

PERÍODO DE RETORNO DE EVENTOS EXTREMOS EM ALAGOAS E SUAS CAUSAS CLIMÁTICAS

Return period of extreme events in Alagoas and their climate causes

Iara Bezerra da Silva Cavalcante^{1*}

Djane Fonseca da Silva²

RESUMO

O objetivo deste trabalho é calcular o período de retorno de eventos extremos para alguns municípios de Alagoas, bem como a probabilidade de ocorrência e identificar suas causas climáticas através da análise de ondeletas (AO). Os dados são provenientes da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), com períodos variados para cada município. Por se tratar de período de retorno, as séries podem e devem ser com período variados, visto que os eventos extremos de cada local, ocorrem em períodos diferentes. Em todos os municípios, a AO identificou as escalas intrassazonais, semestrais, interanuais, o El Niño Oscilação Sul (ENOS), o ENOS estendido, o Dipolo do Atlântico, as manchas solares e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), sendo as escalas dominantes da ODP e das manchas solares, que contribuíram para os anos secos e chuvosos.

Palavras-chave: Análise de Ondeletas. ENOS. Dipolo do Atlântico.

ABSTRACT

The objectives of this work are to calculate the period of return of extreme events in some municipalities of Alagoas, their probability of occurrence and to identify their climatic causes through wavelets analysis (AW). The data come from the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA), considering different periods for each municipality. Because it is a return period, the series may and should be varied, once the extreme events in each location occur in different times. In all municipalities, wavelets analysis identified the inter-seasonal, half-yearly, inter-annual scales, el niño southern oscillation (ENSO), extended ENSO, Atlantic Dipole,

¹Mestranda em Meteorologia pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), no Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) – e-mail: iaracalv@hotmail.com * Autor correspondente

²Doutora em Recursos Naturais. Professora associada da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), no Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) – e-mail: djane.silva@icat.ufal.br

sunspots and Pacific Decadal Oscillation (PDO), being PDO and sunspots the dominant scales, which contributed to the dry and rainy years.

Keywords: *Wavelet Analysis. ENSO. Atlantic Dipole.*

Data de submissão: 09/09/2021

Data de aprovação: 10/11/2021

1 INTRODUÇÃO

No Nordeste do Brasil, as chuvas extremas ocorrem habitualmente nas regiões litorâneas, principalmente na maioria das capitais nordestinas, sendo estes tipos de eventos, associados a cidades com infraestrutura precária, que associado ao aumento desordenado sem planejamento das cidades, resulta em inundações e alagamentos (FREIRE *et al.*, 2013; QUEIROZ ROSENDO *et al.*, 2015 *apud* CORREIA FILHO *et al.*, 2016).

Além disso, o semiárido nordestino é caracterizado pela ocorrência frequente de secas prolongadas, decorrentes da conjunção de fatores ligados à precipitação, à evaporação e aos solos (GONDIM *et al.*, 2017). A ocorrência de secas periódicas de grande intensidade no Nordeste, com impactos relevantes sobre sua população e os meios de vida, vem sendo registrada desde o século 16 e debatida desde o século 19.

Em Alagoas, nas últimas décadas, segundo registros da Defesa Civil, houve um ciclo regular de enchentes que devastou famílias, encobriu cidades, arrasou patrimônios públicos e privados e modificou vidas. A cada vinte anos ocorria uma cheia, depois esse tempo foi reduzido para dez anos (SOUZA, 2014).

Mediante a temática de eventos extremos (EE), faz-se necessário conhecer o período de retorno, que é bastante importante para identificar EE (SANTOS, 2015).

Em 2010, entre os dias 18 e 20 de junho, um EE provocou um grave desastre com sérias repercussões socioambientais, principalmente entre Alagoas e Pernambuco, na Bacia do rio Mundaú, apesar do desastre também ter atingido uma área maior, esse desastre causou prejuízos ao ecossistema local e perdas e danos humanos irreparáveis. Durante esses dias de fortes chuvas, foram declarados estado de calamidade pública para 26 municípios, e estado de emergência em 34 (FREIRE *et al.*, 2014).

De acordo com Gomes (2018) nos últimos 100 anos, ocorreram 8 cheias que devastaram o estado de Alagoas (1914, 1941, 1969, 1988, 1989, 2000, 2010 e 2017).

Desta forma, o objetivo deste trabalho é calcular o período de retorno de EE para alguns municípios de Alagoas, a probabilidade de sua ocorrência e identificar suas causas climáticas.

2 METODOLOGIA

2.1 Dados

Os dados mensais de precipitação dos municípios alagoanos são provenientes da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), estando distribuídos nas três mesorregiões do Estado, com períodos disponíveis variados para cada município, conforme a disponibilidade dos dados, sendo calculado o período de retorno de EE de chuva intensa e de eventos de menores precipitações para 8 municípios do Estado, estando distribuídos nas três mesorregiões alagoanas (TABELA 1).

Tabela 1 – Localização geográfica e série temporal dos municípios alagoanos para os quais foram calculados os períodos de retorno

Cidade	Mesorregião	Longitude (°)	Latitude (°)	Período de dados	Código da estação
Murici	Leste	-35,93	-9,3	1963 - 2017	00935012
Piaçabuçu	Leste	-36,43	-10,4	1928 - 2017	01036007
Maceió	Leste	-35,7	-9,64	1961 - 2014	00935005
Limoeiro de Anadia	Agreste	-36,5	-9,74	1912 - 2001	00936026
Palmeira dos Índios	Agreste	-36,63	-9,41	1913 - 1985	00936034
Delmiro Gouveia	Sertão	-37,99	-9,38	1936 - 2017	00937013
Pão de Açúcar	Sertão	-37,74	-9,4	1935 - 2017	00937018
Piranhas	Sertão	-37,75	-9,62	1935 - 2017	00937023

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

2.2 Período de Retorno (T)

O período de retorno (T) é o intervalo de tempo (geralmente em anos) em que se espera que o EE seja igualado ou superado ao menos uma vez, como pode ser verificado nas Equações 1 e 2 (MENDONÇA, 2018):

$$p = \frac{m}{n} \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{p} \quad (2)$$

Em que: P = probabilidade de ocorrência de um evento igual ou superior (\geq), m = número de eventos iguais ou inferiores (superiores) (\leq), n = número de dados do evento e T = período de retorno do evento.

