Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

COERÊNCIA ENTRE VARIABILIDADE CLIMÁTICA DO OCEANO PACÍFICO E EVENTOS EXTREMOS CLIMÁTICOS EM SANTIAGO (CHILE)

Coherence between Pacific Ocean climate variability and extreme climate events in Santiago (Chile)

Coherencia entre la variabilidad climática del Océano Pacífico y los eventos climáticos extremos en Santiago (Chile)

Djane Fonseca da Silva
Programa de Pós-graduação em Meteorologia Instituto de Ciências atmosféricas (ICAT), Universidade Federal de Alagoas - UFAL)
djanef.dasilva@icat.ufal.br

Mary Toshie Kayano
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
mkayano211@gmail.com

Pedro Fernandes de Souza Neto
Unidade Acadêmica de Ciências atmosféricas (UACA/CTRN), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
piurosfernandes@hotmail.com

Fabrício Daniel dos Santos Silva
Programa de Pós-graduação em Meteorologia Instituto de Ciências atmosféricas (ICAT), Universidade Federal de Alagoas - UFAL)
fabricio.santos@icat.ufal.br

Resumo: O Chile está entre os 10 principais exportadores agrícolas do mundo e vem sofrendo com os eventos extremos e mudanças climáticas. Desse modo, o objetivo desse trabalho é identificar e quantificar a relação entre índices climáticos e variáveis meteorológicas de Santiago, com a intenção de auxiliar uma melhor previsão climática local, além de trazer mais detalhes a respeito da influência do Oceano Pacífico sobre a localidade de estudo. Foram submetidos à Análise de Ondaletas dados diários de temperatura média e

precipitação em Santiago, para os anos de 1961 a 2017 e essas séries, para o mesmo período, foram analisadas junto às séries dos índices de Oscilação Sul e da Oscilação Decadal do Pacífico por meio da Análise de Coerência de Ondaletas. A série de temperatura mostrou-se sob influência do ciclo de manchas solares e do El Niño Oscilação Sul, no entanto, a Oscilação Decadal do Pacífico também influenciou nos totais de chuva local. Através das Análises de Ondaletas Cruzadas encontrou-se fortes coerências mostrando que com o acompanhamento climático da variabilidade do Oceano Pacífico através de seus índices, pode-se prever estatisticamente e antecipadamente os extremos de temperatura e precipitação para Santiago.
Palavras-chave: El Niño Oscilação Sul. Oscilação Decadal do Pacífico, Extremos climáticos. Ondaletas Cruzadas.

Abstract: Chile is among the top 10 agricultural exporters in the world and has been suffering from extreme events and climate change. Thus, the objective of this work is to identify and quantify the relationship between climate indices and meteorological variables in Santiago, with the intention of helping a better local climate forecast, in addition to providing more details about the influence of the Pacific Ocean on the study location. Daily data on average temperature and precipitation in Santiago were submitted to Wavelet Analysis for the years 1961 to 2017 and these series, for the same period, were analyzed together with the series of the South Oscillation and Pacific Decadal Oscillation indices by means of the Coherence Analysis of Wavelets. The temperature series was influenced by the sunspot cycle and the El Niño Southern Oscillation; however, the Pacific Decadal Oscillation also influenced the local rainfall totals. Through the Crossed Wavelet Analysis, strong coherences were found, showing that with the climatic monitoring of the variability of the Pacific Ocean through its indices, it is possible to predict, statistically and in advance, the extremes of temperature and precipitation for Santiago.
Keywords: El Niño Southern Oscillation. Pacific Decadal Oscillation. Climatic extremes. Crossed Wavelets.

Resumen: Chile se encuentra entre los 10 principales exportadores agrícolas del mundo y ha estado sufriendo los efectos de los fenómenos extremos y el cambio climático. Así, el objetivo de este trabajo es identificar y cuantificar la relación entre los índices climáticos y las variables meteorológicas en Santiago, con la intención de ayudar a un mejor pronóstico del clima local, además de traer más detalles sobre la influencia del Océano Pacífico en el lugar de estudio. Los datos diarios de temperatura y precipitación promedio en Santiago, para los años de 1961 a 2017, fueron sometidos a análisis de onditas y estas series, para el mismo período, fueron analizadas junto con las series de los índices de Oscilación del Sur y Oscilación Decadal del Pacífico a través de Análisis de onditas cruzadas. La serie de temperatura estuvo influenciada por el ciclo de manchas solares y la Oscilación del Sur de El Niño, sin embargo, la Oscilación Decadal del Pacífico también influyó en los totales de lluvia locales. A través del Análisis de onditas cruzadas se encontró fuerte coherencia, mostrando que con el monitoreo climático de la variabilidad del Océano Pacífico a través de sus índices, es posible predecir estadísticamente y con anticipación los extremos de temperatura y precipitación para Santiago.
Palabras clave: El Niño Oscilación del Sur. Oscilación Decadal del Pacífico. Climas extremos. Onditas cruzadas.

Submetido em: 07/06/2022
Aceito para publicação em: 29/09/2022
Publicado em: 23/11/2022

1. INTRODUÇÃO

Os relatórios do IPCC indicam uma situação inquietante quanto ao aumento da temperatura no planeta. A previsão é a de que a temperatura global deverá aumentar, nos próximos 100 anos, entre 1,4°C e 5,8°C, considerando a média de 1990 como referência. Confirmando de maneira clara e objetiva os argumentos anteriores, os relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007a e 2007b) também indicaram uma situação inquietante quanto ao aumento da temperatura no planeta e seus efeitos nas atividades humanas futuras. Considerando as causas naturais e antropogênicas, a previsão é a de que a temperatura global deverá aumentar, até o final do século vinte e um, entre extremos de 1,2°C e 6,4°C tendo a média de 1961-1990 como referência (PINTO, 2009).

Ao mesmo tempo, eventos extremos de chuva e seca estão sendo relacionados à ocorrência de desastres naturais (Marengo, 2009; Souza et al., 2014) associados simultaneamente com o aumento da população nos grandes centros urbanos e a frequência e intensidade desses desastres estão associados às variabilidades e mudanças climáticas (IPCC, 2021).

A forte variabilidade climática no Chile inclui anos com secas e com precipitação acima da média associadas ao El Niño Oscilação do Sul (ENSO), em sua fase "El Niño" e "La Niña", respectivamente (MONTECINOS e ACEITUNO, 2003; ZAMORA AGUIRRE, 2020). A variabilidade climática sazonal se caracteriza pela concentração da precipitação em poucos meses da estação de inverno, principalmente entre junho e agosto, devido ao predomínio do Anticiclone do Pacifico Sul (APS), que apresenta um deslocamento para o norte no inverno austral e para o sul no verão austral, associado aos máximos de radiação solar, de modo a permitir que as frentes frias associadas a ciclones migratórios, guiadas pelo fluxo de oeste, contribuam com precipitação na região no inverno (GARREAUD e ACEITUNO, 2002).

