; Kucharski, F. 2009. Are Atlantic Niños enhancing Pacific ENSO events in recent decades?. *Geophysical Research Letters*, 36, L20705, doi:10.1029/2009GL040048,
- Santos, C. A. C.; Brito, J. I.B. 2007. Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22, 303-312.,
- Santos, E. H. M.; Griebeler, N. P; Oliveira, L. F. C. 2011.. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite-GO. *Eng. Agríc. [online]*, 31,
- Silva, R. A.; Silva, V. P. R; Cavalcanti, E. P.; Santos, D. N 2010. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14, 501-509.,
- Silva, M. T.; Alcântara, C. R., Souza, E. P.; Olinda, R. A.; Gonçalves, W. A. 2017. Influência da Temperatura da Superfície do Mar na Ocorrência de Linhas de Instabilidade na Costa Norte e Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32, 261-268.,
- Sivapalan, M.; Blöschl, G. 1998. Transformation of point rainfall to areal rainfall: intensity-duration-frequency curves. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 204, 150-167.,
- Smith, T. M.; Reynolds, R. W.; Peterson, T. C. 2008.; Lawrimore, J. Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880-2006). *Journal of Climate*, 21, 2283-2296,
- Souza Neto, P. F. 2019 Identificação de impactos da variabilidade climática sobre os Oceanos. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Meteorologia) - Universidade Federal de Alagoas.,
- Sperber, K. R.; Hameed, S. 1993. Phase Locking of Nordeste precipitation with sea surface temperatures. *Geophys. Res. Lett.*, 20, 113-116,
- Torrence, C., Compo, G. P., A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79, 61-78, 1998.
- Weng, H.; Lau, K-M. 1994. Wavelets, period doubling, and time-frequency localization with application to organization of convection over the Tropical Western Pacific. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 51, 2523-2541,
- Xu, Z. X.; Takeuchi, K.; Ishidaira, H.; LI, J. Y. 2005. Long-term trend analysis for precipitation in Asian Pacific river basins. *Hydrological Processes*, 19, 3517-3532,