2.3 Análise de Ondeletas / Ondaletas (AO)

Os dados foram primeiramente tratados antes de submetidos à AO e resultarem o índice de precipitação. Esse índice é a anomalia da variável, calculada a partir da climatologia mensal e normalizada pelo desvio padrão, conforme apresentado na Equação 3 (SILVA, 2017):

$$AVar_{i,j} = (Var_{i,j} - \overline{Var}_i) / \sigma_i \quad (3)$$

Em que: AVari,j é a anomalia da variável, no ano j= 1, 2, 3,...,N e mês i = 1, 2, 3, ...12; Vari,j é a variável no ano j = 1, 2, 3 ..., N e mês i = 1, 2, 3, ...12, o qual foi calculado sua anomalia; Vari,j é a média climatológica do mês a ser calculado a anomalia e σ_i é o desvio padrão utilizado para cada mês i específico.

A função de Morlet é definida pela Equação 4 que representa uma onda modulada por um envelope Gaussiano:

$$\psi(t) = e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2} \quad (4)$$

Em que: i = parâmetro de dilatação e compressão da onda; W_0 = parâmetro de frequência e t = tempo. Todos introduzidos no ‘script’ de programação do software Matlab®. Através do cálculo das AO foram identificadas as causas climáticas dos EE.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Probabilidade da ocorrência de eventos de precipitação

3.1.1 Litoral

Na Tabela 2 (1963 a 2017) no município de Murici, a maior seca da série ocorreu em dezembro de 1983, com 0,4 mm de chuva, ficando abaixo da média mensal, que é 47 mm, para um evento igual a este ocorrer novamente, a probabilidade é de 0,03% e o período de retorno é de 3333,33 anos. Em junho de 2004 foi registrada 598,4 mm de precipitação, a probabilidade de repetir um evento semelhante a este é de 32,68% e o período de retorno calculado de 3,05 anos. Os maiores valores de precipitação ocorreram em julho de 1989 e 1988 e em maio de 1917, com período de retorno entre 2 e 3 anos, com probabilidade de 25% a 35%.

Tabela 2 – Probabilidade e período de retorno de EE em Murici, AL

CIDADE/ ESTAÇÃO	Data	Média Mensal (mm)	Precipitação (mm)	P (%)	T=1/P
Murici (00935012)	Dezembro/1983	47	0,4	0,03	3333,33
	Julho/1989	268	550,5	25,98	3,84
	Julho/1988	268	558	35,66	2,8
	Maio/1917	268	581,5	29,15	3,43
	Junho/2004	270	598,4	32,68	3,05
	Maio/1977	268	603,5	31,00	3,22

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Na Tabela 3 (1928 a 2017) em Piaçabuçu, a maior seca registrada na série pluviométrica foi em dezembro de 2013, registrando 0,3 mm, tendo como probabilidade de um evento semelhante repetir de 0,02% e o período de retorno de 5000 anos. A média mensal para o mês de dezembro é de 42 mm. A maior precipitação da série ocorreu em abril de 1953, com 559 mm, em que a média mensal é de 265 mm, a probabilidade de outro evento de precipitação semelhante ocorrer é de 28,53%, sendo o período de retorno de 3,5 anos. Em maio de 2009, a precipitação registrada foi de 484 mm, o período de retorno para esse evento é de 2,78 anos, com probabilidade de 36,03%, enquanto que os outros eventos de chuva que ocorreram em maio de 1966 e 1989 tem um período de retorno de aproximadamente 4 anos.

Tabela 3 – Probabilidade e período de retorno de EE em Piaçabuçu, AL

CIDADE/ ESTAÇÃO	Data	Média Mensal (mm)	Precipitação (mm)	P (%)	T=1/P
Piaçabuçu (01036007)	Dezembro/2013	42	0,3	0,02	5000
	Maio/1954	264	473	24,34	4,11
	Maio/2009	264	484	36,03	2,78
	Maio/1966	264	495	25,12	3,98
	Maio/1989	264	523,4	27,00	3,70
	Abril/1953	265	559	28,53	3,50

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Em Maceió, Tabela 4 (1961 a 2014) a maior seca durante o período dos dados foi em fevereiro de 1994, e a probabilidade de outro EE com valor semelhante é de 0,01% com período de retorno de 10000 anos. A maior precipitação ocorreu em maio de 2010, com 788,5 mm, sendo a média mensal de 289 mm, a probabilidade de um evento semelhante repetir é de 34,39% e o período de retorno é de 2,91 anos. Para os outros meses da Tabela, sendo janeiro e março de 1985 e junho de 2011 e de 2005 o período de retorno é entre 2 e 3 anos.

Tabela 4 – Probabilidade e período de retorno de EE em Maceió, AL

CIDADE/ ESTAÇÃO	Data	Média Mensal (mm)	Precipitação (mm)	P (%)	T=1/P
Maceió (00935005)	Fevereiro/1994	140	0,3	0,01	10000
	Janeiro/1985	105	630,8	39,22	2,55
	Março/1985	202	665,6	41,39	2,42
	Junho/2011	277	713	30,05	3,33
	Junho/2005	277	716,4	46,7	2,14
	Maiο/2010	289	788,5	34,39	2,91

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

3.1.2 Agreste

Na Tabela 5 (1912 a 2001) em Limoeiro de Anadia, março de 1999 foi registrada a seca mais intensa da série de dados, com 0,2 mm, tendo a probabilidade para que outro evento semelhante repita, de 0,02%, a cada 5000 anos. Nessa série de dados, a maior precipitação ocorreu em julho de 1927, que choveu 1017 mm, sendo a média mensal de 145 mm, e a probabilidade para o período de retorno desse evento é de 47,12%, a cada 2,12 anos. Outros valores elevados de precipitação da série de dados tiveram período de retorno entre 3 e 4 anos.