De acordo com Henríquez et al. (2016), no Chile, os modelos climáticos regionais estimam para as próximas décadas um aumento das temperaturas e uma diminuição das precipitações, especialmente na região Central, enquanto para a região Norte é prevista maior incerteza. Outros modelos também utilizados para a projeção de índices climáticos extremos (Villarroel, 2013), como temperaturas máximas e mínimas e precipitação, reafirmam tais tendências.

Desse modo, segundo Rocha et al. (2019), os riscos de extremos hidroclimáticos para um local ou região estão associados aos modos de variação do clima, em suas diversas escalas temporais. Os autores encontraram resultados que permitiram estabelecer uma relação entre a precipitação da Bacia hidrográfica do rio São Francisco e os índices da Oscilação Decenal do Pacífico (ODP) e da Oscilação Multidecenal do Atlântico (OMA), indicando que um modelo baseado nesses índices da variabilidade dos oceanos pode ter alguma capacidade preditiva do comportamento da precipitação local. Notou-se também que períodos com fases simultaneamente positivas (negativas) da ODP e OMA resultam em um comportamento mais previsível das precipitações da região, com valores abaixo (acima) do normalmente esperado.

A compreensão da variabilidade de baixa frequência (multidecenal) ganha uma elevada importância por estar associada a longos períodos de secas consecutivas em algumas áreas do planeta (Marengo, 2016). A presença de padrões de variação de baixa e média frequência na pluviometria já foi identificada por alguns estudos em algumas regiões e foram associadas a fenômenos naturais como os ciclos solares e flutuações de anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) (Andreoli et al., 2004; Kayano e Oliveira, 2008; Silveira et al. 2015; Zuffo, 2015; Oliveira et al., 2017; Bonfim et al., 2020).

A Transformada de Ondaletas (TO) Cruzada é uma extensão bivariada da TO, utilizada para compreender a relação entre duas séries temporais, através da Análise de Coerência de Ondaletas (WTC). Pesquisas empregaram essa estatística buscando um melhor entendimento das teleconexões entre eventos extremos e padrões climáticos de larga escala (Chang et al., 2017; Kuss e Gurdak, 2014; Novello et al., 2012; Tang et al., 2014; Vásquez et al., 2018; Wang et al., 2017; Vale et al., 2020).

Rigozo et al. (2007), também utilizando a Análise de Coerência/WTC entre as séries temporais de manchas solares e anéis de árvores no Chile, encontraram que em torno de 11 anos a relação entre as séries é mais significativa durante os períodos de alta atividade solar (grande máximo) do que durante os períodos de baixa atividade solar (grande mínimo).

Rocha et al. (2019) também utilizando a WTC, indicaram que a existência de “bandas” fora de fase identificadas entre o SPI e a AMO indica um possível *lag* no relacionamento dessas séries, o que pode também explicar as relações das variáveis fora de fase.

Idalino et al. (2020) estudaram a variabilidade de temperatura e precipitação na região do Monte Melimoyu, Chile, com dados entre 1950 e 2017, apara analisar a possível influência

do ENOS e pela proximidade com o oceano Pacífico. Os autores realizaram testes com os dados do ENOS e esses não mostram correlação direta com a variação negativa de precipitação e com o aumento de temperatura na região, e sugeriram que o fator de localização e as características morfológicas podem ser os maiores influenciadores no clima local.

A identificação e quantificação da relação entre índices climáticos e variáveis meteorológicas auxilia na utilização dos mesmos para uma melhor previsão climática para Santiago, o que vem a ser o objetivo dessa pesquisa, além de trazer mais detalhes a respeito da influência do Oceano Pacífico sobre a localidade objeto de estudo.

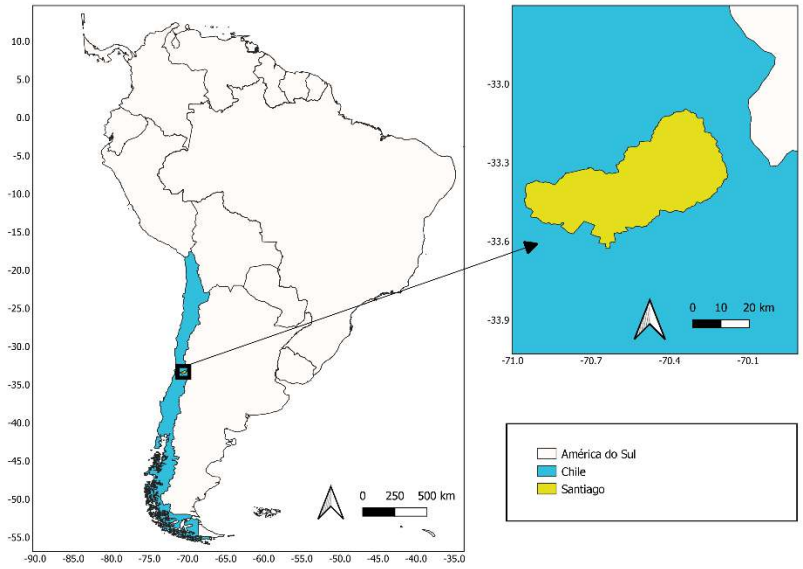
2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização da área de estudo

A cidade de Santiago (lat 33° 26' 16" S; lon 70° 39' 01" O, 570 m alt.) está localizada principalmente em um vale chamado "vale central". Este vale é parte da conhecida Depressão Intermediária e está delimitado pelo cordão Chacabuco no norte, a Cordilheira dos Andes no leste, a Angostura de Paine no sul e a Cordilheira da Costa no oeste.

Santiago (Figura 1) está localizada na Bacia hidrográfica do rio Maipo, que possui uma superfície de aproximadamente 15.380 km². De acordo com a Dirección Meteorológica de Chile, (2017), o clima de Santiago corresponde ao clima temperado, com chuvas no inverno e estação seca prolongada. A principal característica climática de Santiago é a concentração de cerca de 80% das precipitações durante os meses principalmente de inverno (maio a setembro), variando entre 50 e 80 mm. por mês (Dirección Meteorológica de Chile, 2017).

Figura 1: Chile na América do Sul e sua capital, Santiago, em Vermelho.



