

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - ICAT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

IARA BEZERRA DA SILVA CAVALCANTE

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO EM
MACEIÓ-AL E DE SUAS CAUSAS CLIMÁTICAS**

Maceió - AL

2022

IARA BEZERRA DA SILVA CAVALCANTE

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO EM
MACEIÓ-AL E DE SUAS CAUSAS CLIMÁTICAS**

Dissertação de Mestrado apresentado ao programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Meteorologia

Orientadora Prof^ª. Dr^ª. Djane Fonseca da Silva

Maceió - AL

2022

Folha de Aprovação

IARA BEZERRA DA SILVA CAVALCANTE

*“ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO EM MACEIÓ-AL
E DE SUAS CAUSAS CLIMÁTICAS.”*

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.



Profa. Dra. Djane Fonseca da Silva
(Orientadora)

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Fabrício Daniel dos Santos Silva
(Membro Interno)



Prof. Dr. Osmar Evandro Toledo Bonfim
(Membro Externo)

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecário: Cláudio César Temóteo Galvino – CRB4/1459

C377a Cavalcante, Iara Bezerra da Silva.
Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação em Maceió-Al e de suas causas climáticas / Iara Bezerra da Silva Cavalcante. – 2022.
92 f.: il.

Orientadora: Djane Fonseca da Silva.
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 77-92.

1. Índice Padronizado de Precipitação. 2. ENOS. 3. Análise de Ondaleta. I. Título.

CDU: 551.578.1(813.5)

RESUMO

Devido ao comportamento pluviométrico na cidade de Maceió, o objetivo geral deste trabalho é analisar a variabilidade espacial e temporal da precipitação em Maceió, identificando áreas homogêneas, e conseqüentemente, identificar quais as causas climáticas para ocorrência de sua variabilidade e de seus extremos. Foram utilizados dados mensais de precipitação de Maceió para 13 estações meteorológicas automáticas, com períodos de 2015 a 2020, obtidos juntos à Defesa Civil Municipal, não havendo falhas no período de estudo. Através da espacialização, observou-se que os valores do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) médios anuais foram classificados como normais. Porém, a parte alta da capital, ao norte, e o Litoral Norte de Maceió obtiveram valores próximos à eventos classificados como secos, ao contrário da parte baixa e Litoral Sul, que apresentam SPI próximo à eventos chuvosos. Para a média do SPI, através da aplicação da análise de agrupamentos foram identificadas duas regiões (R1 e R2), as quais apresentaram maior distância euclidiana e menor semelhança. O gráfico do BoxPlot apresenta valores semelhantes tanto no limite superior quanto na mediana para ambas regiões (R1 e R2), na qual o SPI do valor superior para as duas regiões tem valor máximo de aproximadamente 2,99, já o limite inferior tem SPI próximo a 1,1 para a R1 e 1 para a R2. Na aplicação do teste de Mann-Kendall foram identificadas tendências de diminuição de precipitação na R1, e um leve aumento na tendência de precipitação na R2, ambas regiões apresentaram significância estatística através do teste de T-Student. Utilizando a análise de ondaleta foram identificadas para a R1 as escalas: sazonal, semestral, interanual, ENOS, ENOS estendido, Manchas Solares e Dipolo do Atlântico, no qual o ENOS e ENOS estendido apresentaram escala dominante, já para a R2, foram identificadas as escalas: sazonal, semestral, interanual, ENOS, Manchas Solares e Dipolo do Atlântico, tendo como escala dominante o ENOS. Com a utilização da ondaleta cruzada, os gestores locais podem prever secas após a ocorrência do máximo de Índice Oscilação Sul e que os eventos extremos de Maceió apresentam relação significativa com ENOS. Conclui-se que, através das análises estatísticas utilizadas, foi possível identificar a variabilidade temporal e espacial da precipitação na capital Alagoana.

Palavras-Chaves: Índice Padronizado de Precipitação, ENOS, Análise de Ondaleta.

ABSTRACT

Due to the pluviometric behavior in the city of Maceió, the general objective of this work is to analyze the spatial and temporal variability of precipitation in Maceió, identifying homogeneous areas, and consequently, identifying the climatic causes for the occurrence of its variability and its extremes. Monthly rainfall data from Maceió were used for 13 automatic weather stations, with periods from 2015 to 2020, obtained from the Municipal Civil Defense, with no failures in the study period. Through spatialization, it was observed that the values of the standardized annual precipitation index (SPI) were classified as normal. However, the upper part of the capital, to the north, and the North Coast of Maceió obtained values close to events classified as dry, unlike the low part and South Coast, which present SPI close to rainy events. For the SPI mean, through the application of cluster analysis, two regions were identified (R1 and R2), which presented greater Euclidean distance and less similarity. The BoxPlot graph presents similar values both in the upper limit and in the median for both regions (R1 and R2), in which the SPI of the upper value for the two regions has a maximum value of approximately 2.99, while the lower limit has a close SPI at 1.1 for R1 and 1 for R2. In the application of the Mann-Kendall test, trends of decreasing precipitation were identified in the R1, and a slight increase in the tendency of precipitation in the R2, both regions presented statistical significance through the T-Student test. Using wavelet analysis, the following scales were identified for R1: seasonal, semiannual, interannual, ENSO, extended ENSO, Sunspots and Atlantic Dipole, in which ENSO and extended ENSO showed dominant scale, while for R2, the following scales were identified. scales: seasonal, semiannual, interannual, ENSO, Sunspot and Atlantic Dipole, with ENSO as the dominant scale. With the use of the cross wavelet, local managers can predict droughts after the occurrence of the maximum Southern Oscillation Index and that the extreme events in Maceió have a significant relationship with ENSO. It is concluded that, through the statistical analysis used, it was possible to identify the temporal and spatial variability of precipitation in the capital of Alagoas.

Keywords: Standardized Precipitation Index, ENSO, Wavelet Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Estágio da dissipação da OL ocorrida em junho de 2010	24
Figura 2 -	Mapa do Brasil com foco no Estado de Alagoas	32
Figura 3 -	Localização de Maceió-AL e seus limites geográficos	32
Figura 4 -	Mapa dos bairros de Maceió	33
Figura 5 -	Exemplo de Box plot para o Oceano Atlântico geral e seus setores	37
Figura 6 -	Exemplo de cluster hierárquica	38
Figura 7 -	Exemplo de coerência	44
Figura 8 -	SPI anual para Maceió	46
Figura 9 -	SPI do verão (DJF) de Maceió	47
Figura 10 -	SPI do outono (MAM) de Maceió	48
Figura 11 -	SPI do inverno (JJA) de Maceió	49
Figura 12 -	SPI da primavera (SON) de Maceió	50
Figura 13 -	Análise de Agrupamentos do SPI dos Bairros de Maceió, com média anual	51
Figura 14 -	SPI anual: (a) Região 1 (R1) e (b) Região 2 (R2)	53
Figura 15 -	Análise de Agrupamentos do SPI dos Bairros de Maceió, média do verão (DJF)	54
Figura 16 -	SPI para o verão (DJF): (a) Região 1 (R1) e (b) Região 2 (R2)	55
Figura 17 -	Análise de Agrupamentos do SPI dos Bairros de Maceió, média do outono (MAM)	56
Figura 18 -	SPI para o outono (MAM): (a) Região 1 (R1) e (b) Região 2 (R2)	58
Figura 19 -	Análise de Agrupamentos do SPI dos Bairros de Maceió, média do inverno (JJA)	59
Figura 20 -	SPI para o inverno (JJA): (a) Região 1 (R1) e (b) Região 2 (R2)	60
Figura 21 -	Análise de Agrupamentos do SPI dos Bairros de Maceió, média da primavera (SON)	61
Figura 22 -	SPI para a primavera (SON): (a) Região 1 (R1) e (b) Região 2 (R2)	62
Figura 23 -	BoxPlot anual para a região 1 (R1) e região 2 (R2)	63
Figura 24 -	Tendência temporal de SPI para R1	65
Figura 25 -	Tendência temporal de SPI para R2	66

- Figura 26 -** Região 1 (R1): (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% 67
- Figura 27 -** Região 2 (R2): (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% 68
- Figura 28 -** Região 1 (R1): (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%. 70
- Figura 29 -** Região 2 (R2): (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%. 71
- Figura 30 -** WTC entre o IOS e SPI para o período de 1952-2020. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência 72
- Figura 31 -** WTC entre o Dipolo do Atlântico e SPI para o período de 1952-2020. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de 73

confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência

Figura 32 - WTC entre as Manchas Solares e SPI para o período de 1952-2020. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de 74
confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação	Descrição
1	Distribuição Gama
2	Cálculo para encontrar o valor do SPI
3	Técnica de Ward
4	Distância euclidiana
5	Teste de Mann-Kendall
6	Média do Teste de Mann-Kendall
7	Variância do Teste de Mann-Kendall
8	Teste estatístico parametrizado
9	Teste de T-Student
10	Anomalia da variável para a Análise de Ondaleta
11	Ondaleta de Morlet
12	Determinação do nível de significância
13	Cálculo para o WTC
14	Cálculo para a coerência
15	Operador de suavização da ondaleta
16	Cálculo do operador de suavização
17	Cálculo do operador de suavização
18	Minimização do custo total da ondaleta
19	Diferença de coerência de fase

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Coordenadas geográficas de treze estações meteorológicas de Maceió	34
Tabela 2 -	Classificação e valores do SPI	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AO	Análise de Ondelela/Ondaleta
ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
BA	Bahia
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
DJF	Dezembro, janeiro, fevereiro
DOL	Distúrbio Ondulatório de Leste
EE	Eventos Extremos
ENOS	El Niño Oscilação Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
JJA	Junho, julho, agosto
LNEB	Leste do Nordeste Brasileiro
MAM	Março, abril, maio
NB	Norte do Brasil
NEB	Nordeste do Brasil
NNE	Norte do Nordeste
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
OL	Ondas de Leste
OMA	Oscilação Multidecadal do Atlântico
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
PB	Paraíba
PE	Pernambuco
PMBC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

R1	Região 1
R2	Região 2
SON	Setembro, outubro, novembro
SPI	Índice Padronizado de Precipitação
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
WTC	Espectro de Ondaleta Cruzada
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Eventos Extremos (EE)	14
3.2 Ações antropogênicas associadas aos EE que causam impactos aos centros urbanos	20
3.2.1 Cidades planejadas e o enfrentamento dos EE	21
3.3 Sistemas meteorológicos e fenômenos climáticos que afetam o LNEB	23
4. METODOLOGIA	31
4.1 Área de Estudo	31
4.2 Dados	33
4.2 SPI (Índice Padronizado de Precipitação)	34
4.3 Cluster Analysis ou Análise de Agrupamentos	36
4.4 BoxPlot ou Gráfico de Caixa	37
4.5 Análise de Tendências	39
4.6 Teste de Significância de T-Student	40
4.7 AO (Análise de Ondeletas/Ondaletas ou Wavelet)	41
4.8 Coerência e Fase da Ondelela	42
5. RESULTADOS	45
5.1 Espacialização do SPI	45
5.2 Análise de agrupamentos e classificação do SPI	50
5.2.1 Anual	51
5.2.2 Verão	53
5.2.4 Inverno	58
5.2.5 Primavera	60
5.3 BoxPlot ou Gráfico de Caixa	63
5.4 Tendência climática por Mann–Kendall para a série anual	66
5.5 Identificação das causas climáticas Análise de Ondaletas	68
5.6 Ondaleta cruzada ou de Coerência e Fase	71
5.6.1 IOS e SPI	71
5.6.2 Dipolo do Atlântico e SPI	72

5.6.3 Manchas Solares e SPI.....	73
7. Referências:	77

1. INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais causam preocupação sobre a qualidade de vida nos últimos anos em todo o mundo, com altos números de mortes e feridos, elevados índices de doenças, desabrigados e desalojados, além de grandes perdas econômicas e destruição do meio ambiente. Conforme Souza *et al.* (2014) a crescente preocupação associa-se às recentes evidências do incremento na frequência e intensidade de desastres que estão associados às variabilidades e mudanças climáticas.

A ocorrência de desastres naturais aumentou em todo o mundo, e normalmente é relacionada aos eventos extremos de chuva e seca, que ocorrem simultaneamente com algumas situações como o aumento da população nos grandes centros urbanos, levando a ocupação de populações de baixa renda em áreas de risco, que são frequentemente associados pelos cientistas ao aquecimento global. Duarte *et al.* (2015) sugere que chuvas intensas, temporais, tornados ou estiagens severas, tornam-se mais frequentes quando a atmosfera está mais aquecida, contribuindo para o aumento de incidência de desastres.

A variabilidade de precipitação sobre o Leste do Nordeste do Brasil (LNEB) deve-se à atuação de alguns sistemas atmosféricos, os quais são responsáveis pela variação de tempo, sendo alguns deles: Ondas de Leste (OL), as brisas marítimas e terrestres que estão associadas à topografia de umidade do Oceano Atlântico Tropical (KOUSKY, 1979; MOURA e SHUKLA, 1981 *apud* CORREA *et al.*, 2019), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (UVO, 1989), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) (KOUSKY e GAN, 1981; FERREIRA e SOUZA, 2019) e as frentes frias (KOUSKY, 1979; TEIXEIRA e PRIETO, 2020).

As chuvas intensas, sejam elas de elevada ou menor duração, diminuem a resistência do solo, assim, facilita a mobilidade de encostas em ambientes tropicais. O aumento e concentração da precipitação associados com um sistema de drenagem urbana ineficiente, usualmente por aumento excedente de carga e/ou modificações antropogênicas, desmatamentos e a construções irregulares nas calhas e terraços fluviais representam nas cidades áreas de riscos, estando sujeitas a inundações, alagamentos e deslizamentos.

Os desastres naturais desencadeiam processos físicos, entretanto, a forma e intensidade com que atingem áreas ou regiões habitadas pelo homem ocasionando-lhe danos ou uma

grave perturbação do funcionamento de uma comunidade e/ou sociedade, que envolve perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais de grande dimensão. Esses impactos ultrapassam a capacidade da comunidade ou da sociedade afetada de arcar com seus próprios recursos, pois estão associados ao grau de modificação que a ocupação e os usos causam na paisagem (LEAL NETO *et al.*, 2019).

Apesar de acreditar-se que a precipitação na cidade de Maceió é semelhante, ou seja, chove a mesma quantidade em todos os bairros, há a necessidade de mostrar as regiões mais homogêneas da capital, identificando os bairros com maiores valores pluviométricos, contribuindo para a prevenção de eventos extremos.

2. OBJETIVOS

Geral

Analisar espaço e temporalmente as precipitações em Maceió, identificando as áreas mais vulneráveis à ocorrência de desastres decorrentes das chuvas, identificando áreas com precipitações semelhantes, e conseqüentemente, descobrir quais as causas climáticas para ocorrência de sua variabilidade.

Específicos

- Identificar e classificar os eventos de chuva/seca em Maceió;
- Verificar as regiões homogêneas;
- Visualizar os máximos superiores e inferiores de precipitação;
- Analisar as tendências de precipitações nas regiões homogêneas;
- Observar as variabilidades e escalas temporais nas séries de precipitação;
- Avaliar as relações de chuva/seca com fenômenos climáticos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Eventos Extremos (EE)

Durante os últimos anos a variabilidade climática e os EE (Eventos Extremos) têm afetado de forma rigorosa a América Latina, podendo mencionar as chuvas extremas, inundações, seca, temporais de granizo, o sem precedente Furacão Catarina, e a estação recorde de furacões na Bacia do Caribe. Para Marengo (2009) a variabilidade climática e os EE causam impactos negativos na população, aumentando a mortalidade e a fragilidade nas áreas afetadas, que com a falta da adaptação, as regiões afetadas estarão mais vulneráveis aos impactos dos eventos. O NEB (Nordeste do Brasil), por exemplo, devido às mudanças climáticas aumentam drasticamente o número de pessoas vulneráveis a passar fome.

As chuvas intensas ocorridas em 2009 na região da Amazônia e do NEB, causou enchentes que impossibilitou de cerca de 408.000 pessoas retornassem à suas casas, para minimizar os impactos causados pelo evento, o governo liberou mais de 435 milhões de dólares para auxiliar as vítimas das consequências dos EE (MARENGO, 2020).

Os EE são definidos como sendo os totais de chuva em um período, podendo ser anual, sazonal ou diário, que apresentam desvios superiores ou inferiores ao comportamento habitual da área no período analisado, sendo responsáveis pelas principais catástrofes naturais nos últimos anos (SOUSA, 2010; FARIAS *et al.*, 2012).

Os EE são fenômenos excepcionais da atmosfera que, podem ser estudados de forma dinâmica quando ocorrem em espaços urbanos. E os desastres naturais podem ser causados por eventos, que ocorrem como reações do sistema ambiental físico às forças de perturbações aplicadas pela natureza, podendo causar danos humanos, ambientais, econômicos e ao setor público (MONTEIRO, 1976; TOMINAGA, 2009; BRASIL, 2012 *apud* CAVALCANTE e TEMOTEO, 2018).

De acordo com Melo *et al.* (2018) a estiagem na microbacia do Rio Inhandava - RS foi o evento climático de maior ocorrência, sendo também, o que provavelmente mais afetou a população, devido sua maior abrangência temporal e espacial. Já os eventos de enxurrada, vendaval, granizo e inundação, tiveram menor ocorrência e intensidade.

Segundo Jorge e Lucena (2018) a intensidade de EE de chuvas no município de Mauriti - CE, tem quantidade de anos secos e chuvosos quase iguais, contudo nas categorias mais

extremas, não foi notado nenhum ano de seca extrema, por outro lado, foram identificados dois anos extremamente chuvosos (1985 e 1989).

Assim, a crescente urgência diante ao aumento de ocorrência e intensidade dos EE à vulnerabilidade da população em áreas de risco, demanda avanços na gestão preventiva e, principalmente, participativa, para uma governança ambiental dos riscos dos desastres naturais que proporcione o desenvolvimento da capacidade de adaptação das sociedades modernas (JACOBI e GIATTI, 2017).

3.1.1 Secas

As secas ocorrem quando a disponibilidade hídrica é escassa para atender as necessidades das atividades humanas ou do meio ambiente. Esses eventos não possuem uma definição universal, visto que as demandas hídricas dependem da região, período, e das variáveis analisadas. As secas estão classificadas em quatro categorias, são elas: seca meteorológica, quando há escassez de chuvas e possível aumento da evapotranspiração; seca edáfica, está relacionada à umidade do solo; a seca hidrológica, com anomalias negativas nas águas superficiais e subsuperficiais; e a seca socioeconômica, que está relacionada às demandas da sociedade (WILHITE e GLATNZ, 1985; VAN LOON, 2015; WILHITE e PULWARTY, 2018 *Apud* CHAGAS *et al.*, 2018).

A seca é um evento que causa severas consequências, sendo classificada como um fenômeno natural e nitidamente se difere de outros, normalmente ela apresenta um início lento, duração longa e espalha-se, na maioria das vezes, por uma área extensa (COSTA, 2015 *apud* DA SILVA *et al.*, 2020).

Entre os anos de 1967 e 1992, em todo o planeta as secas afetaram 50% do total de 2,8 bilhões de pessoas, sendo perdidas 1,3 milhão de vidas humanas por causa de impactos diretos e indiretos. Os eventos das secas dependem dos sistemas meteorológicos atuantes na região, do relevo e dos fenômenos climáticos de grande escala que influenciam as variáveis responsáveis pelo comportamento e a circulação da atmosfera. Várias regiões do globo são suscetíveis a ocorrência de secas, principalmente as regiões equatoriais que está mais susceptível a insolação. Além dos fatores físicos e geográficos, o ENOS (El Niño Oscilação Sul) e o Dipolo do Atlântico são alguns dos fenômenos que podem estar associados a secas no NEB (GUEDES *et al.*, 2012).

As anomalias da TSM (Temperatura da Superfície do Mar) tanto no Oceano Pacífico Leste, quanto no Oceano Atlântico Norte Tropical, estão associadas a ventos fortes, e a célula de Walker se desloca meridionalmente de Oeste para Leste, fazendo com que as correntes de subsidência atmosférica estacionem sobre a Amazônia, diminuindo os índices pluviométricos e assim, baixos valores de vazão na região da Amazônia geralmente são associados às secas (COUTINHO *et al.*, 2019).

Conforme Carvalho *et al.* (2013) de 1973 até 2008, os períodos secos em Rio Largo - Al apresentam grande variabilidade entre as estações secas e chuvosas, tendo período seco de 5 dias mais frequente. Enquanto que, durante a estação chuvosa, os períodos secos superiores a 7 e 10 dias apresentaram baixas ocorrências. Já Lima *et al.* (2018) quantificaram os EE secos de Alagoas no período de 1963 a 2001, e encontraram que as quantidades de ocorrência de secas foram maiores em Piranhas, Traipu, Igreja Nova e Murici.

De acordo com Medeiros (2019) a seca que ocorreu no NEB durante o período de 2012 a 2016 afetou mais rigorosamente o Norte do Nordeste, tendo uma deficiência hídrica superior a 1000 mm. Ao avaliar a diferença entre a média climatológica (1981 a 2010) e o evento de seca de 2012 a 2016, durante a estação chuvosa, foi observado um déficit de precipitação de 37,8% durante o período de dados analisados. O baixo valor aponta o motivo pelo qual muitos reservatórios do NEB atingiram volumes baixos de armazenamento, visto que, a recomposição da água desses reservatórios são utilizados para o consumo humano e uso agrícola, está limitada em sua maior parte às chuvas do período chuvoso da região.

3.1.2 Chuvas extremas

Considera-se chuva extrema quando um evento ocorre entre 15% e 20% ou mais do total climatológico previsto de precipitação para uma estação do ano, ocorrendo em um período de tempo curto, como uma dia, por exemplo (LIEBMANN *et al.*, 2001).

Entre os dias 17 e 19 de junho de 2010 ocorreram cheias nas Bacias do rio Mundaú e do rio Paraíba do Meio, que acarretaram, perda de vidas humanas, devastando as edificações ribeirinhas, entre outras consequências causadas pelas vazões e alta velocidade do escoamento sendo especuladas pela mídia várias causas prováveis, como aberturas de comportas, altos volumes de precipitação e o rompimento de açudes (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Conforme Costa *et al.* (2009) a precipitação provável mensal para o município de Maceió, durante os meses de janeiro, março a julho foram classificados como ligeiramente menos chuvosos, novembro como excessivamente menos chuvoso, e agosto e setembro foram classificados como ligeiramente mais chuvoso.

Segundo Sousa *et al.* (2016) Salvador, João Pessoa e Maceió são as capitais que apresentam maiores probabilidades para ocorrência de chuva de 100 mm/dia no NEB, para o período de retorno para 50 e 100 anos, Maceió e Natal tiveram os menores valores de precipitação, sendo de abril a julho o período de maior ocorrência do evento.

Os EE de chuva que ocorreram em Fortaleza-CE foram mais frequentes e com maior intensidade em anos chuvosos, ocorrendo em média 3 vezes por ano, sendo apenas os anos 2013 e 2014 os que não tiveram registros de eventos desse tipo (RODRIGUES *et al.*, 2017).

Sena *et al.* (2017) analisaram o comportamento da precipitação por décadas e a relação com EE na região do Cariri Paraibano, que resultou nas modificações dos totais anuais durante o período estudado, com maiores anomalias de precipitação anual tanto em termos médios como em escala espacial. Além da variabilidade do Oceano Pacífico e Oceano Atlântico apresentaram influência nos totais pluviométricos devido sua variabilidade em escala decadal e anual.

De acordo com Rodrigues (2019) a intensidade da precipitação extrema diária esperada depende do período sazonal e do local de ocorrência, quando observado somente o NEB, o LNEB destacou-se como a região em que são esperadas as maiores intensidades de chuva extrema.

Leal Neto *et al.* (2019) buscaram entender a sequência histórica dos EE de precipitação, e analisar seus impactos no cotidiano de Maceió e de sua população no período de 1961 a 2018. Os autores identificaram 10 anos com EE de precipitação (1968, 1969, 1975, 1977, 2004, 2006, 2009, 2010, 2011 e 2017), alguns com apenas 1 registro de anomalia e outros com mais meses. Os 10 anos com EE apresentaram transtornos socioeconômicos para a cidade, resultando em prejuízos econômicos e com perdas de vidas humanas.

Segundo Da Silva *et al.* (2020) no LNEB (Leste do Nordeste Brasileiro) a quantidade de secas leves a moderadas são maiores que os de chuva leve a moderada, tendo ocorrências de secas leves que ultrapassaram o total de todas as classes de chuvas, enquanto que os casos de

extrema intensidade de precipitação persistem mais quando comparados aos eventos de seca extrema.

3.1.3. Impactos negativos dos EE

Os impactos causados nas regiões em que os EE são mais intensos e/ou frequentes, os custos econômicos e sociais desses eventos aumentam, sendo maiores nas regiões diretamente afetadas. Nas áreas de secas, as mudanças climáticas levam à salinização e desertificação das terras agrícolas, e diminuição da produtividade do gado e de algumas colheitas, com consequências diversas para a segurança alimentar (MARENGO, 2009).

Os EE de precipitação em Maceió e em sua região metropolitana são capazes de causar prejuízos sociais e econômicos, tanto nos espaços rural, quanto no espaço urbano, causando a vulnerabilidade socioambiental restringi-se às áreas e sítios urbanos (NASCIMENTO, 2019).

Conforme o estudo de Leal Neto *et al.* (2019) quando há grande impacto sobre os espaços urbanos relacionados aos EE, faz-se necessário a identificação e especialização desses eventos no contexto metropolitano brasileiro, especialmente, nos grandes aglomerados populacionais.

Segundo Da Silva (2017) detectar as causas de ciclos e extremos pluviométricos que resultam em desastres naturais, inclusive em regiões sócio-economicamente vulneráveis, é uma forma de baixo custo para o auxílio de gerenciamento de setores de recursos hídricos e socioeconômicos locais, prevenindo também a perda de vidas humanas. Assim, como os eventos intensos de chuva que ocorreram em Salvador-BA que ocasionou impactos causados pelos EE, como deslizamentos de terra, desabamento de imóveis e alagamentos (SANTOS, 2008).

Lima *et al.* (2018) avaliaram os impactos das chuvas em Fortaleza-CE, que mostraram que esses eventos causaram a deflagração de alagamentos, inundações, deslizamentos de terra, além das ressacas do mar, que apresentaram uma ampla distribuição espacial e generalização na desorganização da mobilidade urbana e danos nas residências e estruturas construídas, e ainda interrupção de serviços essenciais.

3.1.3 Eventos Extremos de Precipitação sobre Centros Urbanos

Alguns centros urbanos brasileiros são marcados pelo rápido e desordenado crescimento, tendo a ocupação de áreas de risco desencadeadas pela especulação imobiliária, por sua vez, resultado do desenvolvimento desenfreado das cidades, que somados aos regimes de chuva intensos configuram um dos maiores problemas enfrentados pelos municípios anualmente (Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC, 2016).