Tabela 5 – Probabilidade e período de retorno de EE em Limoeiro de Anadia, AL

CIDADE/ ESTAÇÃO	Data	Média Mensal (mm)	Precipitação (mm)	P (%)	T=1/P
Limoeiro de Anadia (00936026)	Março/1999	157	0,2	0,02	5000
	Junho/1994	218	501,2	38,65	2,58
	Maiο/1977	238	525,3	39,56	2,52
	Abril/1964	239	535,9	27,81	3,59
	Maiο/1940	238	571,7	29,32	3,4
	Julho/1927	145	1017	47,12	2,12

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Na Tabela 6 (1913 a 1985) em Palmeira dos Índios, outubro de 1970 foi registrado a maior seca da série de dados, através do cálculo para identificar a probabilidade e o período de retorno para esse evento, resultou em 0,01% a cada 10000 anos. Em maio de 1949 foi registrado 496,7 mm de chuva, valor maior que a média mensal, para a probabilidade de ocorrência de outro evento semelhante, obteve-se 31,27%, podendo ocorrer a cada 3,19 anos; e em maio de 1945, teve o maior valor de precipitação da série de dados, em que através do cálculo para a probabilidade para o valor de precipitação de 572,4 mm é de 41,69%, e o período de retorno é igual a 2,39 anos. Os outros meses com altos valores de precipitação, o período de retorno é entre 3 e 5 anos.

Tabela 6 – Probabilidade e período de retorno de EE em Palmeira dos Índios, AL

CIDADE/ ESTAÇÃO	Data	Média Mensal (mm)	Precipitação (mm)	P (%)	T=1/P
Palmeira dos Índios (00936034)	Outubro/1970	10	0,1	0,01	10000
	Junho/1914	198	365,4	21,79	4,58
	Junho/1962	198	367,8	34,61	2,88
	Maio/1944	164	429	28,73	3,47
	Maio/1949	164	496,7	31,27	3,19
	Maio/1945	164	572,4	41,69	2,39

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

3.1.3 Sertão

Em Delmiro Gouveia, Tabela 7 (1936 a 2017) o menor valor de precipitação obtido na série de dados foi em março de 1949, com evento extremo de seca, a probabilidade desse evento repetir-se é de 0,1% e seu período de retorno é a cada 1000 anos. Em março de 1957 foi registrado o maior valor de precipitação da série de dados, que tem probabilidade de 40,56% de ocorrer outro evento semelhante e o período de retorno é de 2,46. O período de retorno para março de 1969, 1981 e 1960 e abril de 1966 é entre 2 e 3 anos.

Tabela 7 – Probabilidade e período de retorno de EE em Delmiro Gouveia, AL

CIDADE/ ESTAÇÃO	Data	Média Mensal (mm)	Precipitação (mm)	P (%)	T=1/P
Delmiro Gouveia (00937013)	Março/1949	84	0,5	0,1	1000
	Março/1969	84	242,5	28,56	3,5
	Março/1981	84	250,8	44,73	2,23
	Março/1960	84	320	66,45	1,5
	Abril/1966	68	330,6	34,47	2,9
	Março/1957	84	338	40,56	2,46

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Na Tabela 8 (1935 a 2017) no município de Pão de Açúcar, a seca mais extrema da série de dados ocorreu em outubro de 1981, tendo a probabilidade de ocorrer outro valor semelhante de 0,02% e o período de retorno é de 5000 anos. Para o maior valor de precipitação da série, que ocorreu em janeiro de 2004, a probabilidade de outro evento extremo semelhante ocorrer é de 57,2%, com período de retorno de 2 anos. Apenas março de 1960 teve período de retorno de 1,5 anos, enquanto que abril de 1985 e 1975 e julho de 1975 tem período de retorno de aproximadamente 4 anos.

Tabela 8 – Probabilidade e período de retorno de EE em Pão de Açúcar, AL

CIDADE/ ESTAÇÃO	Data	Média Mensal	Precipitação (mm)	P (%)	T=1/P
Pão de Açúcar (00937018)	Outubro/1981	18	0,1	0,02	5000
	Abril/1985	70	226,1	23,49	4,25
	Abril/1975	70	232,7	26,02	3,84
	Julho/1975	87	252	28,18	3,54
	Março/1960	67	266	65,92	1,51
	Janeiro/2004	39	444	57,201	1,74

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Na Tabela 9 (1935 a 2017) o evento extremo de seca mais intensa em Piranhas foi em outubro de 1995, quando foi registrado 0,2 mm, sendo 15 mm a média mensal, a probabilidade de outro evento semelhante ocorrer é de 0,04% e o período de retorno é de 2500 anos. Em março de 1960 teve o EE com maior valor de chuva da série de dados, - a probabilidade de repetir esse evento é de 49,48% e o período de retorno é de 2 anos. Março de 1988 e 1957, janeiro de 2004 e abril de 1975 o período de retorno é entre 2 e 4 anos.

Tabela 9 – Probabilidade e período de retorno de EE em Piranhas, AL

CIDADE/ ESTAÇÃO	Data	Média Mensal (mm)	Precipitação (mm)	P (%)	T=1/P
Piranhas (00937023)	Outubro/1995	15	0,2	0,04	2500
	Março/1988	69	248,6	33,75	2,96
	Janeiro/2004	43	252,4	52,902	1,89
	Abril/1975	65	252,8	24,72	4,04
	Março/1957	69	261,2	38,304	2,61
	Março/1960	69	306,4	49,48	2,02

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Conforme os resultados obtidos para a probabilidade da ocorrência de EE de precipitação em alguns municípios de Alagoas, foram encontradas algumas pesquisas que podem ser comparadas à elas.

Segundo Reboita *et al.* (2016) o Nordeste do Brasil não possui a precipitação uniforme para toda a região, o litoral norte nordestino é o que apresenta maiores valores de precipitação durante o outono, o litoral leste chove mais durante o outono e inverno, já o sertão durante o verão tem maior valor de precipitação e no inverno tem o período mais seco. A distribuição espacial anual de precipitação no sertão nordestino é de aproximadamente 400-600 mm, e no litoral leste do Nordeste a precipitação é superior a 1500 mm.

Através da pesquisa de Wanderley *et al.* (2013) foi observado que no litoral da Zona da Mata alagoana as precipitações foram acima de 1500 mm/ano na maior parte do Nordeste do Estado, e que as maiores precipitações foram no litoral norte. Ao alcançar a parte central de Alagoas, a precipitação reduz significativamente, devido o Agreste ser uma região de transição, os índices pluviométricos no leste do Agreste tiveram índices pluviométricos superiores a 1000

mm/ano e inferiores a oeste da região, que teve precipitação de até 500 mm/ano. No Sertão e no Sertão do São Francisco alagoano, o índice pluviométrico quase não apresenta mais de 1000 mm/ano, entre os meses de outubro a janeiro, o índice pluviométrico é inferior a 50 mm.