Fonte: Autores (2022)

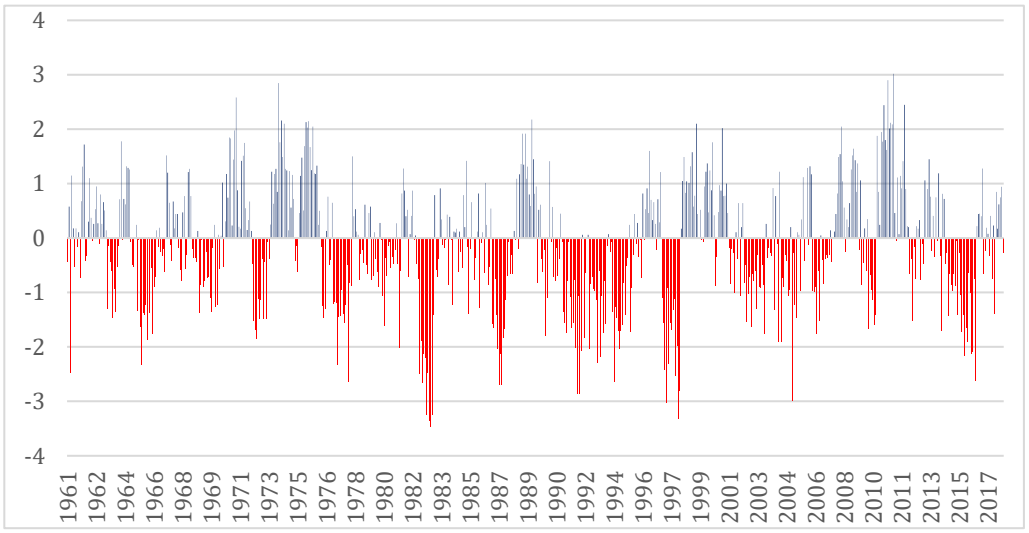
2.2. Procedimentos Metodológicos

Foram usados dados diários (sem falhas) de temperatura média e precipitação em Santiago, capital do Chile, para os anos de 1961 a 2017, obtidos através da Dirección Meteorológica de Chile. Índices normalizados de temperatura (Temp) e de precipitação (Prp) foram calculados e submetidos à Análise de Ondaletas (AO) com a Ondaleta-mãe de Morlet e procedimento descrito por Torrence e Compo (1998), utilizando o Software Matlab®.

Foram obtidos os índices climáticos Índice de Oscilação Sul (IOS) e da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) para o período de 1961 a 2017, extraídos do site da National Oceanic and Atmospheric Administration em https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/.

O IOS (Figura 2) é uma medida da diferença da pressão atmosférica ao nível médio do mar (PNM) entre as localidades de Darwin, Australia (12ºS e 130ºE) e de Tahiti (17ºS e 150ºW). Valores negativos do IOS caracterizam eventos de El Niño, ao passo que valores positivos, episódios de La Niña. O termo El Niño refere-se ao aumento da temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico tropical, e o termo La Niña, ao resfriamento da TSM (Blain e Kayano, 2011).

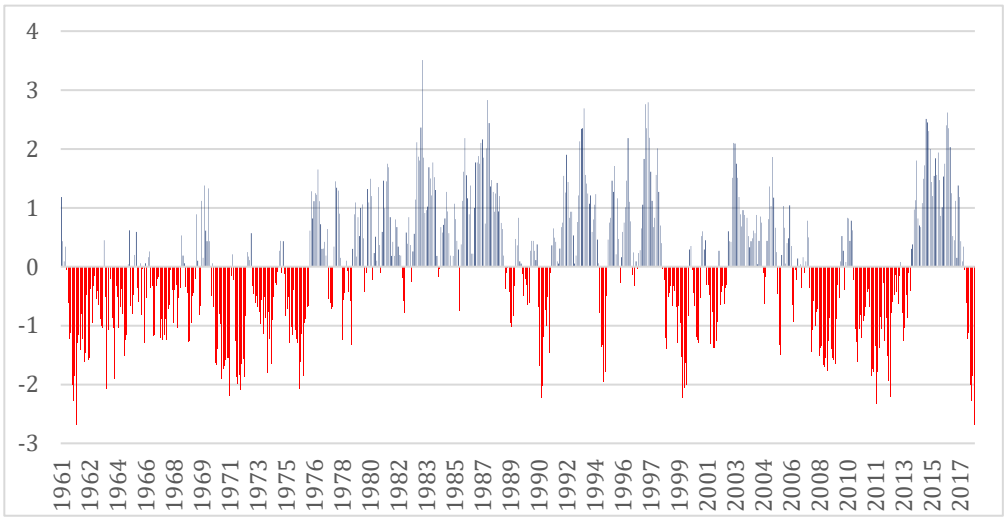
Figura 2: Série dos dados de IOS, de 1961-2017, usados neste trabalho.



Fonte: Autores (2022)

A ODP (Figura 3) começou a ser estudada no final da década de 1990 por Mantua *et al.* (1997), mencionadas como variações de baixa frequência da TSM do Oceano Pacífico Esta Oscilação apresenta variabilidade temporal de aproximadamente 60-70 anos. No decorrer da fase quente da ODP, ocorre aprofundamento da baixa pressão das Aleutas, causando resfriamento anômalo a oeste e o centro do Pacífico Norte e aquecimento anômalo no Oceano Pacífico Tropical central e leste. Uma marcante característica da ODP é a persistência das fases quentes (positivas) ou frias (negativas) prevalentes por anos seguidos, por vezes, ao longo de duas décadas.

Figura 3: Série dos dados de ODP, de 1961-2017, usados neste trabalho.



Fonte: Autores (2022)

Foram submetidas às análises de ondaletas (AO) as séries de temperatura e precipitação para todo o período de dados, com intuito de identificar as escalas temporais dos sistemas/fenômenos meteorológicos dominantes ao longo das séries, e os períodos de atuação destes sistemas.

Os índices Temp e Prp são anomalias da variável, calculados a partir da climatologia mensal e normalizados pelo respectivo desvio padrão (Kousky e Chu, 1978; Aceituno, 1988; Andreoli et al., 2004; Da Silva, 2009; Bonfim et al., 2020):

(1) $$AVar_{i,j} = \frac{(Vari,j - \overline{Var}i)}{\sigma i}$$

Em que: AVari,j é a anomalia normalizada da variável no ano j = 1, 2, 3, ..., N e mês i = 1, 2, 3, ..., 12; Vari,j é variável no ano j = 1, 2, 3, ..., N e mês i = 1, 2, 3, ..., 12, da qual foi calculada sua anomalia; $\overline{Var}i$ é a média climatológica do mês i e σi é o desvio padrão do mês i.

O termo ondaleta, ondeleta ou wavelet estende-se a um conjunto de funções com forma de pequenas ondas produzidas por dilatações e translações de uma função simples ψ(t) de variável real t, eventualmente chamada de ondaleta-mãe ou ondaleta básica. A ondaleta-mãe de Morlet (Torrence e Compo, 1998) é complexa e possui características semelhantes aos de sinais meteorológicos, tais como simetria ou assimetria e variação temporal brusca ou suave (Morettin, 1999).

Estes critérios são adotados para a utilização da ondaleta para identificações de variações de diferentes escalas temporais (Weng e Lau, 1994) e é definida pela seguinte expressão, também utilizada em Andreoli et al. (2004), Blain e Kayano (2011), Da Silva (2017):

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

Em que: i = parâmetro de dilatação e compressão da onda, t = tempo e ω_0 é uma frequência não-dimensional (lag1 = 0,7), escolhidos conforme Andreoli et al. (2004); Todos introduzidos no "script" de programação do Software Matlab®.

Autores como Torrence e Webster (1999) e Grinsted et al. (2004), Apud Blain e Kayano (2011), indicam que a coerência das Transformadas contínuas da Ondaleta (CWT) de duas séries temporais X e Y pode ser descrita por:

(3) $$R_n^2(s) = \frac{\left|S(s^{-1}W_n^X(s)\right|^2}{S(s^{-1}\left|W_n^X(s)\right|^2)S(s^{-1}\left|W_n^Y(s)\right|^2)}$$

Em que: Rn é a coerência; S é um operador de suavização.