A construção do espaço urbano, criando um novo cenário de ocupação desordenada, a remoção da cobertura vegetal, impermeabilização do solo, entre outros fatores, são algumas das evidências da intervenção do ser humano na natureza, com isso, o clima é alterado, modificando fenômenos como precipitação, vento, temperatura e umidade relativa (SILVEIRA e SARTORI, 2010). Apesar desses fenômenos serem naturais, a ação do homem é o principal contribuinte para a formação, frequência e agressividade desses eventos (GONÇALVES, 2003).

Para o PBMC (2016) uma das maiores preocupações envolvendo o clima e as edificações está relacionada a episódios de fortes tempestades, que são responsáveis por inundações e desmoronamentos. Dessa forma, os assentamentos precários situados nas áreas de risco de destruição pela ação direta das águas ou erosão do solo após EE podem causar o desabamento de moradias, rompimento de obras de infraestrutura urbana, além de danos a outros bens e à integridade física da população.

De acordo com Estevan (2018) a interação entre a dinâmica de ocupação do espaço urbano em Salvador - BA e o impacto dos índices de chuva, apresentaram riscos ambientais de deslizamentos e inundações na cidade que são consequências de fatores associados com o relevo constituído em grande parte de encostas que são recobertas por solos profundos e porosos, além do desmatamento e a intensidade das chuvas.

Segundo Silva (2018) os eventos pluviométricos intensos frequentes que impactaram o ambiente urbano de Uberlândia-MG causam consequências como a perda de asfaltos nos centros urbanos, afetando sistemas de trânsito e transportes, queda de árvores, problemas na rede elétrica, interrupção e prejuízo de serviços públicos, principalmente de saúde e escola, desocupação dos imóveis devido casas alagadas, vidas humanas perdidas, entre vários outros problemas.

3.2 Ações antropogênicas associadas aos EE que causam impactos aos centros urbanos

Alguns fatores agravam os danos causados por fortes chuvas: A malha urbana marcada por um grupo de ruas longas e direcionadas entre as encostas da serra e a calha do rio; o grande processo de expansão da cidade, desobedecendo a necessidade de preservação dos ambientes frágeis; o precário sistema de drenagem das águas pluviais, principalmente nas áreas centrais da cidade; e o asfaltamento de um grande número de ruas, com a ausência de canais de drenagem. Essa relação de fatores foi sugerida por Maia *et al.* (2017) após estudo para Vitória da Conquista (BA).

Já Silva *et al.* (2019) aponta que ações antropogênicas como aterros mal compactados, taludes desprovidos de cobertura superficial, lançamento de água servidas direta ou por rompimento de tubulações, são alguns causadores de deslizamentos em Recife, diminuindo a segurança das encostas, afetando principalmente os bairros da Zona Norte, Nordeste e Noroeste.

De acordo com o estudo de Moura *et al.* (2016) o processo acelerado de urbanização do estado de São Paulo, por exemplo, cooperou para uma ocupação maior de áreas de vegetação, ocasionando o aumento da suscetibilidade ambiental de alguns locais, assim como, o aumento da vulnerabilidade das populações a problemas provenientes dos fenômenos atmosféricos como as inundações e escorregamentos de massa. Essa situação não ocorre apenas nos grandes centros urbanos, mas também em cidades pequenas e médias.

A região semiárida do NEB é constantemente afetada por fenômenos climáticos que produzem escassez hídrica ou excessos pluviais, que causam inundações, porém, assim como esses fenômenos, a espacialização dos municípios contribui para o aumento da ocorrência dos desastres nas regiões mais vulneráveis aos eventos climáticos extremos (OLÍMPIO e ZANELLA, 2017).

Em setembro de 2017, uma forte chuva que ocorreu em Paripiranga-BA, causou sérios danos ao município, alguns fatores favoreceram à ocorrência de deslizamentos como: as mudanças ambientais causadas pelo homem, o aumento da concentração da população nas cidades devido ao crescimento demográfico e a globalização das desigualdades e diferenças sociais (SILVA *et al.*, 2019).

A história da vulnerabilidade de formação urbana de Recife-PE, passou por mudanças em seu espaço sem um adequado planejamento, considerando as dinâmicas superficiais de seu sítio geomorfológico, além do mais, a rápida expansão urbana para ambientes naturais sujeitos aos processos geomorfológicos, como planícies fluviais e encostas, levando a ocupação para os espaços inadequados, modificações antrópicas consideráveis para a dinâmica geomorfológica, tornando tais ambientes ocupacionais vulneráveis quando ocorrem eventos pluviométricos extremos (DOS SANTOS *et al.*, 2020).

3.2.1 Cidades planejadas e o enfrentamento dos EE

O planejamento das cidades tem grande importância para diminuir as áreas de risco que causam prejuízos para a população devido aos EE, enquanto que as cidades sem um plano de prevenção, causam danos para toda cidade, sendo importante fazer uma investigação das principais regiões com maior ocorrência de EE para tomar medidas de prevenção.

Se as cidades forem planejadas, há perspectiva de menos danos sociais e econômicos quando a mesma for atingida por EE. Desse modo, alguns gestores tentam estudar essa temática e investir em obras mitigadoras dos impactos climáticos.

A partir da década de 1930 a população nas cidades brasileiras cresceu deixando de ter maior predominância rural, e em 1970 essa população passa a ser predominantemente urbana. Algumas cidades importantes como São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, já apresentavam a maioria de sua população como urbana, enquanto que Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte, que são estados de menor extensão, atingiram a mesma situação populacional a partir de 1980 (JAPIASSÚ, 2015).

Conforme o PBMC (2016) os riscos de desastres naturais de origem hidrometeorológica podem ser traduzidos em situações econômicas e na mortalidade da população. No Brasil, o NEB é afetado na maior parte pelas secas, já no LNEB, no Sudeste e Sul do Brasil, há maiores riscos de desastres hidrológicos.

Conforme Apollaro e Alvim (2017) é evidente a importância do planejamento urbano como meio de introduzir transformações nos setores econômicos, sociais e ambientais em áreas urbanas, que possibilita novas atitudes, incorporando padrões de ocupação das cidades e, conseqüentemente, promovendo alterações significativas no estilo de vida da população, auxiliando no enfrentamento dos impactos decorrentes da mudança climática.

Para Hoffmann *et al.* (2011) um dos maiores desafios que as cidades enfrentam, é para conciliar a vida urbana voltada para o desenvolvimento ambiental, conciliando veículos, pessoas e lixo, ao aumento no consumo dos materiais inorgânicos, para que, desta maneira consigam preservar o meio ambiente saudável.

Segundo Moreira *et al.* (2017) a vulnerabilidade urbana devido ao evento extremo ocorrido na região metropolitana de Recife em 2016, deve-se ao fato de ter uma população e território socialmente vulnerável, já que os eventos não se limitaram às áreas periféricas da cidade, apesar de que as regiões suburbanas costumam serem mais vulneráveis. Porém, os modelos de desenvolvimento das cidades são efeitos das negligências técnica e política, que causam prejuízos em todas as camadas sociais, não sendo uma exclusividade de uma região específica, mas sim das grandes Regiões Metropolitanas do Brasil.

Valverde (2017) mostrou que a vulnerabilidade na região do ABC Paulista tem um caráter social, não referindo-se apenas ao dano físico potencial de chuva intensa, em que os impactos da chuva estão ligados à determinantes demográficas, econômicas e sanitárias de uma comunidade, que estão vulneráveis, incapazes de lidar, recuperar, responder e adaptar -se aos perigos das chuvas intensas.

Teixeira (2019) sugere que as cidades devem ser planejadas para a adaptação dos eventos climáticos, e as duas cidades estudadas pelo autor, apresentaram planos diferentes, Curitiba - PR que apresentou um plano em que preocupa-se com as questões climáticas da cidade, enquanto Natal-RN, não mostrou interesse para um planejamento urbano voltado para a adaptação aos efeitos das mudanças climáticas. Desse modo, considera-se Curitiba como cidade inteligente.

Conforme Rosa Filho e Cortez (2010) os deslizamentos em áreas de risco no Brasil vêm aumentando e caracterizando-se como um dos problemas mais graves enfrentados pelos centros urbanos, causando perdas e danos para muitas famílias residentes que vivem em bairros de padrão mais baixo, ocupando principalmente encostas de declividades altas, a partir dos fundos de vale, tendo como concentração dessa ocupação feita pela retirada da cobertura vegetal e pela execução de cortes e aterros em terrenos de risco.

Em decorrência das mudanças climáticas, os fenômenos como ondas de calor com secas prolongadas, episódios de precipitação de chuvas intensas, ressacas e o aumento no nível do mar atingem áreas urbanas com considerável gravidade, principalmente a população que se encontra em situação de vulnerabilidade social, porém, as cidades também apresentam grande

contribuição para o enfrentamento deste quadro, por ser locais que pode desenvolver iniciativas inovadoras nos espectros da mitigação e adaptação a eventos climáticos, devido sua infraestrutura e aproximação dos agentes sociais (SADINI, 2019).

Segundo Couto (2020) os municípios podem ser afetados pelas mudanças climáticas de várias maneiras, principalmente, em áreas costeiras, que estão sujeitas à erosão, já que no Brasil, 56% dos desastres naturais estão associados as chuvas, enchentes e desmoronamentos, que é o resultado de um crescimento urbano não planejado, podendo incluir nos planos diretores municipais ações que minimizam os impactos causados pelos desastres climáticos.

3.3 Sistemas meteorológicos e fenômenos climáticos que afetam o LNEB

O NEB apesar de ser caracterizado por ser uma região semiárida, também sofre com as ocorrências de chuvas fortes e conseqüentemente, enchentes, principalmente na região da costa do LNEB. No final de julho para o início de agosto de 2000, a população de Maceió sofreu com um evento de elevada pluviometria em um curto intervalo de tempo, que causou enchentes, alagamentos, desmoronamentos e mortes (COSTA e SOUZA, 2009).

Calheiros *et al.* (2006) estudaram fortes chuvas que atingiram os estados situados na Costa LNEB no início de junho de 2004 e provocaram grandes perdas humanas e materiais. Essa fatalidade foi causada devido a presença dos complexos convectivos provenientes do continente africano, que atingiram a região. O favorecimento do EE aconteceu devido à formação de aglomerados de nuvens e o posicionamento do sistema de alta pressão subtropical do Atlântico Sul. Tendo uma média climatológica de precipitação no mês de junho igual a 298,3 mm, Maceió registrou um total acumulado igual a 653,6 mm em junho de 2004.

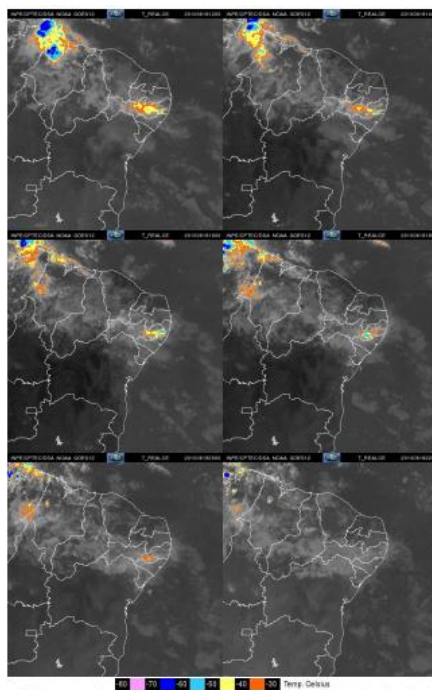
De acordo com Amorim (2016) durante os meses de junho-julho-agosto o LNEB é afetado por sistemas meteorológicos de mesoescala, grande parte destes sistemas são formados sobre o Oceano Atlântico Tropical Sul, que causam intensos transtornos para a população litorânea, sendo de grande importância o monitoramento das áreas significativas da região mais afetada durante os cenários climáticos, como o caso das Ondas de Leste, que afetam o LNEB.

3.3.1 Ondas de Leste (OL)

As OL (Ondas de Leste) ou DOL (Distúrbio Ondulatório de Leste) são definidos como distúrbios de origem tropical, que surgem principalmente nas Bacias do Oceano Atlântico Tropical e do Oceano Pacífico Oriental, elas propagam-se desde a costa oeste da África, com um escoamento característico da faixa tropical do planeta. Uma grande parte das chuvas no LNEB, depende quase que inteiramente da propagação das OL (LACERDA e LOPES, 2017).

De acordo com Machado *et al.* (2012) a ocorrência das OL associada a condições de temperaturas de superfície do mar anômalas modificou a intensidade de um sistema convectivo de mesoescala, em Palmares-PE produziu precipitações acima dos padrões normais durante 3 dias (Figura 1), sendo responsáveis por uma série de fatores, elevando precipitações ocorridas nas semanas que antecederam o evento e sua concentração.

Figura 1 - Estágio da dissipação da OL ocorrida em junho de 2010.



Fonte: Machado *et al.* (2012).

Silva (2011) estudou a contribuição das OL na precipitação do LNEB, e foram identificadas cerca de 116 OL que atingiram o LNEB, fornecendo em média, 23 OL por ano, com uma pequena variabilidade interanual.

Um estudo de casos realizado por Neves (2018) identificou uma OL ocorrida entre 18 e 25 de maio de 2006, foi associado à intensa precipitação sobre grande parte do LNEB. Ao longo do mês, ocorreram vários episódios de chuva, principalmente em Maceió, que

apresentou valores elevados de precipitação entre os dias 15 e 18 de maio, porém o período da atuação das OL apresentou um quadro mais homogêneo de precipitação sobre todas as capitais do LNEB.

3.3.2 ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul)

Quando os sistemas frontais ficam estacionários sobre o sul-sudeste do Brasil por um período de 3 dias ou mais, originando uma banda de nebulosidade no sentido Noroeste-Sudeste pode ser caracterizado como sendo uma ZCAS. Esse sistema também pode ser influenciado pela confluência entre os ventos de Nordeste do ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul), que transportam calor e umidade do Oceano Atlântico para o interior do Brasil (REBOITA *et al.*, 2010).

A ZCAS ocorre durante o verão (de dezembro a fevereiro), no final da primavera e início do outono (meado de março), na América do Sul, a atividade convectiva sobre o continente é intensa, devido a frequente atuação do sistema, que persiste por, no mínimo 4 dias de uma faixa de nebulosidade com orientação Noroeste-Sudeste, que abrange regiões como o centro sul da Amazônia, Centro-Oeste e Sudeste, no NEB alcança o centro sul da Bahia, no sul abrange o norte do Paraná, e prolongando-se até o Oceano Atlântico Sudoeste. Por ser estacionário, é um sistema importante no regime de chuvas nas regiões que atuam, e podem acarretar em altos valores de chuva (ARAÚJO, 2017).

Em Vila Velha-ES a ZCAS exerce forte influência sobre a variação de precipitação, o que ocasiona para a cidade e população regional, prejuízos sociais, problemas como inundação, ambientais e econômicos, entre outros fatores (MARCHIORO *et al.*, 2016).

3.3.3 ZCIT (Zona de Convergência Intertropical)

Segundo Teodoro *et al.* (2019) a ZCIT origina-se em baixos níveis da atmosfera pela convergência dos alísios de nordeste, originários do Hemisfério Norte, com os alísios de sudestes, provenientes do Hemisfério Sul, correspondendo ao ramo ascendente da célula de circulação de Hadley, sendo também caracterizada como uma banda latitudinal de ocorrência de movimentos ascendentes, baixa pressão em superfície, nebulosidade e precipitação na região tropical. Assim, a ZCIT pode ser identificada tanto por imagens de satélite quanto em diferentes campos meteorológicos como, por exemplo, na água precipitável, radiação de onda

longa, velocidade vertical, convergência de massa em superfície, umidade na camada limite planetária, TSM, entre outros.

Segundo Reboita *et al.* (2010) a estação chuvosa do Norte do NEB é regida principalmente pela ZCIT, que quando está na posição mais ao sul do Hemisfério Sul, coincide com o deslocamento da ZCIT para o norte do equador.

A costa LNEB sofre grande influência de sistemas convectivos intensos vindos principalmente do Oceano Atlântico, esses sistemas influencia a região com altos valores pluviométricos acima das normais climatológicas. Siqueira *et al.* (2010) observaram que a ZCIT associado às perturbações no campo dos alísios causou grande precipitação em Alagoas em 2006.

Siongco *et al.* (2014) identificaram através de modelos que a estrutura da ZCIT do Oceano Atlântico tem uma forte influência do ciclo sazonal de precipitação ao longo da costa do Brasil e do Golfo da Guiné, a precipitação que vai de uma costa a outra durante a primavera boreal influencia o leste e tem participação na costa oeste durante o verão.

De acordo com Mulitza *et al.* (2017) a mudança da precipitação sobre a Bacia do Parnaíba foi causada devido às migrações da ZCIT, que foi impulsionada pela mudança na força da circulação meridional do Atlântico, sendo a relação entre o gradiente de temperatura do Atlântico e a localização da ZCIT quase linear. No entanto, se ocorrer um futuro aquecimento desigual da superfície do Oceano Atlântico, por exemplo, devido à uma desaceleração da força da circulação meridional do Atlântico, pode levar a uma mudança correspondente na posição da ZCIT, com chuvas tropicais relacionadas com um potencial socioeconômico de grandes impactos em regiões semiáridas adjacentes à faixa da ZCIT.

3.3.4 VCAN (Vórtice Ciclônico de Altos Níveis)

O VCAN é um sistema de circulação ciclônica que ocorre com frequência no verão do Hemisfério Sul, sendo definido como um sistema de baixa pressão em grande escala que forma-se na alta troposfera e possui o centro mais frio que sua periferia. Esse sistema exerce um papel importante no regime de precipitação no NEB, sendo o principal produtor de chuva em regiões localizadas sobre sua periferia quando posicionado sobre o NEB, contribuindo para um verão mais seco e quente (GAN, 1982).

Conforme Pinheiro (2015) a contribuição dos VCANs para as chuvas do NEB apresentam valores percentuais que variam de 47,88% no LNE a 49,89% no NNE (Norte do Nordeste) durante o período de outubro a março. Os estados que os VCANs mais induzem precipitação são Ceará (49,89%), Piauí (49,89%) e Maranhão (47,88%), enquanto que os que são menos induzidos são Alagoas (41,93%) e Sergipe (38,03%).

Segundo Germano (2016) 52,2% dos VCANs causaram chuvas extremas em Recife, Maceió e Aracaju durante o período de 2011 a 2015, sendo responsáveis pelos EE durante a temporada de novembro/março.

Reis (2018) investigou as características dinâmicas e termodinâmicas dos VCANs atuantes no NEB, no qual, as regiões que têm maior ocorrência do centro do VCAN são, região central de PE (Pernambuco), litoral na divisa de PE e PB (Paraíba), litoral norte da BA (Bahia), a região central e sul da BA e no Oceano Atlântico Sul adjacente a costa do NEB também apresenta uma grande densidade de VCAN.

3.3.5 ENOS (El Niño Oscilação Sul)

O ENOS é a interação Oceano-atmosfera mais conhecida, sendo uma flutuação climática mais forte na Terra em escalas de tempo interanuais, que representa impactos globais, apesar de ser originário do Oceano Pacífico tropical. As componentes oceânicas do ENOS, El Niño (alta pressão superficial do ar) e La Niña (baixa pressão superficial do ar), representam as variações quase-periódicas (de 2 a 7 anos) da temperatura das águas superficiais do Oceano Pacífico tropical oriental; a componente Oscilação Sul, representa as flutuações mensais ou sazonais na diferença de pressão de ar no Oceano Pacífico ocidental (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Entre 1991 e 1993 um El Niño de intensidade moderada à fraca que se prolongou até 1994, atingiu 800 municípios do NEB atingindo drasticamente o setor agrícola da região e causando fome a população. De 1997 a 1999 ocorreu outro El Niño, que causou seca em todo semiárido nordestino (MELO, 1999).

Durante o período de 1963 a 2016 no agreste de PE, foi diagnosticado a ocorrência de 20 El Niño de variadas intensidades, sendo que 55% dos anos secos na região coincidiram com episódios de El Niño classificados como muito forte, já com relação aos 18 eventos de La

Niña ocorridos durante o período estudado, 56% deles estiveram associados a anos com precipitação acima da média da região (RODRIGUES *et al.*, 2017).

Minaki e Montanher (2019) identificaram que os eventos de ENOS (moderado e forte) quanto mais intensos, tem maior diferença de precipitação com relação aos meses de neutralidade, enquanto que anos de La Niña possuem médias de anomalias de chuva próximas aos dos meses com condições neutras.

Conforme Gurjão *et al.* (2012) há uma relação entre o ENOS e a variabilidade no volume de chuvas nas regiões de clima semiáridos, porém, sistemas como os VCANs podem alterar o impacto deste fenômeno, favorecendo ou inibindo o desenvolvimento intenso de sistemas precipitantes.

Segundo Araújo *et al.* (2013) o padrão de precipitação no Norte e Nordeste da América do Sul é acentuado mediante a configuração durante a fase inicial do ENOS e do Modo Equatorial no Atlântico, que cria condições favoráveis para o desenvolvimento de um gradiente inter-hemisférico no Atlântico Tropical, que colabora para o fortalecimento do ENOS na precipitação.

3.3.6 Dipolo do Atlântico

O Dipolo do Atlântico é um fenômeno Oceano-atmosfera identificado como uma variação anômala na temperatura da superfície do Oceano Atlântico Tropical, quando as águas do Oceano Atlântico Tropical Norte estão mais quentes e as do Oceano Atlântico Equatorial e Tropical Sul estão mais frias, tem movimentos descendentes que transportam ar seco e frio dos altos níveis da atmosfera sobre a região setentrional, central e sertão nordestino, inibindo a formação de nuvens e diminuindo a precipitação (fase positiva do dipolo) que pode causar seca. Já a fase negativa do dipolo ocorre quando as águas do Oceano Atlântico Tropical Norte estão mais frias e as do Oceano Atlântico Tropical Sul estão mais quentes causando um aumento nos movimentos ascendentes sobre estas regiões, intensificando a formação de nuvens a aumentando os índices pluviométricos (HASTENRATH e HELLER, 1977; MOURA e SHUKLA, 1981; ARAGÃO, 1998 *Apud* NÓBREGA *et al.*, 2016).

Durante a fase negativa do Dipolo do Atlântico foi notado a presença de águas superficiais com TSM de 28 °C sobre grande parte do Oceano Atlântico Equatorial Sul, que estendeu-se desde a costa da África até o litoral do NEB (SOUZA *et al.*, 1998).

Moura *et al.* (2000) identificaram que no LNEB durante a fase positiva do Dipolo do Atlântico, os estados de Alagoas, Sergipe e Bahia são os que recebem maior influência do Oceano Atlântico, enquanto que durante a fase neutra do Dipolo, Pernambuco se destaca com maior relação, e por fim, durante a fase negativa, o Rio Grande do Norte e Paraíba sofrem maiores influências do Oceano Atlântico.

Segundo Nóbrega *et al.* (2016) uma anomalia de chuva negativa ocorrida em 1951 e 1953 na região de Recife foi relacionada a atuação do Dipolo do Atlântico em sua fase positiva.

De acordo com Wainer *et al.* (2020) o Dipolo subtropical do Atlântico Sul nas frequências mais baixas ocorre devido ao derretimento das geleiras do Hemisfério Sul, e as grandes mudanças pluviométricas no NEB podem ser associadas às mudanças no gradiente latitudinal da TSM no Oceano Atlântico Sul e no transporte de calor do Oceano Atlântico Sul para o NB (Norte do Brasil) que é impulsionado pela descarga das águas derretidas.

3.3.7 Manchas Solares

O astrônomo amador Samuel Heinrich Schwabe, descobriu por volta de 1843, que o número de manchas solares seguia um ciclo de aproximadamente 11 anos, conhecido como ciclo de “Schwabe”, havendo também ciclos com maiores durações, que são alternados entre máximos e mínimos, sendo descoberto então, que havia uma relação entre o número de manchas e de erupções solares, que quanto maior o número do manchas, maior é o número de erupções no Sol. Atualmente, os cientistas dispõem de uma série de informações e conhecimentos mais amplos, em relação aos pioneiros do século XIX, sobre o comportamento do clima do Sol. Pode-se talvez, estabelecer uma relação entre o comportamento das manchas solares com o clima e, assim, produzir formas de prevenção da sociedade em virtude da ocorrência dos fenômenos climáticos severos (FRANCO, 2013).

Gachari *et al.* (2014) identificaram que os ciclos de manchas solares influenciam na precipitação severa no Quênia, e quando esses fenômenos são identificados com antecedência, é possível fazer uma previsão das chuvas mais intensas na região. Com esse monitoramento das manchas mostrou que haveriam chuvas acima da média no período de 2013 a 2018, já entre 2019 a 2020, as chuvas estariam abaixo da média climatológica local.

Conforme Alcântara (2015) em Natal-RN durante os ciclos solares nomeados de 21, 22 e 23 ocorreram precipitações inferiores a 50 mm durante os meses de outubro a dezembro e no período de abril a junho, os valores de chuva variaram entre 75 a 650 mm.

Segundo Bezerra (2020) os ciclos de 11 anos das manchas solares podem ter influenciado nas secas na década de 2000 na faixa litorânea do NEB. Em 2008 quando iniciou o ciclo denominado de 24, em que o pico ocorreu em 2012 e 2013, iniciou duas secas, e devido o ciclo das manchas ser de 11 anos, o evento poderia ocorrer até 2019.

3.3.8 OMA (Oscilação Multidecadal do Atlântico)

A OMA é um modo de variabilidade natural no Oceano Atlântico Norte, e representa uma influência dominante na temperatura do ar e precipitação sobre grande parte do Hemisfério Norte, principalmente, na América do Norte e Europa (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Definida como sendo um modo coerente de variabilidade natural que ocorre no Oceano Atlântico Norte, a OMA tem um período estimado de 60 a 80 anos, e é baseada nas anomalias médias das TSMs na Bacia do Oceano Atlântico Norte, geralmente acima de 0° à 80°N de latitude (TRENBERTH *et al.*, 2019).

Santos *et al.* (2016) notaram que as configurações das anomalias de precipitação apresentaram um padrão bem definido entre o NB e NEB nos dois modos da OMA, sendo importante destacar que na escala anual a variabilidade torna-se considerável, principalmente, em regiões em que a escassez de recursos hídricos atua na maior parte do tempo, como, por exemplo, anomalia negativa sobre maior parte do sertão nordestino, que apresenta baixo volume de chuva ao ano, tanto para a diminuição da precipitação durante o modo positivo da OMA como para o aumento das chuvas durante o modo negativo.