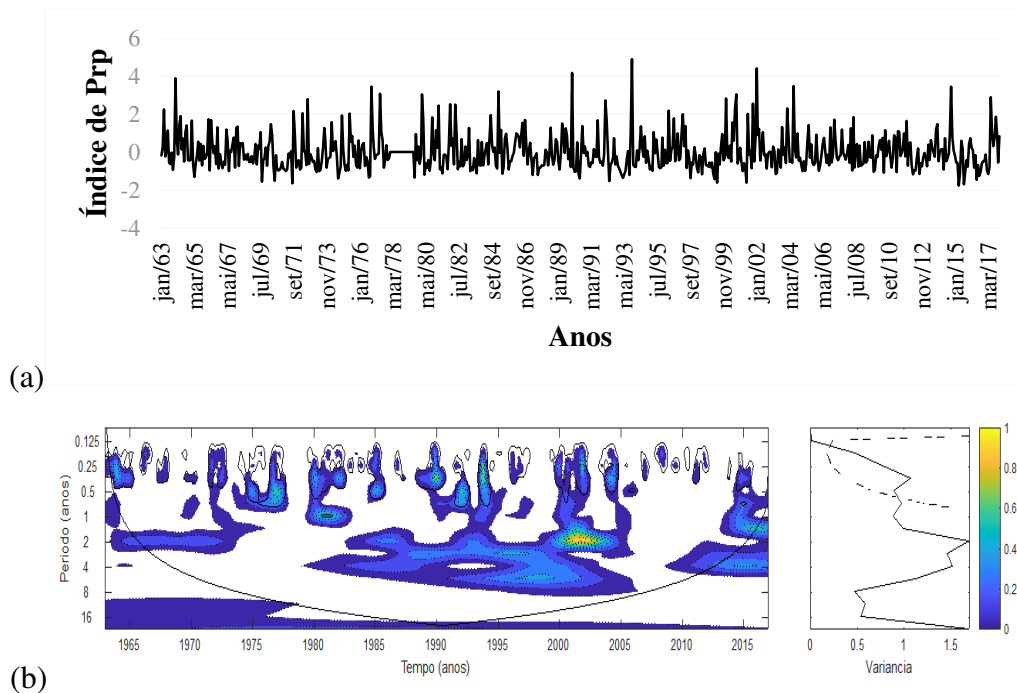
3.2 Análise das ondeletas para identificação de eventos extremos

Utilizando a AO foi possível identificar os fenômenos meteorológicos que possivelmente influenciaram nos EE das séries temporais feitas com os dados obtidos através da ANA. A interação das escalas temporais pode ser observada através da AO e assim, encontrar a causa de um EE, seja ele de chuva ou de seca (COSTA *et al.*, 2016).

3.2.1 Litoral

A Figura 1a mostra a série de precipitação do período de dados, utilizando a AO conforme Figura 1b, foi identificada a escala intrassazonal com período de 0,25 anos, a escala semestral com período de 0,5 anos, escala interanual com período de 1 ano, o ENOS (El Niño Oscilação Sul) e o ENOS estendido que teve escala dominante de aproximadamente 2 anos, as manchas solares, de acordo com Oliveira *et al.* (2017), e segundo Aragão (1998) o dipolo do atlântico, que têm período de aproximadamente 11 anos e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), e conforme Silva e Galvêncio (2011), foram as escalas encontradas para os anos de EE no município.

Figura 1 – Análise de ondaleta em Murici-AL para o período de 1963 a 2017

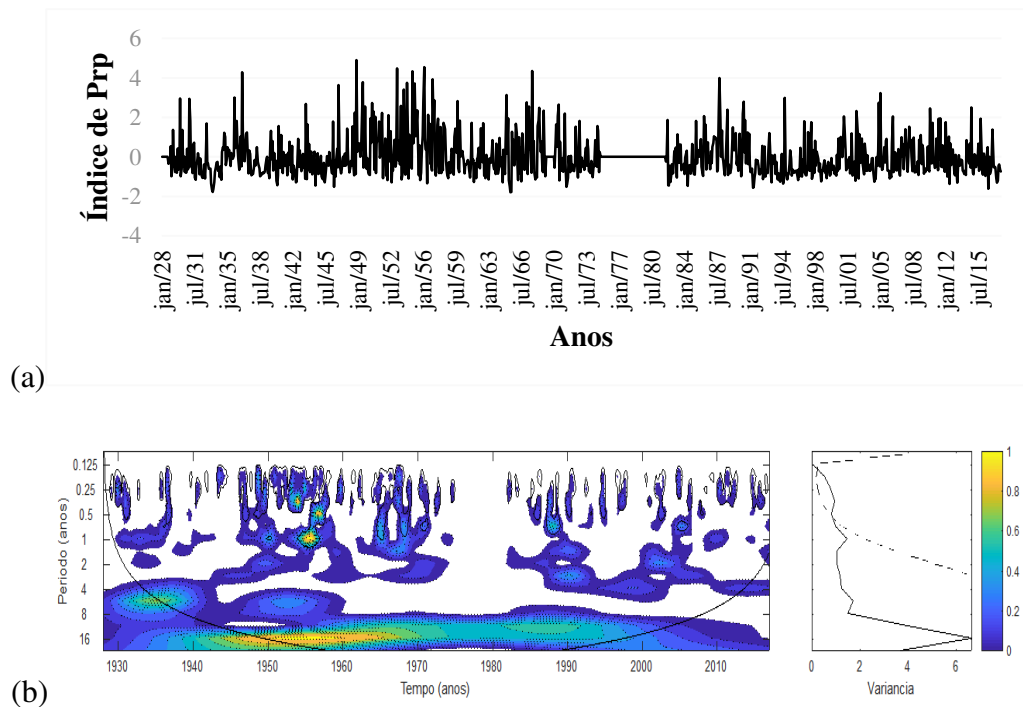


Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Nota: (a) Dados de precipitação e (b) Espectro de potência de ondaleta (EPO). Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e Espectro de Potência Global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

A Figura 2a mostra a série de dados de precipitação analisada, e nela é possível identificar através da AO, as escalas intrassazonal, a semestral, a interanual, o ENOS como encontrado por Andreoli e Kayano (2007), o ENOS estendido, as manchas solares, o dipolo do Atlântico e a ODP sendo a escala dominante.