De acordo com Grinsted et al. (2004), é interessante interpretar a Equação 3 como sendo o coeficiente de correlação de Pearson, localizado no espaço tempo-frequência (Blain e Kayano, 2011).

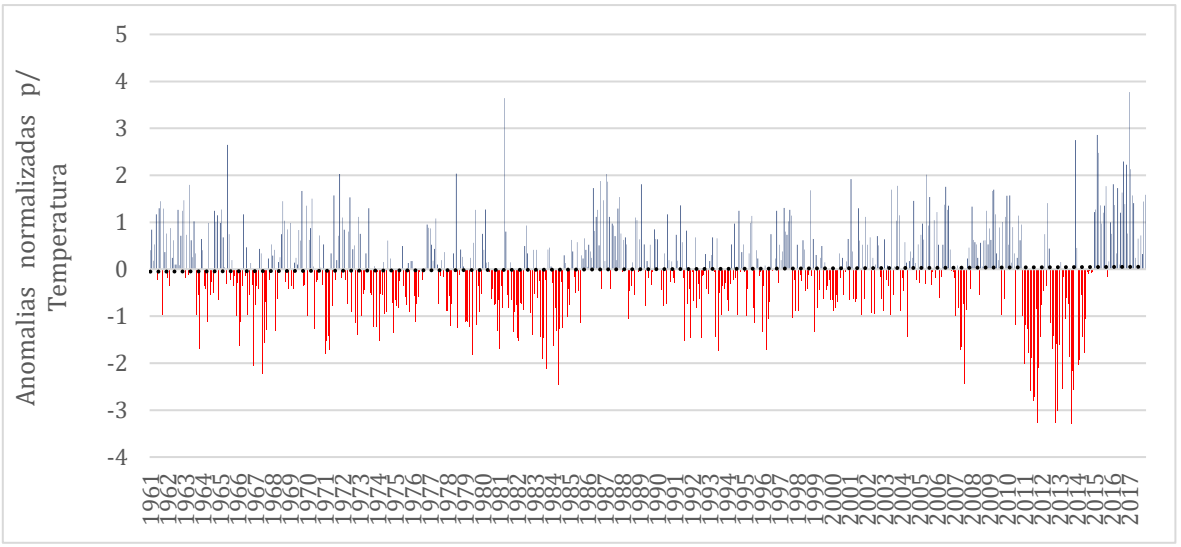
A descrição completa desse método é dada em Grinsted *et al.* (2004) e acrescenta-se que a análise cruzada de ondaletas foi aplicada utilizando o algoritmo elaborado por Aslak Grinsted - Copyright (C) 2002/2004 no Software Matlab.

3. DESENVOLVIMENTO

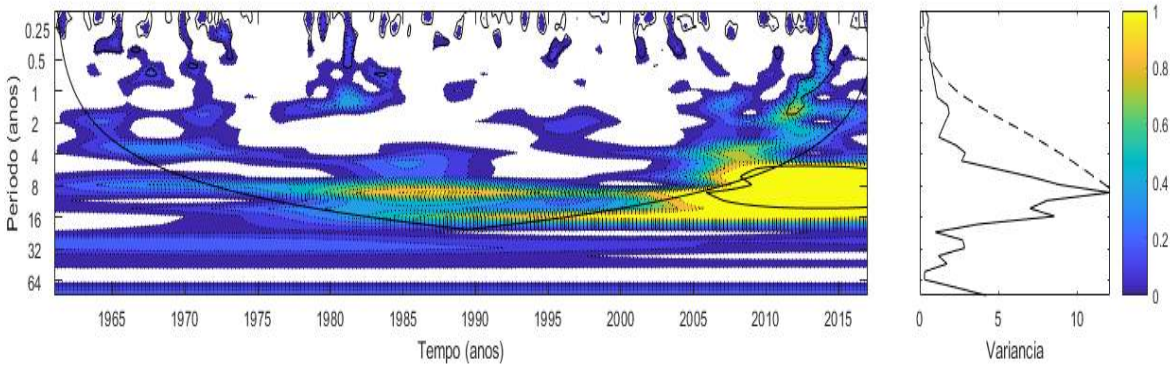
Na série de temperatura (Figura 4b), as AO apontaram que o ciclo dominante é da escala de 11 anos (Figura 4c), associado ao ciclo de manchas solares de Schwabe (11 anos) (Beer et al., 2000; Oliveira et al., 2017).

As anomalias positivas de temperatura em 1965 e 1981 ocorreram devido junção da atuação da escala sazonal (0,25 anos), semestral (0,5 anos) e de El Niño-Oscilação Sul (ENOS;1 a 2 anos), já que entre junho a agosto o El Niño atuante ocasiona clima quente no local (INPE, 2020). Nesses anos a escala de 11 anos do ciclo solar também esteve presente, mas em fraca e moderada atividade, respectivamente. As anomalias negativas de 2011 a 2014 podem estar ligadas aos ciclos de manchas solares de 11 (ciclo de Schwabe) e de 22 anos (ciclo de Hale), conforme aponta o espectro de energia da AO. Já o sequente aumento na temperatura de 2015 a 2017 (Figura 4a) foi devido à atuação desses ciclos ocorrerem simultaneamente às escalas sazonais, semestrais, de ENOS e das manchas solares, quando volta a causar às maiores temperaturas em Santiago. No final de 2016, a interação descrita foi a causa da maior anomalia positiva registrada na série, com 3,77˚C acima da média (Figura 4a).

Figura 4: a) Índice de temperatura (Temp) para Santiago (Chile) normalizado pelo desvio padrão; b) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Temp. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.



a)

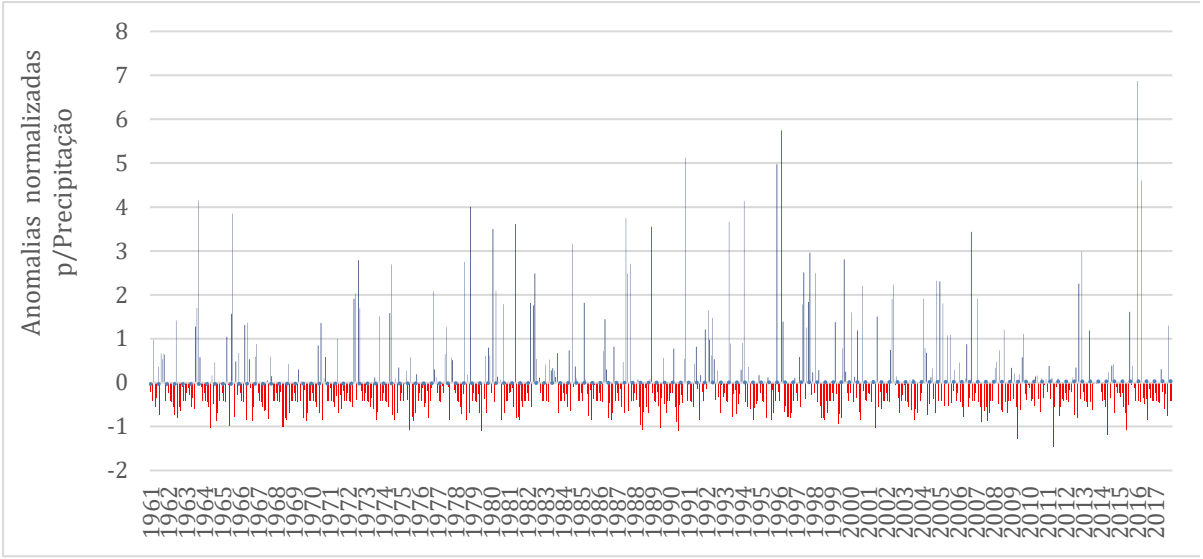


b) c)