3.3.9 ODP (Oscilação Decadal do Pacífico)

A ODP é um padrão periódico de mudança de temperatura superficial que afeta o Hemisfério Norte, na região de latitude 20°N, devido seus ciclos multidecadais, ela atravessa uma fase quente e uma fria a cada 50-70 anos (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Wang *et al.* (1981) observaram na China a relação entre secas e chuvas no verão, e a caracterização de uma oscilação de 20 e 30 anos.

Conforme Da Silva e Galvêncio (2011) durante a ocorrência simultânea do ENOS e da ODP na fase negativa no NEB, as anomalias positivas de precipitação tiveram aumento considerável, o que demonstra que na fase negativa da ODP é incrementado os valores das anomalias de chuva nas duas fases do ENOS.

No Paraná, por exemplo, a ODP tem maior influência nas precipitações durante a primavera, com cerca de 17% a 46%, já durante o outono, essa atuação é reduzida para 11% a 20% (NASCIMENTO JÚNIOR, 2013).

Segundo Kayano *et al.* (2013), os extremos de ENOS são mais/menos intensos quando estão fora de fase ou em fase com os extremos de ODP, devido às modulações construtivas/destrutivas. Newman *et al.* (2003) afirma que a ODP depende do ENOS em todas as escalas.

4. METODOLOGIA

4.1 Área de Estudo

Alagoas (Figura 2) é o segundo menor estado do país, localizada na região NE, a capital Alagoana possui área total de 509.552 km², e está compreendida na latitude 09° 39' 57" S e longitude 35° 44' 07" W, encontra-se na região leste e possui clima Tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa no outono e inverno (PERFIL MUNICIPAL, 2018). Ao norte limita-se com os municípios de Paripueira, Barra de Santo Antônio, São Luís do Quitunde, Flexeiras e Messias; ao sul com Marechal Deodoro e o Oceano Atlântico; a oeste faz fronteira com o município de Rio Largo, Satuba, Santa Luzia do Norte e Coqueiro Seco; e a leste com o Oceano Atlântico (Figura 3).

Figura 2 - Mapa do Brasil com foco no Estado de Alagoas.



Fonte: Silva e Calheiros, 2019.

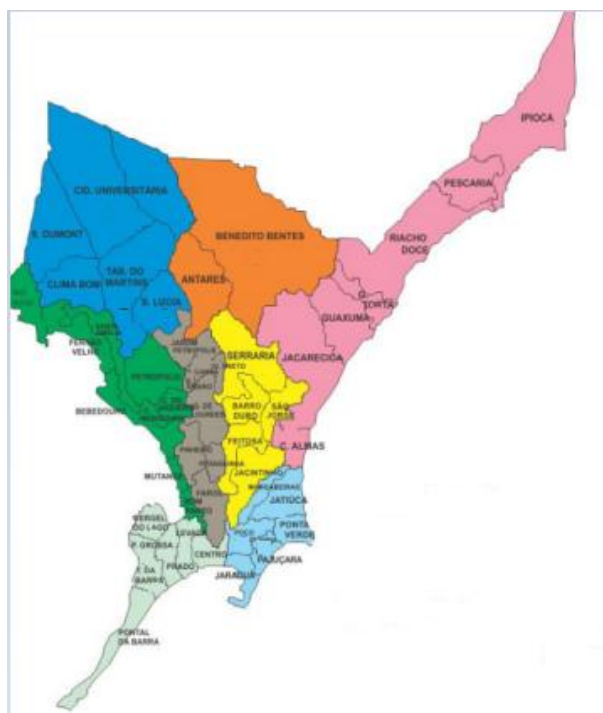
Figura 3 - Localização de Maceió-AL e seus limites geográficos.



Fonte: Japiassú, 2015.

De acordo com dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020) a população estimada de Maceió é de 1.025.360 pessoas, que está dividida em 53 bairros (Figura 4), sendo os maiores em população, de acordo com o censo do IBGE de 2010: Benedito Bentes (88.084 habitantes), Jacintinho (86.514 habitantes), Cidade Universitária (71.441 habitantes), Tabuleiro do Martins (64.755) e Clima Bom (55.952 habitantes) (POPULAÇÃO, 2020).

Figura 4 - Mapa dos bairros de Maceió.



Fonte: Sempla-Prefeitura de Maceió (2014).

4.2 Dados

Foram utilizados dados mensais de precipitação pluviométrica de 2015 a 2020 para treze estações automáticas de Maceió, estando distribuídas em onze bairros, sendo os bairros Tabuleiro do Martins 1 e Tabuleiro do Martins 2, e Farol 1 e Farol 2. Os dados foram obtidos juntos à CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) da Defesa Civil Municipal, não havendo falhas no período de estudo.

Para as Ondas Cruzadas foram utilizados dados mensais de precipitação, IOS, Dipolo do Atlântico e Manchas Solares, esse período maior de dados é devido o teste de Monte Carlo necessitar de dados e períodos mais longos para o cálculo, com nível de significância de 95%.

Na Tabela 1 encontram-se as 13 estações meteorológicas de Maceió com a latitude e longitude.

Tabela 1 - Coordenadas geográficas de treze estações de Maceió.

Bairros	Latitude (°)	Longitude (°)
Antares	-9,573	-35,741
Benedito Bentes	-9,552	-35,727
Cidade Universitária	-9,550	-35,761
Chã da Jaqueira	-9,621	-35,748
Clima Bom	-9,567	-35,797
Cruz das Almas	-9,632	-35,707
Farol 1	-9,641	-35,735
Farol 2	-9,629	-35,738
Ipioca	-9,529	-35,608
Tabuleiro do Martins 1	-9,587	-35,763
Tabuleiro do Martins 2	-9,581	-35,768
Trapiche da Barra	-9,696	-35,778
Vergel	-9,661	-35,758

Fonte: Autora, 2021

4.2 SPI (Índice Padronizado de Precipitação)

Desenvolvido por McKee *et al.* (1993) o SPI (do inglês Standardized Precipitation Index) é utilizado para o monitoramento de condições associadas a secas e excessos de chuva, baseado apenas no produto de precipitação mensal a partir de dados provenientes de várias fontes de dados, a principal característica do SPI é a possibilidade de utilização de monitoramento tanto de condições úmidas como secas em variadas escalas de tempo, possibilitando sua utilização em várias aplicações (CPTEC/INPE, 2020).

Para calcular o SPI inicia-se determinando uma função de densidade de probabilidade descrevendo as séries temporais. A distribuição gama (Equação 1) possui um bom ajuste para variáveis contínuas, pois tem limite inferior ou igual a zero, não possuindo limite superior, por tanto, é bastante utilizada para estudar séries históricas de precipitação (SANTOS *et al.*, 2017 *Apud* LIMA *et al.*, 2018).

$$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} * e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \text{ para } X > 0 \quad (1)$$

Sendo: $\alpha > 0$ parâmetro de forma; $\beta > 0$ parâmetro de escala; $X > 0$ quantidade de precipitação (mm) e $\Gamma(\alpha)$ a função gama completa.

Assim, a distribuição cumulativa é transformada em distribuição de probabilidade normal com média igual a zero e desvio padrão igual a um. Em seguida, é estimada a probabilidade acumulada de ocorrência de cada valor mensal. Aplicando essa probabilidade a função normal inversa, encontra-se o valor de SPI. Em que o SPI é a diferença da precipitação observada menos a média do intervalo de tempo específico, dividida pelo desvio padrão, como é mostrado na Equação 2 (SANTOS *et al.*, 2017):

$$SPI = Z_i = \frac{(P_i - \bar{P}_i)}{\sigma_i} \quad (2)$$

Em que: P_i é a precipitação mensal no período, \bar{P}_i a precipitação média do período em questão e σ_i o desvio padrão da série histórica de precipitação.

Após calcular o SPI, a precipitação mensal para um específico período de tempo recebe um valor adimensional correspondente a uma classe. Os valores de SPI positivos significam superioridade à média de precipitação, já os valores negativos significam menos que a média de precipitação. O zero representa a precipitação média, e a variação da saída do zero é uma medida probabilística que indica a intensidade de um evento chuvoso ou seco, podendo ser utilizado para avaliação de risco (BONFIM, 2018). As categorias de seca e de chuva anômala, conforme o SPI, descritas por McKee *et al.* (1993) e adaptada por Lima *et al.* (2018) é dada na Tabela 2:

Tabela 2 - Classificação e valores do SPI.

Valores de SPI	Classes
< -2,00	Seca Extrema
-1,99 a -1,50	Seca Severa
-1,49 a -1,00	Seca Moderada
-0,99 a -0,49	Seca Leve
-0,48 a 0,48	Quase Normal
0,49 a 0,99	Chuva Leve
1,00 a 1,49	Chuva Moderada

1,50 a 1,99

Chuva Severa

> 2,00

Chuva Extrema

Fonte: Mckee *et al.* (1993) adaptada de Lima *et al.* (2018).

Em Alagoas, Gois *et al.* (2007) utilizou o SPI no período de 1960 a 1989, a variação de 3 meses no Sertão de Alagoas, apresentou oito eventos de seca de curta e longa duração, o que corresponde a 26,7% das frequências médias dos EE de seca. Já para o SPI na escala de 6 meses, foram detectados dez eventos de seca, e para o SPI de 9 e 12 meses, foram notados seis eventos de seca.

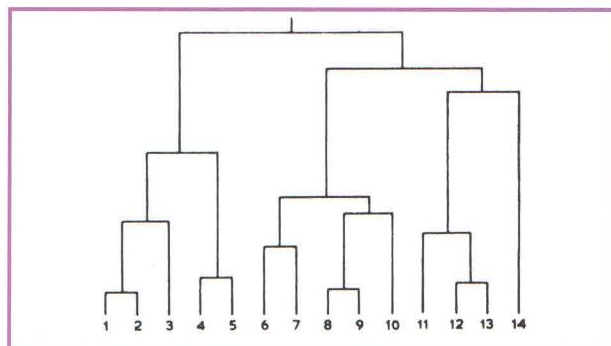
Através do SPI será possível identificar e classificar primeiramente os eventos de chuva e seca para Maceió, e posteriormente com seus valores, identificar as áreas homogêneas de Maceió, em relação à ocorrência de eventos de chuva/seca para as quatro estações sazonais.

4.3 Cluster Analysis ou Análise de Agrupamentos

Análise de Agrupamentos é uma técnica de classes utilizada para classificar objetos ou casos em grupos relativos chamados cluster, a análise dele também é chamada de análise de classificação ou taxonomia numérica. O objetivo da Análise de Agrupamentos é solucionar um dado problema de uma amostra de “n” objetos, cada um dos quais são caracterizados por “p” variáveis, criando um critério para agrupar os objetos em classes, de maneira que objetos possuam características semelhantes e estejam na mesma classe, em que o método deve ser quantitativo e o número de classes desconhecido.

Os grupos podem ser subdivididos de forma que, para uma determinada finalidade, é criada uma estrutura hierárquica completa daquele determinado grupo de indivíduos, que é chamada de “cluster hierárquica” ou “dendograma”, como é representado na Figura 5 (VALLI, 2012):

Figura 5 - Exemplo de cluster hierárquica.



Fonte: Valli, 2012.

Neste trabalho foi utilizada a técnica de Ward, que é dada pela Equação 3, que procura por partições que diminuam a perda associada a cada agrupamento, em que a perda pode ser quantificada pela diferença entre a soma dos erros quadráticos de cada padrão e a média da partição em que está contida (ARAÚJO *et al.*, 2008; AMANJÁS *et al.*, 2010 *Apud* BONFIM, 2018):

$$SEQ = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad (3)$$

Em que: SEQ é a soma dos erros quadráticos; n é o número total de elementos do agrupamento e x_i é o n-ésimo elemento do agrupamento.

A distância euclidiana é utilizada para medir a dissimilaridade entre dois indivíduos x_i e x_j , que é expressada pela Equação 4:

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^n p_i (x_{i,k} - x_{j,k})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Onde: $x_{j,k}$ representa os valores mensais dos locais x_i e x_j e p_i é o peso associado a cada indivíduo.

Após calcular o SPI, foi utilizado o software SPSS para fazer a análise de agrupamentos, utilizando o método de Ward, para verificar as regiões mais homogêneas, agrupando os bairros com índices semelhantes.

4.4 BoxPlot ou Gráfico de Caixa

O BoxPlot é uma ferramenta gráfica, utilizado para resumir e comparar visualmente séries de dados, sendo utilizado no gráfico de caixa, a mediana, os quartis aproximados e os

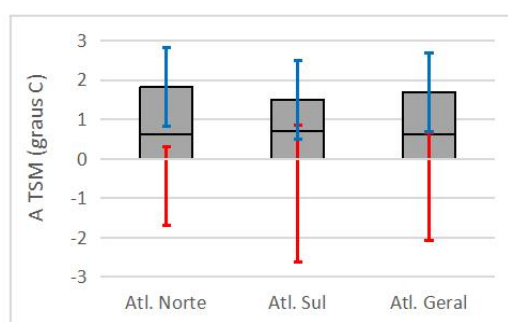
pontos de dados mais baixos e mais altos para transmitir o nível. A dispersão e a simetria de uma distribuição de valores de dados mais baixos e mais altos para transmitir o nível de dados, que também pode ser aprimorado para a identificação de valores de dados discrepantes, podendo ser construído à mão (WILLIAMSON *et al.*, 1989).

O BoxPlot foi proposto pela primeira vez pelo estatístico John Tukey (1977), e são representações gráficas de dados que fornecem uma visão geral e um resumo numérico de um conjunto de dados. No gráfico é mostrado um retângulo com duas linhas que estende-se de bordas opostas da caixa e uma linha adicional na caixa, que cruza paralelamente as bordas (FERREIRA *et al.*, 2016).

O Método do gráfico de caixa (BoxPlot) é utilizado por ser uma ferramenta gráfica simples para análise exploratória que possibilita o resumo de uma série temporal de estudo, podendo ser utilizado na análise de valores extremos de precipitação e como ferramenta diagnóstica para o monitoramento da variabilidade mensal, sazonal e anual da chuva observada em uma determinada localidade. Para construir o gráfico de forma simplificada, é necessário determinar o mínimo e máximo valor da série, do primeiro e terceiro quartis, que delimitam respectivamente 25% (menores observações) e o valor que deixa 75% abaixo desse valor, a mediana, que descreve o centro da distribuição, e o valor da média (SENA *et al.*, 2017).

Utilizando o box plot (Figura 6), Souza Neto (2021) exemplificou a utilização do Blox Plot para mostrar as variações da TSM nos setores do Oceano Atlântico.

Figura 6 - Exemplo de Box plot para o Oceano Atlântico geral e seus setores.



Fonte: Souza Neto (2021)

A utilização do BoxPlot nesta pesquisa é para facilitar na visualização dos máximos superiores e inferiores de precipitação em Maceió.

4.5 Análise de Tendências

O teste de Mann-Kendall fundamenta-se em um teste estatístico não-paramétrico para identificar tendências, sendo recomendado pela OMM (Organização Mundial de Meteorologia) para o estudo de tendências climáticas em longas séries temporais (MARENGO e ALVES, 2005; FOLHES e FISCH, 2006; OBREGÓN e MARENGO, 2007; BLAIN, 2010 *Apud* HIERA *et al.*, 2019).

É necessário avaliar a existência de correlação serial nas séries pelo teste não paramétrico de sequências, submetendo-as ao teste de Mann-Kendall, que é utilizado para avaliação da existência de uma tendência eventual. Para as séries que passam no teste de sequência, deve-se usar o teste de Mann-Kendall modificado para levar em conta a autocorrelação, sendo as tendências significativas removidas inicialmente, sendo a Equação 5 a estatística do teste (HAMED e RAO, 1998; SANSIGOLO e KAYANO, 2010 *Apud* LOPES e DA SILVA, 2013):

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (5)$$

Em que: x_j representam 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 $(x_i - x_j) > 0$. O teste de Mann-Kendall é um teste normalmente usado para avaliar tendência de séries temporais de dados ambientais com bastante eficiência.

Kendall (1975) mostrou que S normalmente é distribuída com média $E(S)$ e variância $\text{Var}(S)$, para que uma situação em que pode haver valores iguais de x , que são calculadas pelas Equações 6 e 7:

$$E[S] = 0 \quad (6)$$

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (7)$$

Em que: t_p é o número dos dados com valores iguais em um certo grupo, p th e q são os números de grupo contendo valores iguais na série de dados em um determinado grupo p .

No teste estatístico parametrizado (ZMK) (Equação 8) a presença de uma tendência estatisticamente significativa avalia-se usando o valor de Z , sendo essa estatística utilizada

para testar a hipótese nula, ou seja, nenhuma tendência existe. O valor positivo de ZMK indica um aumento da tendência, quando negativa indica decrescente.

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

Avalia-se a presença de uma tendência estatisticamente significativa com o uso do valor de Z. Essa estatística emprega-se para teste de hipótese nula, ou seja, que não existe tendência. Um valor positivo de ZMK indica um aumento da tendência; quando negativa, indica tendência decrescente. Para testar a tendência crescente ou decrescente no nível de significância de p, a hipótese nula será rejeitada se o valor absoluto de Z for superior 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 $p=0,05$ aplicaram-se neste estudo.

Nesta pesquisa foi utilizada a tendência de precipitação para analisar a precipitação e tendências futuras na precipitação das regiões homogêneas de Maceió.

4.6 Teste de Significância de T-Student

É aplicado o teste de significância de T-Student na série de dados temporais para avaliar se os valores das tendências obtidas com o teste de Mann-Kendall têm significância estatística.

Os testes paramétricos são preferenciais para análises de dados quantitativos, por possuírem maior capacidade de detectar diferenças, dessa forma, testes como o de T-Student sempre que possível devem ser utilizados em dados quantitativos (WAGNER, 1998).

Para amostras de tamanho $N > 30$, denominadas de grandes amostras, as distribuições das amostras de variadas estatísticas são quase normais e melhores com o aumento de N. Já para as amostras pequenas, as distribuições amostrais de diversas estatísticas não são boas, tornando-se piores com o decréscimo de N, de tal maneira que devem ser introduzidas as modificações adequadas.

O teste de T-Student é um teste de significância amplamente utilizado nos estudos e pesquisas na área da Meteorologia (KAYANO e KOUSKY, 1996; FIGUEROA, 1997; CASTRO, 2002; DA SILVA, 2009; BONFIM, 2018; SOUZA NETO, 2019), podendo ser calculado conforme a Equação 9:

$$tc = \frac{t}{\sqrt{n-2}} + t^2 \quad (9)$$

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

4.7 AO (Análise de Ondeletas/Ondaletas ou Wavelet)

O termo ondeleta refere-se a um conjunto de funções com forma de pequenas ondas que são geradas por dilatações, $\Psi(t) \rightarrow \Psi(2t)$, e translações, $\Psi(t) \rightarrow \Psi(t+1)$, de uma função base geradora simples $\Psi(t)$, assim, através da ondeleta-mãe, pode ser gerada as chamadas ondeletas-filhas. A base da Transformada de Fourier é contatada que cada função base é obtida a partir de simples dilatações na frequência, conciliando as propriedades de dilatação e translação em um exemplo de função base, sendo obtida as chamadas funções ondeletas, em que as dilatações e translações são dadas por duas variáveis nomeadas j e k, respectivamente (BOLZAN, 2006).

As séries de precipitação foram submetidas à AO com o objetivo de identificar as escalas temporais que estão relacionadas com os sistemas ou fenômenos responsáveis, assim, encontrando a causa climática do evento.

Primeiramente os índices de precipitação devem ser tratados e em seguida, submetidos à AO. Os índices são as anomalias das variáveis, que são calculadas a partir da climatologia mensal e normalizada pelo desvio padrão, como na Equação 10 (DA SILVA, 2009):

$$AVar_{i,j} = (Var_{i,j} - \overline{Var}_i / \sigma_i) \quad (10)$$

Em que: $AVar_{i,j}$ é a anomalia da variável, no ano $j=1, 2, 3, \dots, N$ e mês $i=1, 2, 3, \dots, 12$; $Var_{i,j}$ é a variável no ano $j=1, 2, 3, \dots, N$ e mês $i=1, 2, 3, \dots, 12$, o qual foi calculado sua anomalia; \overline{Var}_i 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 Ondeleita de Morlet é definida como uma exponencial complexa modulada por uma Gaussiana, que é dada pela Equação 11 (ANDREOLI *et al.*, 2004 *Apud* Da Silva, 2017):

$$\psi(t) = e^{i\omega_0\eta_c - \eta^2/2} \quad (11)$$

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 ($\text{lag1} = 0,7$), escolhidos conforme Andreoli *et al.* (2004); Todos introduzidos no “script” de programação do Software Matlab®.

4.8 Coerência e Fase da Ondeleita

A AO cruzada será aplicada para as séries temporais de precipitação das regiões divididas através da cluster, com o objetivo de avaliar as relações de chuva com os fenômenos climáticos, analisando se estes fenômenos têm interferência nos EE.

Para a determinação do nível de significância dos picos espectrais, seja na análise de Fourier, seja na ondaleta, exige a escolha de um espectro de fundo apropriado, dessa forma, é assumido que distintas realizações de um processo geofísico distribuem-se aleatoriamente em torno desse valor espectral esperado. Para variados fenômenos físicos, esse espectro de fundo pode ser baseado em processos de ruído branco ou vermelho, que pode ser definido por meio da Equação 12 (TORRENCE e COMPO, 1998; TORRENCE e WEBSTER, 1999; GRINSTED *et al.*, 2004 *Apud* BLAIN e KAYANO, 2011):

$$P_k = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha^2 - 2 \alpha \cos(2\pi k/j)} \quad (12)$$

$$\text{Para } k=0\dots j/2 \quad \text{e} \quad \alpha = \frac{r_1 + \sqrt{r_2}}{2}$$

Em que: r_1 e r_2 são os coeficientes da função autocorrelação (acf) para as defasagens (lags) 1 e 2 da série com j dados. Verifica-se na Equação 11 que se a série em análise for originária de um processo de ruído branco, tem-se P_k constante para todo k . A distribuição de nulidade para a potência local da ondaleta (WPS), relacionada à H_0 , pode ser definida pela Equação 13. Em que a equação 13 é a forma de investigação estatística denominada de análise cruzada de ondaleta (BLAIN e KAYANO, 2011):

$$\left| \frac{W_n(S)}{\sigma^2} \right|^2 = \frac{1}{2} P_k \chi_2^2 \quad (13)$$

Em que: σ^2 é a variância da série temporal, χ_2^2 representa a distribuição qui-quadrado com dois graus de liberdade.

A coerência mostra o grau da coerência entre duas séries temporais, não determinando necessariamente a covariabilidade da energia entre elas, podendo ser interpretada ainda como a medida da coerência entre duas ondeletas simples em tempo-frequência. Para o caso de duas séries temporais, a coerência pode ser definida como mostra na Equação 14, que é uma expressão semelhante ao coeficiente de correlação (Pearson), dessa forma, pode-se pensar em ondeleta coerência como uma medida do coeficiente de correlação localizado em tempo-frequência (BARBOSA e BLITZKOW, 2008):

$$R_n^2 = \frac{|S(s^{-1}W_nXY_{(s)})|^2}{S(s^{-1}|W_nX_{(s)}|^2) \cdot S(s^{-1}|W_nY_{(s)}|^2)} \quad (14)$$

Em que: S é o operador de suavização. E o S é dado pela Equação 15:

$$S(W) = S_{\text{escala}}(S_{\text{tempo}}(W_n(s))) \quad (15)$$

Em que: S_{escala} denota a suavização ao longo da escala dos eixos das ondeletas e S_{tempo} no tempo.

Um operador de suavização é dado de acordo com a Equação 16 e 17, para a ondeleta-mãe de Morlet:

$$S_{\text{tempo}}(W) \Big|_s = (W_n(s) \otimes c_1^{\frac{-t^2}{2s^2}}) \Big|_s \quad (16)$$

$$S_{\text{escala}}(W) \Big|_s = (W_n(s) \otimes c_2 \Pi(0,6s)) \Big|_s \quad (17)$$

Sendo: c_1 e c_2 são as constantes de normalização e Π é a função retângulo, o fator 0,6 é determinado empiricamente para a função ondeleta de Morlet.

As diferenças de fases ou relações entre as séries temporais são retratadas pelo ângulo de inclinação dos vetores. As setas voltadas na horizontal apontadas para a direita (0°) indicam que as séries estão em fase, quando as séries apresentam fases opostas, as setas estão orientadas para a esquerda (180°), como foi mostrado também no trabalho de Da Silva *et al.* (2022, *in prelo*). Para os ângulos inversos (negativos) entre 0° e 180° têm-se que o máximo

da série 1 ocorre antes do máximo da série 2; quando as setas estão orientadas verticalmente para cima, com os ângulos positivos revelam que a série 1 está defasada, com seu máximo ocorrendo depois do máximo da série 2.

É necessário a organização e conhecimento da ordem em que as séries são processadas, isto é, qual série é independente (série 1) e qual a dependente (série 2), para que, assim, seja possível o cálculo para o período das defasagens, ou o quanto uma série vai antecipar ou adiantar a outra (SILVA, 2015; BLAIN e KAYANO, 2011).

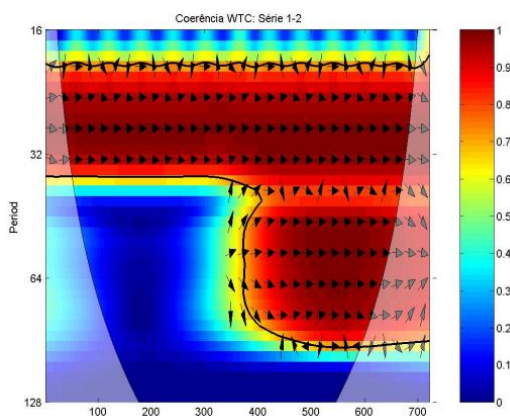
Para a detecção de pontos de mudança, uma das abordagens utilizadas é através da minimização do custo total, que é formada pelo somatório do custo associado a adequação da propriedade estatística que se deseja analisar, ao seu conjunto de segmentos (Equação 18) (ROCHA *et al.*, 2019):

$$C_t = \sum_{i=1}^{m+1} [C(y_{\tau_i-1:\tau_i})] + \beta f(m) \quad (18)$$

Em que: m é o total de pontos de mudança; $C(y_{\tau_i-1:\tau_i})$ é a função de custo de cada segmento; $\beta f(m)$ é um fato de penalidade e C_t é o custo total.

As cores utilizadas na coerência são traduzidas pelo próprio algoritmo, em que as áreas circuladas em preto indicam a verificação para nível de significância de 5% assumidas pelo algoritmo; na cor vermelho escuro são indicativos de fases e anti-fases; em azul, verde, amarelo, alaranjado e vermelho claro, representam áreas que os coeficientes indicam situações intermediárias entre fase e anti-fase (ROCHA, 2018). A Figura 7 mostra um exemplo de Ondaleta Cruzada, que é encontrado no trabalho de Castro (2007).