Figura 2 – Análise de ondaleta em Piaçabuçu-AL de 1928 a 2017

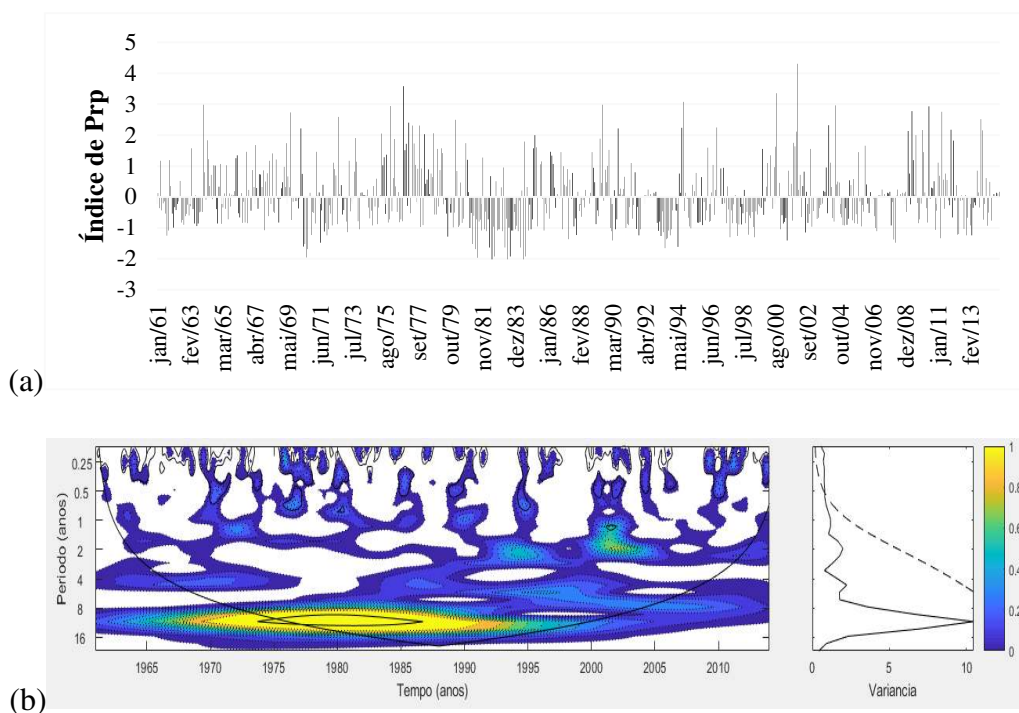


Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Nota: (a) Dados de precipitação e (b) Espectro de potência de ondaleta (EPO). Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e Espectro de Potência Global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

A série de dados na Figura 3a mostra os dados com os eventos de seca e chuva. Os fenômenos identificados para os EE através da AO, foram: a escala intrassazonal de 0,25 anos, a escala semestral de 0,5 anos, a interanual de 1 ano, o ENOS e o ENOS estendido, o dipolo do atlântico e as manchas solares que teve escala dominante de 11 anos e a ODP.

Figura 3 – Análise de ondaleta em Maceió - AL de 1961 a 2014



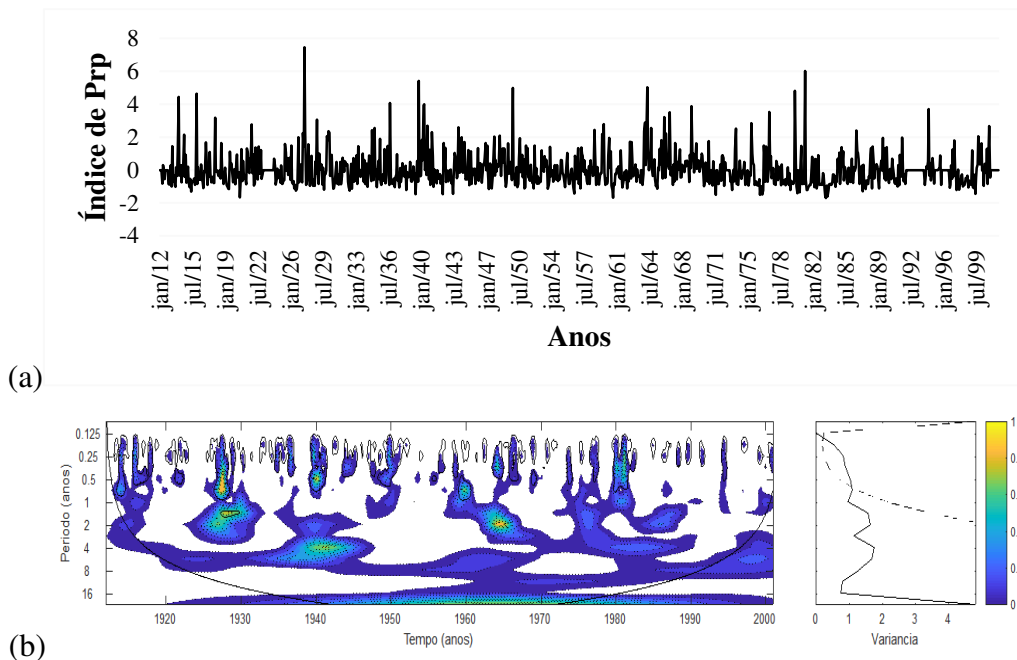
Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Nota: (a) Dados de precipitação e (b) Espectro de potência de ondaleta (EPO). Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e Espectro de Potência Global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

3.2.2 Agreste

Na Figura 4a é identificada a série temporal para o período de dados de 1912 a 2001. Com a ajuda da AO, Figura 4b, as escalas: intrassazonal com 0,25 anos, a semestral de 0,5 anos, a escala interanual de 1 ano, ENOS e ENOS estendido, o dipolo do atlântico, as manchas solares e a ODP que teve escala dominante de 22 anos, tiveram influência com os eventos dos anos citados.