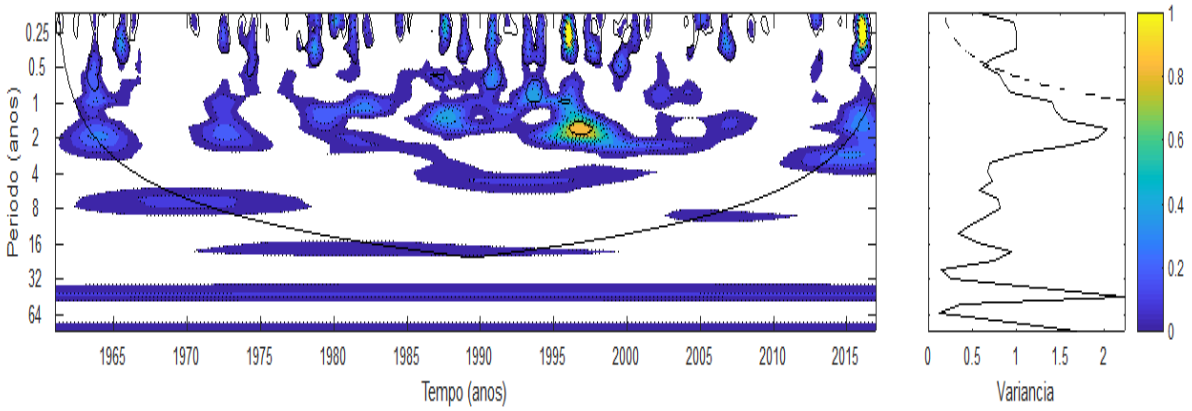
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Já as fortes anomalias positivas de precipitação (Figura 5a) registradas em 1963, 1965, 1990, 1996 e 2016 ocorreram devido atuação simultânea das escalas sazonal (0,25 anos), semestral (0,5 anos) e da ocorrência de ENOS (1 a 2 anos), e essa interação foi mais forte em 1996 e 2016 (Figura 5b), causando os maiores registros de chuvas, já que El Niño proporciona chuvas acima da média no Chile (INPE, 2020) e associado a esses sistemas meteorológicos, potencializa o evento.

Figura 5: a) Índice de precipitação (Prp) para Santiago (Chile) normalizado pelo desvio padrão; b) Espectro de potência de ondaleta (EPO) para Prp. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante; c) Espectro de potência global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.



a)



b) c)

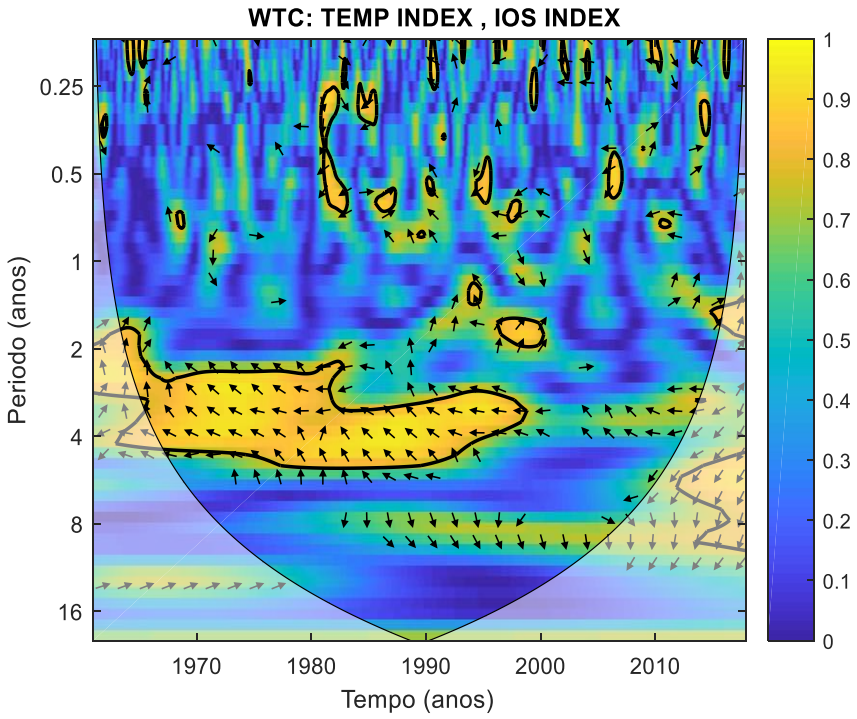
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Em 1996/97 e 2016 pode-se notar também que as precipitações em Santiago são influenciadas pela escala do ENOS estendido, até 8 anos. No entanto, as escalas dominantes sobre a pluviometria local são: entre 1 a 2 anos (ENOS), 35 anos e 65 anos (Figura 5c). O ciclo de 35 anos está relacionado ao período de periastro lunar, e é objeto de investigação nos Países Baixos ainda no início do século 17, ganhando notoriedade com os estudos de mudanças nos níveis do mar Cáspio conduzidos pelo Professor alemão Eduard Brückner, motivo pelo qual a periodicidade é ora conhecida como Ciclos de Brückner (Oliveira et al., 2017). Já ciclos de 65 a 80 anos podem estar associados ao fluxo de ferro líquido no núcleo

externo da Terra, onde o campo magnético terrestre se origina, podendo provocar flutuações de até 0,2ºC na temperatura superficial global (Dickey et al., 2011). Os ciclos de 65 a 80 anos podem também estar relacionados à ODP e à OMA (Oliveira et al., 2017).

As séries de temperatura e IOS (de 1961-2017) (Figura 6) apresentam maior coerência entre 2 e 4 anos (WTC), de 1961 a 1999, no entanto, em maior parte dos anos, fora de fase (setas para esquerda), ou seja, os máximos valores de temperatura ocorrem 1 a 2 anos depois do máximo de IOS. Em alguns anos dentro desse período citado, as séries apresentaram coerência com ângulo de 135°, indicando que o máximo de temperatura ocorre de 9 a 18 meses depois do máximo de IOS. Já na escala de 8 anos, entre 1985 até final da série, com setas para baixo, mostra que o máximo de temperatura ocorre 2 anos antes do máximo de IOS.

Figura 6: Ondaleta cruzada de coerência (WTC) entre a temperatura e IOS para o período de 1961-2017. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.