Figura 7 - Exemplo de Ondaleta Cruzada.



Fonte: Castro, 2007.

A sincronização entre as fases de algum componente periódico de $X(t)$ em relação ao componente correspondente de $Y(t)$ pode-se ser representado pela diferença das fases convertido em ângulos no intervalo $[-\pi, \pi]$ é apresentada no espectro de potência através da utilização de setas (ROCHA *et al.*, 2019).

A realização da medição de coerência de fase da ondeleta é realiza para atribuir um valor de suporte nas medidas de diferença de fase entre duas séries temporais, com grandes valores da coerência de fase, o que significa que a diferença de fase varia suavemente como uma função de frequência, ou seja, não aleatório. Torrence; Webster (1999) dão a diferença de coerência de fase através da Equação 19 (VALE *et al.*, 2020):

$$\phi_n(S) = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\Im\{s^{-1}W_n^{XY}(s)\}}{\Re\{s^{-1}W_n^{XY}(s)\}} \right) \quad (19)$$

As partes reais (\Re) e imaginária (\Im) poderiam já ser calculadas na Equação 15. Tanto R_n^2 quanto $\phi_n(s)$ são funções do índice de tempo n e escala s . A suavização na Equação 15 e 17 é realizada usando convolução na direção do tempo escala.

5. RESULTADOS

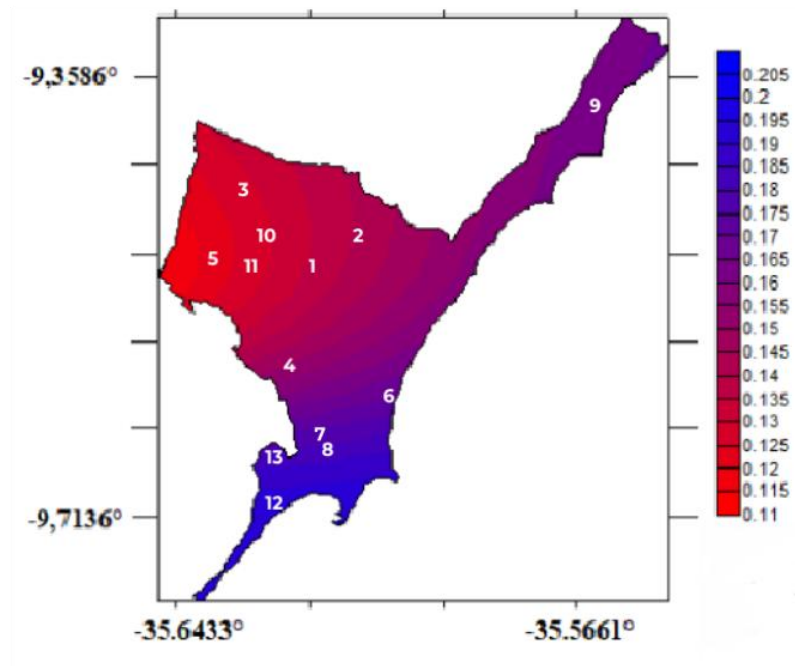
5.1 Espacialização do SPI

As Figuras da espacialização do SPI mostram as regiões de Maceió com valores positivos e negativos de SPI, os quais estão descritos nas legendas das Figuras. Esses valores classificam as regiões como “secas”, “normais” ou “chuvosas”, de acordo com valores e classes do SPI, e as cores presentes nos mapas, indicam se aquela área apresenta maiores eventos de chuva (azul) ou seca (vermelha), de acordo com a legenda.

A Figura 8 mostra valores de SPI médios anuais, os quais seriam classificados como normais de acordo com as classes do SPI (Tabela 2). Porém, a parte alta da capital, ao norte, e o Litoral Norte de Maceió apresentaram valores próximos de eventos classificados como secos, ao contrário da parte baixa e Litoral Sul, que apresentam SPI próximo à eventos chuvosos. Esses últimos eventos ocorrem devido aos sistemas meteorológicos que atuam na costa LNEB, tendo como exemplo as OL citadas por Reboita *et al.* (2010) que ocorrem com maiores frequências durante o outono e inverno, e aos sistemas vindos do Sul do Hemisfério

Sul, como a influência ou resquícios de sistemas frontais, conforme Andrade (2005). A precipitação ocorre com maior intensidade na costa da capital e diminui em direção à parte alta da cidade.

Figura 8 - SPI anual para Maceió.

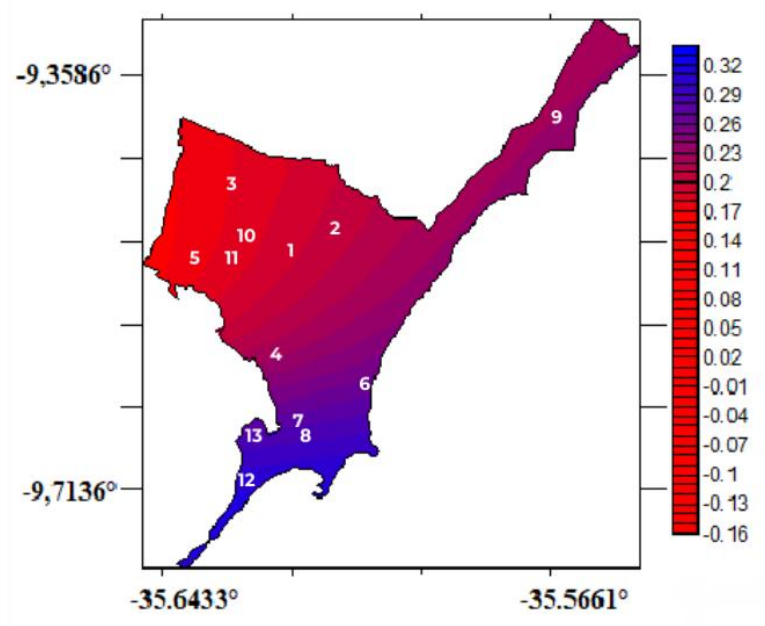


1-Antares; 2-Benedito Bentes; 3-Cidade Universitária; 4-Chã da Jaqueira; 5-Clima Bom; 6-Cruz das Almas; 7-Farol 1; 8-Farol 2; 9-Ipioca; 10-Tabuleiro do Martins 1; 11-Tabuleiro do Martins 2; 12-Trapiche da Barra; 13-Vergel. Eixo X é longitude e Eixo Y latitude.

Fonte: Autora, 2021.

Com valores de SPI para o verão (Figura 9), que ocorre nos meses de DJF (dezembro, janeiro, fevereiro) o mapa de espacialização apresenta valores que variam de negativo na parte alta, ao positivo, na parte baixa e Litoral Sul de Maceió. Toda a cidade tem a precipitação classificada como normal conforme o SPI, porém, a parte baixa e Litoral Sul apresentam mais números de eventos chuvosos. Durante o período do verão, o Nordeste Brasileiro e LNEB recebem influência de sistemas meteorológicos como a ZCIT (LYRA *et al.*, 2019), o VCAN (FERREIRA, 2017), e o corredor de umidade que contribui para outros sistemas como citado por Pegorim (2018).

Figura 9 - SPI do verão (DJF) de Maceió.

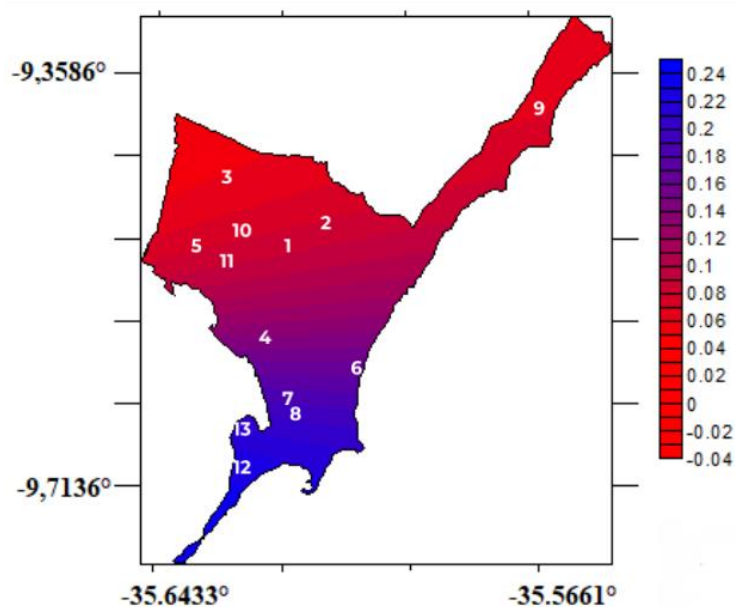


1-Antares; 2-Benedito Bentes; 3-Cidade Universitária; 4-Chã da Jaqueira; 5-Clima Bom; 6-Cruz das Almas; 7-Farol 1; 8-Farol 2; 9-Ipioca; 10-Tabuleiro do Martins 1; 11-Tabuleiro do Martins 2; 12-Trapiche da Barra; 13-Vergel. Eixo X é longitude e Eixo Y latitude.

Fonte: Autora, 2021.

Na Figura 10, encontra-se a média do SPI para o outono, durante MAM (março, abril, maio) quando toda a capital também está classificada como eventos normais. A parte alta e Litoral Norte permanecem com valores de SPI negativos, que variam de -0,04 a -0,02, o que significa que nessa região os números de eventos normais pelo SPI, aproximam-se mais dos eventos classificados como secos, ao contrário da parte baixa e Litoral Sul, que apresentam SPI normal com tendência para os eventos classificados como chuvosos. Nesta estação há influência dos sistemas provenientes do Sul do continente, que conforme Araújo *et al.* (2018), os quais dependendo da localização desses sistemas, podem causar chuvas (secas) mais (menos) intensas. É durante essa estação sazonal que alguns sistemas como o VCAN e as OL começam a ocorrer mais frequentemente em Maceió, como é citado por Cardoso (2018).

Figura 10 - SPI do outono (MAM) de Maceió.



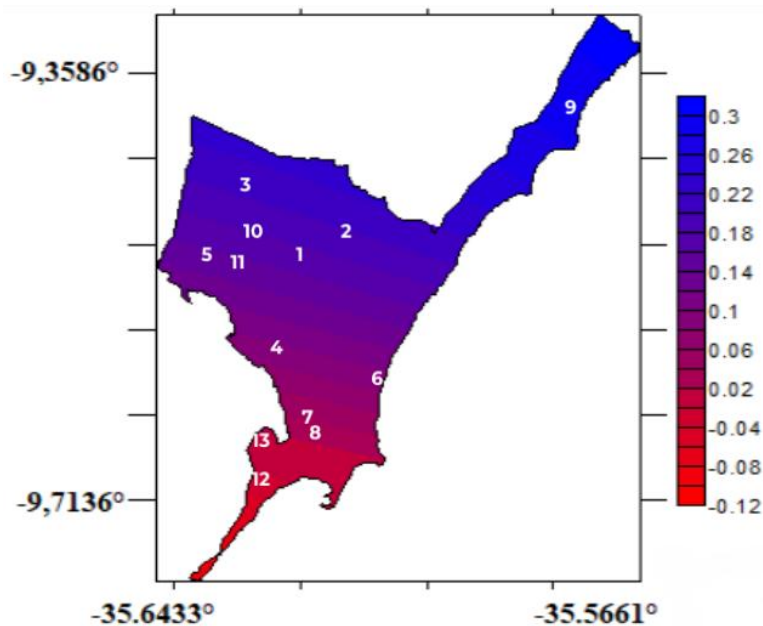
1-Antares; 2-Benedito Bentes; 3-Cidade Universitária; 4-Chã da Jaqueira; 5-Clima Bom; 6-Cruz das Almas; 7-Farol 1; 8-Farol 2; 9-Ipioca; 10-Tabuleiro do Martins 1; 11-Tabuleiro do Martins 2; 12-Trapiche da Barra; 13-Vergel. Eixo X é longitude e Eixo Y latitude.

Fonte: Autora, 2021.

Ao observar a Figura 11, com a média do SPI para o inverno, JJA (junho, julho e agosto), nota-se que o padrão de SPI é o inverso às outras estações sazonais, em que, apesar de permanecer com SPI classificado como normal, a parte alta e o Litoral Norte apresentam valores mais próximos dos classificados como eventos de chuva, e a parte baixa e Litoral Sul têm valores negativos entre -0,04 a -0,12.

Um fator que contribui para essa inversão durante esse período, é o inverno austral, que colabora com a formação dos sistemas meteorológicos, contribuindo para o aumento da precipitação nos meses entre junho a agosto. De acordo com sua intensidade, como é citado por Moura *et al.* (2000), o inverno austral pode causar altos valores pluviométricos, podendo influenciar alguns sistemas como a ZCIT (CARVALHO e OYAMA, 2013; SILVA, 2018), as OL (LYRA *et al.*, 2020) e as Brisas (FETTER *et al.*, 2018).

Figura 11 - SPI do inverno (JJA) de Maceió.

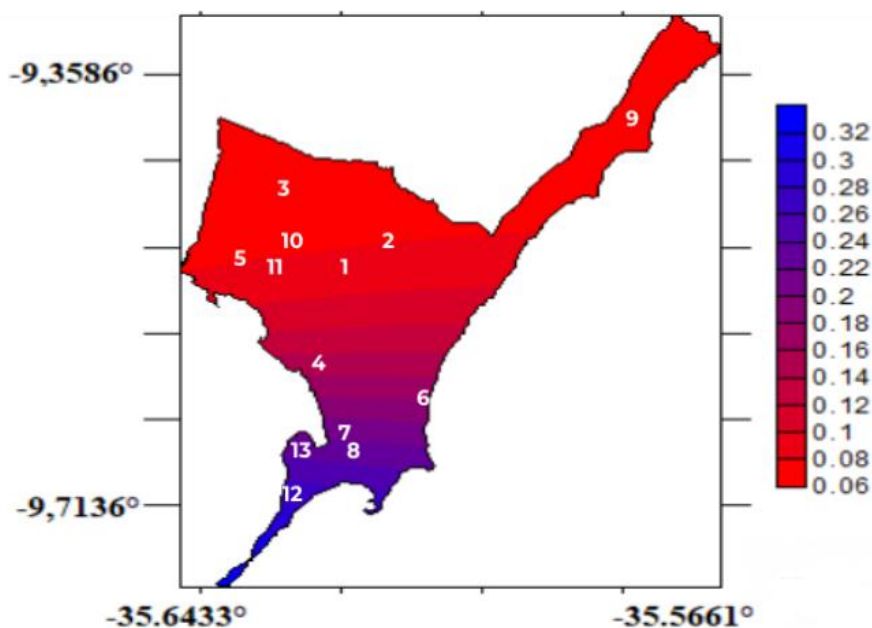


1-Antares; 2-Benedito Bentes; 3-Cidade Universitária; 4-Chã da Jaqueira; 5-Clima Bom; 6-Cruz das Almas; 7-Farol 1; 8-Farol 2; 9-Ipioca; 10-Tabuleiro do Martins 1; 11-Tabuleiro do Martins 2; 12-Trapiche da Barra; 13-Vergel. Eixo X é longitude e Eixo Y latitude.

Fonte: Autora, 2021.

Na média do SPI para a primavera (Figura 12), que ocorre nos meses de SON (setembro, outubro e novembro), o mapa de espacialização apresenta valores classificados pelo SPI como normais, em que a parte baixa e Litoral Sul têm valores maiores, o que significa que há maior predominância de eventos da classe de chuvas nessa parte da cidade, enquanto que a parte alta e Litoral Norte têm valores menores, com seu valor do SPI aproximando-se mais dos eventos de seca, e é nesse período do ano durante a primavera que o VCAN começa a atuar, iniciando períodos de alta precipitação, ou sem a ocorrência das mesmas, dependendo de que parte do VCAN está sobre a área, como mostrado nos trabalhos de Reis (2018) e Ferreira *et al.* (2019).

Figura 12 - SPI da primavera (SON) de Maceió.



1-Antares; 2-Benedito Bentes; 3-Cidade Universitária; 4-Chã da Jaqueira; 5-Clima Bom; 6-Cruz das Almas; 7-Farol 1; 8-Farol 2; 9-Ipioca; 10-Tabuleiro do Martins 1; 11-Tabuleiro do Martins 2; 12-Trapiche da Barra; 13-Vergel. Eixo X é longitude e Eixo Y latitude.

Fonte: Autora, 2021.

Como pôde ser observado, durante todas as estações sazonais, Maceió teve SPI classificado como normal, porém, a parte alta só obteve maiores valores de SPI durante o inverno, corroborando com Cavalcante *et al.* (2020).

As intensas chuvas ocorridas durante o outono e inverno em Maceió foram assuntos de reportagens no G1 (2013), por Rodrigues

Também é notado que durante o outono e inverno há chuvas mais intensas na capital Alagoana, como foi noticiado por Rodrigues *et al.* (2017). Sendo registrado sérios transtornos para Maceió, como pessoas desabrigadas em decorrência das fortes chuvas, deslizamentos, mortes, problemas no trânsito, entre várias outras dificuldades.

5.2 Análise de agrupamentos e classificação do SPI

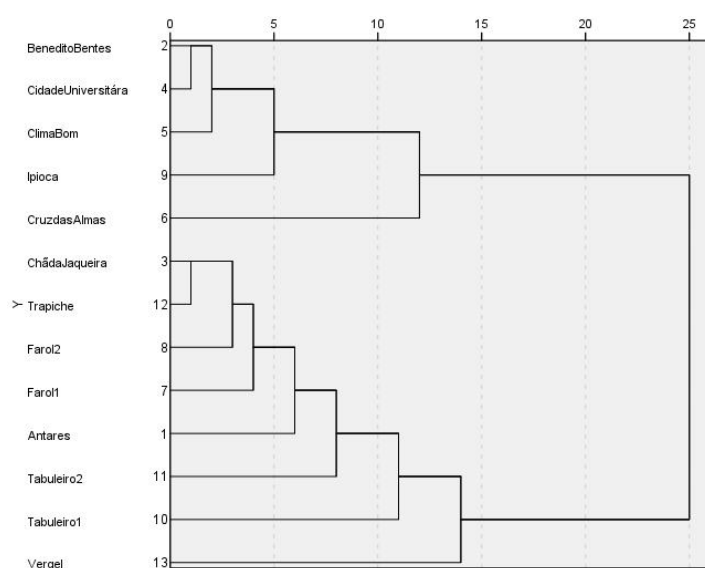
Após calcular o SPI, foi feita a análise de agrupamentos através do Software SPSS versão 28 para o período de 2015 a 2020. No eixo vertical do dendograma são mostradas as 13 estações meteorológicas de Maceió. No eixo horizontal é mostrada a distância euclidiana que quanto menor, maior a similaridade.

5.2.1 Anual

Foram feitas Análises de Agrupamentos para o período anual (Figura 14) e sazonal (Figuras 16, 18, 20 e 22), conforme também realizado por Machado *et al.* (2010), para analisar a variabilidade da precipitação nos bairros em diferentes períodos.

Para a média do SPI anual (Figura 13), foram identificadas duas regiões, classificadas como R1 (região 1) e R2 (região 2) separadas em grupos pela análise de agrupamentos, as quais apresentaram maior distância euclidiana e menor semelhança. De acordo com a R1, o Benedito Bentes e a Cidade Universitária mostraram maior semelhança, gerando outro subgrupo com o Clima Bom, enquanto que Cruz das Almas foi a mais heterogênea da R1. Já na R2, Chã da Jaqueira e Trapiche apresentaram maior semelhança na precipitação e o Vergel teve a menor similitude com as outras estações, como em Freitas *et al.* (2013) obtendo também resultados satisfatórios em sua pesquisa.

Figura 13 - Análise de Agrupamentos do SPI dos Bairros de Maceió, com média anual.



Fonte: Autora, 2021.

Na Figura 14 os gráficos identificam o SPI das duas regiões (R1 e R2) encontradas através da cluster para o período anual, podendo identificar os eventos de seca/chuva que estão classificados na Tabela 2, adaptada de McKee (1993), assim como foram observadas nas Figuras 16, 18, 20 e 22.

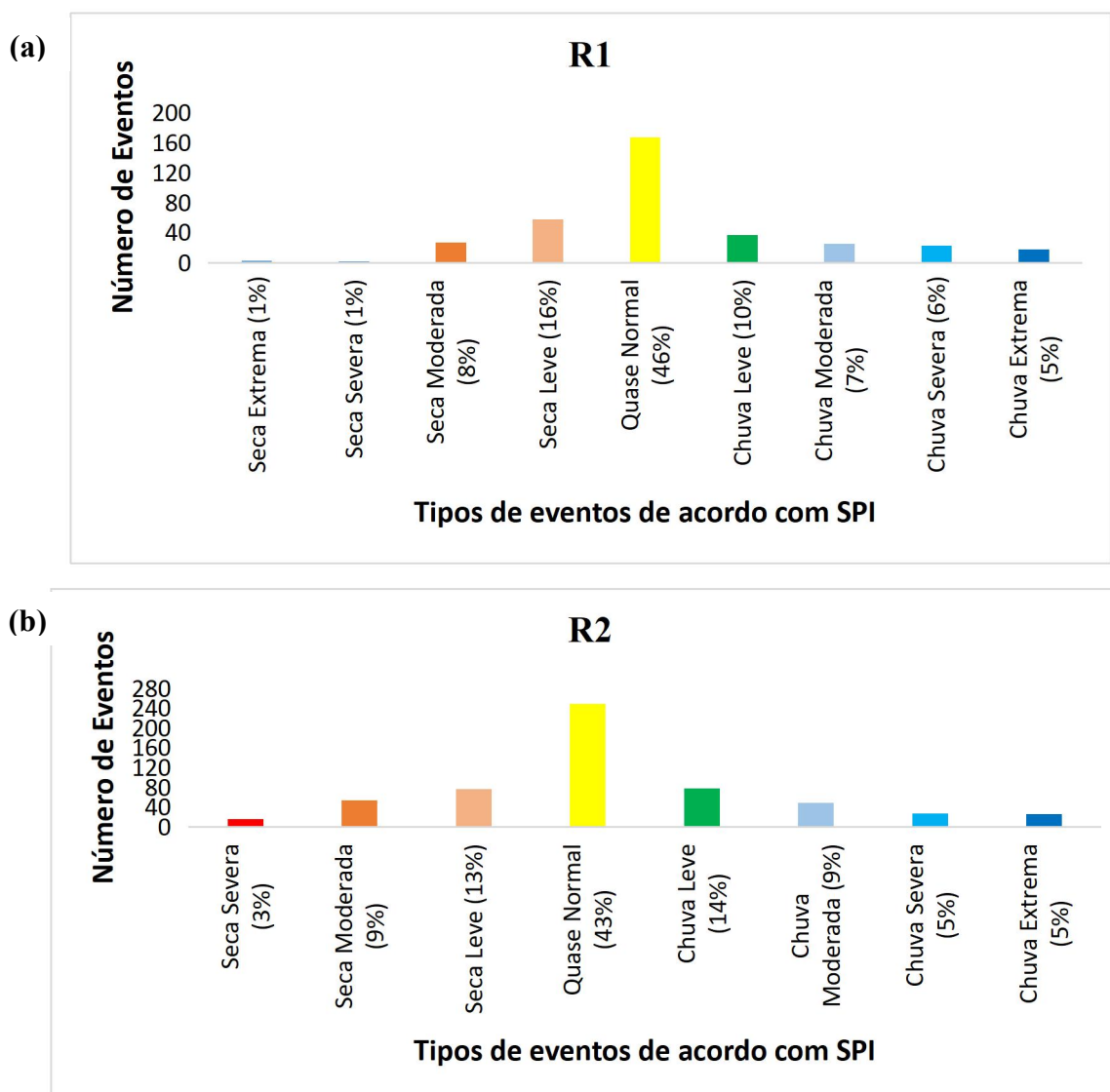
A Figura 14a (R1) apresenta todas as classificações pelo SPI de seca/chuva, as secas extremas e secas severas, representam 1% cada, e todas as secas representam 25%, sendo a seca leve (16%) a que apresentou maior valor entre as secas, já as chuvas, totalizaram 29% de todo o total dos eventos, sendo a chuva leve (10%) a que mais dominou, e chuva extrema (5%)

que teve menor registro, dentre o total classificado, a classe quase normal (46%) foi o mais predominante, superando o total das secas e de chuvas.

Ao analisar a Figura 14b, nota-se que não há presença de eventos classificado pelo SPI como seca extrema, porém, todas as secas identificadas obtém-se porcentagem total igual a 26%, sendo a seca classificadas como moderada (9%) e a seca leve (13%) apresentando maiores valores, já para o período chuvoso, a chuva leve (14%) obteve o maior SPI de todos os eventos, e a chuva extrema (5%) o menor, totalizando 31% do total dos eventos, assim como na Figura 15a, o evento quase normal (43%) da Figura 15b também obteve o maior número de eventos classificados pelo SPI como normal.

A classificação do SPI para as duas regiões (R1 e R2) apresentaram valores semelhantes, no entanto a Figura 14a mostrou eventos de seca extrema, enquanto que na Figura 14b esse evento não esteve presente. Os valores de todas as secas apresentaram um total de 26%, e de chuvas 29% na R1, já na R2 as secas totalizaram 25% e as chuvas 33%. De modo geral, nas duas regiões o evento classificado pelo SPI como quase normal foi o que predominou, seguido pelo evento de seca leve, já os eventos de seca extrema apresentaram os menores valores, esses resultados obtidos correspondem com o encontrado por Da Silva *et al.* (2020) para Maceió.

Figura 14 - SPI anual: (a) Região 1 (R1) e (b) Região 2 (R2).



Fonte: Autora, 2021.

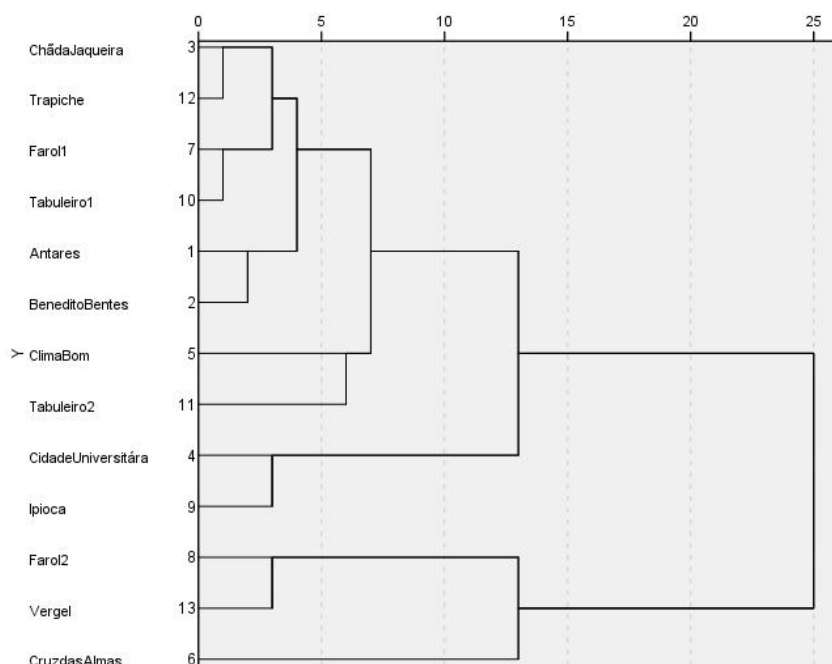
5.2.2 Verão

Na Análise de Agrupamento dos meses de verão (DJF) (Figura 15) as estações mais homogêneas na R1 foram Chã da Jaqueira com Trapiche, Farol 1 e Tabuleiro 1, que formaram um subgrupo com as 4 estações, enquanto que a semelhança entre a Cidade Universitária e Ipioca com as outras estações foi menor. Na R2, Farol 2 e Vergel tiveram suas características parecidas, e Cruz das Almas distanciou-se mais da semelhança das duas estações.