Figura 4 – Análise de ondaleta em Limoeiro de Anadia-AL de 1912 a 2001

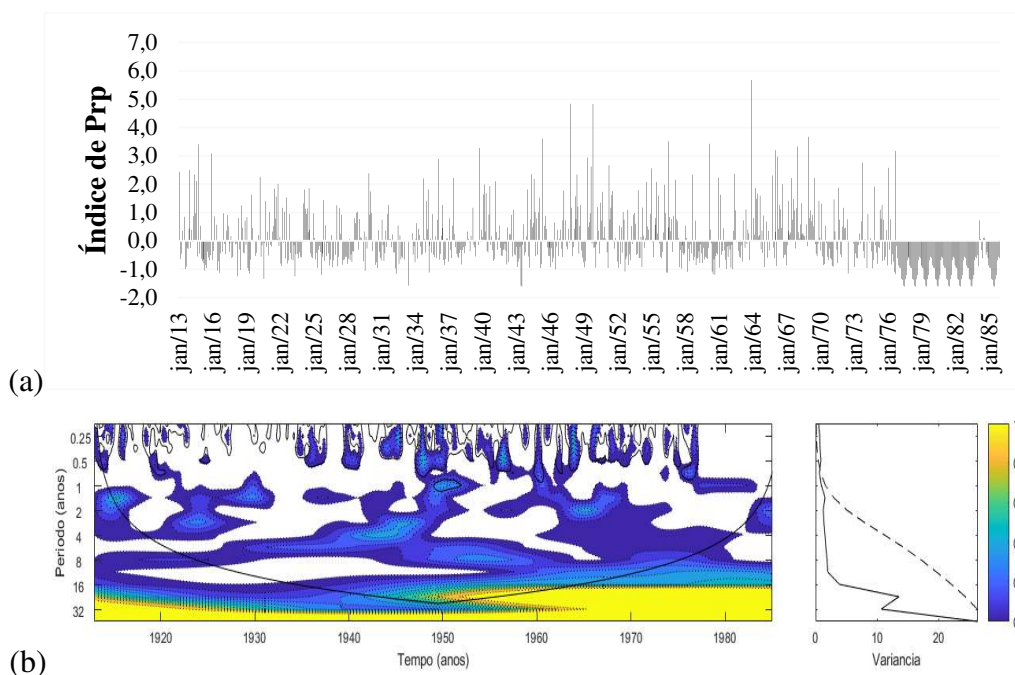


Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Nota: (a) Dados de precipitação e (b) Espectro de potência de ondaleta (EPO). Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e Espectro de Potência Global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

Palmeira dos Índios apresentou valores extremos de seca e precipitação (FIGURA 5a). Foram identificadas os ciclos de escala intrassazonal (0,25 anos), escala semestral (0,5 anos), interanual (1 ano), o ENOS e ENOS estendido, o dipolo do atlântico, as manchas solares e a ODP como escala dominante de 22 anos (FIGURA 5b).

Figura 5 – Análise de ondaleta em Palmeira dos Índios-AL de 1913 a 1985



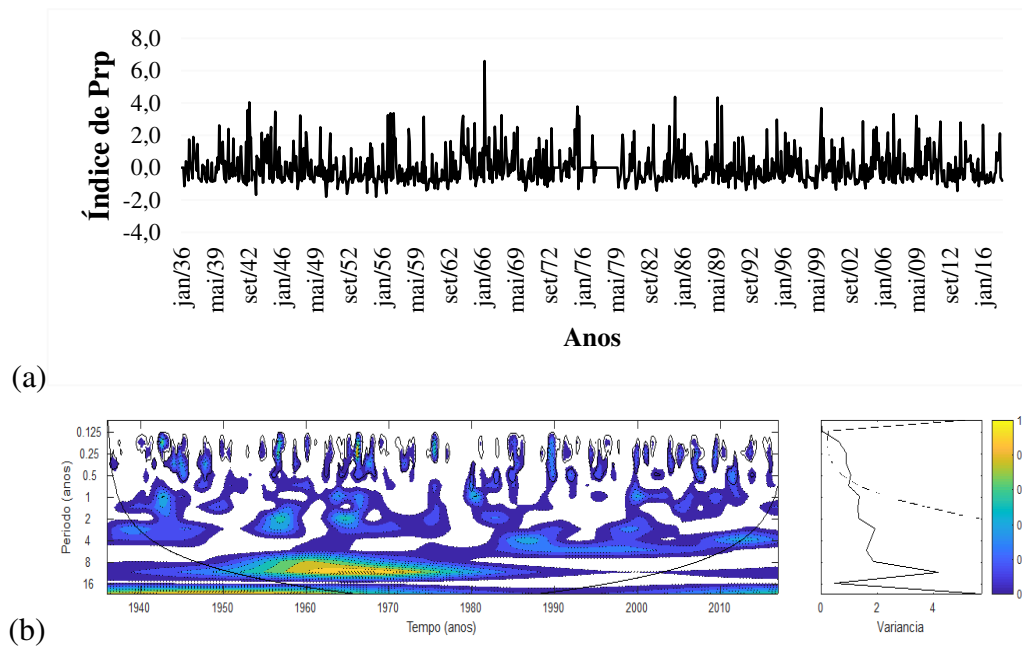
Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Nota: (a) Dados de precipitação e (b) Espectro de potência de ondaleta (EPO). Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e Espectro de Potência Global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

3.2.3 Sertão

De acordo com a Figura 6a, são identificados os períodos dos eventos através da série de dados, e as causas climáticas conforme Figura 6b foram: escala intrassazonal, a escala semestral, escala interanual, o ENOS de 1 a 2 anos, o ENOS estendido, o dipolo do atlântico e manchas solares, e a ODP que teve a escala dominante de 22 anos.