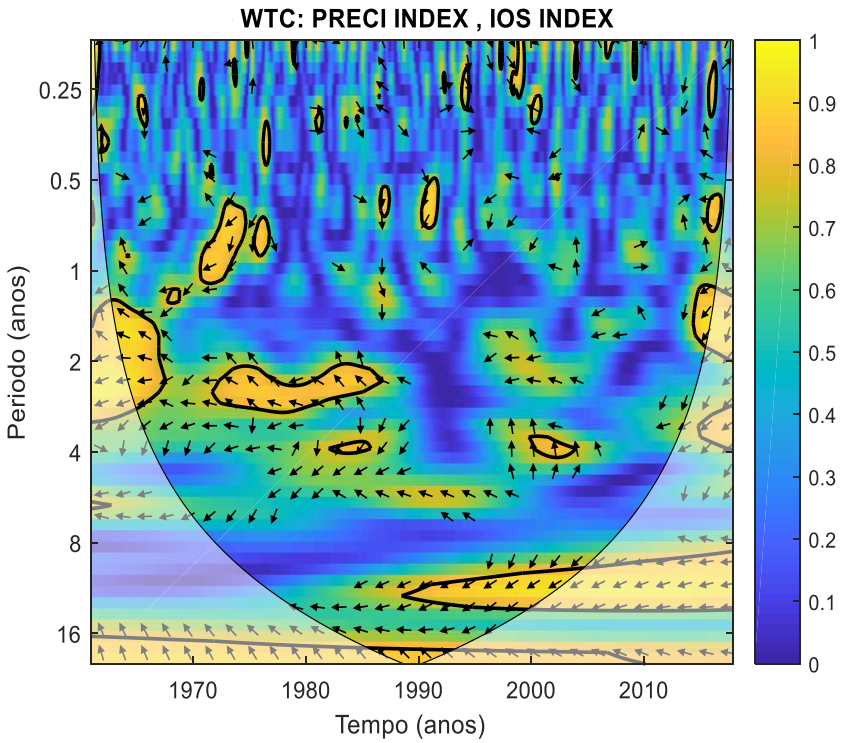
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

O WTC entre precipitação e IOS (Figura 7) apresentou coerência entre 1,5 e 3,5 anos, mas fora de fase (seta para esquerda), de 1961 a 1969, com o máximo de IOS coincidindo com o mínimo de precipitação. De 1972 a 1988 as séries estão fora de fase novamente para a escala

entre 1,5 e 3,5 anos, mas com ângulo de 135°, indicando que o máximo de precipitação ocorre de 6,7 a 15,7 meses depois do máximo de IOS.

Máxima coerência também é observada na escala de 11 anos com ângulo de -135°, para esquerda, indicando fora de fase durante o período de 1989 ao fim da série em 2017 (Figura 7). O WTC entre precipitação e IOS mostra que de 1989-2017, o máximo de IOS ocorre 1,375 anos ou 16,5 meses antes do mínimo de precipitação.

Figura 7: Ondaleta cruzada de coerência (WTC) entre a precipitação e IOS para o período de 1961-2017. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.

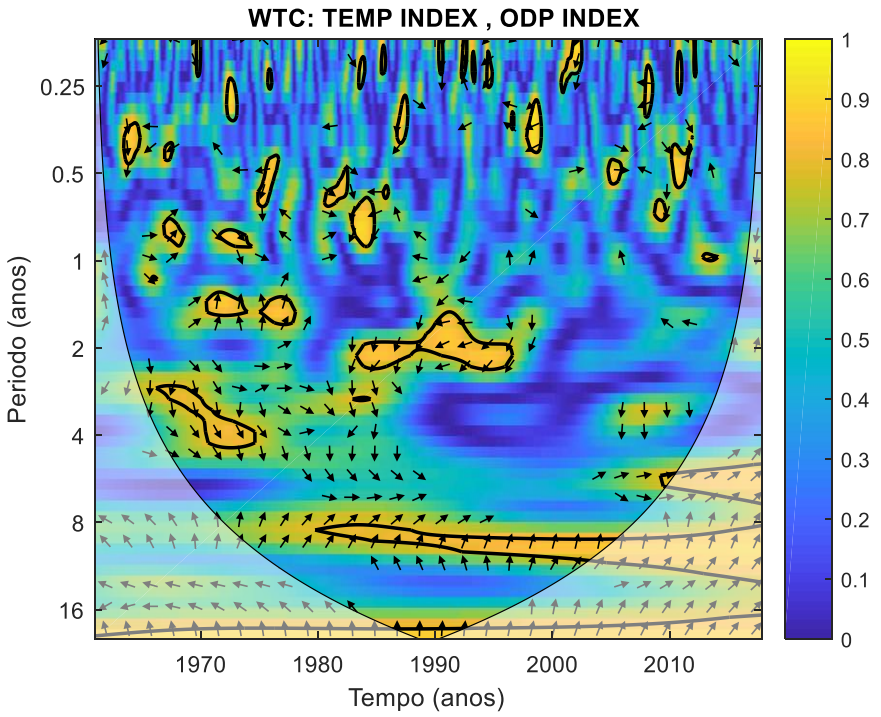


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

O WTC entre Temperatura e ODP (Figura 8) apresentou maior coerência entre 1 a 2 anos, 2 a 4 anos, e em 8 anos. Em 1975 (Figura 8), por exemplo, na escala de 1 a 2 anos, com ângulo de 90°, o máximo de temperatura ocorre depois de 6 meses a 1 ano após o máximo de ODP. Já entre 1989 e 2009, com a coerência máxima em 8 anos, as variáveis relacionam-se com ângulo de +90°, significando que o máximo de temperatura ocorre 2 anos ou 24 meses após o máximo de ODP, já que as setas estão para cima. Ainda na Figura 8, na escala de 2 anos, de 1982 a 1993, Temperatura e ODP estão em antifase (180°), ou seja, o máximo de

temperatura coincide com o mínimo de ODP. Na escala entre 2 e 4 anos, de 1969 a 1972, as variáveis estão fora de fase com -45°, com máximo de temperatura ocorrendo de 3 a 6 meses antes do máximo de ODP.

Figura 8: Ondaleta cruzada de coerência (WTC) entre a temperatura e ODP para o período de 1961-2017. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.