Menezes *et al.* (2015) utilizaram a análise de agrupamentos para o estado do Pará, onde o período mais quente ocorre em época diferente da de Maceió. Ao comparar a média anual (Figura 13) com a média do verão (Figura 15), nota-se que as estações apresentaram

características diferentes, corroborando com Menezes *et al.* (2015). Na Figura 15 a maioria das estações apresentaram maiores semelhanças, ficando agrupadas na R1, e apenas Farol 2, Vergel e Cruz das Almas foram semelhantes, formando a R2, e apresentaram heterogeneidade com a R1.

Figura 15 - Análise de Agrupamentos do SPI dos Bairros de Maceió, média do verão (DJF).



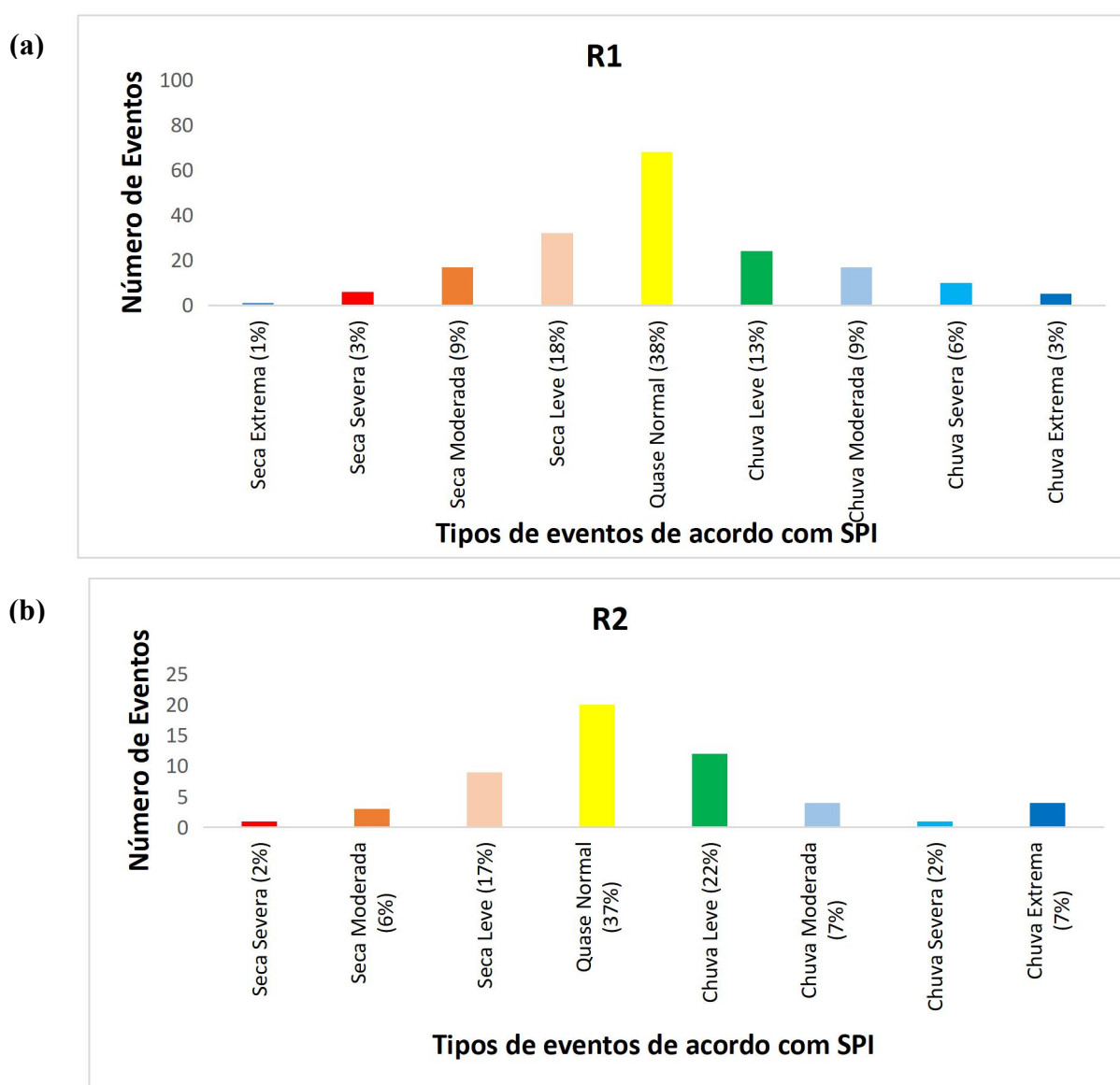
Fonte: Autora, 2021.

Durante o período do verão (Figura 16) observa-se as diferenças entre a R1 (Figura 16a) e a R2 (Figura 16b) como foi agrupado pela cluster (Figura 15). Na Figura 16a ocorreram todos os eventos de secas, sendo a de maior número a seca leve (18%) e a seca extrema representou apenas 1% de todos os eventos classificados pelo SPI, todas as secas representam 31%, já o SPI identificou 31% das chuvas, em que a chuva leve representa 13%, que foi a que mais ocorreu, e a chuva extrema (3%) a de menor ocorrência, e para o período quase normal, foi totalizado 38% dos eventos.

Na Figura 16b demonstrou que a R2, a seca leve (17%) foi a que predominou entre as classes do SPI como evento de seca, sendo a seca severa predominante em apenas 2% dos eventos de SPI, o período quase normal representou 37% de todos os eventos, já as chuvas totalizaram 39%, sendo a chuva leve a que mais teve casos com 22%, e a chuva severa (2%) teve o menor número de eventos.

Ao comparar as duas regiões através dos gráficos de SPI, nota-se que a R1 obteve as mesmas porcentagens de eventos para as secas (31%) e para as chuvas (31%), enquanto que na R2 os eventos de chuva (39%) superaram os eventos de seca (24%), já o evento quase normal tiveram porcentagens semelhantes para as duas regiões, sendo a R1 com 38% e a R2 com 37%. Contudo, a R2 durante o período de verão obteve os maiores números de SPI para os eventos de secas, se comparada a R1. Apesar de serem dados para o verão, Maceió não apresentou valores superiores de seca, como foi encontrado por Carmo e Lima (2020) para a região do Nordeste.

Figura 16 - SPI para o verão (DJF): **(a)** Região 1 (R1) e **(b)** Região 2 (R2).

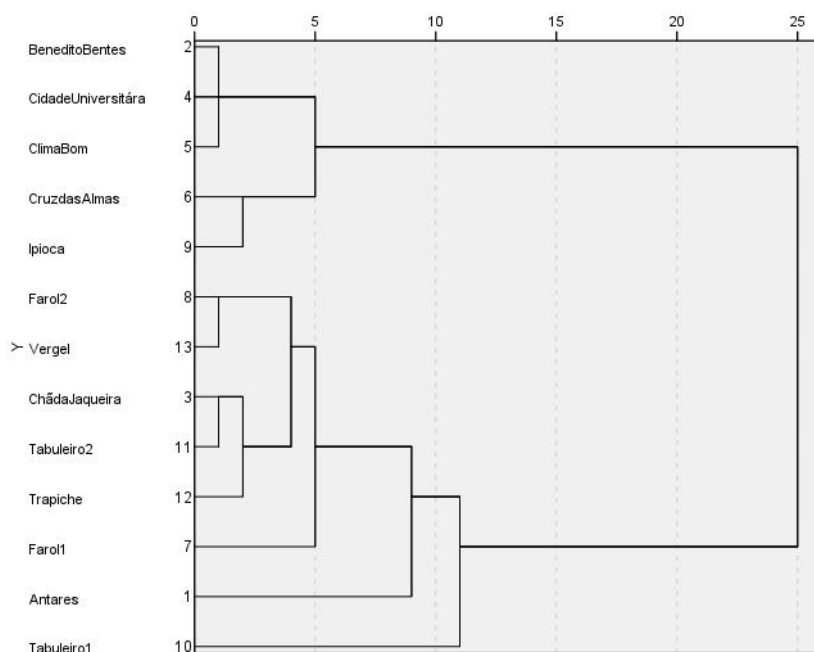


Fonte: Autora, 2021.

5.2.3 Outono

O dendograma do período do outono (MAM) mostrado na Figura 17, teve as maiores semelhanças na R1 entre Benedito Bentes, Cidade Universitária e Clima Bom, tendo valores mais homogêneos em relação às outras estações deste grupo. Na R2 Farol 2 e Vergel, Chã da Jaqueira e Tabuleiro 2 apresentaram características iguais, enquanto Tabuleiro 1 foi a mais heterogênea com as outras regiões. Esse método de agrupamento também foi utilizado por Melo *et al.* (2017) que separou as regiões com pluviométricos semelhantes na Bahia. No período do outono (Figura 17), as estações apresentaram as mesmas distribuições que o período anual (Figura 13), o que mostra que não há variações significativas durante estes dois períodos (anual e outono).

Figura 17 - Análise de Agrupamentos do SPI dos Bairros de Maceió, média do outono (MAM).



Fonte: Autora, 2021.

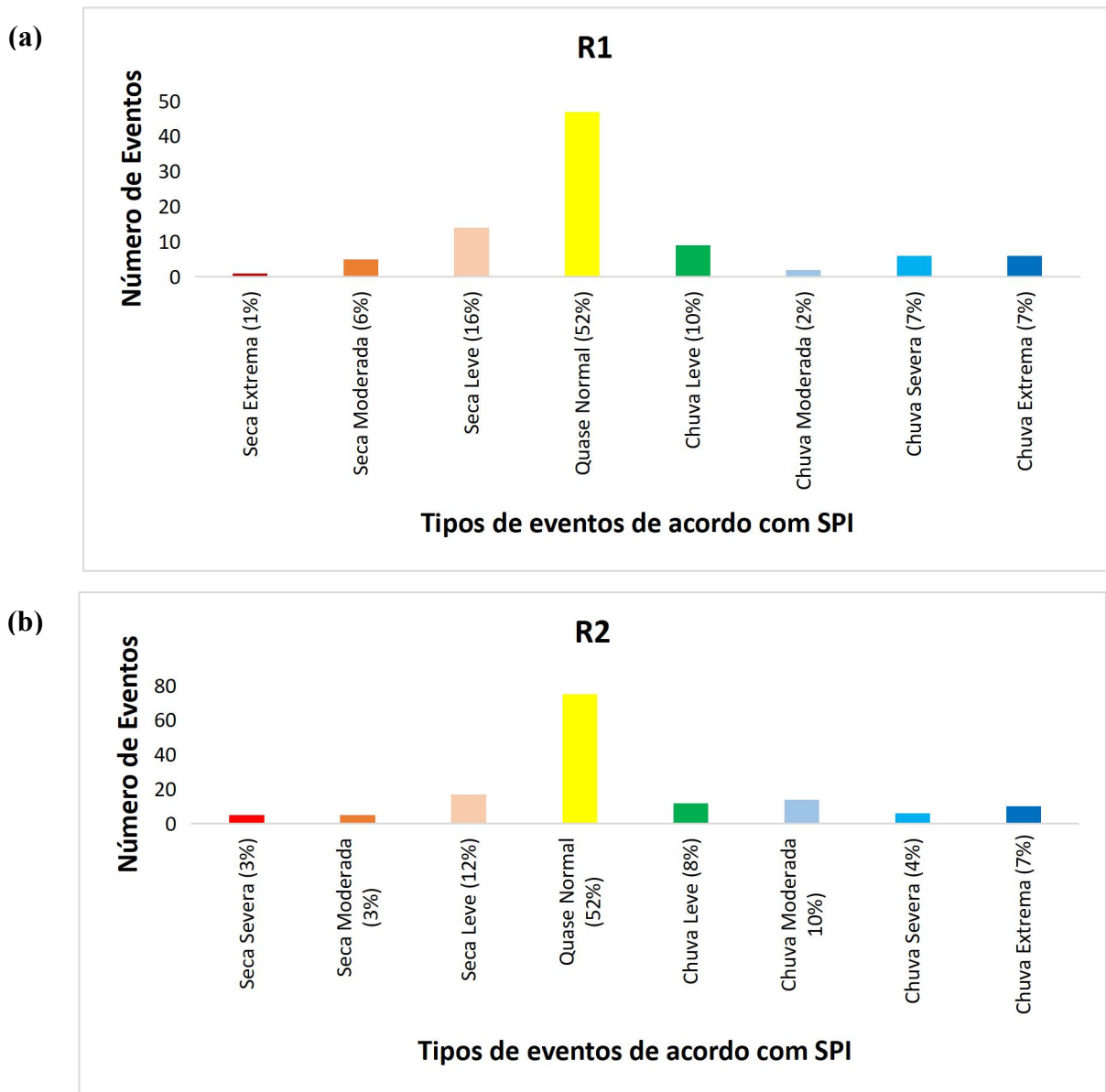
Os gráficos do SPI para a R1 e R2 (Figura 18) mostram o número de eventos classificados pelo SPI em cada grupo durante o outono. Analisando os eventos de secas, a seca extrema (1%) é a que tem menor número de casos, enquanto que a seca leve representa 16% desse evento, já para os eventos de chuvas, a chuva leve obtém 10% dos eventos, sendo o maior evento desse grupo, e a chuva moderada significa 2%, por fim, as chuvas severa e extrema totalizam 14% do total de eventos.

Assim como a R1, a R2 (Figura 18b) também teve 52% de evento classificado como quase normal, no grupo das secas, a seca leve (12%) representou o maior número de casos das

secas, seguida da seca severa (3%) e seca moderada (3%). Já as chuvas, representaram 29% de todos os eventos, ocorrendo mais casos de chuva moderada (10%), enquanto que a chuva extrema, que é a de máxima intensidade de acordo com as classes do SPI, chegou a 7% do total de eventos, e a chuva severa (4%) representou o menor número de casos.

Comparando a Figura 18a com a Figura 18b, apesar de ambas regiões terem porcentagens semelhantes, é identificado maior número de eventos de secas na R1 com 22% do total dos eventos, já na R2 apenas 19%, ao contrário dos eventos de chuvas, que ocorreram com maior frequência na R2 (29%), e na R1 obteve 26% da precipitação das estações estudadas, e como observado, o evento classificado como quase normal representa 52% tanto para a R1 quanto para a R2. Os períodos com SPI para eventos mais secos assemelham-se com estudos de Santos *et al.* (2017) para Amazônia, e de Silva e Mandú (2020) para Brasília, que obtiveram maiores valores negativos de SPI.

Figura 18 - SPI para o outono (MAM): (a) Região 1 (R1) e (b) Região 2 (R2).

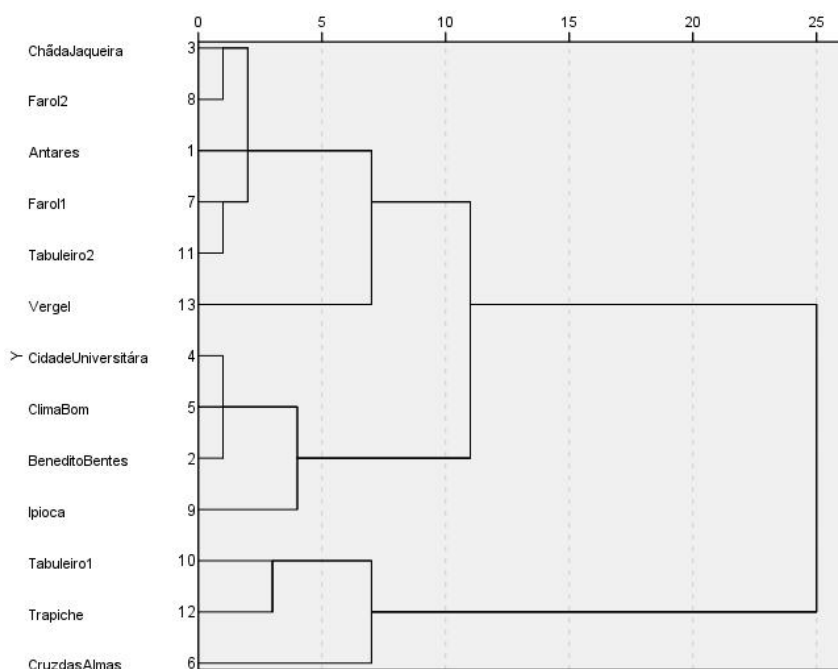


Fonte: Autora, 2021.

5.2.4 Inverno

Nos dados para o inverno (JJA) (Figura 19) as estações que formaram o grupo R1 em relação à homogeneidade foram a Chã da Jaqueira e Farol 2 e Farol 1 e Tabuleiro 2, Cidade Universitária, Clima Bom e Benedito Bentes. Já no grupo R2 o Tabuleiro 1 e o Trapiche foram mais homogêneos, porém, Cruz das Almas apresentou uma pequena semelhança com essas duas estações. Na pesquisa realizada por Guedes *et al.* (2010) para o estado do Piauí, através da análise de agrupamentos, os maiores valores de chuva foram encontrados para o período do inverno, corroborando com este estudo.

Figura 19 - Análise de Agrupamentos do SPI dos Bairros de Maceió, média do inverno (JJA).



Fonte: Autora, 2021.

Para os eventos classificados no SPI, foi feito o gráfico (Figura 20) para melhor analisar os eventos. Na Figura 20a o evento classificado pelo SPI como quase normal tem porcentagem de 31%, enquanto que os eventos classificados como secas totalizaram 36% de todos as classes do SPI.

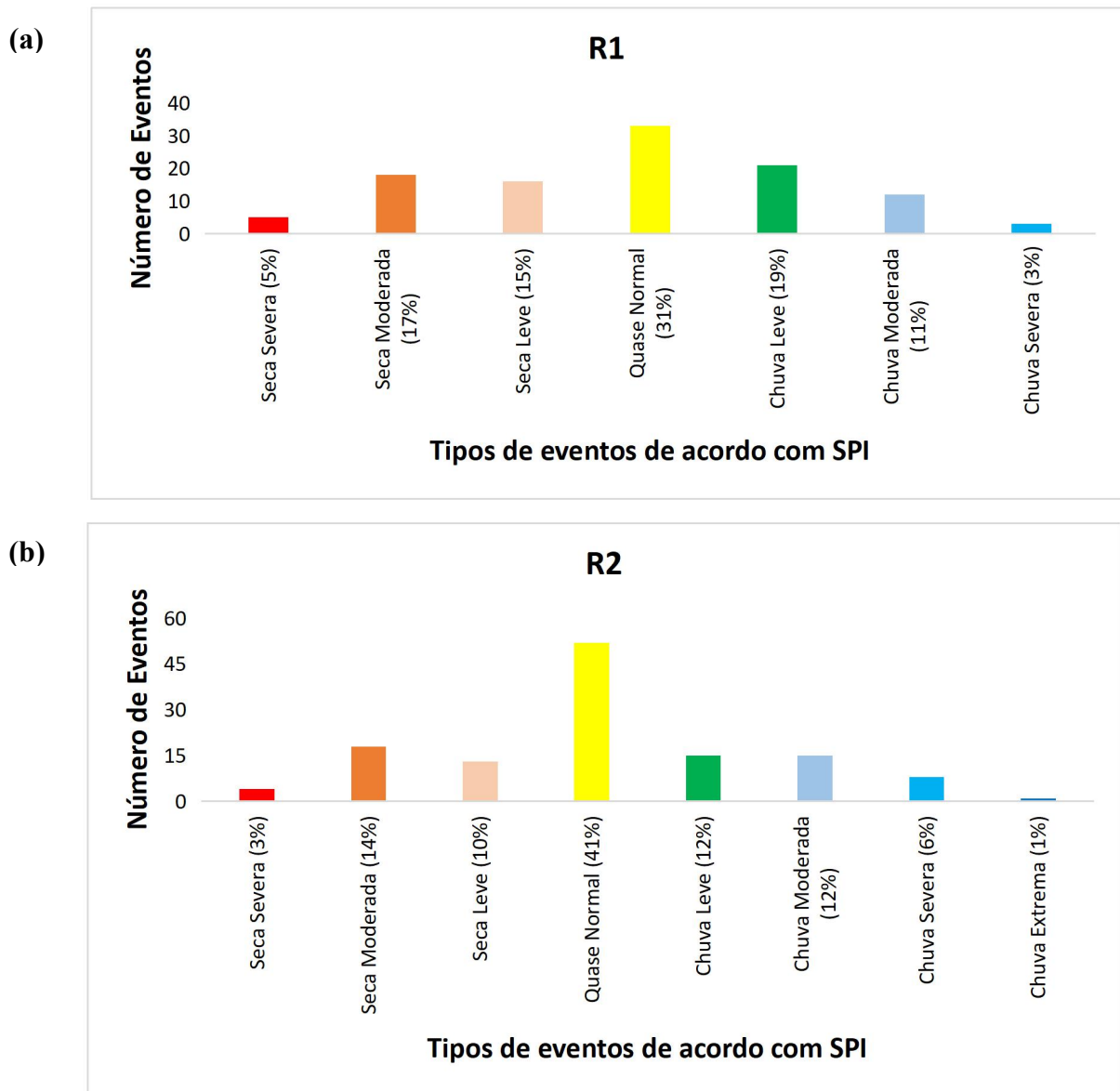
Dentre as três secas identificadas, a seca moderada (17%) foi a que apresentou a maior frequência, e a seca severa obteve apenas a porcentagem de 5%. Já os eventos classificados como chuvas, a chuva leve (19%) teve maior número de eventos, e a chuva severa (3%) teve o menor valor de todos os eventos classificados pelo SPI, esses eventos de precipitação totalizaram 33%.

Os eventos do grupo R2 (Figura 20b) mostram que a seca moderada (14%) teve o maior número de eventos dentre essa classificação, e a seca severa significou 3% do total dos eventos, enquanto que para a classificação das chuvas, o que totaliza uma porcentagem total de 31%, em que a chuva leve e chuva moderada com 12% cada, representando os maiores eventos, já a chuva extrema obtém apenas 1% do total, a classificação para evento quase normal foi a de maior porcentagem, sendo 41%.

Na Figura 20a os eventos classificados como chuvas (33%) e secas (36%) tiveram maiores ocorrências em relação a figura 20b, em que as chuvas totalizaram 31% e as secas 28%, porém, o período quase normal da R2 (Figura 20b) totalizou 41%, enquanto que na R1

(Figura 20a) essa mesma classificação é de 31%. Como pode ser observado, nas duas regiões (R1 e R2) de Maceió o período classificado como normal foi o que teve maior quantidade de ocorrências dos eventos, ao contrário do resultado encontrado por Fachine (2015) para o Ceará.

Figura 20 - SPI para o inverno (JJA): (a) Região 1 (R1) e (b) Região 2 (R2).



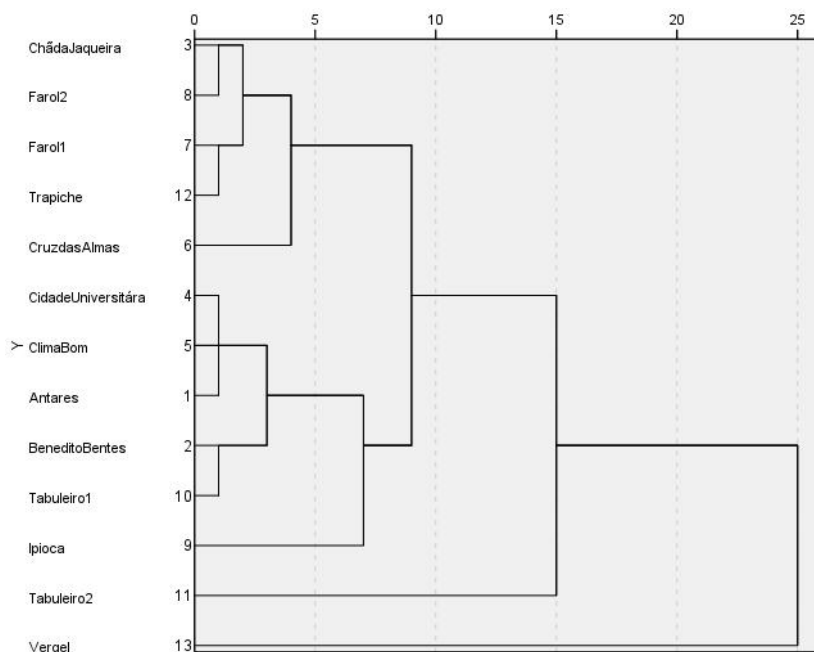
Fonte: Autora, 2021.

5.2.5 Primavera

Na Figura 21 em que foi feita a análise de agrupamentos para o período da primavera (SON), a maior parte das estações ficaram na R1, em que, Chã da Jaqueira e Farol 2, Farol 1 e Trapiche, Cidade Universitária, Clima Bom e Antares, e Benedito Bentes e Tabuleiro 1 foram

as que tiveram valores de precipitação mais semelhantes. Na R2, formada apenas pela estação de Vergel, teve pouca semelhança com a R1. Cabral Júnior (2018) identificou que no estado de Alagoas, as precipitações são menores durante a primavera e verão.

Figura 21 - Análise de Agrupamentos do SPI dos Bairros de Maceió, média da primavera (SON).



Fonte: Autora, 2021.

Durante a primavera (Figura 22) a média do SPI teve uma grande diferença de distribuição em relação à média anual (Figura 14), em que, apenas a estação do Vergel formou a R2, e todas as outras 12 estações foram semelhantes nesse período sazonal, formando a R1.