Figura 6 – Análise de ondaleta em Delmiro Gouveia-AL de 1936 a 2017

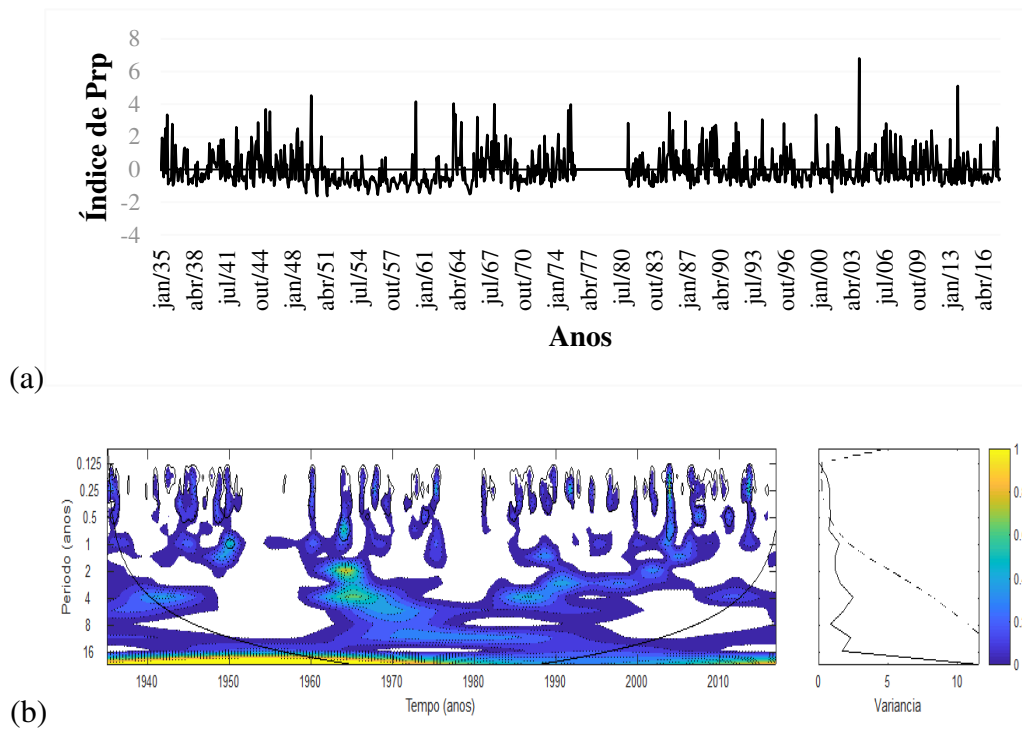


Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Nota: (a) Dados de precipitação e (b) Espectro de potência de ondaleta (EPO). Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e Espectro de Potência Global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

A Figura 7a mostra a série temporal dos dados de precipitação. As causas climáticas identificadas através da AO na Figura 7b, foram as de escala intrassazonal que tem período de 0,25 anos, escala semestral de 0,5 anos, interanual de 1 ano, a escala do ENOS (1 a 2 anos) com ENOS estendido, do dipolo do atlântico e das manchas solares, e a escala dominante da ODP com 22 anos.

Figura 7 – Análise de ondaleta em Pão de Açúcar-AL de 1935 a 2017

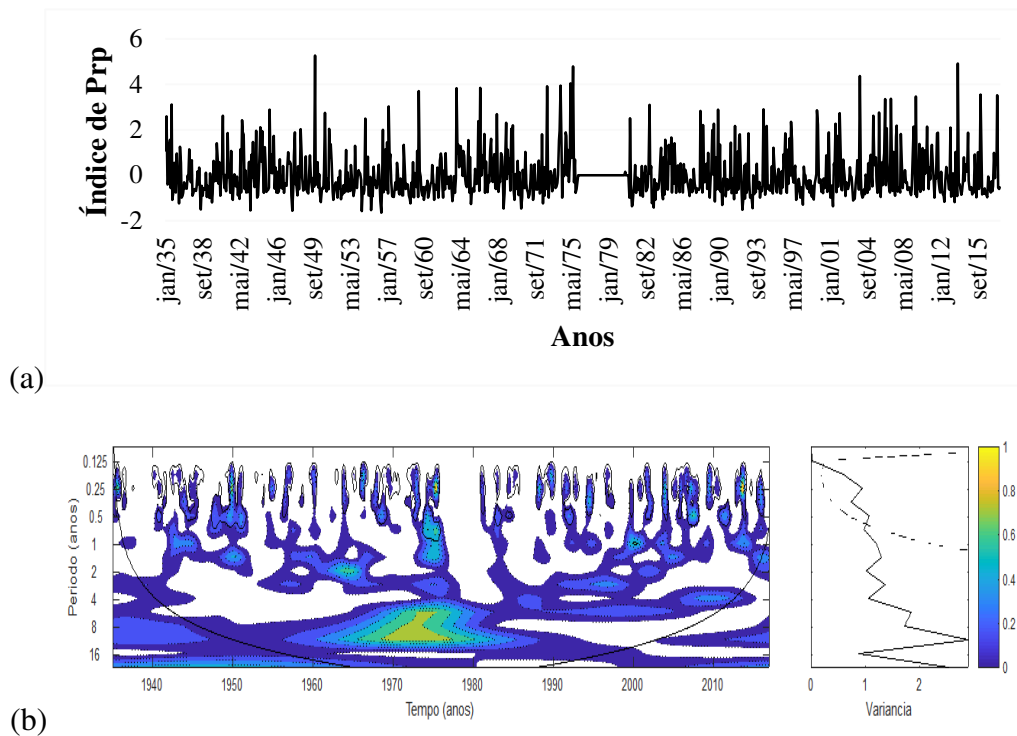


Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Nota: (a) Dados de precipitação e (b) Espectro de potência de ondaleta (EPO). Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e Espectro de Potência Global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

Para a Figura 8a, é possível identificar na série temporal os períodos com maiores valores de eventos. A AO apresentada na Figura 8b, identificou as escalas: intrassazonal (0,25 anos), semestral (0,5 anos), interanual (1 ano), escala do ENOS com ENOS estendido, tenso a escala dominante de 11 anos, que é a das manchas solares e o dipolo do atlântico, e a escala da ODP.

Figura 8 – Análise de ondaleta em Piranhas-AL de 1935 a 2017



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Nota: (a) Dados de precipitação e (b) Espectro de potência de ondaleta (EPO). Contornos amarelados correspondem a variâncias normalizadas significativas ao nível de 5%. A curva em forma de U representa o cone de influência, sob a qual o efeito de borda é importante e Espectro de Potência Global (EPG), com o contorno tracejado indicando que o EPG é significativo ao nível de confiança de 95%.

Em estudo para as escalas temporais da variabilidade pluviométrica na bacia do Rio Mundaú, Silva *et al.* (2010) verificaram que através da AO a variabilidade interanual ligada ao ENOS, a variabilidade decenal, e a variabilidade interanual curta, influenciam na pluviometria local.

Para a identificação da previsão climática no Ceará, utilizando as ondeletas, Silva (2013) identificou que as regiões estudadas sofrem influência das variações e escalas sazonais, ENOS, do dipolo do Atlântico, das manchas solares e da ODP que têm influência nas precipitações do Estado.

Silva (2017) encontrou para o leste do Nordeste ciclos do ENOS, dipolo do Atlântico e ciclo de manchas solares, em que foram identificados EE relacionados às escalas temporais e ciclos dos fenômenos climáticos. Na maioria das vezes, os eventos ocorreram devido ao conjunto de várias escalas temporais ou de fenômenos climáticos em mesma fase.