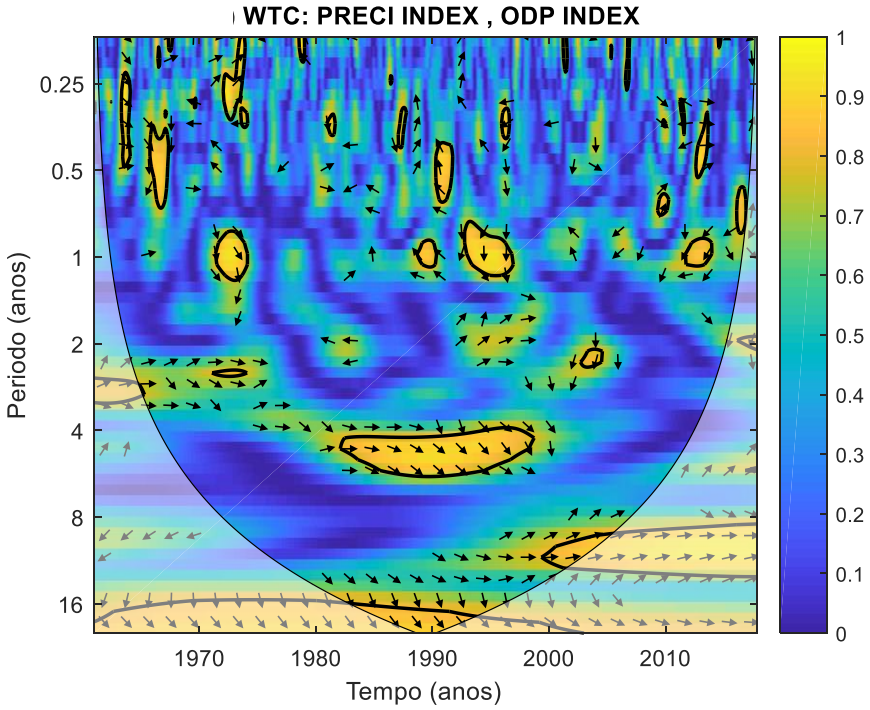


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Já na Figura 9, o WTC de precipitação e ODP mostrou maior coerência entre 2 e 4 anos, de 1961 a 69, quase em fase. De 1981 a 1999 as séries apresentaram-se com defasagem de -45 graus na escala entre 4 e 8 anos, ou seja, o máximo de ODP ocorrendo de 18 meses a 36 meses antes do mínimo de precipitação. Esse resultado também está de acordo com Rocha et al. (2019).

Os extremos das variáveis apresentaram coerência com a variabilidade do Oceano Pacífico como também ocorreu em Blain et al. (2007) e Blain e Kayano (2011). Desse modo, com o acompanhamento climático da variabilidade do Oceano Pacífico através dos índices IOS e ODP, pode-se prever estatisticamente e antecipadamente os extremos de temperatura e precipitação para Santiago.

Figura 9: Ondaleta cruzada de coerência (WTC) entre a precipitação e ODP para o período de 1961-2017. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Com os resultados encontrados aqui, gerou-se um quadro resumindo as melhores coerências entre as variáveis (Quadro 1):

Quadro 1 : Melhores coerências entre as variáveis do estudo.

Variável 1	Tempo de coerência	Variável 2
máximo de temperatura	1 a 2 anos depois	máximo de IOS
máximo de precipitação	6,7 a 15,7 meses depois	máximo de IOS
máximo de temperatura	6 meses a 1 ano depois	máximo de ODP
o máximo de ODP	18 meses a 36 meses antes	mínimo de precipitação

Fonte: Autores (2022).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na série de temperatura a escala dominante é a associada ao ciclo de manchas solares e as anomalias positivas de temperatura ocorreram devido junção da atuação de várias escalas que ocorreram simultaneamente, incluindo a influência de ENOS.

Essa mesma interação entre escalas distintas ocasionou fortes anomalias positivas de precipitação, mas a ODP também influenciou nos totais de chuva local.

As análises de Ondaletas cruzadas mostraram fortes coerências entre os máximos valores de temperatura e máximo de IOS; o máximo de precipitação e máximo de IOS; o máximo de temperatura e máximo de ODP e entre o máximo de ODP e mínimo de precipitação.

Assim, com o acompanhamento climático da variabilidade do Oceano Pacífico através dos índices IOS e ODP, pode-se prever estatisticamente e antecipadamente os extremos de temperatura e precipitação para Santiago.

Por fim, os autores consideram a metodologia válida e eficaz, apropriada à previsão climática das variáveis, predição climática, planejamento, prevenção, mitigação de riscos, e busca de novos limiares de adaptação.

REFERÊNCIAS

ACEITUNO, Patricio. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part 1: Surface climate, **Mon. Wea. Rev.**, v. 116, n. 3, p. 505-524, 1988.

ANDREOLI, Rita Valéria; KAYANO, Mary Toshie; GUEDES, Roberto Lage; OYAMA, Marcos Daisuke; ALVES, Maria Aparecida Senaubar. A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 3, p. 337-344, 2004.

BEER, Juerg; MENDE, Werner; STELLMACHER, Rita. The role of the sun in climate forcing. **Quaternary Science Reviews**, v. 19, p. 403-415, 2000.

BLAIN, Gabriel Constantino; KAYANO, Mary Toshie. 118 Anos de dados mensais do Índice Padronizado de precipitação série meteorológica de Campinas, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.1, p.137-148, 2011.

BLAIN, Gabriel Constantino. et al. Distribuição temporal da precipitação pluvial mensal observada no Posto Meteorológico do Instituto Agronômico, em Campinas, SP. **Bragantia** [online]. 2007, v. 66, n. 2 pp. 347-355. 2007.

BONFIM, Osmar Evandro Toledo; DA SILVA, Djane Fonseca; KAYANO, Mary Toshie; ROCHA, Lucas Henrique dos Santos. Análise dos Eventos Climáticos Extremos e de suas Causas Climáticas para Redução de Riscos nas Bacias Hidrográficas Aguapeí e Peixe. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. Especial, 755-768, 2020.

CPTEC/INPE. La Niña. El Niño. 2020. Disponível em: http://enos.cptec.inpe.br/. Acesso em 20/03/2021.

CHANG, Bo; MENG, Lili; HABER, Eldad; RUTHOTTO, Lars; BEGERT, David; HOLTHAM, Elliot. Reversible architectures for arbitrarily deep residual neural networks. n Proceedings of the AAAI **Conference on Artificial Intelligence**, Vol. 32, N. 1.

DA SILVA, Djane Fonseca. **Análise de aspectos climatológicos, agroeconômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a Bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL E PE).** 2009. 212 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - UFCG, Campina Grande-PB, 2009.

DA SILVA, Djane Fonseca. 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.

DICKEY, Jean O.; MARCUS, Steven L.; De VIRON, Olivier. Air Temperature and Anthropogenic Forcing: Insights from the Solid Earth. **Journal of Climate**. 24(2):569-574, 2011.

GARREAUD, René; ACEITUNO, Patricio. Atmospheric circulation over South America: mean features and variability. In: VEBLEN, T.; ORME, A.; YOUNG, K. (Ed.). **The physical geography of South America**. Oxford: Oxford University Press, 2002. 33 p.

GRINSTED, Aslak; MOORE, John C.; JEVREJEVA, S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. **Nonlinear Processes in Geophysics**, 11, 561– 566, 2004.

HENRÍQUEZ, Cristián; ASPEE, Nicolle; QUENSE, Jorge. Zonas de catástrofe por eventos hidrometeorológicos en Chile y aportes para un índice de riesgo climático. **Revista de Geografía Norte Grande**, núm. 63, mayo, 2016, pp. 27-43.