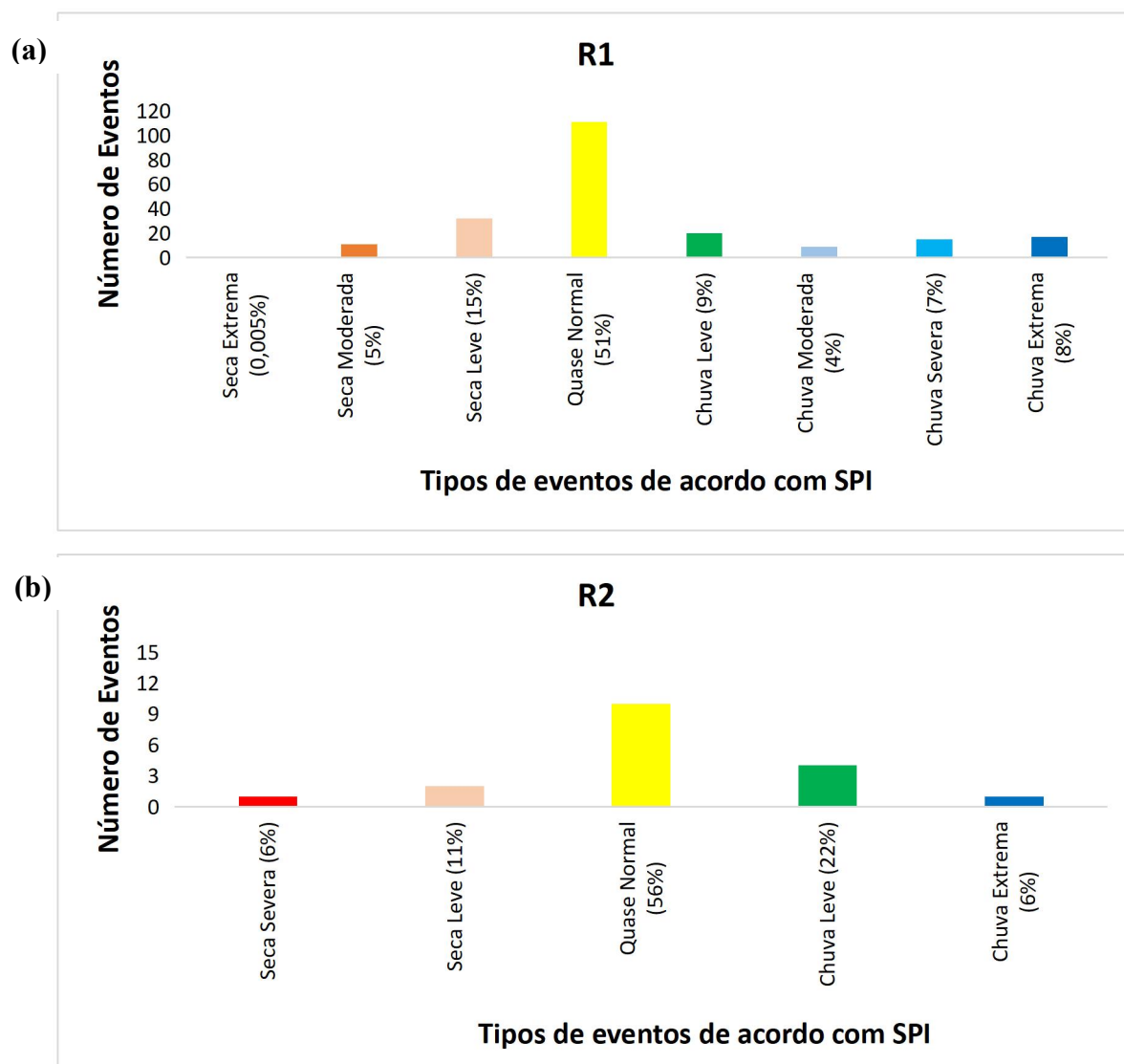
A Figura 22 mostra os agrupamentos conforme foi realizado através da cluster, sendo separados em Figura 22a, representando a R1, e Figura 22b representando a R2. Na Figura 23a os eventos de classificados pelo SPI como seca totalizam 20%, em que dentre esse total, a seca leve teve o maior número de eventos, com porcentagem de 15%, e a seca extrema teve apenas 1 evento, o que significa 0,005% de todos os eventos, seguido pela seca moderada (5%), o evento classificado como quase normal totalizou mais da metade dos eventos, com 51%. Por outro lado, os eventos classificados como chuvas, foram todos identificados, sendo a chuva leve (8%) a de maior número de casos, e a chuva moderada (4%).

Ao observar a Figura 22b, observou-se que em apenas uma estação, que é a do Vergel, foi identificada seca leve (11%), que foi a de maior ocorrência e a seca severa (6%) a de menor ocorrência. O evento classificado como quase normal pelo SPI resultou em 56% do total de

todos os eventos, e os de chuvas desta estação meteorológicas totalizaram 28%, em que o maior evento foi o de chuva leve com 22%, seguido pela chuva extrema (6%).

Ao analisar as duas regiões (R1 e R2) é observado que para o grupo R1, totalizaram-se as chuvas em 28% e as secas em 20%, enquanto que no R2 (Figura 22b) o total das chuvas foi de 28%, porcentagem igual a R1, já as secas dessa região (R2) totalizam 17% dos eventos, corroborando com Mello e Leite (2017) que também encontraram valores superiores de precipitação para a estação da primavera em alguns bairros.

Figura 22 - SPI para a primavera (SON): (a) Região 1 (R1) e (b) Região 2 (R2).



Fonte: Autora, 2021.

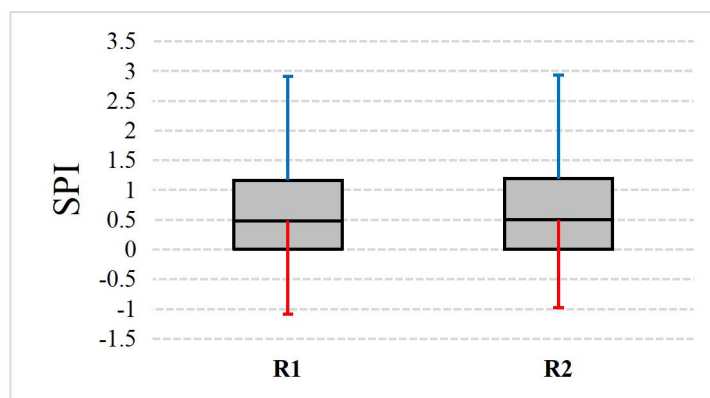
Macedo *et al.* (2010) também utilizaram o SPI para fazer análise de agrupamento no estado da Paraíba, e obtiveram o resultado com valores de precipitação e secas diferentes em cada região, devido à variados sistemas/fenômenos meteorológicos atuantes nos grupos obtidos.

5.3 BoxPlot ou Gráfico de Caixa

Foi elaborado o BoxPlot para fortalecer os resultados encontrados na análise de agrupamentos, que dividiu Maceió em duas regiões (R1 e R2), no qual, na Figura 23 estão todos os dados da precipitação, e nas Figura 24 e 25 estão divididas por estações, do período de 2015 a 2020, sendo possível observar os valores máximos e mínimos de precipitação para a capital.

Na Figura 23 nota-se que o BoxPlot apresenta valores semelhantes tanto no limite superior quanto na mediana para ambas regiões (R1 e R2), na qual o SPI do valor superior para as duas regiões tem valor máximo de aproximadamente 2,99, já o limite inferior tem SPI próximo a -1,1 para a R1 e -1 para a R2. Observa-se que apesar da R1 e R2 apresentarem bastante semelhança para o período anual, as estações da R1 apresentaram máximos valores negativos em comparação a R2, sendo assim, R1 teria valores mais secos que em R2 quando comparam-se SPI negativos, como também foi encontrado por Bonfim *et al.* (2021).

Figura 23 - BoxPlot anual para a região 1 (R1) e região 2 (R2).



Fonte: Autora, 2021.

Nos gráficos de caixa das Figuras 24 e 25 (R1 e R2), foram separados os meses do ano por estações sazonais, para facilitar a compreensão e visualização dos resultados obtidos.

Na Figura 24, para a R1 é possível observar a variação do SPI ao longo do ano, em que, durante o verão (DJF) o limite superior máximo ocorreu em fevereiro, com aproximadamente 2,6, seguido do mês de dezembro, com SPI igual a 2,5, já o menor limite inferior ocorreu em janeiro, com -1,7, e dezembro com -1,6.

Durante o outono (MAM), os maiores limites superiores ocorreram em março e abril, com valores de SPI de 2,6 cada, para o limite inferior máximo, o valor de -1,7 ocorreu em

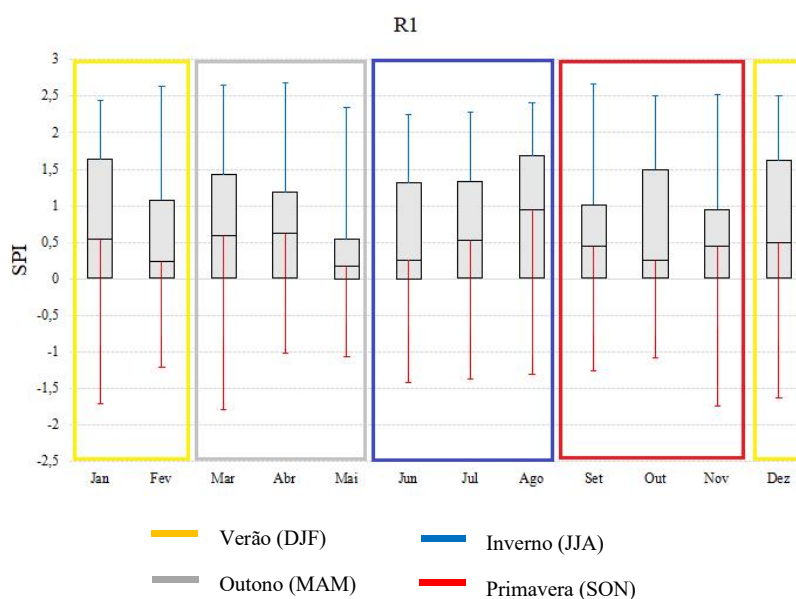
março, enquanto que abril e maio apresentaram valores negativos maiores, com -1 e -1,1, respectivamente.

Para os meses do inverno (JJA) os limites positivos tiveram valores bem semelhantes, sendo SPI de 2,2 para junho e julho, e 2,4 para agosto, que foi o maior valor ocorrido. Já para os limites inferiores, junho e julho tiveram SPI de aproximadamente -1,4, e em agosto o limite inferior foi de -1,3, sendo este, o maior ocorrido durante o inverno.

Por fim, na estação da primavera (SON), setembro teve maior valor positivo de SPI, sendo 2,6 aproximadamente, enquanto que outubro e novembro apresentaram valores iguais, de 2,5. Por outro lado, os limites inferiores maiores ocorreram em novembro (-1,8), seguido de setembro (-1,2) e outubro (-1,1).

Como pode ser observado para R1 (Figura 24) os meses mais propensos para eventos mais chuvosos são fevereiro, março, abril e setembro, que podem apresentar extremos maiores devido maiores valores do erro, como apontado no boxplot, enquanto que, janeiro, março, novembro e dezembro são os meses com maiores possibilidades de eventos mais secos. Também é notado que no início da estação do outono, em março apresenta valores elevados tanto para chuvas quanto para secas, isso ocorre devido ser o início de uma estação de transição.

Figura 24 - BoxPlot para a R1 para o verão, outono, inverno e primavera.



Fonte: Autora, 2021.

A Figura 25, mostra os dados de SPI no BoxPlot para R2, no qual, é observada a estação do verão (DJF), em que o limite superior maior encontra-se no mês de fevereiro, com 2,5,

seguido de dezembro, com 2,3, e o menor foi janeiro, com 1,3. Já para o limite inferior, dezembro teve o menor SPI, sendo o valor -1,5, e janeiro e fevereiro com -1,1, ambos.

No outono (MAM), março e maio tiveram o maior SPI no limite superior, aproximadamente 2,6, e abril com 2,2. por outro lado, apenas março apresentou menor limite inferior, sendo o valor de aproximadamente -1,8, e abril e maio com -1,6.

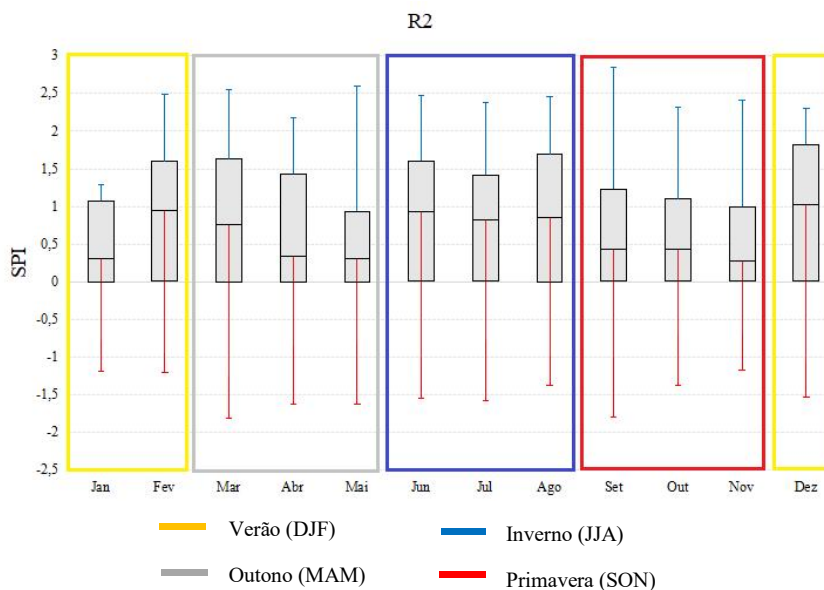
Durante o inverno (JJA), todos os meses tiveram limite superior semelhante, sendo próximo a 2,4. Já no limite inferior, junho e julho tiveram maiores valores de SPI, sendo -1,6, e o mês de agosto foi o de menor SPI durante a estação.

A primavera (SON) apresentou altos valores no limite inferior em setembro com 2,8, novembro com 2,4 e outubro com 2,3. É possível notar que setembro também teve o menor valor negativo, sendo -1,8, seguido de outubro (-1,4) e novembro (-1,2), sendo este, o menor valor, dando início ao verão em seguida.

Os maiores extremos de chuva na R2 (Figura 25) ocorreram de fevereiro a novembro, sendo o mês de setembro o mais propenso à eventos mais rigorosos com valores elevados de precipitação; por outro lado, os meses que apresentaram eventos com maiores tendências a secas é de março a julho e em setembro, em que março e setembro são mais propícios aos eventos de secas.

Assim como no trabalho realizado por Comisso e Medeiros (2021) em que os meses mais chuvosos em Alagoas ocorreram de março a agosto, assemelha-se aos resultados encontrados nesta pesquisa, em que o SPI com maiores precipitações ocorrem entre março a setembro.

Figura 25 - BoxPlot para a R2 para o verão, outono, inverno e primavera.



Fonte: Autora, 2021.

Assim, foi possível identificar a região com maior quantidade de precipitação ou eventos mais secos, conforme o SPI. Na R1 (Figura 24) as estações com maiores erros de SPI foram o verão, outono e primavera, quando pode ocorrer mais extremos ou valores discrepantes em relação à média; enquanto que durante o inverno, tanto o limite inferior quanto o superior, permanecem com valores sem muita variação. Na R2 (Figura 25) os eventos estão mais propensos à eventos mais secos ao longo do ano, como pode ser visto através do limite inferior e superior do gráfico, o que significa que a R2 teve mais eventos chuvosos que secos, enquanto que setembro tem maiores possibilidades de eventos extremos de chuva.

O BoxPlot apontou que Maceió é uma região que está propensa à eventos, tanto de chuva quanto de secas, variação como a encontrada principalmente na R2, levando aos resultados encontrados neste trabalho à assemelhar-se aos encontrados por Oliveira *et al.* (2019), também para a capital Alagoana.

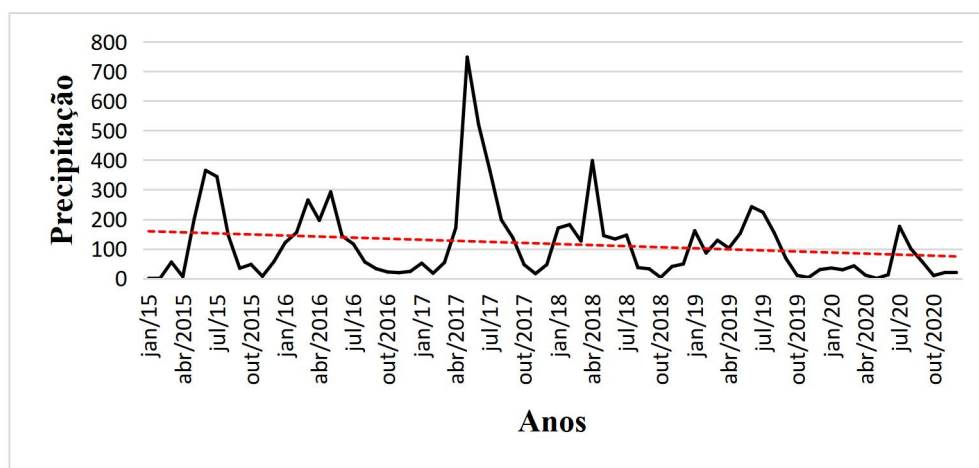
5.4 Tendência climática por Mann-Kendall para a série anual

Uma maneira de avaliar o comportamento de uma série temporal é utilizando a análise de tendência na série de dados. Nas Figuras 26 e 27 são mostradas as tendências de precipitação

para os grupos homogêneos R1 e R2 no período de 2015 a 2020, através do teste de Mann-Kendall, como foi utilizado por Lima *et al.* (2011).

Para a região 1 (R1) foram identificadas tendências de diminuição de precipitação (Figura 26), tendo tendência anual de $-0,084473396$ mm e em toda a série de $-1,013680748$ mm, com significância estatística pelo teste de T-Student ao nível de 95%. Essa diminuição indica que as chuvas na R1 vem diminuindo gradativamente ao longo dos anos, como foi encontrado por Mateus *et al.* (2015) e Lopes e Da Silva (2016) para a precipitação no estado do Ceará, e por Lima *et al.* (2011), para o estado da Bahia.

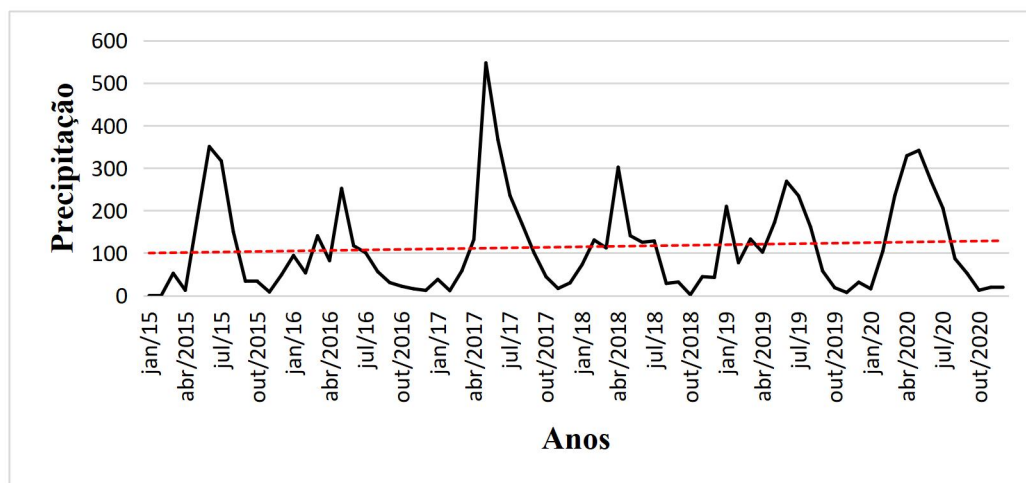
Figura 26 - Tendência temporal de SPI para R1 no período de 2015 a 2020.



Fonte: Autora, 2021.

Já para a série de precipitação anual de R2 (Figura 27) há um leve aumento na tendência de precipitação, que anualmente aumentou $0,036542498$ mm, e em toda a série $0,438509975$ mm, com significância estatística pelo teste de T-Student ao nível de 95%. Este resultado obtido para tendência positiva, assemelha-se para parte da região Sul do Brasil, conforme obtido por Gonçalves e Back (2018), e para Pernambuco por Ferreira *et al.* (2017).

Figura 27 - Tendência temporal de SPI para R2 no período de 2015 a 2020.



Fonte: Autora, 2021.

Os resultados obtidos para Maceió foram semelhantes com o obtido no trabalho de Couto *et al.* (2019) para o estado da Bahia, que dentre as 18 estações pluviométricas estudadas, 11 delas apresentaram diminuição de precipitação, enquanto que apenas 7 tiveram aumento.

As tendências serem distintas entre R1 e R2 reforça os resultados encontrados pela análise de agrupamentos que mostrou que as 13 estações se agrupam-se em R1 e R2, sendo as estações de cada grupo semelhantes entre si e distintas entre os grupos, dessa forma, R1 e R2 foram realmente distintos entre os grupos.

5.5 Identificação das causas climáticas Análise de Ondaletas

Através da AO foram identificadas escalas temporais que ocorriam nas séries de R1 e R2, e quais dessas escalas associam-se aos sistemas meteorológicos e fenômenos climáticos, apontados assim como causadores do evento de maior ou menor /nenhuma chuva. As análises foram feitas para o período de 2015 até 2020 e as Figuras 28 e 29 estão divididas em: (a) gráfico de SPI da precipitação média e (b) o espectro de potência de ondaleta, em que é possível identificar os fenômenos ocorridos ao longo da série temporal.

Ao agir em conjunto, estas escalas podem causar valores elevados de chuva ou seca, provocando assim, consequências, principalmente para a população da região afetada, como é citado por (MARKHANN,1974; HASTENRATH e HELLER, 1977; HASTENRATH e

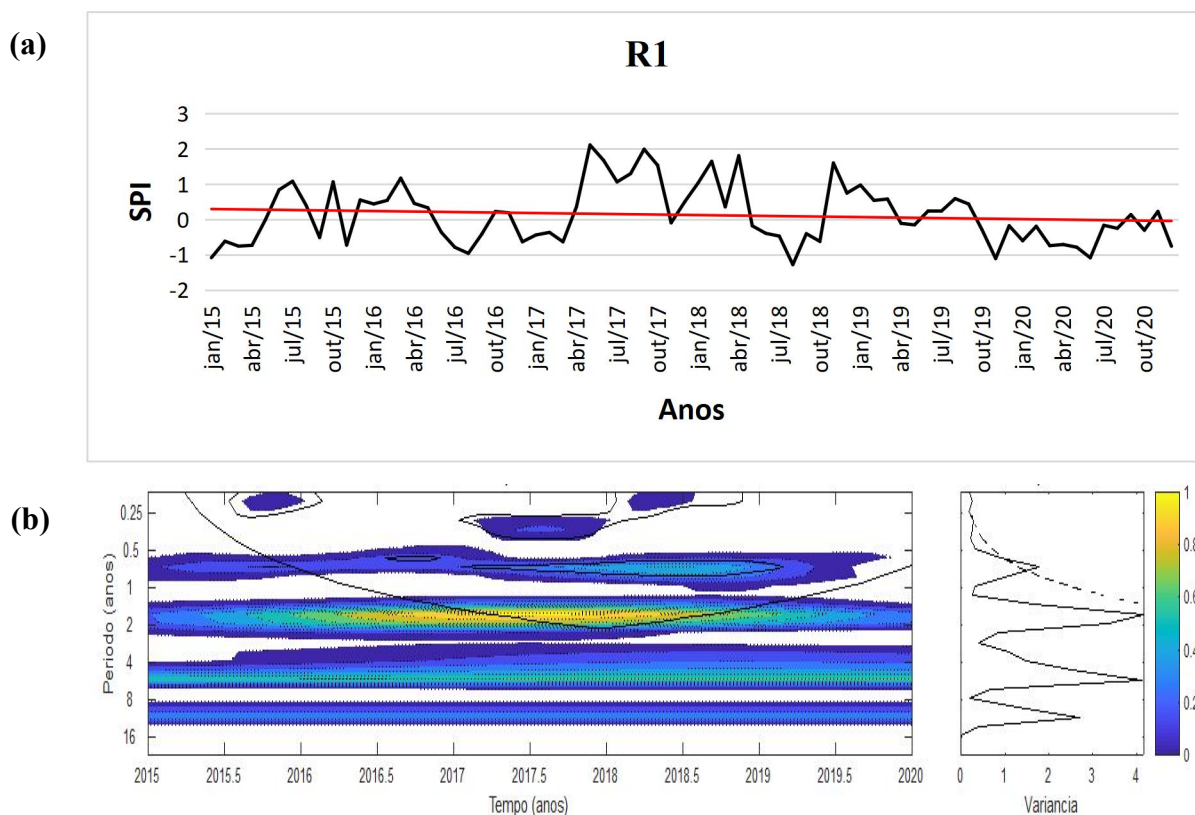
KACZMARCZYK, 1981; ROCKWOOD e MADDOX, 1988; DA SILVA, 2017; RAMIRES *et al.*, 2017).

De acordo com a Figura 28a, os eventos de maiores valores pluviométricos ocorreram em maio e setembro de 2017, e em fevereiro, abril e novembro de 2018, e os eventos de secas tiveram maior índice em: janeiro de 2015, agosto de 2018, novembro de 2019 e em junho de 2020.

Durante esses anos, alguns eventos marcaram o aumento/diminuição da precipitação, como o déficit pluviométrico ocorrido no LNEB em 2016 (INPE, 2021) devido ao ENOS de 2015 e 2016 (CPTEC/INPE, 2020), a instabilidade ocorrida em Alagoas que causou aumento na precipitação em 2017 (CPTEC-INPE, 2017), em 2018 ocorreu redução da precipitação devido ENOS (CPTEC, 2018), em 2017 e 2018 houve ocorrência de La Niña moderada (CPTEC/INPE, 2020) e em 2019 devido ao ENOS (2015-2016) ocorreu uma seca fraca (CEMADEN, 2019).

Ao analisar a ondaleta foram identificadas as seguintes escalas: sazonal (0,25 anos) (WEICKMANN *et al.*, 1985), semestral (0,5 anos) (NASCIMENTO *et al.*, 2017), interanual (1 ano) (SERVAIN, 1991), ENOS (entre 1 e 2 anos) ENOS estendido (2 a 7 anos) (DA SILVA, 2017; DA SILVA *et al.*, 2020), Manchas Solares (11 anos) (KERR, 1996; MOLION, 2005) e Dipolo do Atlântico (SERVAIN *et al.*, 1999) de 7-8 a 11 anos. O ENOS e ENOS estendido apresentaram ser as escalas dominantes na ondaleta, enquanto que as Manchas Solares/Dipolo do Atlântico têm escala secundária, destacando que essa escalas não têm significância estatística por estarem fora do cone de influência.

Figura 28 - Região 1 (R1): (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%.