5 CONCLUSÃO

Contudo, foi mostrado que os eventos extremos de secas têm um período de retorno longo, sendo o de menor retorno para o município de Delmiro Gouveia, com 1000 anos, por estar numa localização mais extrema no sertão. Para os EE de precipitação, o período de retorno variou entre 2 e 5 anos.

No litoral de Alagoas, das 3 cidades, Maceió apresentou o período de retorno de precipitação mais curto, em que o maior valor de precipitação pode ocorrer a cada 3 anos aproximadamente.

No Agreste, Limoeiro de Anadia resultou em um período de retorno de secas mais curto, em relação a Palmeira dos Índios, já o período de retorno de chuvas teve valores semelhantes para os dois municípios.

No Sertão alagoano, o período de retorno de secas ocorre com menos tempo em Pão de Açúcar, e apesar de sua localização, esses municípios apresentaram período de retorno de precipitação de pouco tempo.

Através das Ondeletas foi possível identificar os fenômenos e sistemas que contribuíram para os EE ocorridos nos municípios estudados. Esses fenômenos contribuem para o aumento ou diminuição das chuvas, o que causa os extremos.

Em todos os municípios, a AO identificou as escalas intrassazonais, semestrais, interanuais, o ENOS, o ENOS estendido, o dipolo do atlântico, as manchas solares e a ODP, sendo as escalas dominantes em maior frequência da ODP e das manchas solares, que contribuíram para os anos secos e chuvosos.

Por fim, foi mostrado que com base nos dados climáticos dos municípios, apesar da localização geográfica de Alagoas, o Estado apresentou período de retorno de seca longo, estando mais vulnerável aos eventos de chuva entre um evento e outro.

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, R.; KAYANO, M. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade de precipitação do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, n. 1, p. 64-73, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/ny9VJ9WHx7Dz8kfX5fvp8zg/?format=html&lang=pt> Acesso em: 15 ago. 2018.

ARAGÃO, J. O. R. O impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no nordeste do Brasil. **Bull Inst. Fr. Études Andines**, Lima, v.27, n. 3, p.839-844, 1998. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/ny9VJ9WHx7Dz8kfX5fvp8zg/?format=html&lang=pt> Acesso em: 08 mar. 2018.

CORREIA FILHO, W. L. F.; LUCIO, P. S.; SPYRIDES, M. H. C. Caracterização dos extremos de precipitação diária no Nordeste do Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 36, n. 3, p. 539-554, 2016. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337148745009> Acesso em: 22 maio 2019.

FREIRE, F. G. C. *et al.* Estudo das precipitações máximas para o município de Mossoró-RN, Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 6, n.1, p. 3-7, 2013. Disponível em: <https://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/85> Acesso em: 11 abr. 2019.

FREIRE, N. C. F.; BONFIM, C. V.; NATENZON, C. E. Vulnerabilidade socioambiental, inundações e repercussões na Saúde em regiões periféricas: o caso de Alagoas, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, n. 19, p. 3755-3762, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/7ZHTp8Z9frPgCh3zLrtR5RD/abstract/?lang=pt> Acesso em: 01 set. 2018.

GOMES, G. T. C. **Erros na estimativa de eventos extremos de vazão usando precipitação estimada por radar**. 2018. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/4935> Acesso em: 20 jul. 2019

GONDIM, J. *et al.* **A seca atual no semiárido nordestino: impactos sobre os recursos hídricos**. Brasília, 2017. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/856/784. Acesso em: 26 set. 2018.

MENDONÇA, F. C. **Precipitações**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula%203/Aula%203_Precipitacoes.pdf. Acesso em: 18 maio 2018.

OLIVEIRA, M. Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. **TERRÆ Didática**, Campinas (SP), v. 13, n. 3, p. 149 -184, 2017. Disponível em: https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v13_3/133-1%20.html. Acesso em: 14 maio 2018.

QUEIROZ ROSENDO, E. E. Q. *et al.* Extreme rainfall and territorial disorder in the construction of risk: a case study in the Cabaceiras Municipality of Paraíba, Brazil. **Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía**, Bogotá, v. 24, n. 2, p. 189-203, 2015. Disponível em: https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v13_3/PDF13_3/td13-3-171-1.pdf. Acesso em: 07 maio 2018.

REBOITA, M. S. *et al.* Causas da semi-aridez do sertão nordestino. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 19, p. 254-274, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/42091> Acesso em: 30 set. 2018.

SILVA, D. F. Aplicação das análises de ondeletas para previsão climática e na prevenção de risco climático no Estado do Ceará. *In*: LOURENÇO, L. F.; MATEUS M. A. (org.). **Riscos naturais, antrópicos e mistos: homenagem ao Prof. Dr. Fernando Rebelo**. Coimbra-Portugal: Universidade de Coimbra, v. 1, p. 235-250, 2013. Disponível em: https://www.uc.pt/fluc/depgeotur/publicacoes/Livros/livro_homenagem_FRebelo/235_250. Acesso em: 22 jul. 2019.

SILVA, D. F.; SOUSA, F. A. S.; KAYANO, M. T. Escalas temporais da variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Mundaú. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, n. 3, p. 324 - 332, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/zxx35tmMhFj5bFXpG6CCxwt/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 22 jul. 2019.

SILVA, D. F.; GALVÍNIO, J. D. Estudo da influência da oscilação decadal do Pacífico no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Ceará, v. 4, n.4, p. 665, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232677>. Acesso em: 22 jul. 2019.

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**, São Paulo, n. 32, p. 187-198. 2017. <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/77RZdZy9dwSy6V4rNZL6pKK/abstract/?lang=pt> Acesso em: 04 jul. 2018.

SANTOS, M. S. M. **Análise hidro-meteorológica de cheias na região norte de Portugal**. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de Lisboa, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Lisboa, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/22856> Acesso em: 22 ago. 2018.

SOUZA, N. **Com histórico de cheias em Alagoas, estado aprendeu a recomeçar do zero**. Disponível em: <http://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2014/06/com-historico-de-cheias-em-alagoas-estado-aprendeu-recomecar-do-zero.html>. Acesso em: 3 maio 2019.

WANDERLEY, H. S. AMORIM, R. F. C.; CARVALHO, F.O. Interpolação espacial da precipitação no estado de Alagoas utilizando técnicas geoestatística. *Campo Digit@l, Campo Mourão*, v.8 n. 1, p. 34-41, 2013. Disponível em: <https://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital/article/view/1572>. Acesso em: 10 out. 2019.