IDALINO, F. D.; VALENTE, P. T.; DA ROSA, K. K.; SIMÕES, J. C. VARIABILIDADE DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA MÉDIA SUPERFICIAL DO AR NO NORTE DA REGIÃO DE AISÉN – CHILE, NO PERÍODO DE 1950-2017. **Revista GeoUECE**, *[S. l.]*, v. 9, n. 2 Especial, p. 06–23, 2020. Disponível em: https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/2187. Acesso em: 10 ago. 2022.

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change**: Climate change the physical science basis." Agu fall meeting abstracts. Vol. 2007a. 2007.

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007b**. Impacts, adaptation and vulnerability summary for policymakers. 2007b. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Chang.

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021**. Sumário para Formuladores de Políticas. Em: Mudança do Clima 2021: A Base da Ciência Física. Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Org. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A

KAYANO, Mary Toshie; OLIVEIRA, Cristiano Prestrelo. Diferenças associadas à oscilação decenal do Pacífico nas relações interanuais de precipitação na América do Sul e temperatura da superfície do mar. Zaragoza. In: **Jornadas Científicas de la AME**, 2008.

KAYANO, Mary Toshie; BLAIN, Gabriel Constantino. Análisis de ondeletas de series mensuales de precipitación, temperaturas máximas y mínimas mensuales en Campinas. In: CONGRESO VENEZOLANO DE AGROMETEOROLOGIA, 4. 2007. Maracay, **Anais** Fundacite Táchira

KOUSKY, Vernon E.; CHUG, Pao Shin. Fluctuations in annual rainfall for northeast Brazil. **J. Meteor. Soc. Japan**, v. 56, n. 5, p. 457- 466, 1978.

KUSS, Amber Jean Michael; GURDAK, Jason J. Groundwater level response in U.S. principal aquifers to ENSO, NAO, PDO, and AMO. **Journal of Hydrology**, Volume 519, Part B, Pages 1939-1952, 2014.

MANTUA, Nathan J.; HARE, Steven R.; ZHANG, Yuan; WALLACE, John M.; FRANCIS, R.C. A Pacific interdecadal climate oscillation with Impacts on salmon production, **Bulletin American Meteorolical Society**, v. 78, p. 1069-1079, 1997

MARENGO, José Antônio Orsini. **Mudanças climáticas, e Eventos Extremos no Brasil**. Disponível em http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf. Acesso em 03-04-2021, 2016.

MONTECINOS, A.; ACEITUNO, P. Seasonality of the ENSO-related rainfall variability in central Chile and associated circulation anomalies. Journal of Climate, v. 16, n. 2, p. 281–296, 2003.

MORETTIN, Pedro Alberto. Ondas e Ondeletas: Da Análise de Fourier à Análise de Ondeletas, **EDUSP**, p, 193, 1999

NOVELLO, Valdir F., CRUZ, Francisco W.; KARMANN, Ivo; BURNS, Stephen J.; STRIKIS, Nicolás M.; VUILLE, Mathias; CHENG, Hai; EDWARDS, R. Lawrence; SANTOS, Roberto V. Santos; BARRETO, Eline A. S.; FRIGO, EVERTON. Multidecadal climate variability in Brazil Nordeste during the last 3000 years based on speleothem isotope records, **Geophys**. Res. Lett., 2012.

OLIVEIRA, Marcos José; CARNEIRO, Celso Dal Ré; VECCHIA, Francisco Arthur da Silva; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. **Terra e Didática**, v. 13, n. 3, p. 149- 184, 2017.

PINTO, H. S. Adaptação Do setor agrícola brasileiro **Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Disponível em: http://www. fbds. org. br/fbds/IMG/pdf/doc-504. pdf. Acesso em 02/08/2022, v. 24, 2009.

RIGOZO, Nivaor Rodolfo; NORDEMANN, Daniel Jean Roger; SOUZA, M. P; ECHER, E.; ECHER, H. E.; DA SILVA, A; PRESTES, F. L; GUARNIERI, E. Impressões da atividade solar na largura do anel das árvores do Chile (1610–1991). **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, Volume 69, Issue 9, páginas 1049-1056, Julho de 2007.

ROCHA, Renan Vieira; SOUZA FILHO, Francisco de Assis; SILVA, Samiria Maria Oliveira. Análise da Relação entre a Precipitação Média do Reservatório Orós, Brasil - Ceará, e os Índices PDO e AMO Através da Análise de Changepoints e Transformada de Ondeletas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, 139-149; 2019; DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863340034.

SILVEIRA, C. da S.; SOUZA FILHO, F. de A.; AQUINO, S. H. S.; SILVA, S. M. O. **Variabilidade Climática e Planejamento em Recursos Hídricos**. In: Uso da informação climática em múltiplas escalas temporais para o planejamento do setor hidroelétrico brasileiro. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, p. 13-26, (2015).

TANG, Chunling; CHEN, Dong; CROSBY, Benjamin T.; PIECHOTA, Thomas C.; WHEATON, Joseph M. Is the PDO or AMO the climate driver of soil moisture in the Salmon River Basin, Idaho? **Global and Planetary Change**, v. 120, p. 16-23, 2014.

TORRENCE, Christopher; COMPO, Gilbert P. A practical guide to wavelet analysis**. Bulletin of the American Meteorological Society**, v, 79, p, 61-78, 1998.

TORRENCE, Christopher; WEBSTER, Peter. Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system, **Journal of Climate**, v.12, p.2679 – 2690, 1999.

VALE, Roseilson Souza.; SANTANA, Raoni Aquino; DIAS-JÚNIOR, Cléo Quaresma. Análise de Dados Climáticos Usando Transformada em Ondeletas Cruzada e Coerência. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.02, p. 641-647, 2020. Retirado da intro

VILLARROEL JIMÉNEZ, Claudia Paola. **Eventos extremos de precipitación y temperatura en Chile**: proyecciones para fi nes del siglo XXI. Santiago de Chile: Tesis (Magister en Meteorología y Climatología), Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geofísica, 2013.

WANG, Jundong; CAI, Liqi; PENG, Jinping. Características dos microplásticos na precipitação atmosférica da cidade de Dongguan, China: pesquisa preliminar e primeiras evidências. Environ Sci Pollut Res 24, 24928–24935 (2017). https://doi.org/10.1007/s11356-017-0116-x

WENG, Hengyi ; LAU, K-M. Wavelets, period doubling, and time-frequency localization with application to organization of convection over the Tropical Western Pacific**. Journal of the Atmospheric Sciences**, v.51, n.17, p.2523-2541, 1994.

WRI BRASIL, Chile dá exemplo a outros países ao apresentar plano climático mais ambicioso. Disponível em: https://wribrasil.org.br/pt/blog/2020/07/chile-da-exemplo-outros-paises-ao-apresentar-plano-climatico-mais-ambicioso, 14/07/2020. Acesso em 16/09/21.

ZAMORA AGUIRRE, Rosa Carolina. **Processos de desertificação associados a pastagens no Chile para o clima presente e futuro**. – Tese de Doutorado em Meteorologia, 140 p. São José dos Campos: INPE, 2020.

ZUFFO, Antônio Carlos. O sol, o motor das variabilidades climáticas. **Revista DAE**, v. 63, n. 198, p. 6-24, 2015