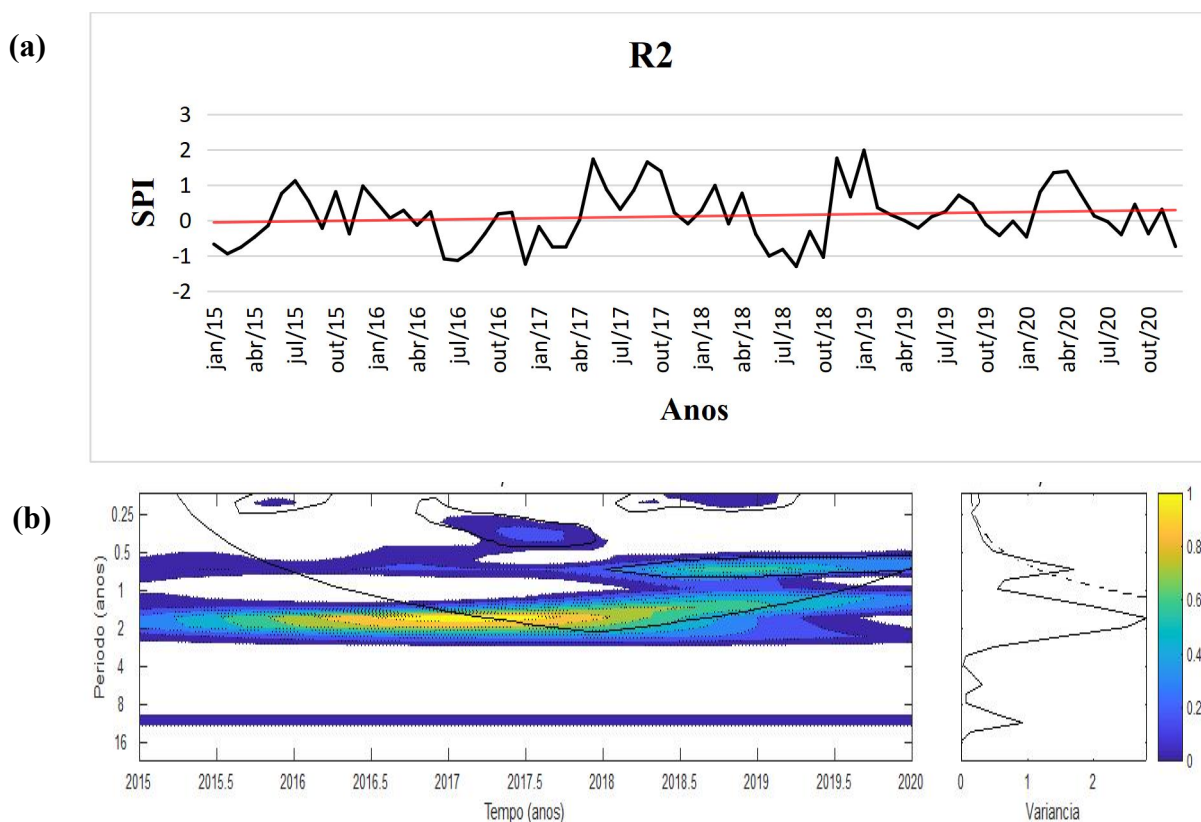


Fonte: Autora, 2021.

Os maiores valores pluviométricos (Figura 29a) que ocorreram na R2 foram em maio e setembro de 2017, novembro de 2018 e em janeiro de 2019, enquanto que as secas deram-se em julho e dezembro de 2016 e em agosto de 2018.

Conforme a AO (Figura 29b) as escalas que causaram esses eventos foram: sazonal (0,25 anos), semestral (0,5 anos), interanual (1 ano), ENOS (entre 1 e 2 anos) (NERY *et al.*, 1997), Manchas Solares (11 anos) (DA SILVA, 2017) e Dipolo do Atlântico (7-8 a 11 anos). Dentre todas as escalas citadas, a dominante foi a do ENOS, que entre 2015 e 2016 ocorreu eventos de El Niño forte, e em 2017 e 2018 de La Niña moderada (CPTEC/INPE, 2020). Os eventos de ENOS contribuíram para anos mais secos, como é o caso dos anos de 2015 e 2016 conforme é citado por CLIMATEMPO (2016), os períodos com maiores valores pluviométricos devido a La Niña, mencionado por Lin e Hendon (2017), e em 2019 devido aos resquícios do forte El Niño ocorreu seca fraca, e enquanto que a escala secundária ocorrida foi a semestral.

Figura 29 - Região 2 (R2): (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%.



Fonte: Autora, 2021.

Os resultados obtidos através da AO indicaram que a influência das escalas de variabilidade, como o ENOS, ENOS estendido, o Dipolo do Atlântico e Manchas Solares acarretam nos eventos de chuva/seca em Maceió, corroborando com Da Silva *et al.* (2017) para a região do LNEB e Da Silva *et al.* (2010) em um estudo para a Bacia do Rio Mundaú, que identificou que a junção da variabilidade interanual ligada ao ENOS, a variabilidade decenal, e a variabilidade interanual curta influenciaram na precipitação local.

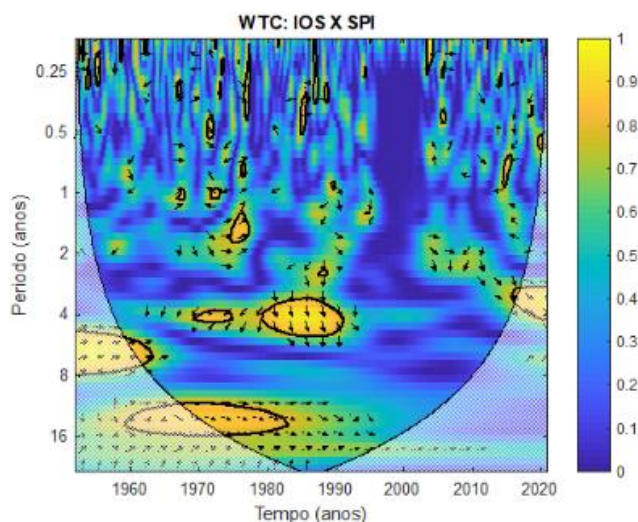
5.6 Ondaleta cruzada ou de Coerência e Fase

5.6.1 IOS e SPI

Na série de IOS e SPI (1952-2020) (Figura 30) apresentou coerência entre 5 a 8 anos, com setas para a direita, indicando fase, em que as duas séries (IOS e SPI) coincidem, ocorrendo de 1952 a 1962. Também nota-se coerência entre 3 a 5 anos, em que o mínimo de SPI ocorre 9 meses (ou 0,75 anos) após o máximo de IOS, que é mostrado pela seta indicando

90°, no período de 1980 a 1990. No WTC que ocorre de 1960 a 1982, a coerência de 13 a 16 anos no qual as setas estão para a direita, apresentam-se em fase. Os trabalhos de Blain e Kayano (2011) e Pereira (2017) mostram que o IOS e o SPI apresentam boa coerência, assim como os resultados encontrados para as mesmas variáveis desta pesquisa.

Figura 30 - WTC entre o IOS e SPI para o período de 1952-2020. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.

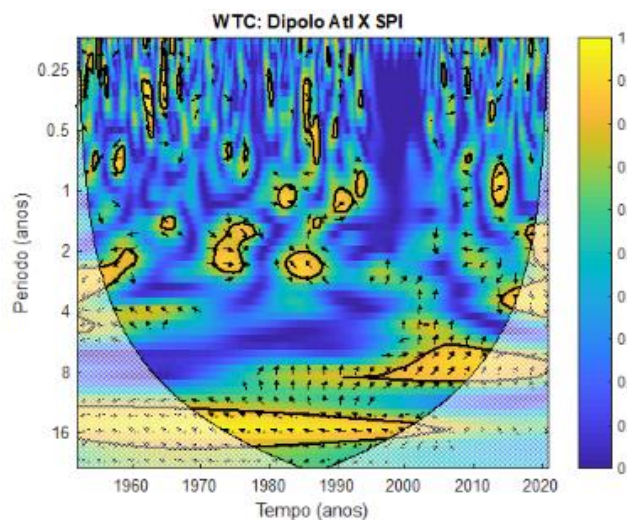


Fonte: Autora, 2021.

5.6.2 Dipolo do Atlântico e SPI

No WTC entre o Dipolo do Atlântico e SPI (1952-2020) (Figura 31) apresentaram coerência entre as fases de 6 a 9 anos, com o mínimo de SPI ocorrendo 0,75 anos ou 9 meses (45°) antes do máximo do Dipolo do Atlântico, durante o período de 1990 até o final da série dos dados, em 2020. No período de 1952 a 2009 a coerência ocorreu entre 13 a 17 anos, em que o máximo do Dipolo do Atlântico e o mínimo do SPI encontram-se em fase completamente opostas, o que significa que as duas séries estão fora de fase. Silva e Santos (2009) identificaram que a ondaleta cruzada é uma ferramenta eficaz para a análise pluviométrica, como foi utilizada para a região da Paraíba e de Santa Catarina.

Figura 31 - WTC entre o Dipolo do Atlântico e SPI para o período de 1952-2020. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.

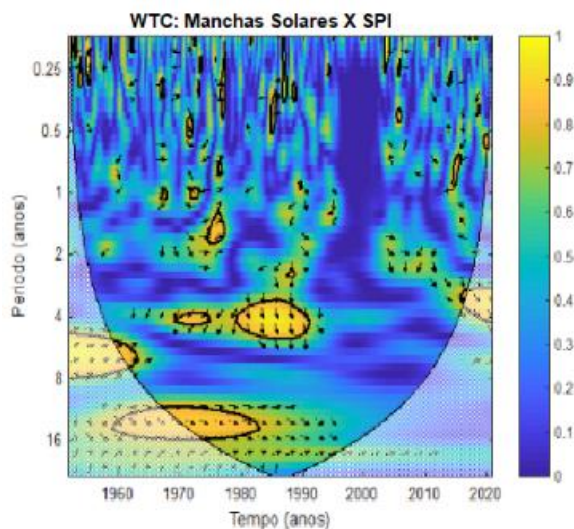


Fonte: Autora, 2021.

5.6.3 Manchas Solares e SPI

O WTC entre Manchas Solares e SPI (1952-2020) (Figura 32) apresentou coerência entre 3,5 a 6 anos, sendo o mínimo de SPI avançado (ocorre antes) 0,87 anos ou 10,5 meses em relação ao máximo das Manchas Solares de 1979 a 1990. No período entre 5 a 8 anos de 1952 a 1961 e entre 11 a 16 anos, de 1959 a 1982, as coerências apresentaram completamente em fase (setas para a direita) entre as séries de máximo de Manchas Solares e mínimo de SPI. No trabalho de Lima (2017) ao correlacionar Manchas Solares com o Dipolo do Atlântico, verificou-se que no Oceano Atlântico Norte há coerência em fase, enquanto que no Oceano Atlântico Sul, tem coerência negativa.

Figura 32 - WTC entre as Manchas Solares e SPI para o período de 1952-2020. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.



Fonte: Autora, 2021.

Conforme Corrêa *et al.* (2019) em estudo realizado para o Norte/Nordeste do Brasil, as variáveis IOS, ODP e Manchas Solares apresentaram variados intervalos temporais para cada local das duas regiões, com escalas de tempo de ordem de cerca de 10,66 e 21,33 anos, o que caracterizou a existência de baixa frequência multidecadal nas séries totais mensais de precipitação para Norte e Nordeste.

Maceió apresenta maiores valores de precipitação na parte baixa durante as estações do verão, outono e primavera, enquanto que a parte alta tem maiores valores durante o inverno, também nota-se que a R2 apresenta variação entre secas e chuvas, ao contrário da R1, que não varia tanto entre os eventos extremos. Uma grande influência para que ocorra esses eventos de precipitação e sua ausência são os eventos e sistemas meteorológicos que atuam nessa região do Brasil, principalmente no LNEB, que faz com que a região mais próxima à costa sofra mais com suas influências, como é observado no trabalho de Reboita *et al.* (2010).

6. Conclusões

Concluiu-se que anualmente a parte alta e o Litoral Norte da capital apresentam eventos menos chuvosos que a parte baixa e Litoral Sul, onde ocorre mais precipitação, conforme o SPI. Através da análise de agrupamentos, foram identificados os eventos de SPI para cada região (R1 e R2), em que para as duas regiões o SPI identificou maiores eventos de precipitação na maioria das estações sazonais, apenas durante o verão, Maceió tem índices de chuva e seca semelhantes.

No BoxPlot anual, a R1 e a R2 têm SPI igual para o evento de chuva, enquanto que na R1 ocorreram mais eventos de seca. Já por estações sazonais, a R1 teve maiores índices pluviométricos superiores a 2,5 em fevereiro, março, abril e setembro, e secas com SPI menores que -1,5 ocorreram em janeiro, março, novembro e dezembro. Para a R2 o SPI superior a 2,5, ou seja, meses mais chuvosos foram em março, maio e setembro, e os mais secos ocorreram em março, abril, maio, junho, julho, setembro e dezembro. Assim, nota-se que a R1 tem mais meses chuvosos, enquanto que a R2 apresenta mais índices secos.

Com significância estatística ao nível de 95% pelo teste de T-Student, a tendência climática por Mann-Kendall indicou que há uma diminuição na precipitação na R1, em que anualmente essa redução é de -0,084 mm, enquanto que a R2 apresentou aumento de chuva, sendo 0,036 mm anual, o que corrobora com o resultado encontrado no BoxPlot.

Os eventos e sistemas meteorológicos identificados através da análise das ondaletas, mostraram grande influência em Maceió, causando chuvas ou secas em cada região (R1 e R2), principalmente as escalas dominantes, como o ENOS e ENOS estendido na R1. Na R2 o ENOS em 2015 e 2016 com um El Niño forte, e em 2017 e 2018 com a La Niña moderada, foram dominantes, contribuindo para chuvas e secas no local.

Com período de dados maior (1952 a 2020) a ondaleta cruzada indica que o mínimo de SPI ocorre 9 meses após o máximo de IOS, podendo assim, os gestores locais, prever secas após a ocorrência do máximo de IOS e que os eventos extremos de Maceió apresentam relação significativa com ENOS. Para a relação entre o Dipolo do Atlântico e SPI, esta estatística mostrou que o mínimo de SPI ocorre 9 meses antes do máximo do Dipolo do Atlântico. Por fim, as Manchas Solares e SPI de Maceió apresentaram coerência, com mínimo de SPI ocorrendo 10,5 meses antes do máximo das Manchas Solares. Desse modo, fica mais

claro como ENOS, Variabilidade do Atlântico e ciclo de Manchas solares influenciam e colaboram para a ocorrência de eventos extremos pluviométricos locais.

7. Referências:

- ALCÂNTARA, M. L. **Um estudo sobre a influência do ciclo solar nos fatores climatológicos de Natal - RN**. Dissertação de Mestrado (Ciências Climáticas)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.
- AMORIM, A. C. B. **Influência de Subregiões do Atlântico Tropical na precipitação no Leste do Nordeste brasileiro**. Tese de Doutorado-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
- ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. Dissertação de Mestrado (Meteorologia)-INPE, São José dos Campos, 2005.
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; GUEDES, R. L.; OYAMA, M. D.; ALVES, M. A. S. U. 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, 2004.
- APOLLARO, C.; ALVIM, A. Estratégias e desafios do planejamento urbano para a adaptação de cidades frente à mudança climática. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 13, n. 6, 2017.
- ARAÚJO, C. R. G.; SILVA, C. M. S.; SILVA, A. G. Avaliação das Parametrizações Cumulos Emanuel e Grell do Modelo Climático Regional RegCM4: Simulando a Precipitação e Temperatura a Superfície sobre o Nordeste Brasileiro durante o Outono Austral. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 42, 2018.
- ARAÚJO, R. G.; ANDREOLI, R. V.; CANDIDO, L. A.; KAYANO, M. T.; SOUZA, R. A. F. A influência do evento El Niño - Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Geociências**, v. 43, 2013.
- ARAÚJO, S. R. V. **Estrutura dinâmica e termodinâmica da Zona de Convergência do Atlântico Sul e sua relação como a Oscilação Madden e Julian**. Dissertação de Mestrado (Meteorologia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.
- BARBOSA, A. C. B.; BLITZKOW, D. **Ondaletas: Histórico e Aplicação**. São Paulo, 2008.
- BARCELLOS, K.; ABUD, A. K. S. Avaliação do potencial energético das cascas de coco verde para aproveitamento na produção de briquetes. **Scientia Plena**, v. 11, n. 3, 2015.
- BEZERRA, E. **A seca e a água no Nordeste Brasileiro**. Disponível em: <<https://www.assecas.org/a-seca-e-a-agua-no-nordeste-brasileiro/>>. Acesso em: 22 de out. de 2020.
- BLAIN, G. C.; KAYANO, M. T. 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, 2011.
- BOLZAN, M. J. A. Transformada em ondaleta: Uma necessidade. **Revista Brasileira de Ensino em Física**, v. 28, n. 4, 2006.

BONFIM, O. E. T. **Aplicação de análises estatísticas na pluviometria das Bacias Hidrográficas Aguapeí-Peixe (SP)**. Dissertação de Mestrado (Meteorologia)-Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

BONFIM, O. E. T.; DA SILVA, D. F.; KAYANO, M. T.; ROCHA, L. H. S. Análise dos Eventos Climáticos Extremos e de Suas Causas Climáticas para Redução de Riscos nas Bacias Hidrográficas Aguapeí e Peixe, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, 2021.

CABRAL JÚNIOR, J. B. **Tendências sazonais da evapotranspiração de referência e do índice de aridez para o Nordeste do Brasil**. Tese de Doutorado (Ciências Climáticas)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

CALHEIROS, A. J. P.; CARLOS, L.; CAETANO, J.; MOLION, B. **Um evento de precipitação extrema sobre a Costa Leste do Nordeste do Brasil**. 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266016337_UM_EVENTO_DE_PRECIPITACA_O_EXTREMA_SOBRE_A_COSTA_LESTE_DO_NORDESTE_DO_BRASIL> Acesso em: 02 ago. 2020.

CARDOSO, B. C. T. **Avaliação das Parametrizações Cumulos Emanuel e Grell do Modelo Climático Regional RegCM4: Simulando a Precipitação e Temperatura a Superfície sobre o Nordeste Brasileiro durante o Outono Austral**. Dissertação de Mestrado (Meteorologia)-Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

CARMO, M. V. N. S.; LIMA, C. H. R. Caracterização Espaço-Temporal das Secas no Nordeste a partir da Análise do índice SPI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, 2020.

CARVALHO, A. L.; DE SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; PORFIRIO, A. C. S. Ocorrência de períodos secos na região de Rio Largo, Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, 2013.

CARVALHO, M. A. V.; OYAMA, M. D. Variabilidade da largura e intensidade da Zona de Convergência Intertropical atlântica: aspectos observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, 2013.

CASTRO, A. C. **Padrões de variabilidade intrasazonal sobre a cidade de São Paulo e o Oceano Atlântico Sul adjacente utilizando a análise de ondeleta, no período de 1982 a 2005**. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CASTRO, C. A. C. **Interações Trópicos-Extratropicais na escala de tempo intra-sazonal durante o verão austral e seus efeitos na América do Sul**. Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo, 2002.

CAVALCANTE, G. P.; TEMOTEO, K. K. S. Desastre natural associado a evento de chuva intensa no município de Caldas Brandão, Paraíba. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, 2018.

CAVALCANTE, I. B. S.; MENDONÇA, H. S.; LIMA, M. J. S.; DA SILVA, D. F.; BONFIM, O. E. T. Período de concentração de precipitação (PCP) e grau de concentração de

precipitação (PCD) para Leste do Nordeste do Brasil e suas alterações em anos de ENOS. **REDE**, v. 14, n. 1, 2020.

CEMADEN. Centro nacional de monitoram..... 2019. **Situação da Seca no Semiárido e Impactos – Julho de 2019**. Disponível em:
<<http://www.cemaden.gov.br/situacao-da-seca-no-semiarido-e-impactos-julho-de-2019/>>.
Acesso em: 19 maio 2021.

CHAGAS, V. B. P.; BEVACQUA, A. G.; CHAFFE, P. L. B. Propagação de secas meteorológicas para secas hidrológicas no Sul do Brasil. **I Encontro Nacional de Desastres**, Porto Alegre, 2018.

CLIMATEMPO. 2016. **O legado do El Niño 2015**. Disponível em:
<<https://www.climatempo.com.br/noticia/2016/09/22/o-legado-do-el-nino-2015-0199>>.
Acesso em: 03 mai. 2021.

COMISSO, H. S.; MEDEIROS, E. S. Mapeamento da precipitação no estado de Alagoas por meio de técnicas geoestatísticas. **Revista Univap**, v. 27, n. 55, 2021.

CORREA, M. J.; LIMA, K. C.; COUTINHO, M. D. L. Contribuição dos fluxos de umidade em evento de precipitação intensa ocorrido no leste do Nordeste do Brasil em maio de 2017: Um estudo de caso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 5, 2019.

CORRÊA, C. S.; GUEDES, R. L.; BUENO CORRÊA, K. A.; PILAU, F. G. Multidecadal Cycles Study in the Climate Indexes Series Using Wavelet Analysis in North/Northeast Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 42, 2019.

COSTA, M. S.; SANTOS, P. J.; CAMPOS, N. T.; NETO, H. M. B. Comportamento do regime pluviométrico mensal para capital Alagoana – ‘Maceió’. **XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 22 a 25 de setembro, Belo Horizonte, 2009.

COSTA, R. L.; SOUZA, E. P. Análise de um evento extremo de precipitação sobre Maceió-AL utilizando diferentes esquemas de parametrização de convecção profunda. **VI Congresso de Iniciação Científica**. Campina Grande, 2009.

COUTINHO, E. C.; ROCHA, E. J. P.; LIMA, A. M. M.; RIBEIRO, H. M. C. Variabilidade do regime hidrológico da bacia Amazônica. **Boletim Geográfico**, v. 37, n. 2, Maringá, 2019.

COUTO, C. 2020. **As Mudanças Climáticas e as Cidades Brasileiras**. Disponível em:
<<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/eventos-proclima/as-mudancas-climaticas-e-as-cidades-brasileiras/>>. Acesso em: 21 de outubro de 2020.

COUTO, C. M. D.; OLIVEIRA, E. P.; BADARÓ, T. S.; SILVA, N. D. Análise de tendências em dados de precipitação na região Oeste da Bahia. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, 17 a 19 de setembro, Palmas, 2019.

CPTEC-INPE. 2017. **Chuva intensa em parte do Nordeste do país: Caso ocorrido no Leste do Nordeste em maio de 2017**. Disponível em:
<<https://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/129314>>. Acesso em: 19 maio 2021.

CPTEC. 2018. **Outono termina com chuvas abaixo da média na maior parte do Brasil.** Disponível em: <<http://infoclima.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 19 maio 2021.

CPTEC-INPE, 2020. **Monitoramento do El Niño durante NDJ-2019/2020.** Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 03 mai. 2021.

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**, v. 32, n. 2, 2017.

DA SILVA, D. F.; LIMA, M. J. S.; SOUZA NETO, P. F.; GOMES, H. B.; SILVA, F. D. S.; ALMEIRA, H. R. R. C.; COSTA, R. L.; PEREIRA, M. P. S. Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no Índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, 2020.

DA SILVA, D. F.; GALVÍNCIO, J. D. Estudo da Influência da Oscilação Decadal do Pacífico no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 4, 2011.

DA SILVA, D. F. **Análise de aspectos climatológicos, agroecônômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a Bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE).** Tese de Doutorado (Recursos Naturais) - UFCG, Campina Grande-PB, 2009.

DA SILVA, D. F.; KAYANO, M. T.; SANTOS SILVA, F. D.; ALMEIDA, H. R. R. C.; PEREIRA, M. P.; GOMES, H. B. Coerência entre extremos no Oceano Pacífico e extremos climáticos em Santiago (Chile). **Revista Cadernos de Geografia, in prelo**, 2022.

DA SILVA, D. F.; KAYANO, M.T.; SOUSA, F.A.S. Uso de ferramentas estatísticas para acompanhamento climático e prevenção de riscos na Bacia Hidrográfica do rio Mundaú (Brasil). **Revista Territorium**, v. 17, 2010.

DOS SANTOS, L. D. J.; GONÇALVES, R. B.; CABRAL, C. J.; GIRÃO, O. Vulnerabilidades a eventos pluviiais de alta magnitude da cidade do Recife – Pernambuco/Brasil. **Revista de Geografia**, v. 9, n. 2, 2020.

DUARTE, C. C.; NÓBREGA, R. S.; COUTINHO, R. Q. Análise climatológica e dos eventos extremos de chuva no município do Ipojuca, Pernambuco. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 32, n. 2, 2015.

ESTEVAN, A. L. D. Sistema clima urbano e análise temporal das precipitações na cidade de Salvador – Bahia. **Terrae et Sardio**, 2018.

FARIAS, M. 2018. **Chuva provoca alagamentos em vários pontos em Maceió.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/chuva-provoca-alagamentos-em-varios-pontos-em-maceio.ghtml>>. Acesso em: 03 mai. 2021.

FARIAS, M. C. 2021. **Chuvas provocam alagamentos, queda de árvore e de barreiras em bairros de Maceió.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2021/04/15/chuvas-provocam-alagamentos-queda-de-arvore-e-de-barreiras-em-bairros-de-maceio.ghtml>>. Acesso em: 03 mai. 2021.

FARIAS, R. F. L.; ALVES, K. M. A. S.; NÓBREGA, R. S. Climatologia de ocorrência de eventos extremos de precipitação na Mesorregião do Sertão Pernambucano. **Revista Geonorte**, v. 1, n. 5, 2012.

FECHINE, J. A. L. Identificação de secas meteorológicas na região metropolitana de Fortaleza, usando o índice de precipitação padronizada (SPI). **Boletim de Geografia**, v. 33, n. 2, 2015.

FERREIRA, G. W. S.; REBOITA, M. S.; ROCHA, R. P. Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis nas Cercanias do Nordeste do Brasil: Climatologia e Análise da Vorticidade Potencial Isentrópica. **Anuário do Instituto de Geociência-UFRJ**, v. 42, 2019.

FERREIRA, J. E. V.; PINHEIRO, M. T. S.; DOS SANTOS, W. R. S.; MAIA, R. S. Representação gráfica da periodicidade química dos elementos principais usando boxplot. **Science Direct**, v. 27, 2016.

FERREIRA, P. S.; GOMES, V. P.; GALVÍNCIO, J. D.; SANTOS, A. M.; SOUZA, W. M. Avaliação da tendência espaço-temporal da precipitação pluviométrica em uma região Semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

FERREIRA, R. R. **Aspectos termodinâmicos de um vórtice ciclônico de altos níveis sobre o Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado (Meteorologia)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

FERREIRA, R. R.; SOUZA, E. P. Aspectos Termodinâmicos de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis sobre a Região Nordeste do Brasil: um Estudo de Caso. **Portal de Periódicos Eletrônicos em Geociências**, v. 42, n. 3, 2019.

FETTER, R.; OLIVEIRA, C. H.; STEINKE, E. T. Um Índice para Avaliação da Variabilidade Espaço-Temporal das Chuvas no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 2, 2018.

FIGUEROA, S. N. **Estudo dos sistemas de circulação de verão sobre a América do Sul e suas simulações com modelos numéricos**. Tese de Doutorado (Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997.

FRANCO, R. M. **Os ciclos solares e sua influência no regime de Chuvas**. 2013. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização)-Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.

FREITAS, J. C.; ANDRADE, A. R. S.; ANDRADE, A. R. S.; BRAGA, C. C.; GODOI NETO, A. H.; ALMEIDA, T. F. Análise de Agrupamentos na Identificação de Regiões Homogêneas de Índices Climáticos no Estado da Paraíba, PB – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 4, 2013.

G1. 2013. **Chuvas causam transtornos e prejudicam trânsito em Maceió**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2013/07/chuvas-causam-transtornos-e-prejudicam-transito-em-maceio.html>>. Acesso em: 03 mai. 2021.

GACHARI, F.; MULATI, D. M.; MUTUKU, J. N. Sunspot numbers: Implications on Eastern African rainfall. **South African Journal of Science**, v. 110, n. 1-2, 2014.

GAN, M. A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico sul e leste do Brasil**. Dissertação de Mestrado (Meteorologia)-INPE, São José dos Campos, 1982.

GERMANO, A. S. **Aspectos sinóticos de Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis que provocaram precipitações extremas nas cidades de Recife, Maceió e Aracaju no período de 2011 à 2015: estudo de casos**. Dissertação de Mestrado (Meteorologia)-Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

GOIS, G.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; SILVA, J. S.; SILVA JÚNIOR, J. L. C.; MONTEIRO, P. S. Avaliação da seca através do índice de precipitação padronizada (SPI) em alguns municípios do Sertão Alagoano. **XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Aracaju, 2007.

GONÇALVES, F. N.; BACK, A. J. Análise da variação espacial e sazonal e de tendências na precipitação da região sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, 2018.

GONÇALVES, N. M. S. **Impactos pluviais e desorganização do espaço em Salvador**. In.: MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. (org). Clima urbano. São Paulo: Contexto, 2003.

GUEDES, R. V. S. et al. Análise em componentes principais da precipitação pluvial no Estado do Piauí e agrupamento pelo método de Ward. **Revista de Geografia**, v. 27, n. 1, 2010.

GUEDES, R. V. S.; MACEDO, M. J. H.; SOUSA, F. A. S. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 23, 2012.

GURJÃO, C. D. S.; CORREIA, M. F.; CHAVES FILHO, J. B.; ARAGÃO, M. R. S. Influência do Enos (El Niño-Oscilação Sul) no Regime Hidrológico do Rio São Francisco: uma Análise em Regiões com Fortes Pressões Antrópicas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, n. 4, 2012.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Journal of the Royal Meteorological Society**, Quarterly, n. 103, v. 435, 1977.

HASTENRATH, S.; KACZMARCZYK, E. B. **On spectra and coherence of tropical climate anomalies**. *Tellus*, v. 33, n. 5, 1981.

HIERA, M. D.; LIMA JÚNIOR, A. F.; ZANELLA, M. E. Tendência da precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, 2019.

HOFFMANN, R. C.; MIGUEL, R. A. D.; PEDROSO, D. C. A importância do planejamento urbano e da gestão ambiental para o crescimento ordenado das cidades. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 3, n. 3, 2011.

IBGE. 2020. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al/maceio.html>>. Acesso em: 05 de novembro de 2020.

INPE. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Panorama geral das condições meteorológicas e os principais eventos extremos significativos ocorridos no Brasil em 2016.** Brasília, 2021.

JACOBI, P. R.; GIATTI, L. Eventos extremos, urgências e mudanças climáticas. **Revista Ambiente e Sociedade**, v. 20, n. 3, 2017.

JAPIASSÚ, L. A. T. **Expansão urbana de Maceió, Alagoas: caracterização do processo de crescimento territorial urbano em face do plano de desenvolvimento - de 1980 a 2000.** Dissertação de Mestrado (Arquitetura e Urbanismo)-Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015.

JORGE, R. L. O.; LUCENA, D. B. Eventos extremos anuais de precipitação em Mauriti - CE. **Ciência e Natura**, v. 40, 2018.

KAYANO, M. T.; KOUSKY, V. E. Tropical circulation variability with emphasis on interannual and intraseasonal time scales. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 11, n. 1 e 2, 1996.

KAYANO, M. T.; GONZALEZ, R. A.; ANDREOLI, R. V.; CANDIDO, L. A.; SOUZA, R. A. F. A influência do evento El Niño - Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amazônica**, v. 43, n. 4, Manaus, 2013.

KENDALL, M. G. Rank Correlation Methods. **Charles Griffin: London**, ed. 4, 1975.

KERR, R. A. A now dawn for sun-climate links? **Science**, Washington, DC, v.271, n.5254, p. 1360-1361, 1996.

KOUSKY, V. E. Frontal Influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, p. 1140-1153, 1979.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. **Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic.** *Tellus*, 33, 538-551,1981.

LACERDA, F. F.; LOPES, G. M. B. 2017. **Extremos de chuva e seca em Pernambuco: Uma realidade que veio para ficar.** Disponível em: <<http://ead.codai.ufrpe.br/index.php/apca/article/viewFile/1892/482482544>>. Acesso em: 10 de ago. de 2020.

LEAL NETO, J. G. S.; AYASTUY, A. C.; SURUAGY, D. C. B.; FERREIRA, B. Eventos meteorológicos extremos e suas repercussões na cidade de Maceió, Estado de Alagoas. **XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada**, Fortaleza, 2019.

LIEBMANN, B.; JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. Interannual variability of daily extreme precipitation events in the state of São Paulo, Brazil. **Journal of Climate**, v. 14, 2001.

LIMA, D. C. **Análise das possíveis relações entre os ciclos solares e as anomalias de TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais**. Dissertação de Mestrado (Meteorologia)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

LIMA, J. R. A.; NEVES, D. J. D.; ARAÚJO, L. E.; AZEVEDO, P. V. Identificação de tendências climáticas no Estado da Bahia. **Revista de Geografia**, v. 28, n. 3, 2011.

LIMA, J. S. Q.; SANTOS, J. O.; ZANELLA, M. E. Impactos das chuvas na cidade de Fortaleza no triênio 2013, 2014 e 2015. **Territorium**, n. 25, 2018.

LIMA, M. J. S.; CAVALCANTE, I. B. S.; MENDONÇA, H. S.; SOUZA NETO, P. F.; SILVA, S. D.; AMORIM, D. O. C.; DA SILVA, D. F. Classificação, quantificação e ocorrência de eventos climáticos extremos nas três mesorregiões do estado de Alagoas, Brasil. **Revista Ciência e Sustentabilidade**, v. 4, n. 2, 2018.

LIN, E. P.; HENDON, H. H. Causes and Predictability of the Negative Indian Ocean Dipole and Its Impact on La Niña During 2016. **Scientific Reports**, 2017.

LOPES, J. R. F.; DA SILVA, D. F. Aplicação do teste de Mann-Kendall para análise de tendência pluviométrica no Estado do Ceará. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 30, n. 3, 2013.

LOPES, J. R. F.; DA SILVA, D. F. Tendências e distribuição espacial de variáveis climáticas no estado do Ceará. **Ambiência Guarapuava**, v. 12, n. 1, 2016.

LYRA, M. J. A.; FREITAS, I. G. F.; SANTIAGO, D. B. Evento de Precipitação Intensa Associado às Perturbações Ondulatórias dos Alísios Sobre o Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 7, 2020.

LYRA, M. J. A.; CAVALCANTE, L. C. V.; LEVIT, V.; FEDOROVA, N. Ligação Entre Extremidade Frontal e Zona de Convergência Intertropical Sobre a Região Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, 2019.

MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R. V. S.; SOUSA, F. A. S.; DANTAS, F. R. C. Análise do índice padronizado de precipitação para o estado da Paraíba, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 5, n. 1, 2010.

MACHADO, C. C. C.; NÓBREGA, R. S.; OLIVEIRA, T. H.; ALVES, K. M. A. S. Distúrbio ondulatório de leste como condicionante a eventos extremos de precipitação em Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 11, 2012.

MACHADO, J. P.; BLANK, D. M. P.; ZONTA, J. H.; JUSTINO, F. B. Comportamento da precipitação e da temperatura no Rio Grande do Sul baseado na análise de agrupamento. **Ciência e Natura**, v. 32, n. 1, 2010.

MAIA, M. R.; PINTO, J. E. S. S.; LIMA, E. M. Eventos pluviométricos extremos na cidade de Vitória da Conquista (BA) entre 1995 e 2015. **Revista GeoNordeste**, n. 2, 2017.

- MARCHIORO, E.; SILVA, G. M.; CORREA, W. S. C. A zona de convergência do atlântico sul e a precipitação pluvial do município de Vila Velha (ES): Repercussões sobre as inundações. **Revista do Departamento de Geografia USP**, v. 31, 2016.
- MARENGO, J. A. Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima - Impactos sociais e econômicos. **Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas**, n. 8, edição especial, 2009.
- MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil**. 2020.
- MARKHANN, C. G. Apparent periodicities in rainfall at Fortaleza. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, Ceará, v. 13, 1974.
- MATEUS, A. E.; COSTA, I. M.; DA SILVA, D. F.; LOPES, J. R. F. Perspectivas em Variáveis Meteorológicas para o Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 5, 2015.
- MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: Conference on Applied Climatology. Boston. **Anais...** American Meteorological Society, 1993.
- MEDEIROS, F. J. **Aspectos dinâmicos da atmosfera associados a seca de 2012-2016 no Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado (Ciências Climáticas)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.
- MELO, E. F. R. Q.; MELO, RICARDO, H. R. Q.; MELO, RODRIGO, H. R. Q. Eventos climatológicos extremos na bacia do rio Inhandava e a gestão Urbana. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 14, n. 5, 2018.
- MELO, J. C. O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil. **Raízes**, n. 20, 1999.
- MELO, V. S.; SILVA do Ó, K. D.; DANTAS, M. P.; MEDEIROS, R. M. Estudo da precipitação do Semiárido Baiano usando análises de agrupamento e distribuição de probabilidade. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 7, n. 3, 2017.
- MELLO, Y. R.; LEITE, M. B. Caracterização da precipitação mensal, sazonal e anual para o Estado do Paraná em períodos secos, normais e chuvosos (1977-2006). **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. 28 de junho à 02 de julho, Campinas, 2017.
- MINAKI, C.; MONTANHER, O. C. Influência do El Niño-Oscilação Sul na precipitação em Maringá-PR, no período de 1980 a 2016. **Caminhos de Geografia-Revista online**, v. 20, n. 69, 2019.
- MENEZES, F. P.; FERNANDES, L. L.; ROCHA, E. J. P. O uso da estatística para regionalização da precipitação no Estado do Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, 2015.
- MOLION, L. C. B. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico. **Revista Climanalise**, Cachoeira Paulista, v. 3, n. 1, 2005.

Monitor de Secas aponta avanço de seca em Alagoas em janeiro. **Gazeta Web**. Disponível em <https://gazetaweb.globo.com/portal/noticia/2020/02/monitor-de-secas-aponta-avanco-da-seca-em-alagoas-em-janeiro_98693.php>. Acesso em: 29 de Fevereiro de 2020.

MOREIRA, A. B.; DOS SANTOS, P. F. C.; SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S. Eventos extremos e a cidade: estudo de caso dos impactos causados por um evento climático em área urbana. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, 2017.

MOURA, E. F.; SEIXAS, S. C.; DOURADO, C. S. Variabilidade pluvial, eventos extremos e alterações ambientais no corredor da rodovia D. Pedro I – Tamoios no período de 1983-2012. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 10, n. 5, 2016.

MOURA, G. B. A.; ARAGÃO, J. O. R.; LACERDA, F. F.; PASSAVANTE, J. Z. O. Relação entre a precipitação no setor Leste do Nordeste do Brasil e a temperatura da superfície nos Oceanos Atlântico e Pacífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, 2000.

MULITZA, S. et al. Synchronous and proportional deglacial changes in Atlantic meridional overturning and northeast Brazilian precipitation. **Paleoceanography and Paleoclimatology**, 2. ed., v. 32, 2017.

NASCIMENTO, F. C. A.; BRAGA, C. C.; ARAÚJO, F. R. C. D. Análise Estatística dos Eventos Secos e Chuvosos de Precipitação do Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, 2017.

NASCIMENTO JÚNIOR, L. **As chuvas no Paraná: Variabilidade, teleconexões, e impactos de eventos extremos**. Dissertação de Mestrado (Geografia)-Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2013.

NASCIMENTO, M. C. Problemas socioambientais causados pelas chuvas em cidades da região metropolitana de Maceió, Brasil. **Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales Universitat de Barcelona**, v. 24, n. 1276, 2019.

NEWMAN, M.; COMPO, P. G.; ALEXANDER, M. A. ENSO-Forced variability of the Pacific Decadal Oscillation. **Jornal of Climate**, 16 (23), 2003.

NERY, J. T.; VARGAS, W. M.; MARTINS, M. D. O. F. Variabilidade interanual da precipitação do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, 1997.

NEVES, D. J. D. **Padrões atmosféricos associados aos distúrbios ondulatórios de leste no leste do Nordeste do Brasil**. 2018. 175 f. Tese de Doutorado (Meteorologia)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F.; SOARES, D. B. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, 2016.

OLÍMPIO, J. L. S.; ZANELLA, M. E. Avaliação intermunicipal dos riscos de desastres naturais associados à dinâmica climática no estado do Ceará. **Geosp – Espaço e Tempo**, v. 21, n. 1, 2017.

OLIVEIRA, D. L.; DE SOUZA, V. C. B.; FRAGOSO JÚNIOR, C. R. Análise Hidrológica da Cheia Excepcional Ocorrida em Junho de 2010 nas Bacias dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio em Alagoas e Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, 2014.

OLIVEIRA, M. J.; CARNEIRO, C. D. R.; VECCHIA, F. A. S.; BAPTISTA, G. M. M. Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. **Terrae Didática**, v. 13, 2017.

OLIVEIRA, G. B.; RODRIGUES, D. T.; SILVA, P. E.; LÚCIO, P. S.; MEDEIROS, B. C. Análise de séries temporais no prognóstico da precipitação mensal para as capitais do Nordeste Brasileiro. **I Workshop de Meteorologia e Recursos Naturais**, Campina Grande, 2019.

OLIVEIRA, S. M. **O desenvolvimento das anomalias de circulação atmosféricas e temperatura da superfície do mar no Atlântico Equatorial e seus efeitos sobre a chuva no Norte do Nordeste: Alguns estudos de caso**. Dissertação de Mestrado (Meteorologia)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

PBMC, 2016: Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: **Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas** [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. p. 184.

PBMC, 2016: Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. **PBMC, COPPE – UFRJ**. Rio de Janeiro, Brasil. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

PEREIRA, T. A. S. **Análise e previsão de chuvas na estação seca do Leste do Nordeste do Brasil: Aplicação nas bacias dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio (AL/PE)**. Tese de Doutorado (Engenharia Civil)-Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

PERFIL MUNICIPAL. 2018. Disponível em em: <<https://dados.al.gov.br/catalogo/dataset/c70c5d37-9cef-4bf7-b55f-456aded041eb/resource/d6deb2f8-2505-4f24-8d79-f74adcf8ed50/download/perfilmeio2018.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2021.

PINHEIRO, J. U. **Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis sobre o Nordeste do Brasil e mudanças climáticas: análise para o clima atual e cenários futuros**. Tese de Doutorado (Ciências Climáticas)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

PEGORIM, J. CLIMATEMPO, 2018. **Principais sistemas meteorológicos do verão no Brasil**. Disponível em: <[POPULAÇÃO. 2020. **Maiores bairros de Maceió**. Disponível em <\[http://populacao.net.br/os-maiores-bairros-maceio_al.html\]\(http://populacao.net.br/os-maiores-bairros-maceio_al.html\)>. Acesso em: 10 de novembro de 2020.](https://www.climatepo.com.br/noticia/2018/12/11/principais-sistemas-meteorologicos-do-verao-no-brasil-9768#:~:text=ZCIT,durante%20os%20meses%20de%20ver%C3%A3o.&text=As%20%C3%A1reas%20de%20instabilidade%20da,o%20pa%C3%ADs%20ocorre%20em%20mar%C3%A7o.>>. Acesso em: 09 abr. 2021.</p></div><div data-bbox=)

RAMIRES, J.; ARMOND, N. B.; SALGADO, C. M. A variabilidade pluviométrica no Cariri Cearense e a influência das teleconexões ENOS e ODP. **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. 28 de junho à 02 de julho, Campinas, 2017.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, 2010.

REIS, J. S. **Características dinâmicas e termodinâmicas dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis do Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado (Ciências Climáticas)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

ROCHA, A. F. **Espectro cruzado e coerência wavelet: um estudo de variáveis micrometeorológicas em frações urbanas na cidade de Cuiabá, MT**. Tese de Doutorado (Física Ambiental)-Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

ROCHA, R. V.; SOUZA FILHO, F. A.; SILVA, S. M. O. 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, 2019.

ROCKWOOD, A. A.; MADDOX, R. A. Mesoscale and synoptic scale interactions leading to intense convection: The case of 7 June 1982. **Weather and Forecasting**, v. 3, n. 1, 1988.

RODRIGUES, C.; SANCHES, C.; OLIVEIRA, R. 2017. **Chuva na Grande Maceió deixa 4 mortos, 33 feridos e 250 famílias desalojadas**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/chuva-forte-na-grande-maceio-deixa-mortos-feridos-e-familias-desalojadas.ghtml>>. Acesso em: 03 mai. 2021.

RODRIGUES, D. T. **Análise de eventos extremos de precipitação no Nordeste do Brasil**. Tese de Doutorado (Ciências Climáticas)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

RODRIGUES, I. B.; HOLANDA, J. M.; GONÇALVES, D. S.; SALES, M. C. L. Análise dos eventos de chuva extrema e seus impactos em Fortaleza-CE, de 2004 a janeiro de 2015. **Revista de Geografia**, v. 34, n. 2, 2017.

RODRIGUES, L. O.; SOUZA, W. M.; COSTA, V. S. O.; PEREIRA, M. L. T. Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, 2017.

ROSA FILHO, A.; CORTEZ, A. T. C. A problemática sócioambiental da ocupação urbana em áreas de risco de deslizamento da “Suíça Brasileira”. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2010.

SADINI, S. 2019. **Ciclo UrbanSus - Sustentabilidade Urbana: Adaptação, Resiliência e Riscos Climáticos**. Disponível em: <<http://www.iea.usp.br/eventos/urbansus-riscos-climaticos>>. Acesso em: 21 de outubro de 2020.

- SANTOS, A. H. M. **Eventos extremos de chuva em Salvador, Bahia: Condições atmosféricas e impactos ambientais**. Dissertação de Mestrado (Meteorologia)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.
- SILVA, G.; SANTOS, C. A. G. **Análise da influência do ENOS na precipitação da Paraíba e Santa Catarina através da cross wavelet transform**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.
- SANTOS, N. A.; SIQUEIRA, A. H. B.; MELO, M. L. D. Precipitação sobre a América do Sul e suas relações com a Oscilação Multidecadal do Atlântico e a Oscilação do Atlântico Norte. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, 2016.
- SANTOS, S. R. Q.; BRAGA, C. C.; SANSIGOLO, C. A.; SANTOS, A. P. P. Determinação de Regiões Homogêneas do Índice de Precipitação Normalizada (SPI) na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, 2017.
- SANTOS, S. R. T.; SANSIGOLO, C. A.; NEVES, T.; CAMPOS, T. Frequências dos eventos extremos de seca e chuva na Amazônia utilizando diferentes bancos de dados de precipitação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, 2017.
- SEMPLA– Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento – Prefeitura de Maceió. Disponível em:
<<http://www.sempla.maceio.al.gov.br/sempla/dpu/mapas/MAPA%20Regioes%20Administrativas%202005.jpg>> Acesso em: 18 de maio de 2022.
- SENA, J. P. O.; MORAES NETO, J. M.; LUCENA, D. B. Painel têmporo-espacial e box-plot para a análise da pluviosidade na região do Cariri Paraibano. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 7, n. 3, 2017.
- SENA, J. P. O.; MORAIS NETO, J. M.; LUCENA, D. B. Variabilidade interdecadal da precipitação na região do Cariri Paraibano e a relação com eventos sobre os Oceanos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, 2017.
- SERVAIN, J. Simple climatic indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications. **Journal of Geophysical Research**, V. 96, 1991.
- SERVAIN, J.; WAINER, I.; MCCREARY, J.P.; DESSIER, A. Relationship between the equatorial and meridional modes of climatic variability in the Tropical Atlantic. **Geophysical Research Letters**, n. 26, 1999.
- SILVA, A. S. **Impactos nos padrões da precipitação na América do Sul decorrentes da diminuição na extensão do gelo marinho**. Tese de Doutorado (Engenharia Civil)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- SILVA, B. F. P. **Contribuição dos Distúrbios Ondulatórios de Leste para a chuva no Leste do Nordeste do Brasil: evolução sinótica média e simulações numéricas**. 2011. 123 f. Dissertação (Ciências Atmosféricas)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SILVA, E. A.; MANDÚ, T. B. Aplicação do índice de precipitação Padronizado (SPI) para identificação de Períodos de seca em Brasília-DF. **IX Simpósio da Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre**. São José dos Campos, 2020.

SILVA, E. S.; REIS, M. C.; SANTANA, T. L. **Riscos geomorfológicos associados a eventos climáticos extremos em Paripiranga-BA**. XII Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe - 18 a 22 de março, Aracaju, 2019

SILVA, F. A. A.; BARBOSA, B. G. S.; DUARTE, C. C. A análise da interação entre os eventos pluviométricos e ações antrópicas como agentes deflagradores de deslizamentos na Zona Norte do Recife. **Regne**, v. 5, 2019.

SILVA, N. R. **Precipitações intensas e seus impactos no ambiente urbano de Uberlândia - MG**. Dissertação de Mestrado (Geografia)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

SILVA, P. R. F.; CALHEIROS, S. Q. C. O estado de Alagoas no contexto regional nordestino. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, n. 41, 2019.

SILVA, R. A. **Padrões de variabilidade multiescalar na temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical e Norte e seus efeitos nas chuvas da América do Sul**. Tese de Doutorado (Clima e Ambiente)–INPA, Manaus, 2015.

SILVA, R. A.; DA SILVA, V. P. R.; CAVALCANTI, E. P.; DOS SANTOS, D. N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n. 14, 2010.

SILVEIRA, R. D.; SARTORI, M. G. B. Relação entre tipos de tempo, eventos de precipitação extrema e inundações no espaço urbano de São Sepé –RS . **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 7, 2010.

SIONGCO, A. C.; HOHENEGGER, C.; STEVENS, B. The Atlantic ITCZ bias in CMIP5 models. **Climate Dynamics**, 2014.

SIQUEIRA, A. H. B.; SANTOS, N. A.; CARDOSO, C. S.; SANTOS, W. R. T.; MOLION, L. C. B. Eventos extremos de precipitação de maio de 2006 sobre Alagoas: uma análise de suas causas e seus impactos. **Revista da Pós-Graduação em Gestão Ambiental/UNEAL**, v. 2, 2010.

SOUSA, A. J. S. **Eventos extremos de precipitação no leste da Amazônia**. Dissertação de Mestrado – Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.

SOUSA, F.; VIEIRA, V. R.; SILVA, V. D. P. R.; MELO, V. S. Estimativas dos riscos de chuvas extremas nas capitais do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, 2016.

SOUZA NETO, P. F.; DA SILVA, D. F.; ALMEIDA, H. R. R. C. Análise da Variabilidade Climática dos Oceanos Atlântico e Pacífico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n.4, 2021.

SOUZA NETO, P. F. **Identificação de impactos da variabilidade climática sobre os Oceanos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Meteorologia)-Universidade Federal de Alagoas, 2019.

SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B.; NOBRE, P. Anomalias de precipitação nos setores norte e leste do Nordeste brasileiro em associação aos eventos do padrão do dipolo observados na Bacia do Atlântico Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13, n. 2, 1998.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V.; DE ASSIS, J. M. O.; SOBRAL, M. C. Áreas de risco mais vulneráveis aos desastres decorrentes das chuvas em Recife-PE. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 34, 2014.

TEIXEIRA, M. S.; PRIETO, R. B. Eventos extremos de chuva no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, entre 2004 e 2013. Parte 1: definição dos eventos e estatísticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, 2020.

TEIXEIRA, R. L. P. **Planejamento urbano e adaptação climática: Entre possibilidades e barreiras nas cidades de Natal/RN e Curitiba/PR**. Dissertação de Mestrado (Estudos Urbanos e Regionais)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

TEODORO, T. A.; REBOITA, M. S.; ESCOBAR, C. G. J. Caracterização da Banda Dupla da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no Oceano Atlântico. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, 2019.

TRENBERTH, K.; ZHANG, R.; NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH STAFF (Eds). 2019. **The Climate Data Guide: Atlantic Multi-decadal Oscillation (AMO)**. disponível em <<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/atlantic-multi-decadal-oscillation-amo>>. Acesso em: 06 de novembro de 2020.

UVO, C. B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região Norte do Nordeste Brasileiro**. Dissertação de Mestrado (Meteorologia)-INPE. São José dos Campos, 1989.

VALE, R. S.; SANTANA, R.A.; DIAS-JÚNIOR, C. Q. Análise de dados climáticos usando transformada em ondas cruzada e coerência. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, 2020.

VALLI, M. Análise de Cluster. **Augusto Guzzo Revista Acadêmica**, n. 4, 2012.

VALVERDE, M. C. A interdependência entre vulnerabilidade climática e socioeconômica na região do ABC Paulista. **Ambiente e Sociedade**, v. 20, n. 3, 2017.

WAGNER, M. B. Significância com confiança? **Jornal de Pediatria**, 1998.

WAINER, I.; PRADO, L. F.; KHODRI, M.; OTTO-BLIESNER, B. The South Atlantic sub-tropical dipole mode since the last deglaciation and changes in rainfall. **Climate Dynamics**, 2020.

WANG, S.; ZHAO, Z.; CHEN Z.; Reconstruction of the summer rainfall regime for the last 500 years in China. **GeoJournal**, v. 5, n.2, p. 117-122, 1981.

WEICKMANN, K. M.; LUSSKY, G. R.; KUTZBACH, J. E. Intraseasonal (30-60 Day) Fluctuations of Outgoing Longwave Radiation and 250 mb Streamfunction during Northern Winter. **Center for Climatic Research**, 1985.

WILLIAMSON, D. F.; PARKER, R. A.; KENDRICK, J. S. The Box Plot: A Simple Visual Method to Interpret Data. **Annals of Internal Medicine**, v. 110, 1989.